



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PENDUDUK DAN PENGGUNAAN LAHAN  
PADA AIR TANAH  
(Studi Kasus: Penurunan Cadangan Air Tanah  
di Cekungan Air Tanah Jakarta)**

**TESIS**

**With a Summary in English**

**The Effect Of Population And Land Use On Groundwater  
(Case Study: Groundwater Reserves Decline In Jakarta Groundwater Basin)**

**FERRYATI MASITOH  
0906505211**

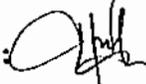
**PROGRAM PASCASARJANA  
PROGRAM STUDI KAJIAN ILMU LINGKUNGAN  
JAKARTA, JULI , 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar**

**Nama : Ferryati Masitoh**

**NPM : 09506505211**

**Tanda Tangan : **

**Tanggal : 6 Juli 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN TESIS

Judul Tesis: Pengaruh Penduduk dan Penggunaan Lahan pada Air Tanah  
(Studi Kasus: Penurunan Cadangan Air Tanah di Cekungan Air  
Tanah Jakarta)

Tesis ini telah disetujui dan disahkan oleh Komisi Penguji Program Studi Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Indonesia, pada tanggal 6 Juli 2011 dan telah dinyatakan LULUS ujian komprehensif dengan yudisium SANGAT MEMUASKAN.

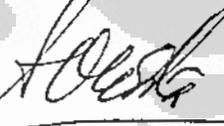
Jakarta, 6 Juli 2011

Menyetujui,  
Pembimbing I,



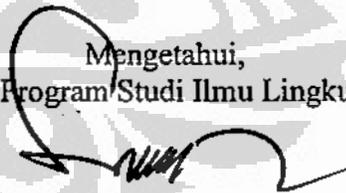
Dr. Ir. Samsuhadi, M.Sc

Pembimbing II,



Dr. dr. Tri Edhi Budhi Soesilo, M.Si

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Ilmu Lingkungan



Prof. dr. Haryoto Kusnoputranto, SKM, Dr.PH

## HALAMAN PENGESAHAN KOMISI PENGUJI

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Ferryati Masitoh  
NPM : 0906505211  
Program Studi : Kajian Ilmu Lingkungan  
Judul Tesis : Pengaruh Penduduk dan Penggunaan Lahan pada Air Tanah  
(Studi Kasus: Penurunan Cadangan Air Tanah di Cekungan  
Air Tanah Jakarta)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Kajian Ilmu Lingkungan, Program Pasca Sarjana, Universitas Indonesia.

### Dewan Penguji

Ketua Sidang : Prof. dr. Haryoto Kusnoputranto, SKM, Dr.PH

(.....)

Sekretaris Sidang : Dr. Suyud Warno Utomo, M.Si

(.....)

Pembimbing I : Dr. Ir. Samsuhadi, M.Sc

(.....)

Pembimbing II : Dr. dr. Tri Edhi Budhi Soesilo, M.Si

(.....)

Penguji : Dr. Hasrul Thayeb, APU

(.....)

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 6 Juli 2011

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ferryati Masitoh  
NPM : 0906505211  
Program Studi : Kajian Ilmu Lingkungan  
Fakultas : Pascasarjana  
Jenis Karya : Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia, **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Pengaruh Penduduk dan Penggunaan Lahan pada Air Tanah  
(Studi Kasus: Penurunan Cadangan Air Tanah di Cekungan Air Tanah  
Jakarta)**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta ijin dari saya, selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian, pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 6 Juli 2011

Yang Menyatakan,



(Ferriyati Masitoh)

## BIODATA PENULIS

Nama : Ferryati Masitoh  
Tempat/Tanggal Lahir : Pati, 10 September 1982  
Alamat : Dusun Jetis RT.02/01, Desa Mancilan, Kecamatan  
Mojoagung, Kabupaten Jombang,  
Propinsi Jawa Timur  
Email : [aku\\_ferryati@yahoo.com](mailto:aku_ferryati@yahoo.com)  
Status : Orang Tua Tunggal, 1 anak

Pendidikan :

1989-1995	SDN Telang 02, Kamal, Bangkalan, Madura
1995-1998	SMPN 1 Mojoagung, Jombang
1998-2001	SMUN Mojoagung, Jombang
2001-2005	S1 Geografi Fisik Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada

Pengalaman Kerja :

2006	PT. Tata Guna Patria ( <i>Engineering Consultant</i> )
2007	PT. Jakarta Konsultindo ( <i>Engineering Consultant</i> )
2007-2009	PT. Wiratman & Associate ( <i>Engineering Consultant</i> )
2007-2010	Kantor Lingkungan Hidup Kota Jakarta Pusat (Karyawan Kontrak)
2010	PT. Caturbina Guna Persada ( <i>Engineering Consultant</i> )
2007-sekarang	Universitas Islam Negeri (UIN) Syarif Hidayatullah, Jakarta (Tenaga Pengajar)

## KATA PENGANTAR

“Dan Kami turunkan air dari langit menurut suatu ukuran; lalu Kami jadikan air itu menetap di bumi, dan sesungguhnya Kami benar-benar berkuasa menghilangkannya.”  
(QS. Al-Mukminun:18)

Assalammu'alaykum wr wb. Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah swt. Hanya karena rahmat, karunia, ridho dan petunjuk-Nya, penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan lancar. Alhamdulillah rabbil Alamiin. Tesis ini dilaksanakan dalam rangka tugas akhir sebagai mahasiswa pada Program Studi Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Indonesia. Penulis mengambil tema mengenai lingkungan sumber daya air, dengan judul penelitian Analisis Pertumbuhan Penduduk dan Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Cadangan Air Tanah di Cekungan Air Tanah Jakarta.

Penyelesaian tesis tidak terlepas dari semua pihak yang membantu baik dari sisi keilmuan, doa dan semangat, serta pendanaan dari awal hingga akhir. Dalam kesempatan ini, penulis menghaturkan terima kasih kepada:

1. Dr. Samsuhadi, M.Sc, sebagai Pembimbing I yang telah memberikan banyak ilmu, masukan, ide, dan koreksi selama proses bimbingan terutama yang berkaitan dengan sumber daya air tanah dan pemanfaatannya;
2. Dr. dr. Tri Edhi Budhi Soesilo, M.Si, sebagai Pembimbing II sekaligus sebagai Sekretaris Program Studi Ilmu Lingkungan UI, atas ilmu, masukan, inspirasi dan semangat kepada penulis selama proses perkuliahan dan selama bimbingan terutama yang berkaitan dengan Permodelan Sistem Dinamis;
3. Prof. dr. Haryoto Kusnopranto, SKM, Dr. PH, sebagai Ketua Program Studi Ilmu Lingkungan UI, atas berbagai insiprasi dan ilmu yang diberikan;
4. Dr. Rudi P. Tambunan, M.Si, sebagai Pembimbing Akademik, yang memberikan berbagai masukan terutama pada saat penulisan proposal;

5. Pak Joni Tagor, Mas Riko, Pak Wasis, dari Badan Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta, atas informasinya mengenai sumber daya air tanah Jakarta;
6. Badan Lingkungan Hidup Kota Tangerang dan Badan Pelayanan dan Perijinan Terpadu Kota Tangerang atas informasi yang diberikan;
7. Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Tangerang dan Badan Pelayanan dan Perijinan Terpadu Kabupaten Tangerang, atas informasi yang diberikan;
8. Badan Lingkungan Hidup Kota Depok, Dinas Perindustrian Kota Depok, Badan Pelayanan dan Perijinan Terpadu Kota Depok, atas informasi yang diberikan;
9. Badan Lingkungan Hidup Kota Bekasi atas informasi yang diberikan;
10. Mas Fakhruddin Mustofa (Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional), senior sekaligus sahabat, atas segala kemudahan dalam akses data, informasi, buku, ide, masukan, terutama dalam penataan ruang dan sumber daya air, serta semangat, inspirasi, selama kuliah dan proses pengerjaan tesis;
11. Mbak Agdelena, senior sekaligus sahabat di Program Studi Ilmu Lingkungan UI, atas ide dan masukannya terutama dalam hal permodelan menggunakan Sistem Dinamik dan pengoperasian perangkat lunak Powersim, serta semangat yang diberikan;
12. Mas Rahmat Agung (PT. Waindo Specterra), atas akses data yang diberikan terutama data citra satelit;
13. Seluruh teman di Program Studi Ilmu Lingkungan UI, terutama angkatan 28A Reguler: Herman, Riko, Gorba, Manty, Mbak Arika, Mas Budi, Mas Joko, Rio, Pak Miura, Dhaka, dan Anas, atas kerja sama dan semangat yang diberikan selama ini;
14. Mas Trimio Pamudji Al Djono, sebagai teman berbagi dalam belajar analisis sistem;
15. Irna Kristinowati, S.Sos, Dra. Erni Abdullah, M.Si, Syafruddin, SE, Nasrullah, dan Juanta, staf administrasi di Program Studi Ilmu Lingkungan UI yang sangat membantu dalam kemudian dalam belajar dan penyelesaian tugas akhir;

16. Seluruh staf perpustakaan Pusat Penelitian Sumber Daya Manusia dan Lingkungan UI, di Salemba, Perpustakaan Pascasarjana, di Salemba, dan Perpustakaan Pusat di Depok, atas kemudahannya memberikan informasi;
17. I Putu Irwan Suryana (Badan Pertanahan Nasional), sahabat, atas akses data, proses pengumpulan data, buku-buku mengenai penggunaan lahan, diskusi mengenai penggunaan lahan, serta ide, masukan, semangat, inspirasi dan segala dukungan yang diberikan selama proses pengerjaan;
18. Secara khusus, penulis haturkan terima kasih untuk Ibu dan Bapak tercinta di Jombang, Ibu Sumini dan Bapak Wely Mustari, atas do'a, bantuan dan semangat yang selalu terkirim untuk penulis;
19. Adik-adikku, Ardi Septiawan beserta keluarga, dan juga Ferdian Budi Ar'rouf, atas bantuan dan semangatnya;
20. Penulis sampaikan terima kasih pula untuk anandaku tercinta, Azra Syaura Azzafira (8 tahun), atas kesabaran mendampingi penulis dan senyuman indah yang jadi semangat selama ini;
21. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa karya tulis ini hanya sebagian kecil dalam upaya mengurangi permasalahan pengelolaan sumber daya air tanah terutama di Cekungan Air Tanah Jakarta dan masih jauh dari sempurna. Untuk itu, penulis masih mengharapkan masukan dan idenya. Penulis yakin, bahwa karya tulis ini dapat memberikan masukan bagi semua pihak yang mempunyai kepentingan terhadap pelestarian sumber daya air tanah. Semoga pula, segala kebaikan yang dilakukan semua pihak dalam upaya menjaga kelangsungan sumber daya air tanah mendapat ridho dan petunjuk-Nya. Amin.

Jakarta, Juli 2011

Penulis

## ABSTRAK

**Nama** : Ferryati Masitoh  
**NPM** : 0906505211  
**Program Studi** : Kajian Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia  
**Judul Tesis** : Pengaruh Penduduk dan Penggunaan Lahan pada Cadangan Air Tanah (Studi Kasus: Penurunan Cadangan Air Tanah di Cekungan Air Tanah Jakarta)

Air merupakan sumber daya alam yang sangat penting bagi kehidupan. Pertumbuhan penduduk yang pesat dan peningkatan aktivitas menyebabkan meningkatnya kebutuhan air dan terjadinya perubahan penggunaan lahan dari lahan bervegetasi menjadi lahan terbangun. Kedua hal tersebut memberikan dampak yang tidak baik terhadap kelestarian air tanah, terutama di CAT Jakarta. Penelitian ini berfungsi untuk mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya penurunan cadangan air tanah di CAT Jakarta, menganalisis pengaruh pertumbuhan penduduk dan perubahan penggunaan lahan terhadap penurunan cadangan air tanah di CAT Jakarta melalui model sistem dinamis, serta untuk menganalisis skenario yang dapat diterapkan dalam melestarikan air tanah di CAT Jakarta. Penelitian menggunakan pendekatan *mix method* yang menggabungkan metode kuantitatif dan kualitatif dengan menggunakan permodelan sistem dinamis untuk mengetahui hubungan antar faktor. Metode penelitian yaitu dengan interpretasi citra satelit dan survey lapangan. Analisis yang digunakan untuk menjawab tujuan penelitian menggunakan permodelan sistem dinamik. Model yang dibuat mempunyai validasi yang diukur dengan menggunakan AME sebesar 3,31% untuk penduduk dan 0,02% untuk lahan sehingga model dianggap valid. Berdasarkan model, faktor-faktor yang mempengaruhi penurunan cadangan air tanah antara lain: menurunnya luas lahan resapan, meningkatnya lahan terbangun, meningkatnya jumlah penduduk, rendahnya laju imbuhan air tanah dan rendahnya layanan air PAM. Peningkatan lahan terbangun sebesar 0,8% per tahun serta laju pertumbuhan penduduk sebesar 2,52% per tahun menyebabkan penurunan cadangan air tanah sebesar 0,49% per tahun. Pelestarian air tanah dapat diskenariokan dalam model dengan menggunakan 4 (empat) skenario yaitu penurunan luas lahan terbangun (Skenario I), penurunan angka kelahiran (Skenario II), peningkatan layanan air PAM (Skenario III) dan gabungan antara penurunan angka kelahiran dan peningkatan layanan air PAM (Skenario IV). Hasil simulasi menunjukkan bahwa Skenario IV merupakan skenario optimis yang mempunyai peluang terbesar untuk diterapkan dan memberikan keberlanjutan air tanah lebih baik dibandingkan dengan skenario lainnya.

**Kata Kunci:** Air tanah, Penduduk, Penggunaan Lahan, Permodelan *System Dynamics*.

## ABSTRACT

**Name** : Ferryati Masitoh  
**Student ID** : 0906505211  
**Study Programme** : Environmental Sciences, University of Indonesia  
**Thesis Title** : The Effect Of Population And Land Use On  
Groundwater (Case Study: Groundwater Reserves  
Decline In Jakarta Groundwater Basin)

Water is a natural resource that is essential for life. Rapid population growth and an increase in the activity causing the increasing need for water and land use change modeling of vegetated area into built up area. Both of these give significant effect for the sustainability of groundwater, especially in Jakarta Groundwater Basin. Aims of this research are try to determine the factors that led to a decrease in reserves of groundwater in the Jakarta Groundwater Basin (CAT), analyze the effect of population growth and land use change on groundwater reserves decline in Jakarta's CAT through dynamic system model, as well as to defined scenarios that can be applied in preserving groundwater in Jakarta's CAT. This research combines both quantitative and qualitative methods. Dynamic system modeling used to determine the relationship between one and another factors while land use change data obtained from satellite imagery and field survey. Dynamic system model validation measured using AME of 3.31% for the population and 0.02% for the land so that the model is considered valid. Based on the model, the factors that influence the decline of groundwater reserves include: declining water catchment area, increasing built up area, increasing population growth, low rate of numerical groundwater and low water service from PAM (Drinking Water Company). Increased of built up area by 0.8% per year as well as the rate of population growth of 2,52% per year causing a decrease in groundwater reserves of 0.49% per year. Preservation of groundwater can be scripted in the model by using a 4 (four) scenarios, which are (1) decrease of built up area (Scenario I), (2) decrease in birth rate (Scenario II), (3) improved piped water service (Scenario III) and (4) combination of decline birth rate and an increase water service from PAM (Scenario IV). The simulation results show that Scenario IV is an optimistic scenario that has the greatest opportunity to apply and provides better sustainability option for groundwater condition compared to other scenarios.

**Keywords:** Groundwater, Population, Land use, System Dynamic Modeling.

## DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Pernyataan Orisinalitas .....	ii
Halaman Pengesahan Tesis .....	iii
Halaman Pengesahan Komisi Penguji .....	iv
Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi .....	v
Biodata Penulis.....	vi
Kata Pengantar .....	vii
Abstrak .....	x
Daftar Isi.....	xii
Daftar Tabel .....	xiv
Daftar Gambar.....	xv
Daftar Lampiran.....	xvii
Daftar Singkatan.....	xviii
Ringkasan.....	xix
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan.....	7
1.3 Pertanyaan Penelitian.....	8
1.4 Tujuan Penelitian .....	8
1.4.1 Tujuan Umum .....	8
1.4.2 Tujuan Khusus .....	9
1.5 Manfaat Penelitian .....	9
1.6 Ruang Lingkup Penelitian.....	9
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.....	11
2.2 Cadangan Air Tanah .....	13
2.2.1 Faktor-faktor yang Menentukan Cadangan Air Tanah .....	13
2.2.1.1 Faktor Pembentuk Air Tanah.....	13
2.2.1.2 Pengambilan Air Tanah.....	18
2.2.2 Konservasi Cadangan Air Tanah .....	22
2.2.3 Kondisi Hidrogeologi CAT Jakarta .....	25
2.3 Penataan Ruang .....	29
2.3.1 Penataan Ruang Perkotaan dalam Pengelolaan dan Perlindungan Lingkungan Hidup .....	29
2.3.2 Perubahan Penggunaan Lahan Perkotaan terhadap Sumber Daya Air Tanah .....	33
2.4 Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis.....	35
2.5 <i>System Dynamic</i> .....	36
2.5.1 Pengertian <i>System Dynamic</i> .....	36
2.5.2 Pengembangan Model <i>System Dynamic</i> .....	37
2.6 Kerangka Teori.....	38
2.7 Kerangka Konsep .....	39

2.8 Definisi Operasional.....	40
2.9 Hipotesis.....	42
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Desain Penelitian.....	43
3.2 Lokasi Penelitian.....	44
3.3 Waktu Penelitian.....	44
3.4 Populasi dan Sampel.....	44
3.5 Instrumen Penelitian.....	45
3.6 Teknik Pengumpulan Data.....	47
3.7 Teknik Pengolahan.....	48
3.8 Analisis Data.....	52
3.9 Asumsi yang Digunakan.....	54
<b>BAB 4. HASIL PENELITIAN</b>	
4.1 Gambaran Lokasi Penelitian.....	55
4.1.1 Batas Wilayah Administrasi.....	55
4.1.2 Iklim.....	57
4.1.3 Hidrogeologi.....	58
4.1.4 Hidrologi Permukaan.....	60
4.1.5 Kebutuhan dan Penggunaan Air Bersih.....	62
4.1.6 Penggunaan Lahan.....	67
4.1.7 Kependudukan.....	71
4.1.8 Kelembagaan.....	74
4.2 Pelaksanaan Penelitian.....	77
4.2.1 Keterbatasan Penelitian.....	77
4.2.2 Model Pengaruh Pertumbuhan Penduduk dan Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Ketersediaan Air Tanah.....	77
4.2.3 Pengujian Model.....	82
<b>BAB 5. PEMBAHASAN</b>	
5.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Substansi Air Tanah.....	87
5.2 Pengaruh Pertumbuhan Penduduk terhadap Cadangan Air Tanah.....	92
5.3 Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Cadangan Air Tanah.....	98
5.4 Pelestarian Air Tanah di CAT Jakarta.....	102
5.4.1 Skenario I dengan Pengurangan Lahan Terbangun.....	104
5.4.2 Skenario II dengan Penurunan Jumlah Penduduk.....	108
5.4.3 Skenario III dengan Penambahan Kemampuan Layanan Air PAM.....	111
5.4.4 Skenario IV dengan Penurunan Jumlah Penduduk dan Penambahan Layanan Air PAM.....	114
<b>BAB 6. KESIMPULAN</b>	
6.1 Kesimpulan.....	125
6.2 Saran.....	125
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>127</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Kebutuhan Air di DKI Jakarta .....	2
Tabel 2.1 Standar Kebutuhan Air.....	21
Tabel 2.2 Peningkatan Debit Puncak Suatu Sungai .....	34
Tabel 2.3 Definisi Operasional Penelitian .....	40
Tabel 3.1 Matrik Hubungan antara Tujuan Penelitian dan Metode Analisis.....	43
Tabel 3.2 Matrik Hubungan antara Variabel Penelitian, Sumber Data dan Instrumen Penelitian.....	46
Tabel 3.3 Metode Pengolahan Data .....	48
Tabel 3.4 Simbol Powersim yang Digambarkan dalam <i>Stock Flow Diagram</i> .....	52
Tabel 4.1 Luas Wilayah Kabupaten/Kota di CAT Jakarta.....	57
Tabel 4.2 Karakteristik Akuifer pada CAT Jakarta .....	58
Tabel 4.3 Nilai Porositas dan Permeabilitas Batuan .....	59
Tabel 4.4 Tabel Koefisien <i>Run Off</i> .....	61
Tabel 4.5 Perkiraan Kebutuhan Air Bersih Penduduk .....	63
Tabel 4.6 Penjualan Air PAM.....	64
Tabel 4.7 Operator Layanan Air PAM.....	65
Tabel 4.8 Produksi Air PAM .....	66
Tabel 4.9 Jumlah Penduduk di Daerah Penelitian .....	71
Tabel 4.10 Jumlah Penduduk Perempuan .....	73
Tabel 4.11 Data Referensi dan Hasil Simulasi dari Jumlah Penduduk.....	83
Tabel 4.12 Data Referensi dan Hasil Simulasi pada Luas Lahan Terbangun .....	84
Tabel 5.1 Kepadatan Penduduk.....	94
Tabel 5.2 Data Jumlah Penduduk dan Cadangan Air Tanah .....	96
Tabel 5.3 Data Luas Lahan Terbangun dan Cadangan Air Tanah.....	101
Tabel 5.4 Skenario Pelestarian Air Tanah.....	104
Tabel 5.5 Data Volume Cadangan Air Tanah pada Model Dasar dan Skenario I .....	105
Tabel 5.6 Data Volume Cadangan Air Tanah pada Model Dasar dan Skenario II .....	109
Tabel 5.7 Data Volume Cadangan Air Tanah pada Model Dasar dan Skenario III.....	112
Tabel 5.8 Data Volume Cadangan Air Tanah pada Model Dasar dan Skenario IV .....	115

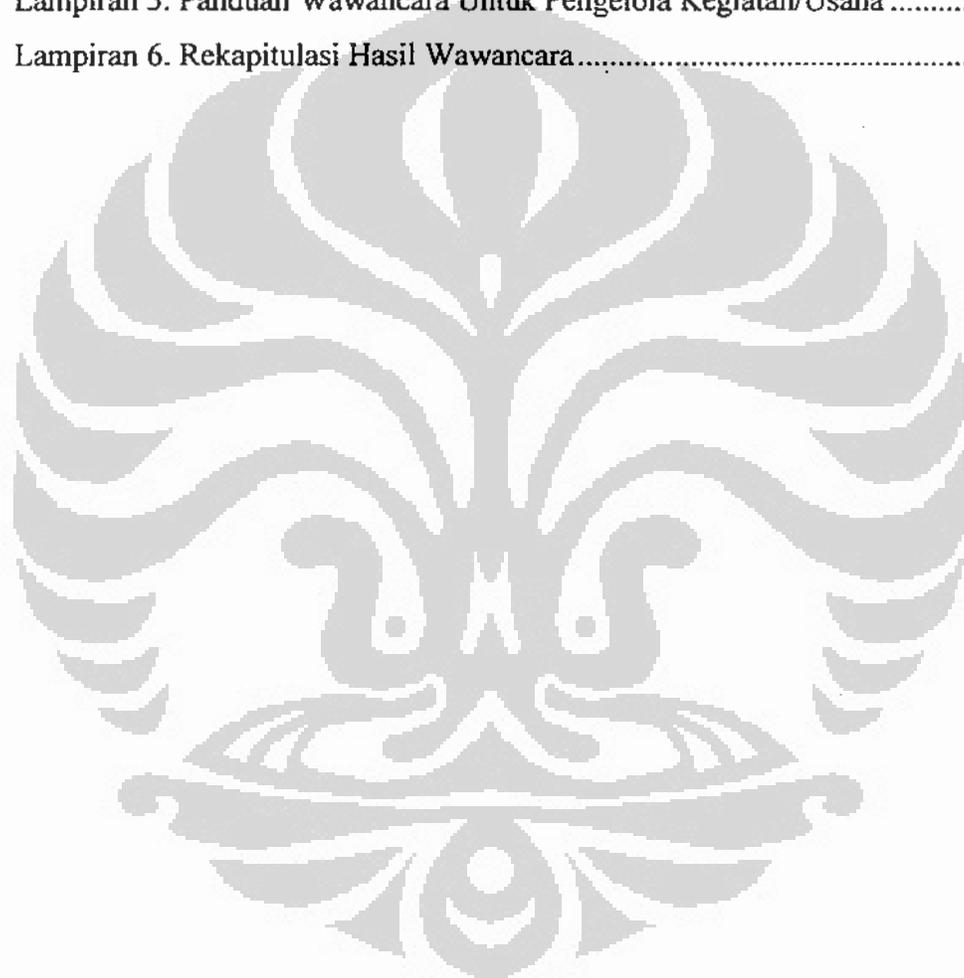
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Perubahan penggunaan lahan di Kota Jakarta.....	3
Gambar 1.2 Penampang melintang CAT Jakarta.....	6
Gambar 2.1 Keterkaitan antara komponen dalam lingkungan hidup.....	12
Gambar 2.2 Berbagai macam pola materi geologi yang menggambarkan porositas dan permeabilitas akuifer .....	15
Gambar 2.3 Siklus Hidrologi dalam Cekungan Air Tanah dalam Pendekatan Sistem <i>Black Box</i> .....	17
Gambar 2.4 Potongan Akuifer .....	18
Gambar 2.4 Kerucut Depresi ( <i>Cone of Depression</i> ) .....	19
Gambar 2.5 Pengeluaran Air Limbah .....	22
Gambar 2.6 Hidrogeologi Daerah Penelitian.....	27
Gambar 2.8 Penampang Utara-Selatan Daerah Penelitian.....	28
Gambar 2.9 Kerangka Teori Faktor-faktor yang Berhubungan dengan Cadangan Air Tanah.....	38
Gambar 2.10 Kerangka Konsep Faktor-faktor yang Berhubungan dengan Cadangan Air Tanah.....	39
Gambar 3.1 Contoh Diagram Simpal Kausal ( <i>Causal Loop Diagram/CLD</i> ).....	49
Gambar 3.2 Prinsip <i>Stock and Flow Diagram (SFD)</i> .....	50
Gambar 3.3 Tahapan Permodelan Sistem Dinamis.....	51
Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian .....	53
Gambar 4.1 Daerah Penelitian .....	56
Gambar 4.2 Peta Citra Satelit Penggunaan Lahan tahun 2000 di daerah penelitian....	68
Gambar 4.3 Peta Citra Satelit Penggunaan Lahan tahun 2003 di daerah penelitian....	69
Gambar 4.4 Peta Citra Satelit Penggunaan Lahan tahun 2008 di daerah penelitian....	70
Gambar 4.5 Diagram Simpal Kausal Hubungan antara Penduduk, Lahan dan Air .....	79
Gambar 4.6 Diagram <i>Stock and Flow</i> pada Pengaruh Pertumbuhan Penduduk dan Lahan Terbangun pada Cadangan air Tanah .....	81
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Data Hasil Simulasi dan Data Referensi pada Jumlah Penduduk .....	83

Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Data Hasil Simulasi dan Data Referensi pada Luas Lahan Terbangun.....	84
Gambar 4.9 Grafik Hasil Simulasi pada Stok Air Tanah.....	85
Gambar 5.1 Grafik Hubungan antara Pertambahan Penduduk, Lahan Terbangun dan Cadangan Air Tanah.....	90
Gambar 5.2 Grafik Pertambahan Penduduk.....	95
Gambar 5.3 Grafik Hubungan antara Jumlah Penduduk dan Cadangan Air Tanah ...	97
Gambar 5.4 Perubahan Penggunaan Lahan di Kota Depok.....	99
Gambar 5.5 Grafik Hubungan antara Lahan Terbangun dengan Cadangan Air Tanah.....	103
Gambar 5.6 Grafik Cadangan Air Tanah pada Model Dasar dan pada Skenario I.....	106
Gambar 5.7 Grafik Cadangan Air Tanah pada Model Dasar dan pada Skenario II.....	110
Gambar 5.8 Grafik Cadangan Air Tanah pada Model Dasar dan pada Skenario III ...	113
Gambar 5.9 Grafik Cadangan Air Tanah pada Model Dasar dan pada Skenario IV ...	116
Gambar 5.10 Grafik Cadangan Air Tanah Berdasarkan Simulasi Skenario .....	118

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambaran Lokasi yang Mengalami Perubahan Penggunaan Lahan ....	135
Lampiran 2. Persamaan Powersim .....	140
Lampiran 3. Informan Penelitian .....	143
Lampiran 4. Panduan Wawancara Untuk Instansi Pemerintah .....	144
Lampiran 5. Panduan Wawancara Untuk Pengelola Kegiatan/Usaha .....	145
Lampiran 6. Rekapitulasi Hasil Wawancara .....	147



## DAFTAR SINGKATAN

AME	: <i>Absolute Means Errors</i>
BKKBN	: Badan Koordinasi Keluarga Berencana
bmt	: bawah muka tanah
BPLHD	: Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup
BPS	: Badan Pusat Statistik
CAT	: Cekungan Air Tanah
CBR	: <i>Crude Birth Rate</i>
CDR	: <i>Crude Death Rate</i>
CLD	: <i>Causal Loop Diagram</i>
DAS	: Daerah Aliran Sungai
DEM	: <i>Digital Elevation Model</i>
DKI	: Daerah Khusus Ibukota
ESDM	: Energi dan Sumber Daya Mineral
GIS	: <i>Geographic Information System</i>
GMS	: <i>Geosynchronous Meteorological Satellite</i>
KB	: Keluarga Berencana
MODIS	: <i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
NOAA-AVHRR	: <i>National Oceanic and Atmospheric Administration- Advanced Very High Resolution Radiometer</i>
PAM	: Perusahaan Air Minum
SFD	: <i>Stock Flow Diagram</i>
SIG	: Sistem Informasi Geografi
SNI	: Standar Nasional Indonesia
SRTM	: <i>Shuttle Radar Topographic Mission</i>
TFR	: <i>Total Fertility Rate</i>
TMR	: <i>Total Mortality Rate</i>
USGS	: <i>United States Geological Survey</i>
UU	: Undang-undang
WMO	: <i>World Meteorological Organization</i>

**RINGKASAN**  
**Program Studi Ilmu Lingkungan**  
**Program Pascasarjana Universitas Indonesia**  
**Tesis, Juli 2011**

- A. Nama** : Ferriyati Masitoh
- B. Judul Tesis** : Pengaruh Penduduk dan Penggunaan Lahan pada Cadangan Air Tanah (Studi Kasus: Penurunan Cadangan Air Tanah di Cekungan Air Tanah Jakarta)
- C. Jumlah Halaman** : Halaman permulaan 26, Halaman Isi 148, Tabel 28, Gambar 36

Air merupakan salah satu sumber daya yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan manusia, baik yang berupa air tanah atau air permukaan. Pertambahan jumlah penduduk akan turut meningkatkan kebutuhan air. Kebutuhan air yang bersumber dari air permukaan pada umumnya telah mengalami penurunan kualitas sehingga tidak layak dikonsumsi. Apabila air permukaan akan dikonsumsi maka harus melalui pengolahan air dengan metode tertentu untuk meningkatkan kualitasnya. Pengolahan air secara terpadu sebenarnya telah dilakukan oleh perusahaan penyedia air minum (PAM). Keterbatasan produksi menyebabkan air PAM tidak banyak dinikmati oleh sebagian penduduk. Hal tersebut menjadi salah satu alasan bagi penduduk untuk mengambil air tanah yang pada akhirnya mengakibatkan semakin tingginya pengambilan air tanah.

Air tanah yang berasal dari air tanah dangkal di CAT Jakarta dianggap telah mengalami penurunan kualitas sehingga tidak layak digunakan. Sebagai dampaknya, sebagian penduduk dan kegiatan/usaha beralih menggunakan air tanah dalam untuk mencukupi pasokan kebutuhannya. Hal ini mengakibatkan pengambilan air tanah dalam semakin intensif pula. Di sisi lain pengambilan air tanah tidak sebanding dengan kemampuan pembentukan air tanah. Pembentukan air tanah sangat bergantung pada banyaknya air yang terinfiltrasi ke dalam tanah. Pada kenyataannya, penggunaan lahan didominasi lahan terbangun justru akan semakin mengurangi besarnya air yang masuk ke dalam tanah.

Penelitian ini bertujuan untuk (1). Mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya penurunan cadangan air tanah di CAT Jakarta; (2) Menganalisis pengaruh pertumbuhan penduduk dan perubahan penggunaan lahan terhadap penurunan cadangan air tanah di CAT Jakarta melalui model sistem dinamis, serta

(3) Menganalisis skenario yang dapat diterapkan dalam melestarikan air tanah di CAT Jakarta.

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan *mix method* yang menggabungkan pendekatan kuantitatif dan pendekatan kualitatif. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk menganalisis faktor-faktor yang berpengaruh terhadap air tanah, antara lain penduduk, penggunaan lahan dan cadangan air tanah. Pendekatan kualitatif digunakan untuk mencari informasi yang berasal dari informan dengan cara wawancara dengan kriteria inklusi tertentu yang berkaitan dengan jenis data dan informasi yang tidak terukur. Menurut taraf analisisnya, penelitian menggunakan pendekatan deskriptif analitik untuk menjelaskan tentang fakta yang terjadi saat ini dengan menggunakan sistem model dinamis. Sistem dinamis yang diterapkan tidak mempertimbangkan proses-proses yang terjadi di dalam sistem hidrogeologi CAT Jakarta. Metode penelitian yaitu dengan interpretasi citra satelit dan survey lapangan. Analisis yang digunakan untuk menjawab tujuan penelitian menggunakan permodelan sistem dinamik. Batas permodelan pada sistem dinamik cadangan air tanah tersebut hanya pada subsistem air tanah, subsistem penduduk dan subsistem lahan. Proses validasi digunakan untuk mengetahui validitas model sehingga dapat digunakan untuk pembuatan skenario upaya pelestarian sumber daya air tanah di CAT Jakarta.

Hasil penelitian menunjukkan beberapa hal yaitu:

1. Terjadi perubahan pertumbuhan penduduk sebesar 2,52% per tahun. Pertumbuhan penduduk dipengaruhi oleh laju kelahiran dan laju kematian. Faktor mobilitas penduduk dalam bentuk urbanisasi dan migrasi tidak dipertimbangkan dalam penelitian sebab dianggap bahwa mobilitas penduduk terbesar hanya berasal dari daerah penelitian sendiri sehingga yang terjadi adalah mobilisasi internal;
2. Perubahan penggunaan lahan yang terjadi adalah perubahan lahan yang dapat dibangun menjadi lahan terbangun. Lahan yang dapat dibangun berupa lahan kosong dan lahan yang bervegetasi. Laju pembangunan sebesar 0,8% per tahun yang umumnya terjadi di daerah pinggiran dari daerah penelitian. Untuk kota Jakarta yang secara keseluruhan berada di dalam daerah penelitian, dianggap tidak terjadi perubahan penggunaan lahan lagi sebab telah berupa lahan terbangun. Perubahan yang terjadi hanya perubahan fungsi lahan misalnya lahan permukiman menjadi lahan perdagangan;
3. Berdasarkan model, faktor-faktor utama yang mempengaruhi penurunan cadangan air tanah antara lain: menurunnya luas lahan bervegetasi, meningkatnya lahan terbangun, meningkatnya jumlah penduduk dan rendahnya layanan air PAM;
4. Model yang dibuat mempunyai validasi yang menggunakan AME sebesar 3,31% untuk stok penduduk dan 0,02% untuk stok lahan sehingga model

dianggap valid. Uji validitas tidak diterapkan untuk stok cadangan air tanah sebab adanya keterbatasan. Secara umum, model dianggap valid;

5. Pada analisis pertumbuhan penduduk, laju pertumbuhan penduduk sebesar 2,52% per tahun mengakibatkan terjadinya penurunan cadangan air tanah sebesar 0,49% per tahun. Penurunan tersebut sebagai akibat dari semakin meningkatnya volume kebutuhan air penduduk per tahun sedangkan faktor layanan air PAM tetap. Dengan demikian, sebagian penduduk akan tetap menggunakan air tanah sebagai sumber airnya;
6. Peningkatan lahan terbangun sebesar 0,8% per tahun mengakibatkan penurunan cadangan air tanah sebesar 0,49% per tahun. Peningkatan lahan terbangun menyebabkan semakin berkurangnya luas lahan yang dapat dibangun (berupa lahan bervegetasi dan lahan kosong) sehingga air hujan yang jatuh lebih banyak menjadi limpasan permukaan dibandingkan dengan air yang terimbuh ke dalam tanah;
7. Cadangan air tanah dipengaruhi oleh *inflow* dari laju imbuhan, dan *outflow* dari laju pengambilan dan evaporasi. Laju imbuhan dipengaruhi oleh faktor infiltrasi yang memberikan *delay* terhadap pembentukan air tanah sehingga air hujan yang berpotensi mengimbuh ke dalam tanah tidak serta merta menjadi air tanah dalam akuifer. Laju pengambilan tidak mengalami *delay* sehingga air tanah dapat langsung diambil melalui sumur-sumur pengambilan. Pada *outflow* evaporasi, besaran evaporasi bersifat tetap dan menjadi konstanta dalam model.
8. Model dasar kemudian dijadikan sebagai dasar dalam pembuatan skenario pelestarian air tanah. Penelitian dengan mengusulkan 4 (empat) skenario yaitu penurunan luas lahan terbangun (Skenario I), penurunan angka kelahiran (Skenario II), peningkatan layanan air PAM (Skenario III) dan gabungan antara penurunan angka kelahiran dan peningkatan layanan air PAM (Skenario IV).
9. Perilaku *exponential collapse* ditunjukkan dalam model dengan laju penurunan cadangan air tanah per tahun yang berbeda-beda pada setiap skenario yang diterapkan. Pada skenario I, penurunan laju sebesar 0,49%, pada skenario II, penurunan laju sebesar 0,22%, pada skenario III sebesar 0,10% dan pada skenario IV sebesar 0,06% per tahun. Penurunan laju terendah cadangan air tanah terjadi pada Skenario IV.

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Faktor-faktor yang mempengaruhi penurunan cadangan air tanah antara lain: menurunnya luas lahan resapan, meningkatnya lahan terbangun, meningkatnya jumlah penduduk, rendahnya laju imbuhan dan rendahnya layanan air PAM;
2. Model hubungan antara pertumbuhan penduduk dan perubahan penggunaan lahan dari lahan bervegetasi menjadi lahan terbangun memberikan hasil simulasi dengan hasil valid. Model menggunakan fungsi *delay* pada limpasan permukaan dan proses imbuhan. Berdasarkan model dasar, maka peningkatan lahan terbangun sebesar 0,8% per tahun serta laju pertumbuhan penduduk

sebesar 2,52% per tahun mengakibatkan penurunan cadangan air tanah sebesar 0,49% per tahun; dan

3. Model dasar kemudian digunakan untuk pembuatan skenario pelestarian air tanah yang dalam hal ini, penelitian mengusulkan 4 (empat) skenario yaitu: penurunan luas lahan terbangun (Skenario I), penurunan angka kelahiran (Skenario II), peningkatan layanan air PAM (Skenario III) dan gabungan antara penurunan angka kelahiran dan peningkatan layanan air PAM (Skenario IV). Hasil simulasi menunjukkan bahwa Skenario IV merupakan skenario optimis yang mempunyai peluang terbesar untuk diterapkan dan memberikan keberlangsungan air tanah lebih baik dibandingkan dengan skenario lainnya.

Daftar Kepustakaan: 92 (dari tahun 1980-2011)



**Summary**  
**Study Program Environmental Sciences**  
**Post Graduate University of Indonesia**  
**Thesis, July 2011**

- A. Name** : **Ferryati Masitoh**
- B. Thesis's Title** : **The Effect Of Population And Land Use On Groundwater (Case Study: Groundwater Reserves Decline In Jakarta Groundwater Basin)**
- C. Number of Pages** : **Initial pages 25 pages, 148 pages, 28 Tables, 36 Illustrations**

Water is one of the resources that are essential in meeting human needs, whether in the form of groundwater or surface water. An increase in population will also increase the need for water. A water need, which is sourced from surface water, has not met the standard qualification to be consumed. If the surface water wants to be consumed, it must be through a water treatment with specific methods to improve quality. Integrated water treatment has actually been carried out by a company provider of drinking water (PAM). The limitation of production causes water PAM not much enjoyed by most of the population. It became one of the reasons for the population to take groundwater that ultimately resulted in the increasing the uptake of ground water.

Groundwater from shallow aquifer in Jakarta Groundwater Basin is considered to have decrease in quality so as not fit for use. As a result, most of the population and activities / businesses switched to using ground water in sufficient supply for its water needs. This resulted in the extraction of ground in the more intensive as well. On the other hand the taking of groundwater is not comparable to the ability of the formation of ground water. Formation of ground water is very dependent on the amount of water that infiltrated into the ground. In fact, land use is dominated by built up area would further reduce the amount of water that goes into the ground.

This research aims to (1) Find out the factors that led to a decrease in groundwater reserves in the Jakarta Groundwater Basin; (2) Analyze the effects of population growth and land use change on groundwater reserves decline in Jakarta Groundwater Basin through dynamic system models, and (3) Analyze the scenarios that can be applied in preserving groundwater in the Jakarta Graoundwater Basin.

This research combines both quantitative and qualitative approach. The quantitative approach used to analyze the factors that influence the groundwater,

including population, land use and groundwater reserves. Qualitative approach is used to seek information from the informant by interview with the specific inclusion criteria relating to the type of data and information that is not measurable. According to the stage of analyzes, the research uses descriptive analytical approach to explain the fact that there currently using the system dynamic model. Dynamic system that is applied does not consider the processes that occur in the hydrogeologic system of Jakarta Groundwater Basin. The research method is by interpretation of satellite imagery and field survey. The analysis used to answer research purposes using dynamic system modeling. The boundary of the dynamic system modeling of groundwater reserves only in groundwater subsystem, land subsystem and population subsystem. The validation process is used to determine the validity of the model so that it can be used for build scenarios conservation of groundwater resources in Jakarta Groundwater Basin.

The results showed several things:

1. There were changes in population growth rate of 2.52% per year. Population growth is influenced by birth rate and death rate. Factor of population mobility in the form of urbanization and migration are not considered in the study because the largest population is considered that the mobility is only from his own research area is so internal mobilization;
2. Land use change occurs from the vacant land and vegetated area into built up area. The rate of land changes of 0.8% per year, which generally occurred on the suburb of the study area. For the whole city of Jakarta which is in the study area, is considered not happen again because of land use has been change to built up area. Changes that occur only a land use change such as settlement land into commercial land;
3. Based on the model, the main factors affecting the decline in groundwater reserves, among others: the decrease vegetated area, increased built up area, the increasing population and lack of drinking water service;
4. The model will be to have validation that uses AME of 3.31% for the stock population and 0.02% for the stock of land so that the model is considered valid. Validity test is not applied to stock of groundwater reserves because of the limitations. In general, the model is considered valid;
5. In the analysis of population growth, population growth rate of 2.52% per year resulted in the decrease of ground water reserves of 0.49% per annum. The decline was as a result of the increasing volume of water needs of population per year while fixed piped water service factor. Thus, some residents will continue to use groundwater as a source of water;
6. Improved built up area by 0.8% per year resulted in a decrease of ground water reserves of 0.49% per annum. Improved wake caused the reduction in

vegetated area, so that rain water that falls more into surface runoff compared with the infiltrated water into the soil;

7. Ground water reserve is influenced by the inflow from the recharge rate, and outflow from the rate of uptake and evaporation. The rate of infiltration recharge is affected by factors that provide delay against the formation of ground water so that potentially infiltrated to aquifer. Extra rain into the ground does not necessarily become ground water in the aquifer. Rate-making does not suffer from delays so that ground water can be directly taken through retrieval wells. At the outflow evaporation, the amount of evaporation are fixed and become a constant in the model.
8. The basic model then used as the basis to build the groundwater conservation scenarios. Research proposed 4 (four) models, which are: reduction of built up area scenarios (Scenario I), decrease in birth rate (Scenario II), improved drinking water service (Scenario III) and a combination of decreasing birth rate and increase in drinking water service (Scenario IV).
9. Collapse exponential behavior shown in the model with the rate of depletion of ground water reserves per year varying in each scenario is applied. In scenario I, the decrease rate of 0.49%, in scenario II, the decrease rate of 0.22%, in scenario III by 0.10% and in scenario IV by 0.06%. The lowest rate of decline in groundwater reserves occur in Scenario IV.

Based on research results, it can be concluded as follows:

1. Factors affecting the decline in groundwater reserves include: reduced recharge area, increased awakened land, the increasing population, the low rate of recharge and low piped water service;
2. The relationship model between population growth and land use change from vegetated area into built up area gives the simulation results is valid. Models using the delay function on the recharge processes. According to the model, improved built land by 0.8% per year and population growth rate of 2.52% per year resulted in a decrease of ground water reserves of 0.49% per year; and
3. The basic model is then used to build the ground water conservation scenarios. The scenarios are: a decrease in built up area (Scenario I), decrease in birth rate (Scenario II), improved drinking water service (Scenario III) and combination of decreasing birth rate and increase in drinking water service (Scenario IV). The simulation results show that Scenario IV is an optimistic scenario that has the greatest opportunity to apply and provide continuity of ground water is better than other scenarios.

Bibliography: 92 (from year 1980 to 2011)

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Air adalah sumber daya alam yang sangat penting bagi kehidupan. Tanpa air, tak akan ada kehidupan di bumi. Air yang ada di bumi sebagian besar berupa air laut, air permukaan (air sungai, air danau, cekungan tanah/*storage*), air tanah, berwujud uap air di atmosfer, dan salju. Beberapa jenis air tersebut dimanfaatkan untuk kehidupan makhluk hidup terutama yang berupa air tawar, antara lain air tanah, air hujan, dan air permukaan.

Beberapa manfaat air tawar bagi manusia terutama untuk menunjang kehidupannya, misalnya untuk keperluan rumah tangga dan industri. Secara khusus untuk keperluan rumah tangga, air tawar diperoleh dari dua sumber utama yaitu air permukaan dan air tanah. Air permukaan umumnya tidak layak bila dijadikan sumber pasokan air bersih, terutama di kota besar seperti Jakarta. Selain menggunakan air permukaan, air untuk keperluan rumah tangga juga dipasok dari air tanah, baik dari air tanah dangkal maupun air tanah dalam. Air tanah dalam lebih sulit diperoleh bila dibandingkan dengan air tanah dangkal, karena untuk memperolehnya memerlukan teknologi dengan biaya yang relatif lebih mahal. Hanya masyarakat golongan tertentu yang dapat memperoleh air tanah dalam dengan mudah. Di sisi lain, keadaan air tanah dangkal yang relatif mudah diperoleh, pada umumnya telah tercemar oleh kegiatan industri, kegiatan rumah tangga, dan akibat intrusi air laut.

Pertumbuhan penduduk yang pesat dan peningkatan aktivitas serta kehidupan harus diikuti dengan pemenuhan kebutuhan air bersih untuk kepentingan rumah tangga, industri, pertanian, dan lainnya. Di Jakarta, kebutuhan air bersih untuk sebagian warganya telah dipasok dari Perusahaan Air Minum (PAM). Air dari PAM berasal dari pengolahan air permukaan (sungai) sehingga diperoleh kualitas air yang lebih layak untuk dikonsumsi. Penggunaan air dari PAM sebenarnya adalah salah satu langkah nyata dalam penghematan pengambilan air tanah. Pada kenyataannya, air dari PAM tidak mampu mencukupi kebutuhan air bersih secara keseluruhan. Ketidakmampuan tersebut disebabkan oleh produksi yang terbatas

akibat terbatasnya suplai air baku, distribusi serta masalah kualitas air yang kadang kala kurang memenuhi standar baku pada waktu-waktu tertentu. Untuk mengatasi kekurangan pasokan air PAM, maka air tanah menjadi tumpuan warga untuk memenuhi kebutuhan air bersih.

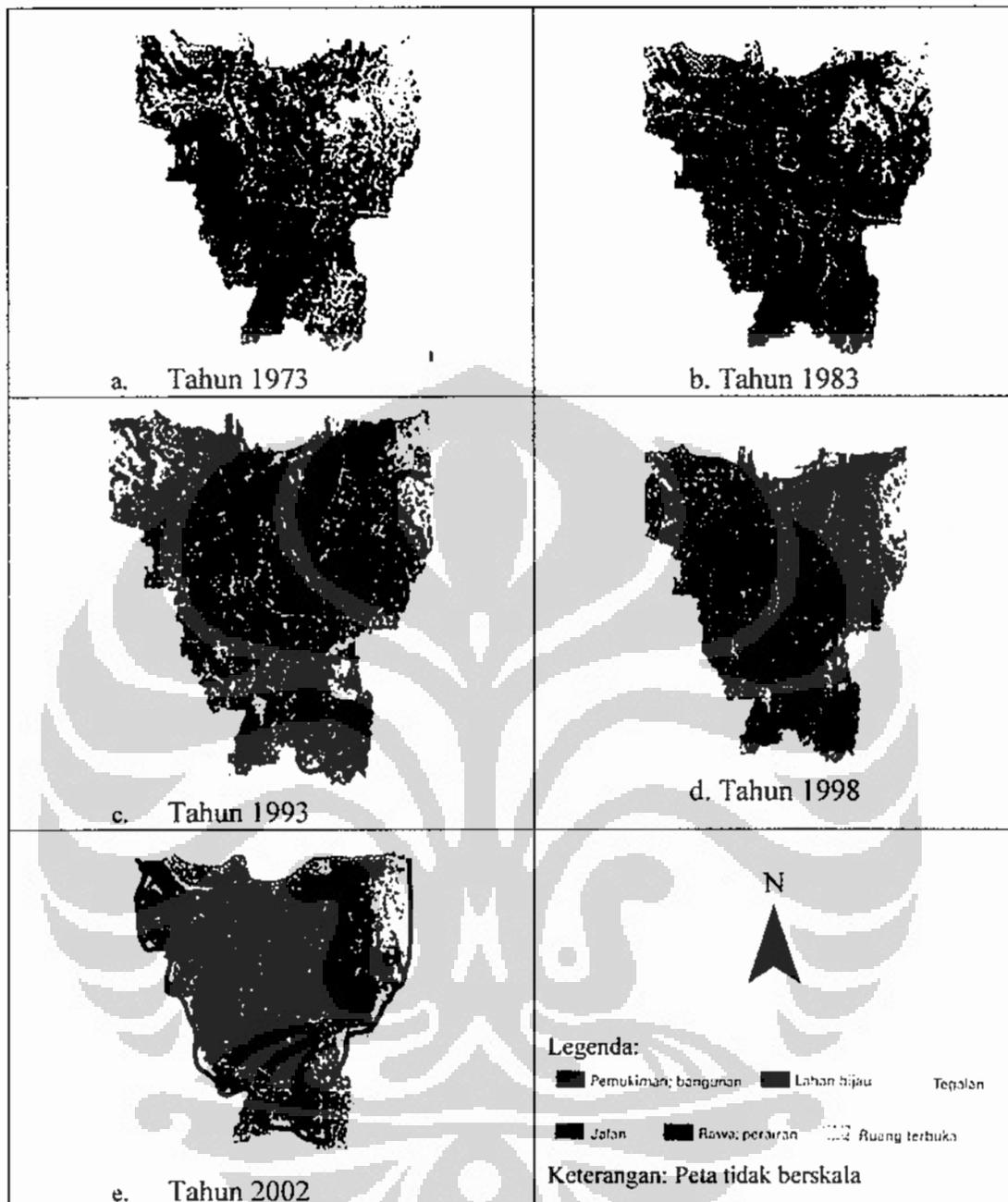
Tabel 1.1 Kebutuhan Air di DKI Jakarta

No	Kota/Kab	Kebutuhan Air (Juta m <sup>3</sup> )				Jumlah
		Pertanian	Industri	Domestik Rumah Tangga Dan Konsumen Lainnya)	Konsumen Lain	
1	Jakarta Selatan	-	2.10	152.39	38.26	192.75
2	Jakarta Timur	5.74	4.74	175.64	44.10	230.22
3	Jakarta Pusat	-	1.64	64.53	16.20	82.37
4	Jakarta Barat	4.65	10.91	157.62	39.57	212.75
5	Jakarta Utara	5.05	8.98	105.41	26.46	145.90
6	Kep. Seribu	-	-	1.45	0.36	1.81
<b>DKI JAKARTA</b>		<b>15.44</b>	<b>28.37</b>	<b>657.04</b>	<b>164.95</b>	<b>865.80</b>

Sumber: BPS (2008), diolah

Berdasarkan Tabel 1.1, kebutuhan air untuk kegiatan domestik di Jakarta pada tahun 2008 adalah yang terbesar dibandingkan dengan kebutuhan lainnya yaitu 657,04.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Jumlah kebutuhan besar tersebut tidak dapat dipenuhi secara langsung oleh air PAM, sehingga kebutuhan air dipasok dari air tanah (BPLHD, 2009).

Keterangan dari Anwar (*dalam* Arsyad, 2008:116) menjelaskan bahwa jumlah pengambilan air tanah, baik untuk kegiatan rumah tangga dan bukan rumah tangga pada tahun 2003 sebesar 23,21 juta m<sup>3</sup>/tahun. Angka ini telah melampaui kemampuan daya resapan air di zona resapan tinggi Jakarta. Permasalahan lain yang muncul adalah adanya perubahan penggunaan lahan dari lahan hijau menjadi lahan terbangun terutama di zona-zona resapan air.



Sumber : Majalah *National Geographic* Indonesia, Edisi Agustus 2009 (dalam Ali, 2009)

Gambar 1.1. Perubahan penggunaan lahan di Kota Jakarta

Perubahan penggunaan lahan terutama lahan hijau menjadi permukiman dan bangunan atau lahan terbangun di Kota Jakarta terjadi cukup signifikan. Berdasarkan Gambar 1.1, dari citra satelit perekaman tahun 1973, 1983, 1993, 1998, dan 2002, terlihat terjadinya perubahan penggunaan lahan di semua wilayah Jakarta. Laju pertumbuhan permukiman dan bangunan semakin banyak pada periode tahun 1990an seperti yang terlihat pada gambar tahun 1993 dan

1998. Pada periode tersebut, lahan bervegetasi terkonsentrasi di wilayah selatan. Dari gambar tahun 2002, wilayah selatan yang sebelumnya relatif hijau mulai terkonversi menjadi lahan terbangun terutama untuk permukiman dan bangunan, sedangkan lahan bervegetasi hanya pada lokasi tertentu saja. Kondisi tersebut tidak lepas dari dampak pertumbuhan Kota Jakarta yang berimbas pada perkembangan wilayah kota-kota di sekitarnya. Perubahan penggunaan lahan dari lahan bervegetasi menjadi lahan terbangun akan mengakibatkan perubahan pada siklus hidrologi. Lahan terbangun akan mengurangi besarnya air yang meresap ke dalam tanah yang kemudian akan mengurangi cadangan air tanah.

Keputusan untuk mengambil air tanah adalah satu keputusan yang tidak bijaksana karena seharusnya air tanah adalah cadangan air yang hanya dimanfaatkan pada kondisi kritis (Djajadiningrat, 2001:274). Dikaitkan dengan air tanah Jakarta, Ali (2009) menjelaskan bahwa Jakarta Utara adalah daerah kritis air tanah, sedangkan sebagian Jakarta Barat, sebagian Jakarta Pusat dan sebagian Jakarta Timur termasuk daerah rawan air tanah, dan sisanya adalah daerah waspada air tanah. Terkait dengan sebaran permukiman dan bangunan, maka zona kritis dan rawan ternyata menjadi wilayah konsentrasi tinggi permukiman dan bangunan, tepatnya di Jakarta Utara, Jakarta Pusat, dan Jakarta Timur.

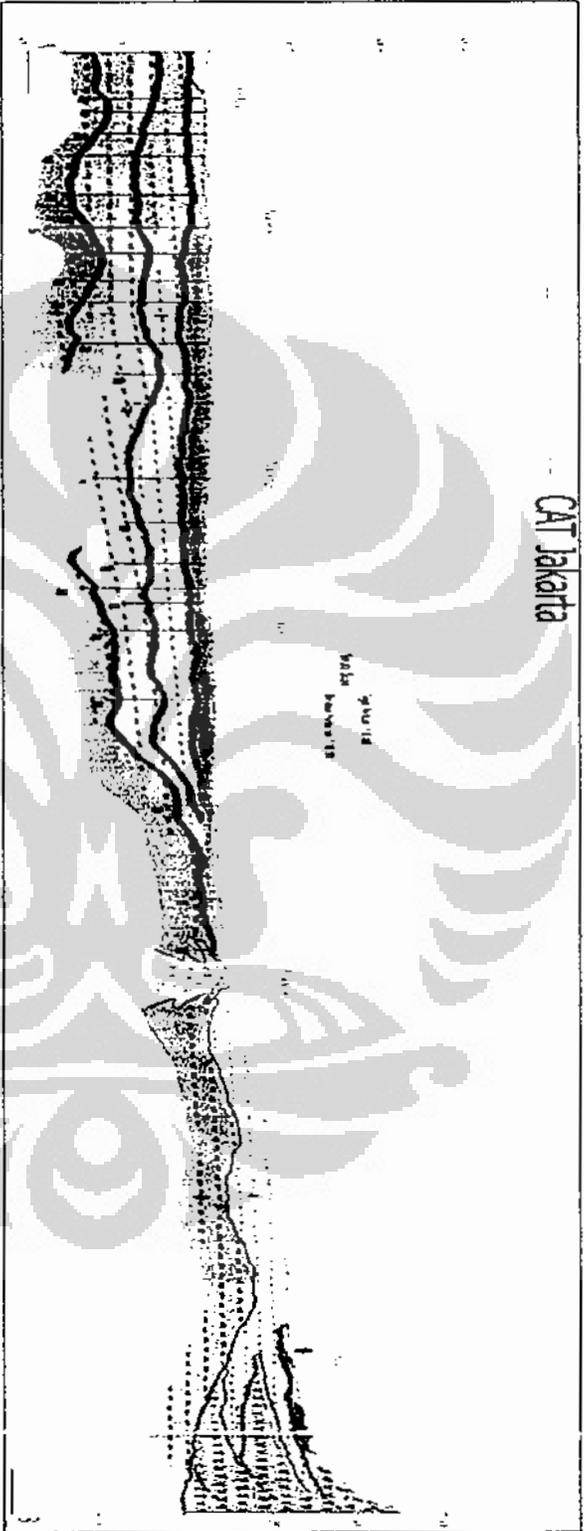
Berdasarkan Peta Hidrogeologi Skala 1:250.000 dari Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, dijelaskan bahwa Jakarta terletak di Cekungan Air Tanah (CAT) Jakarta yang terbentuk dari beberapa endapan antara lain:

- a. Endapan *alluvium* pantai dengan perselang-selingan endapan lempung dan pasir sehingga menyebabkan kelulusan kecil hingga sedang
- b. Endapan batulempung dan batupasir dengan kelulusan rendah
- c. Endapan batugamping terumbu pejal dengan dan batu gamping berlapis dengan tingkat pembentukan karst yang beragam sehingga menyebabkan kelulusan rendah hingga tinggi
- d. Endapan lanau, pasir, kerikil dan kerakal, aglomerat dan pasir sungai, dengan kelulusan sedang hingga tinggi

Kondisi hidrogeologi yang dicirikan dengan endapan-endapan yang bervariasi tersebut akan menentukan ketersediaan air tanah di CAT Jakarta. Lapisan pembentuk air di Jakarta terpengaruh oleh kegiatan vulkanik kwarter Bogor yang menghasilkan endapan pasiran yang tersebar di seluruh Jakarta. Untuk Jakarta Utara, selain mendapat pengaruh kegiatan vulkanik kwarter tersebut, lapisan pembentuk airnya juga dipengaruhi oleh kegiatan *marine* (laut) sehingga menghasilkan endapan berupa batu gamping.

Gambar 1.2. adalah penampang melintang CAT Jakarta dengan arah Utara-Selatan. Zona biru adalah lapisan pembentuk air dengan kedalaman lapisan 200 m dengan material yang didominasi oleh pasir. Zona hijau yang terletak di daerah Bulak Kulon, Kota Depok sisi selatan, adalah batuan intrusi dari vulkanik kwarter yang berupa andesit, granit dan diorit yang mempunyai kelulusan rendah. Bila dilihat dari Arah Selatan ke Utara, terlihat bahwa CAT Jakarta secara hidrogeologi tidak terlalu terpengaruh oleh zona resapan di daerah Bogor meskipun adalah satu kesatuan DAS dari DAS Ciliwung-Cisadane. Hal ini karena batuan instrusi menjadi penghalang aliran air dari resapan di daerah Bogor ke aliran air tanah dalam CAT Jakarta.

Hal yang perlu dicermati selanjutnya adalah sebagian besar wilayah CAT Jakarta secara hidrogeologi terbentuk dari material pasir dan lempung serta memiliki produktivitas akuifer sedang hingga tinggi (Puspowardoyo, 1986). Produktivitas akuifer yang tinggi memberikan ketersediaan air yang banyak bagi CAT Jakarta. Akuifer di Jakarta terdiri dari akuifer tak tertekan dan akuifer tertekan. Akuifer tak tertekan berada hingga kedalaman 40 m dan akuifer tertekan hingga kedalaman lebih dari 40 m. BPLHD Provinsi DKI Jakarta menjelaskan bahwa penduduk sebagian besar mengambil air di akuifer tak tertekan, sedangkan sebagian besar industri mengambil air dari akuifer tertekan yang mempunyai produktifitas lebih tinggi dibanding akuifer tak tertekan. Dwiyanto (2007:7) memberikan keterangan bahwa banyak industri atau hotel yang memiliki lebih dari satu sumur produksi, bahkan ada satu perusahaan yang memiliki sampai lebih dari 20 sumur dengan pengambilan lebih dari 8.000 m<sup>3</sup> per hari.



Gambar 1.2 Penampang melintang CAT Jakarta  
(Sumber: Puspwardoyo, 1986)

Pengambilan air tanah adalah salah satu hal yang menjadi penyebab terjadinya penurunan muka tanah selain karena faktor berat bangunan, proses *settlement* pada tanah dan proses geologi. Penurunan muka tanah yang terus menerus akan berakibat pada akan membahayakan penduduk dan segala aktivitasnya terutama di berbagai bangunan tinggi seperti industri, apartemen, hotel, dan sebagainya. Selain itu, pengambilan air tanah yang dilakukan terus-menerus akan memberikan dampak pada keberlanjutan aktifitas di wilayah tersebut. Dalam hal ini terkait dengan ketersediaan sumber daya air tanah yang diperlukan untuk berbagai aktifitas penduduk.

Pelestarian sumber daya air tanah perlu dilakukan salah satunya dengan mengetahui hubungan antara berbagai faktor yang mempengaruhi ketersediaan air tanah khususnya pertumbuhan penduduk serta perubahan penggunaan lahan. Untuk itu peneliti tertarik untuk mengkaji mengenai berbagai faktor yang mempengaruhi cadangan air tanah tersebut sehingga dapat menjadi salah satu masukan dalam upaya pelestarian sumber daya air tanah.

## **1.2 Permasalahan**

Air adalah salah satu sumber daya yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan manusia, baik yang berupa air tanah atau air permukaan. Pertambahan jumlah penduduk akan turut meningkatkan kebutuhan air. Kebutuhan air yang bersumber dari air permukaan pada umumnya telah mengalami penurunan kualitas sehingga tidak layak dikonsumsi. Untuk meningkatkan kualitas airnya agar dapat dikonsumsi, air permukaan harus melalui pengolahan air terlebih dahulu dengan metode tertentu yang saat ini sebenarnya telah dilakukan oleh perusahaan penyedia air minum (PAM). Air PAM yang mempunyai produksi terbatas menyebabkan air PAM tidak banyak dinikmati oleh sebagian penduduk. Hal tersebut menjadi salah satu alasan bagi penduduk untuk mengambil air tanah yang pada akhirnya mengakibatkan semakin tingginya pengambilan air tanah.

Air tanah yang berasal dari air tanah dangkal di CAT Jakarta dianggap telah mengalami penurunan kualitas sehingga tidak layak digunakan. Sebagai dampaknya, sebagian penduduk dan kegiatan/usaha beralih menggunakan air

tanah dalam untuk mencukupi pasokan kebutuhan airnya. Hal ini mengakibatkan pengambilan air tanah dalam semakin intensif pula. Di sisi lain pengambilan air tanah tidak sebanding dengan kemampuan pembentukan air tanah. Pembentukan air tanah sangat bergantung pada banyaknya air yang terinfiltrasi ke dalam tanah. Pada kenyataannya, penggunaan lahan didominasi lahan terbangun justru akan semakin mengurangi besarnya air yang masuk ke dalam tanah.

Ketidakseimbangan antara pembentukan air tanah dan pengambilan air tanah menyebabkan semakin tingginya potensi penurunan cadangan air tanah yang pada akhirnya menyebabkan terjadinya kekurangan suplai air di kemudian hari. Faktor-faktor dalam pembentukan dan pengambilan air tanah tersebut serta pengaruhnya terhadap cadangan air tanah perlu diketahui sehingga akan dapat dirumuskan cara terbaik dalam upaya pelestarian air tanah. Masalah yang kemudian diangkat dalam penelitian ini adalah bahwa terjadinya penurunan cadangan air tanah di CAT Jakarta disebabkan oleh pertumbuhan penduduk dan perubahan penggunaan lahan.

### **1.3 Pertanyaan Penelitian**

Berdasarkan permasalahan pada subbab 1.2, maka pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Faktor-faktor apa yang menyebabkan terjadinya penurunan cadangan air tanah di CAT Jakarta?
2. Bagaimana hubungan antar faktor dan pengaruhnya terhadap cadangan air tanah sehingga menyebabkan terjadinya penurunan cadangan air tanah Jakarta?
3. Bagaimana skenario yang dapat diterapkan sehingga akan mampu untuk melestarikan air tanah di CAT Jakarta?

### **1.4 Tujuan Penelitian**

#### **1.4.1 Tujuan Umum**

Mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh pada cadangan air tanah di CAT Jakarta dan menganalisis hubungan setiap faktor sehingga dapat dirumuskan skenario pelestariannya.

### **Universitas Indonesia**

### 1.4.2 Tujuan Khusus

Tujuan khusus dalam penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya penurunan cadangan air tanah di CAT Jakarta;
2. Menganalisis pengaruh pertumbuhan penduduk dan perubahan penggunaan lahan pada penurunan cadangan air tanah di CAT Jakarta melalui model *system dynamics*; dan
3. Menganalisis skenario yang dapat diterapkan dalam pelestarian air tanah di CAT Jakarta.

### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Bagi Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, Pemerintah Kota Depok, Pemerintah Kota Tangerang, Pemerintah Kota Tangerang Selatan, Pemerintah Kabupaten Tangerang, Pemerintah Kota Bekasi dan Pemerintah Kabupaten Bekasi, data dan informasi ilmiah dan model yang diperoleh dari hasil penelitian ini diharapkan dapat sebagai bahan masukan dalam upaya melestarikan air tanah di terutama di CAT Jakarta.
2. Bagi masyarakat dan pelaku usaha, dari hasil penelitian ini minimal dapat menjadi bahan pemikiran untuk tidak terus menerus mengambil air tanah karena akan berdampak buruk terhadap keberlanjutan CAT Jakarta.
3. Bagi pengembangan ilmu lingkungan, penelitian ini diharapkan sebagai masukan untuk melestarikan air tanah di kawasan perkotaan.

### 1.6 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian adalah pada analisa hubungan antara penduduk, penggunaan lahan serta cadangan air tanah melalui model diagram simpal kausal di CAT Jakarta.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup

Undang-undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup menyatakan bahwa perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup merupakan upaya sistematis dan terpadu yang dilakukan untuk melestarikan fungsi lingkungan hidup dan mencegah terjadinya pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup yang meliputi perencanaan, pemanfaatan, pengendalian, pemeliharaan, pengawasan, dan penegakan hukum untuk mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan, upaya sadar dan terencana yang memadukan aspek lingkungan hidup, sosial, dan ekonomi ke dalam strategi pembangunan untuk menjamin keutuhan lingkungan hidup serta keselamatan, kemampuan, kesejahteraan, dan mutu hidup generasi masa kini dan generasi masa depan.

Undang-undang tersebut merupakan salah satu instrumen pemerintah dalam melindungi dan mengelola lingkungan hidup yang terus mengalami kemerosotan fungsi. Suparmoko (2000:2) menyebutkan bahwa penurunan fungsi lingkungan disebabkan oleh sifat yang melekat pada lingkungan itu sendiri sehingga menyebabkan manusia mengeksploitasi secara berlebihan. Beberapa ciri tersebut adalah:

a. Barang Publik

Lingkungan sebagai barang publik memberikan konsekuensi terhadap terbengkalainya lingkungan karena tidak akan ada swasta atau individu yang mau memelihara atau mengusahakan kelestariannya.

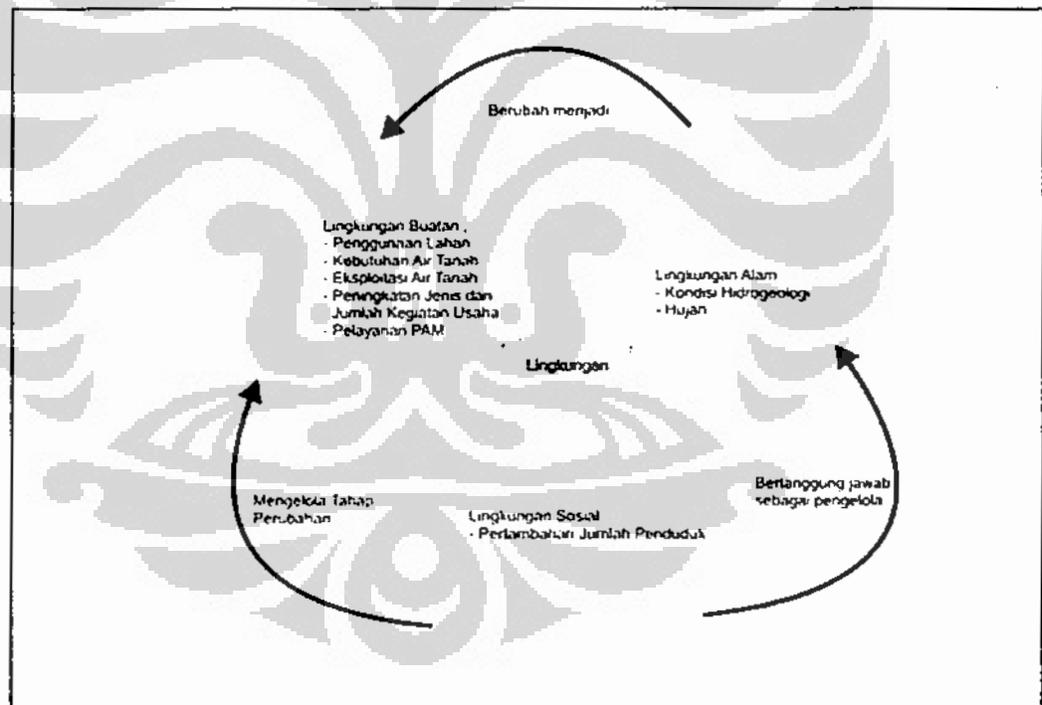
b. Milik Umum/Pemilikan Bersama

Pemilikan bersama dapat diartikan sebagai bukan milik seseorang atau juga milik setiap orang. Kepemilikan yang bersifat milik seseorang akan mengakibatkan kecenderungan untuk mengeksploitasi sumber daya alam dan lingkungan secara berlebihan.

### c. Eksternalitas

Eksternalitas muncul bila seseorang melakukan suatu kegiatan dan menimbulkan dampak pada orang lain dapat dalam bentuk manfaat eksternal atau biaya eksternal yang semuanya tidak memerlukan kewajiban untuk menerima atau melakukan pembayaran.

Secara umum, lingkungan hidup memuat 3 (tiga) komponen utama yaitu lingkungan hidup alam, lingkungan hidup binaan, dan lingkungan hidup sosial. Ketiga lingkungan hidup tersebut dalam hal ini sebagai obyek pengelolaan. Lingkungan yang berkaitan dengan pengelolaan air tanah memuat ketiga komponen tersebut sehingga diperlukan pengelolaan yang selaras, serasi, dan seimbang. Ilustrasi pada Gambar 2.1 menggambarkan kondisi ketiga lingkungan hidup tersebut dengan penyesuaian pada tema penelitian.



Gambar 2.1. Keterkaitan antara komponen dalam lingkungan hidup (Sumber: Soerjani: 2006), diolah

Sifat lingkungan tersebut menjadi salah satu penyebab timbulnya kemerosotan lingkungan sehingga perlu ada tindak lanjut untuk melestarikan lingkungan melalui berbagai kebijakan oleh pemerintah dan diimbangi oleh kesadaran masyarakat. Kewajiban pengelolaan lingkungan melalui kebijakan pemerintah

diperlukan karena pihak swasta atau individu cenderung mengabaikan untuk mengelola dan mengusahakan lingkungan.

Sumberdaya air tanah dapat menjadi contoh sumberdaya yang bersifat barang publik dan memiliki sifat eksternalitas. Pasar/swasta tidak dapat melayani air tanah secara efektif dan membutuhkan intervensi dari pemerintah. Kebijakan pemanfaatan sumberdaya air tanah sebagai salah satu kebijakan publik perlu memperhatikan keterkaitan antara kondisi dan kekuatan lingkungan yang mempengaruhi munculnya kebijakan serta perilaku dan proses yang terjadi.

Anwar (2008:120-121) menyebutkan bahwa penentu kebijakan air di sektor pemerintah umumnya masih merasa berkewajiban untuk memikul biaya-biaya penyimpanan sumber daya air dan distribusinya tanpa harus dibayar secara wajar oleh masyarakat, sehingga status dan anggapan masyarakat terhadap sumber daya air lebih mengarah pada sumber daya "milik bersama" (*common property resources*). Padahal secara ekonomi, apabila suatu sumber daya air tidak diberikan hak-hak yang jelas (*exclusive property right*) dalam hak-hak penggunaan air (*water right*) dan keadaan yang menyebabkan tidak efektifnya organisasi asosiasi pemakai air serta terjadinya kekurangan dalam struktur mekanisme kelembagaan dalam alokasi air akan menimbulkan banyak kemubadziran (*inefficiency*). Keadaan tersebut mencerminkan bahwa kelangkaan sumber daya air belum atau tidak dapat dirasakan oleh masyarakat, atau dengan kata lain, sikap masyarakat pemakai air dalam menggunakan air belum memandang sebagai sesuatu barang yang langka (*registered water scarcity*).

## **2.2 Cadangan Air Tanah**

### **2.2.1 Faktor-Faktor yang Menentukan Cadangan Air Tanah**

#### **2.2.1.1 Faktor Pembentuk Air Tanah**

Undang-undang Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air menyatakan bahwa air tanah adalah air yang terdapat dalam lapisan tanah atau batuan di bawah permukaan tanah. Air tanah terbentuk di dalam cekungan air tanah yang merupakan suatu wilayah yang dibatasi oleh batas hidrogeologis, tempat semua

kejadian hidrogeologis seperti proses peresapan, pengaliran, dan pelepasan air tanah berlangsung.

Air tanah berasal dari imbuhan air tanah yang berasal dari air hujan yang masuk ke zona jenuh air. Tiga faktor utama yang mengontrol aliran air tanah seperti yang disebutkan oleh Winter (*dalam* Healy, 2002:92) yaitu iklim, topografi, dan faktor geologi. Unsur curah hujan merupakan unsur iklim yang paling berperan dalam imbuhan air tanah. Air hujan yang jatuh di permukaan bumi masuk ke dalam tanah sebagai infiltrasi. Topografi akan memberikan kontrol aliran air tanah misalnya pada kemiringan hidrolis air tanah yang akan menentukan kecepatan aliran air tanah. Materi penyusun geologi berperan dalam menyediakan kelulusan (*transmissivitas*) air untuk aliran air tanah pada lapisan yang lebih dalam.

Hujan merupakan sumber utama air tanah. Pada tahap lebih lanjut, masukan yang menjadi air tanah bergantung pada kemampuan infiltrasinya. Tingkat infiltrasi air tanah ditentukan oleh materi batuan, tingkat kejenuhan tanah, lama hujan, jenis tutupan vegetasi di permukaan tanah, dan penggunaan lahan. Iklim dan kondisi tanah akan memberikan air sehingga mencapai muka air pada tingkat yang lebih banyak pada zona jenuh. Materi penyusun geologi akan memberikan permeabilitas untuk meningkatkan imbuhan air tanah sehingga menghasilkan kondisi muka air tanah yang relatif dangkal.

Tipe imbuhan secara umum berhubungan dengan hujan dan topografi daerah. Pada daerah dengan topografi yang datar, kemiringan muka air tanah relatif kecil, sehingga kecepatan aliran air tanah juga kecil. Hal ini menyebabkan muka air tanahnya dangkal, terutama bila didukung pula oleh kelulusan batuan yang besar. Variasi topografi dalam suatu sistem aliran menyebabkan kontrol aliran air tanah pada daerah tersebut akan berbeda (Sanford, 2002:111)

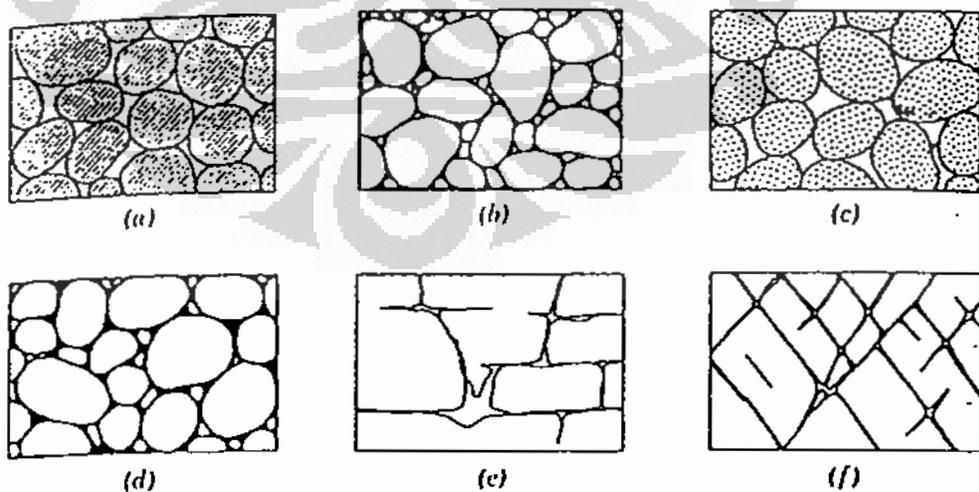
Air tanah dapat terbentuk dalam beberapa formasi batuan (materi geologi). Salah satu yang terpenting dalam pembentukan air tanah adalah akuifer. Akuifer yaitu formasi batuan yang dapat menyimpan dan meloloskan air (Todd, 1980:25). Bila lapisan batuan ini hanya dapat menyimpan dan meloloskan air dalam jumlah

kecil disebut lapisan lambat air (*aquiclude*). Bila lapisan batuan ini tidak dapat menyimpan dan meloloskan air disebut lapisan kedap air (*aquifuge*). Akuifer yang dibatasi lapisan kedap air pada bagian bawahnya, dan lapisan tak kedap air, semi kedap air pada bagian atasnya disebut akuifer bebas (*unconfined aquifer*). Akuifer yang terletak di antara lapisan kedap air disebut akuifer tertekan (*confined aquifer*) (Todd, 1980:26).

Berdasarkan sifat dari materi geologi, maka akuifer akan mempunyai beberapa karakteristik, antara lain:

a. Permeabilitas dan Porositas

Permeabilitas adalah kemampuan lapisan batuan meloloskan air sehingga berhubungan dengan Bergeraknya air dalam batuan, sedangkan porositas berhubungan dengan lapisan batuan yang mengandung pori dan dinyatakan sebagai porositas rongga atau pori dalam batuan terhadap volume total batumannya (Todd, 1980:26). Batuan yang mempunyai permeabilitas dan porositas kecil akan meloloskan air dalam jumlah sedikit, sehingga jumlah air yang masuk ke dalam akuifer menjadi kecil. Sebaliknya, jika batuan yang mempunyai nilai porositas dan permeabilitas besar maka akan mampu meloloskan air dalam jumlah besar pula, sehingga jumlah air yang masuk akuifer juga besar.



Gambar 2.2 Berbagai macam pola materi geologi yang menggambarkan porositas dan permeabilitas pada akuifer (Sumber: Todd, 1980:27)

Batuan pada Gambar 2.2 (a) batuan dengan porositas dan permeabilitas yang besar karena adanya pemilahan sedimen yang bagus; (b) pemilahan batuan tidak bagus sehingga porositas dan permeabilitas kecil; (c) batuan yang berupa endapan yang porus dengan pemilahan sedimen yang bagus, sehingga secara keseluruhan porositas dan permeabilitasnya besar; (d) porositas dan permeabilitas berkurang karena adanya endapan sejumlah mineral pada pori-porinya meskipun pemilahan sedimennya bagus; (e) porositas dan permeabilitas tinggi karena proses solusional; dan (f) porositas dan permeabilitas terjadi karena adanya rekahan dalam batuan.

b. Transmissivitas

Transmissivitas merupakan besarnya kecepatan mengalirkan airtanah pada setiap unit lebar akuifer (Todd,1980:26). Faktor-faktor yang mempengaruhi konduktivitas hidrolis antara lain : nilai viskositas/kekentalan dinamis air, besarnya porositas batuan, diameter butiran untuk aliran yang ideal, faktor bentuk (sistem kapiler dari aliran), massa jenis tanah dan berat kosong tanah Kashef (*dalam* Masitoh,2005:13). Flescher (*dalam* Masitoh,2005:13) kemudian menambahkan bahwa konduktivitas hidrolis juga ditentukan oleh ukuran dan bentuk pori, keefektifan interkoneksi antar pori serta kondisi fisik dari air. Apabila saluran interkoneksi kecil, maka volum air yang lewat antar pori akan terhambat dan menghasilkan nilai konduktivitas hidrolis yang bernilai kecil

c. Koefisien Simpanan

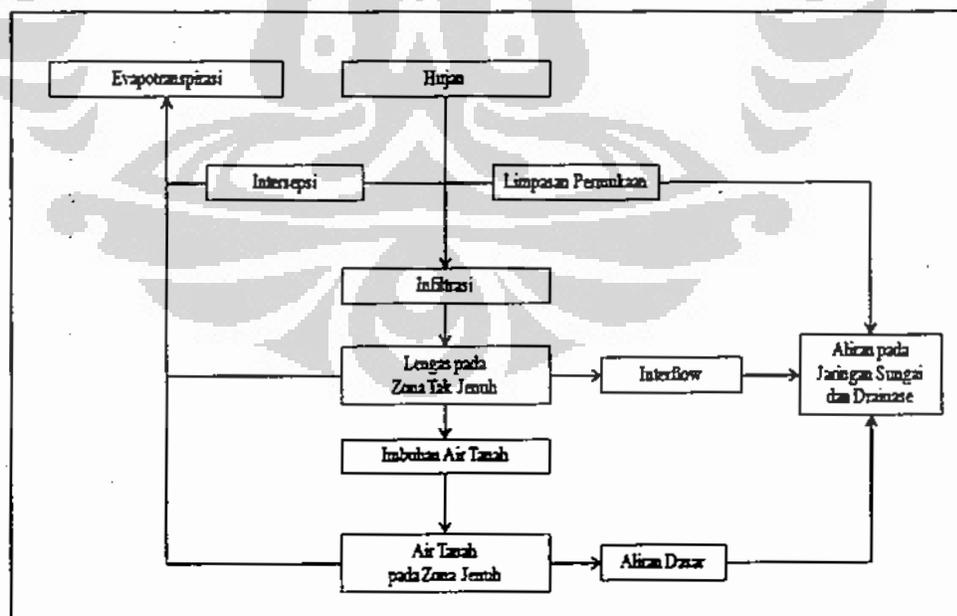
Todd (1980:36-37) menyatakan bahwa koefisien simpanan merupakan volume air yang dilepaskan atau yang diambil oleh akuifer ke dalam simpanan per satuan luas permukaan akuifer per satuan perubahan tinggi muka air. Selanjutnya dijelaskan bahwa nilai koefisien simpanan tersebut merupakan kuantitas tanpa satuan yang merupakan hubungan antara nilai simpanan air dengan volume akuifernya. Nilai ini berubah secara langsung mengikuti tebal akuifer.

d. Fluktuasi Muka Air Tanah

Fluktuasi muka air tanah dapat terjadi akibat adanya perbedaan kedalaman muka air tanah yang sangat tergantung pada besarnya imbuhan dan

pengambilan air tanah. Fluktuasi airtanah dapat terjadi karena banyak hal. Fluktuasi yang terjadi pada jangka panjang misalnya puluhan tahun dapat menunjukkan perubahan iklim dan aktifitas manusia (misalnya perubahan penggunaan lahan, pemompaan, irigasi dan infiltrasi). Fluktuasi musiman airtanah disebabkan oleh fenomena musiman misalnya evapotranspirasi, hujan dan irigasi. Fluktuasi jangka pendek merupakan respon airtanah dari hujan, pemompaan, fluktuasi tekanan barometrik dan sebagainya (Scanlon, dalam Masitoh, 2005:16).

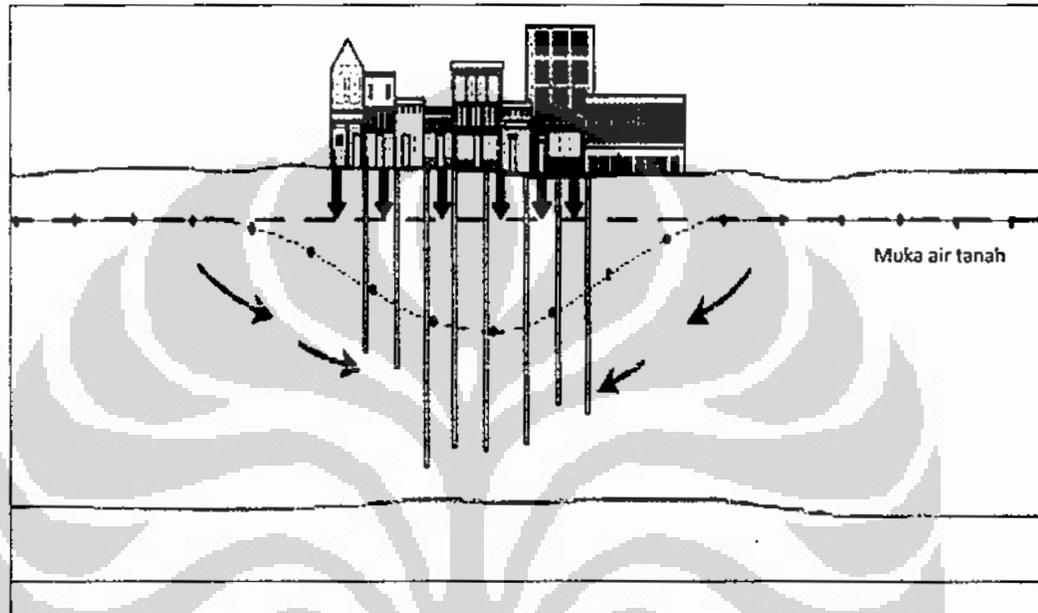
Pembentukan air tanah mempunyai kaitan yang erat dalam sebuah siklus hidrologi. Gambar 2.3 menjelaskan tentang siklus hidrologi yang terdapat dalam cekungan air tanah dalam pendekatan sistem *black box*. Siklus hidrologi yang dimaksudkan dalam pendekatan *black box* memberikan pengertian bahwa siklus hidrologi tersebut tidak memperhatikan berbagai proses yang terjadi di dalam lapisan hidrogeologi yang membentuk air. Proses yang dimaksud yaitu proses yang memperhatikan materi pembentuk lapisan air dan segala aktifitas di dalamnya. Dengan demikian, siklus tersebut merupakan siklus umum yang terjadi di semua cekungan air tanah.



Gambar 2.3 Siklus Hidrologi dalam Cekungan Air Tanah dalam Pendekatan Sistem *Black Box* (Sumber: Hendrayana, 2007:42)



diambil walaupun dalam musim kemarau. Pengambilan air tanah menurut SNI 19-6728.1-2002 tentang Penyusunan Usmber Daya Air adalah setiap kegiatan pengambilan air bawah tanah yang dilakukan dengan cara penggalian, pengeboran, atau cara membuat bangunan penurap lainnya untuk dimanfaatkan airnya dan/atau tujuan lain.



Gambar 2.5. Kerucut Depresi (*Cone of Depression*)  
(Sumber: Hendrayana, 2007:37)

Asdak (1995:249) menjelaskan bahwa ketika air tanah yang dipompa keluar melalui sumur-sumur artesis, maka akan terjadi kerucut depresi (*cone of depression*) (Gambar 2.5), yaitu melengkungnya permukaan air tanah di sekitar sumur ke arah sumur atau pipa yang digunakan untuk mengambil air tanah. Semakin besar laju pengambilan air tanah, semakin besar lengkungan permukaan air tanah yang terjadi di sekitar sumur sampai terjadi keseimbangan baru dengan masuknya air hujan dari daerah resapan. Kejadian tersebut akan terjadi terus-menerus sehingga selalu terjadi keseimbangan baru sepanjang suplai air tercukupi. Akan tetapi, ketika laju pengambilan air tanah dari banyak sumur terlalu besar dibandingkan suplai air, maka lengkungan-lengkungan permukaan air tanah dari satu sumur ke sumur lainnya akan menyebabkan terjadinya penurunan tinggi muka air tanah secara permanen. Kecepatan aliran air tanah yang kecil menyebabkan kerucut depresi tidak dapat kembali seperti semula

dalam waktu yang singkat. Hal ini mengakibatkan lengkungan air tanah menjadi permanen dan semakin dalam di bawah muka tanah. Pada kegiatan pengambilan air yang berlangsung secara terus-menerus maka selanjutnya akan berpotensi pada kelangkaan air tanah.

Pengambilan air tanah dapat juga terjadi di daerah pantai. Air tanah merupakan mempunyai fungsi dalam menghambat air laut agar tidak mengintrusi air ke dalam akuifer. Jika pengambilan air tanah berlangsung dengan berlebihan di daerah sekitar pantai, maka dapat mengakibatkan melengkungnya tinggi permukaan air tanah yang kemudian akan menyebabkan terjadinya intrusi air laut. Keadaan ini menyebabkan air tanah tidak dapat dimanfaatkan karena terpengaruh oleh intrusi air laut.

Kebutuhan akan penyediaan dan pelayanan air dari waktu ke waktu semakin meningkat. Kondisi ini tidak diimbangi oleh kemampuan pelayanan air oleh PAM. Peningkatan kebutuhan air disebabkan oleh peningkatan jumlah penduduk, peningkatan derajat kehidupan warga serta perkembangan kota/kawasan pelayanan ataupun hal-hal yang berhubungan dengan peningkatan kondisi sosial ekonomi warga yang dibarengi dengan peningkatan jumlah kebutuhan air perkapita. Peningkatan kebutuhan air tersebut jika tidak diimbangi dengan peningkatan kapasitas produksi air bersih akan menimbulkan masalah dimana air bersih yang tersedia tidak akan cukup untuk memenuhi kebutuhan masyarakat di wilayah tersebut.

Pelayanan air bersih perpipaan yang memenuhi standar, efisien dan menyeluruh untuk seluruh wilayah kota cukup mendesak untuk segera diwujudkan. Semakin terbatasnya ketersediaan dan suplai air baku, peningkatan kebutuhan (*demand*), cakupan layanan yang masih relatif rendah, tingginya angka kehilangan air, masih rendahnya standar pelayanan, dan adanya tuntutan terhadap kebijakan pembatasan ekstraksi air tanah dalam (*deep groundwater*) mengharuskan otoritas pengelola air bersih perpipaan untuk melakukan upaya dan tindakan signifikan untuk memperbaiki kondisi pelayanan air bersih di Jakarta. Pada kenyataannya, pengelola air bersih perpipaan kurang mampu untuk menyediakan air bersih sesuai dengan kebutuhan dan standar kualitas air yang baik.

Besarnya kebutuhan air akan berbeda selalu berbeda, misalnya kebutuhan untuk domestik, non domestik, industri, pertanian dan peternakan. Kementerian Pekerjaan Umum pada tahun 1990 menetapkan kebutuhan air untuk kota besar sebesar 200 l/orang/hari. Hal ini kemudian direvisi melalui SNI 19-6728.1-2002 tentang Penyusunan Sumber Daya Air yang memberikan standar baru besarnya kebutuhan air termasuk untuk wilayah perkotaan. Tabel 2.1 menunjukkan standar kebutuhan air di setiap sektor untuk daerah perkotaan. Terkait dengan tujuan penelitian, peneliti hanya mempertimbangkan faktor kebutuhan air oleh penduduk dengan menggunakan standar kebutuhan penduduk sebesar 250 liter/orang/hari.

Tabel 2.1 Standar Kebutuhan Air

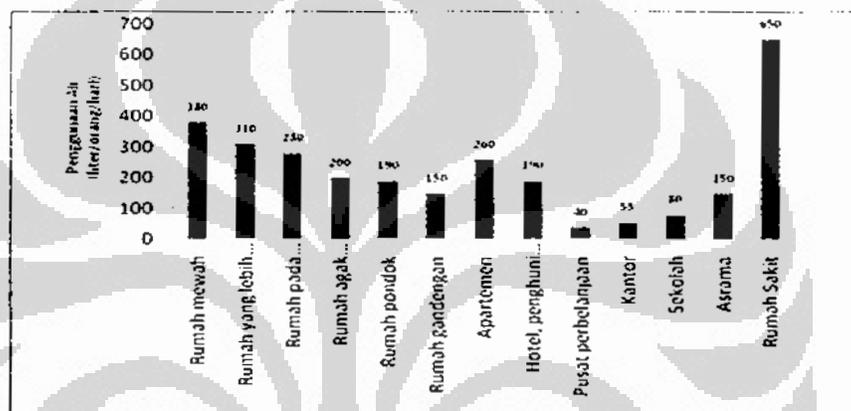
Jenis Pemakaian	Standar	Standar Terpilih	Satuan
<b>Domestik</b>			
Kota dengan penduduk > 1 juta	250		1 liter/orang/hari
Kota dengan penduduk < 1 juta	150		1 liter/orang/hari
Pedesaan	100		1 liter/orang/hari
Keran umum	30		1 liter/orang/hari
<b>Non Domestik</b>			
Hidran Kebakaran	5		% kebutuhan domestik
Kebocoran	20		% kebutuhan domestik
Sekolah	10		m <sup>3</sup> /hari
Kantor	10		1 liter/pegawai/hari
Tempat ibadah	2		1 liter/orang/hari
Industri	0,4 – 1	0,7	1 liter/detik/ha
<b>Komersial</b>			
Pelabuhan udara	10 – 20	10	1 liter/penumpang/hari
Terminal bis	3		1 liter/penumpang/hari
Pelabuhan laut	10		1 liter/penumpang/hari
<b>Sarana Kesehatan</b>			
Rumah sakit	300		1 liter/orang/hari
<b>Pariwisata</b>			
Hotel	90		1 liter/orang/hari

Sumber: SNI 19-6728.1-2002

Air digunakan oleh penduduk untuk berbagai keperluan selanjutnya akan menjadi air limbah. Sugiharto (*dalam* Kodoati, 2010:156) menyebutkan bahwa air limbah domestik mengandung 90% cairan. Air limbah domestik adalah air bekas yang tidak dapat digunakan lagi untuk tujuan semula baik yang mengandung kotoran manusia (tinja) atau dari aktivitas dapur, kamar mandi dan cuci. Air limbah akan memberikan efek buruk dan gangguan terhadap manusia dan lingkungan berupa

gangguan kesehatan dan keindahan (ampas dan bau), serta pada benda misalnya berupa korosi.

Gambar 2.5 memberikan gambaran rata-rata air limbah dari berbagai jenis utilitas dengan jenis kebutuhan air untuk domestik. Berdasarkan gambar tersebut, nampak bahwa kebutuhan air terbanyak berasal dari rumah sakit yang membutuhkan air hingga 650 l/orang/hari. Kebutuhan air yang paling sedikit adalah pusat perbelanjaan. Hal ini karena pada umumnya, air di pusat perbelanjaan hanya digunakan untuk keperluan toilet.



Gambar 2.5 Pengeluaran Air Limbah  
(Sugiharto dalam Kodoati, 2010:156)

### 2.2.2 Konservasi Cadangan Air Tanah

Secara harfiah konservasi berarti pemeliharaan atau pengawetan. Tindakan konservasi mempunyai tujuan mulia untuk menyelamatkan dan melindungi bumi dan segala isinya dari upaya destruktif. Menurut Darsoprajitno (2002:91) konservasi adalah pemanfaatan tata alam tanpa merusak atau mengurangi fungsi dari bentukan alam dan budaya manusia atau warisannya, sesuai dengan hukum alam atau adat daerah setempat. Konservasi juga berarti menjaga kelestarian terhadap alam demi kelangsungan hidup manusia (Suparmoko, 2002:20).

Undang-undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup secara jelas menyebutkan bahwa konservasi sumberdaya alam adalah pengelolaan sumberdaya alam untuk menjamin pemanfaatannya secara

bijaksana serta kesinambungan ketersediaanya dengan tetap memelihara dan meningkatkan kualitas nilai serta keanekaragamannya

Berkaitan dengan sumber daya air, Irianto (*dalam* Arsyad, 2008:196) menyebutkan bahwa terdapat hal-hal yang harus dicermati yaitu efisiensi sumber daya air. Efisiensi pemanfaatan tersebut antara lain:

- a. Efisiensi Penampungan: Bentuk dari efisiensi penampungan adalah adanya upaya untuk menampung air hujan yang datang baik secara alami maupun buatan melalui panen hujan dan aliran permukaan.
- b. Efisiensi Penyimpanan: Efisiensi penyimpanan dapat berupa mengisi lekukan-lekukan pada permukaan tanah (*depression storage*) misalnya dalam waduk untuk aliran permukaan dan mengisi celah-celah dalam tanah untuk air tanah.
- c. Efisiensi Penyaluran: Efisiensi penyaluran berupa efisiensi dalam hal untuk mengantisipasi adanya kebocoran pada pasokan air.
- d. Efisiensi Pemanfaatan: Efisiensi pemanfaatan berupa penggunaan sumber daya air yang tepat guna dan dilakukan secara optimal.

Konservasi air tanah berarti upaya melindungi dan memelihara keberadaan, kondisi dan lingkungan air tanah guna mempertahankan kelestarian dan atau kesinambungan ketersediaan dalam kuantitas dan kualitas yang memadai demi kelangsungan fungsi dan pemanfaatannya untuk memenuhi kebutuhan makhluk hidup, baik waktu sekarang maupun pada generasi yang akan datang.

Undang-undang Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air merupakan salah satu bentuk kebijakan publik mengenai konservasi air tanah yang ditetapkan oleh pemerintah. Dalam undang-undang tersebut juga menjelaskan mengenai kebijakan pengelolaan air tanah. Landasan kebijakan pengelolaan air tanah adalah sebagai berikut :

1. Air tanah mempunyai peran yang penting bagi kehidupan dan penghidupan rakyat Indonesia, mengingat fungsinya sebagai salah satu kebutuhan pokok hidup.

2. Air tanah harus dikelola secara bijaksana, menyeluruh, terpadu, berkelanjutan, dan berwawasan lingkungan.
3. Pengelolaan air tanah secara teknis perlu disesuaikan dengan perilaku air tanah meliputi keterdapatan, penyebaran, ketersediaan, dan kualitas air tanah serta lingkungan keberadaannya.
4. Pengelolaan air tanah wajib mengacu kebijakan pengelolaan air tanah pada cekungan air tanah, kebijakan ini mengacu pada UU No. 7 Tahun 2004 tentang Sumber daya air (SDA).
5. Kebijakan pengelolaan air tanah ditetapkan oleh Menteri, Gubernur, atau Bupati/Walikota sesuai dengan kewenangan masing-masing.
6. Pengelolaan air tanah perlu diarahkan pada keseimbangan antara upaya konservasi dan pendayagunaan air tanah yang terintegrasi dalam kebijakan dan pola pengelolaan sumber daya air.
7. Kegiatan utama dalam pengelolaan air tanah yang mencakup konservasi dan pendayagunaan air tanah diselenggarakan untuk mewujudkan kelestarian dan kesinambungan ketersediaan air tanah dan kemanfaatan air tanah yang berkelanjutan

Sumberdaya air dapat diusahakan oleh semua warga negara. Berdasarkan Undang-undang Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air, Bab IV Pasal 46, menyebutkan bahwa pemerintah atau pemerintah daerah sesuai dengan kewenangannya, mengatur dan menetapkan alokasi air pada sumber air untuk pengusahaan sumber daya air oleh badan usaha atau perseorangan. Alokasi air untuk pengusahaan sumber daya air tersebut ditetapkan dalam izin pengusahaan sumber daya air dari pemerintah atau pemerintah daerah.

Peraturan Pemerintah No. 43 tahun 2008 tentang Air Tanah menjelaskan mengenai landasan pengelolaan air tanah yang berupa kebijakan dan strategi pengelolaan air tanah yang bersifat mendasar untuk mencapai tujuan, melakukan kegiatan, atau mengatasi masalah tertentu yang dilakukan oleh instansi yang berwenang dalam rangka penyelenggaraan tugas pemerintahan di bidang air tanah pada CAT. Dengan demikian, CAT merupakan batasan yang secara hidrogeologis digunakan dalam pengelolaan air tanah dan tidak bersifat

administratif. Batasan hidrogeologis adalah batas fisik wilayah pengelolaan air tanah yang dapat berupa batas antara batuan lulus dan tidak lulus air, batas pemisah air tanah, dan batas yang terbentuk oleh struktur geologi meliputi kemiringan lapisan batuan, lipatan dan patahan.

Pada dasarnya, Kodoati (2010:170) menjelaskan bahwa konservasi air tidak dapat lepas dari konservasi tanah, sehingga keduanya sering disebut bersamaan menjadi konservasi tanah dan air. Hal ini mengandung makna bahwa kegiatan konservasi tanah akan berpengaruh tidak hanya pada perbaikan kondisi lahan tetapi juga pada perbaikan kondisi sumber airnya, demikian juga sebaliknya.

### 2.2.3 Kondisi Hidrogeologi CAT Jakarta

Samsuhadi (2005:2) menjelaskan bahwa air tanah dalam akuifer Jakarta bagaikan danau dalam tanah. Cekungan yang sangat produktif terdapat tepat di wilayah DKI Jakarta (mulai perbatasan Depok hingga kawasan Senen untuk poros utara-selatan dan dari Pesanggrahan hingga Bekasi untuk poros Barat-Timur). Cekungan ini dikelilingi oleh lapisan akuifer yang produktif sedang. Di sebelah Tenggara dan memanjang ke arah Barat (arah Provinsi Banten) terdapat akuifer yang mempunyai produksi sangat rendah dan terdapat batuan yang kedap air (*impermeabel*). Di sebelah Timur Bekasi meskipun terdapat akuifer yang produktif sedang kurang dari 5 liter/detik), sebaran akuifer ini sangat luas, dengan kedalaman yang bervariasi. Selain itu, sistem air tanah Jakarta terdiri dari 2 lapis akuifer yakni air tanah dangkal dengan akuifer tak tertekan dengan tebal rata-rata 50 m di bawah permukaan tanah dan air tanah dalam dengan akuifer tertekan yang berada di antara 50 – 250 m di bawah permukaan tanah.

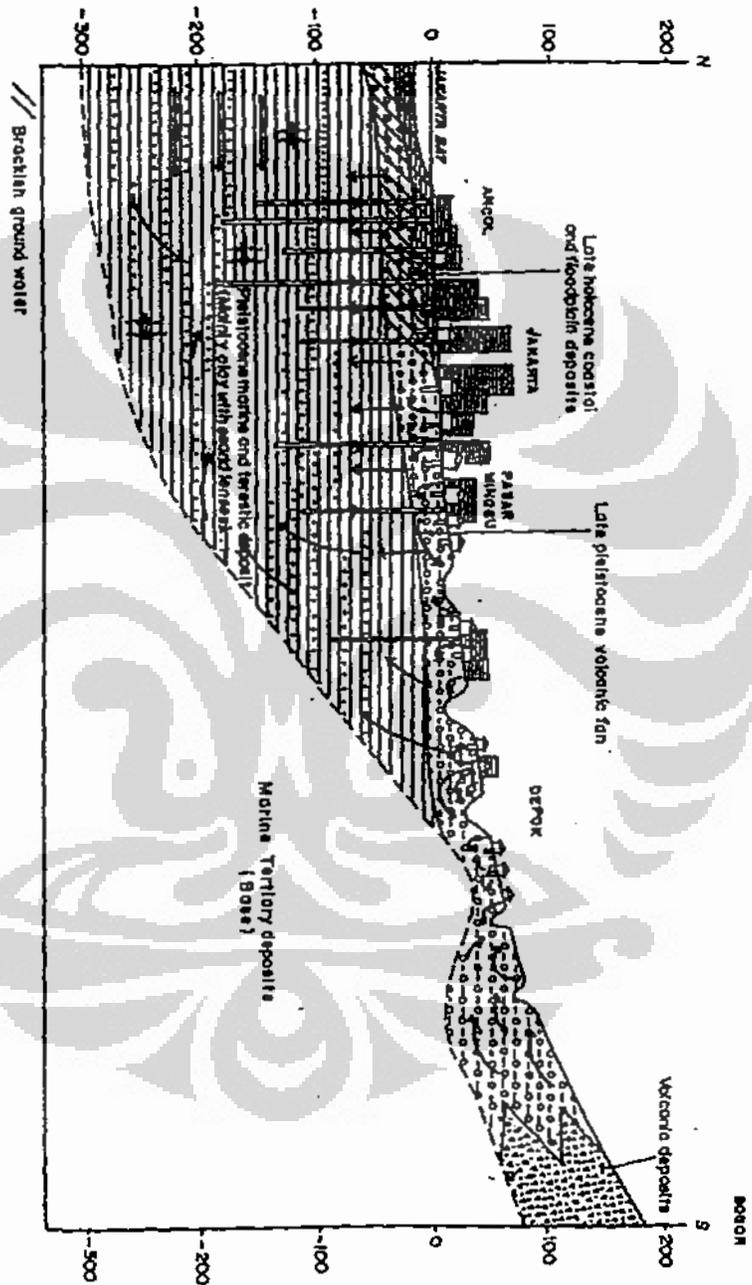
Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi DKI Jakarta (saat ini telah bergabung dengan BPLHD Provinsi DKI Jakarta), menyebutkan bahwa air tanah dalam CAT Jakarta merupakan air bentukan dari hasil infiltrasi di CAT Bogor dan hasil infiltrasi dari air tanah dangkal. Gambar 2.6 menunjukkan kondisi hidrogeologi daerah penelitian yang mempunyai materi geologi berupa materi endapan vulkanis yang secara geomorfologi berupa dataran banjir dan kipas aluvial. Pembentukan endapan tersebut terjadi pada era Plestosen Akhir yang berasal dari proses geomorfologi fluvial dari materi vulkan yang terletak di Bogor. Bagian

selatan daerah penelitian mempunyai lapisan kedap air yang terletak di Bulak Kulon, Kota Depok. Lapisan impermeabel ini merupakan pembatas aliran air tanah dalam dari CAT Bogor ke CAT Jakarta (Gambar 2.7). Besarnya debit aliran air tanah dari CAT Bogor yang masuk ke CAT Jakarta adalah  $37.10^6$  m<sup>3</sup>/tahun.

Departemen Pertambangan dan Energi (1994:3) menyebutkan bahwa CAT Jakarta disusun oleh endapan kuarter yang mempunyai ketebalan mencapai sekitar 250 m bawah permukaan tanah. Ketebalan akuifer tunggal ketebalannya antara 1-5 m terutama berupa pasir halus. Koefisien kelulusan horisontal (*coefficient of horizontal permeability*, Kh) antara 0,10 – 40 m/hari, sementara kelulusan vertikalnya (*coefficient of vertical permeability*, kv) berdasarkan hasil simulasi air tanah sekitar sepelembimribu Kh ( $kv/kh=1/5000$ ). Koefisien keterusan (*coefficient of Transmissivity*) endapan kuarter sekitar 250 m<sup>2</sup>/hari. Air tanah pada endapan kuarter mengalir pada sistem akuifer ruang antar butir. Di daerah dekat pantai umumnya didominasi air asin/payau yang berada di atas air tanah tawar.

Samsuhadi (2005:II-37) menyebutkan bahwa investigasi akuifer dangkal area Bogor – Jakarta 1983-1984 memperlihatkan bahwa pengisian akuifer sebesar  $518.10^6$ –  $785.10^6$  m<sup>3</sup>/tahun. Jakarta bagian selatan, sepanjang garis Parung-Depok debit air tanah sebesar  $1,2.10^6$  m<sup>3</sup>/tahun pada tahun 1985. Selanjutnya *Jakarta Water Supply Development Project 1983* (dalam Samsuhadi, 2005:II-37) menyebutkan bahwa total sumberdaya air tanah pada cekungan Jakarta diperkirakan dengan mengalikan faktor 15% dengan volume alluvial maka volume total air tanah dalam  $29.10^9$  m<sup>3</sup> dengan imbuhan  $216.10^6$  m<sup>3</sup>. Imbuhan akuifer dalam dengan menghitung aliran air tanah horizontal di bawah permukaan tanah hasilnya adalah  $42.000$  m<sup>3</sup>.





Gambar 2.7 Penampang Uluwatu – Selatan Daerah Penelitian (Sumber: IWACO, 1994:98)

Kementerian ESDM (1994:5) menjelaskan bahwa pada air tanah dangkal, fluktuasi muka air tanah pada musim kemarau dan musim hujan sebesar 1 m di daerah pantai dan 3 – 15 m di daerah selatan. Fluktuasi rata-rata antara musim kemarau dan hujan tahun 1983-984 di daerah utara sebesar 1,9 m dan di selatan mencapai 3,3 m. Kesarangan (porositas) antara 15 – 25% bagi material penyusun utama. Hasil perhitungan debit ketersediaan air tanah di daerah pantai rata-rata  $7,5 \text{ m}^3/\text{detik}$  dan bagian selatan  $17,8 \text{ m}^3/\text{detik}$ .

Selanjutnya Kementerian ESDM (1994:6-11) menjelaskan bahwa untuk air tanah dalam koefisien kelulusan horizontal  $K_h$  antara 0,3–4,0 m/hari dengan rata-rata 1,5 m/hari. Anisotropi (perbandingan antara  $K_h$  dan  $K_v$ ) antara 100–5.000. Hasil kalibrasi yang dilakukan Kementerian ESDM menunjukkan bahwa muka airtanah terhitung bersesuaian dengan hasil pengukuran sebesar 1/5.000. Anisotropi tersebut sesuai dengan evaluasi deskripsi hasil pemboran lama yang umumnya mencapai 150 m di bawah permukaan air laut. Pada kondisi alamiah itu, yakni dengan jumlah pengambilan air tanah yang masuk ke dalam sistem akuifer ( $Q_{in}$ ) sebesar  $37 \text{ m}^3$ , seimbang dengan yang keluar ( $Q_{out}$ ).

## 2.3 Penataan Ruang

### 2.3.1 Penataan Ruang Perkotaan dalam Pengelolaan dan Perlindungan Lingkungan Hidup

Penataan ruang dalam Undang-undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang adalah suatu sistem proses perencanaan tata ruang, pemanfaatan ruang, dan pengendalian pemanfaatan ruang. Penataan ruang tidak lepas dari kata Tata Ruang yang berarti susunan pusat permukiman dan sistem jaringan prasarana dan sarana yang berfungsi sebagai pendukung kegiatan sosial ekonomi masyarakat serta distribusi peruntukan ruang dalam suatu wilayah, meliputi peruntukan ruang untuk fungsi lindung dan peruntukan ruang untuk fungsi budidaya (Djumantri, *et al*, 2009:260)

Suganda (2006:6) membuat formula penataan ruang dikaitkan dengan aspek pembangunan berkelanjutan yaitu:

Penataan Ruang =  $f(X, Y, Z)$

f : fungsi

X : lingkungan, berupa keseimbangan ekosistem

Y : ekonomi, berupa kesempatan pekerjaan

Z : sosial, berupa teratasinya masalah kependudukan

Ketiga unsur diatas yaitu lingkungan, ekonomi, dan sosial merupakan aspek penting dalam pembangunan berkelanjutan. Pada intinya, penataan ruang yang dilakukan hendaknya memperhatikan dan menyeimbangkan ketiga sektor tersebut.

Undang-undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang menjelaskan azas penataan ruang sebagai berikut:

1. Keterpaduan: penataan ruang diselenggarakan dengan mengintegrasikan berbagai kepentingan yang bersifat lintas sektor, lintas wilayah, dan lintas pemangku kepentingan.
2. Keserasian, Keselarasan, dan Keseimbangan: penataan ruang diselenggarakan dengan mewujudkan keserasian antara struktur ruang dan pola ruang, keselarasan antara kehidupan manusia dengan lingkungannya, keseimbangan pertumbuhan dan perkembangan antar daerah.
3. Keberlanjutan: penataan ruang diselenggarakan dengan menjamin kelestarian dan kelangsungan daya dukung dan daya tampung lingkungan dengan memperhatikan kepentingan generasi mendatang.
4. Keberhasilan dan Keberhasilgunaan: penataan ruang diselenggarakan dengan mengoptimalkan manfaat ruang dan sumber daya yang terkandung di dalamnya serta menjamin terwujudnya tata ruang yang berkualitas.
5. Keterbukaan: penataan ruang diselenggarakan dengan memberikan akses yang seluas-luasnya kepada masyarakat untuk mendapatkan informasi yang berkaitan dengan penataan ruang.
6. Kebersamaan dan Kemitraan: penataan ruang diselenggarakan dengan melibatkan seluruh pemangku kepentingan.

7. Perlindungan Kepentingan Umum: penataan ruang diselenggarakan dengan mengutamakan kepentingan masyarakat.
8. Kepastian Hukum dan Keadilan: penataan ruang diselenggarakan dengan berlandaskan hukum/ketentuan peraturan perundang-undangan dan dilaksanakan dengan mempertimbangkan rasa keadilan masyarakat serta melindungi hak dan kewajiban semua pihak secara adil dengan jaminan kepastian hukum.
9. Akuntabilitas: penyelenggaraan penataan ruang dapat dipertanggungjawabkan, baik prosesnya, pembiayaannya, maupun hasilnya.

Djumantri (2009:27) menjelaskan bahwa pembangunan merupakan kegiatan dari tidak ada menjadi ada. Sugandhy (2009:4) lebih lanjut menjelaskan bahwa pembangunan merupakan upaya sadar dalam mengolah dan memanfaatkan sumber daya alam untuk meningkatkan kemakmuran rakyat. Secara umum pembangunan merupakan upaya untuk mengolah dan memanfaatkan segala sumber daya alam dan membuat yang sebelumnya tidak ada menjadi ada dalam semua aspek kehidupan manusia sehingga akan meningkat kemakmurannya.

Kegiatan pembangunan yang pesat pada umumnya terjadi di perkotaan. Kota menurut Djumantri (2009:147) adalah daerah pemusatan penduduk dengan kepadatan tinggi serta fasilitas modern dan sebagian besar penduduknya bekerja di luar pertanian. Pembangunan di perkotaan menjadikan kota mempunyai tingkat keanekaragaman dan produktivitas kegiatan yang tinggi. Hal ini menjadikan pembangunan di kota sangat membutuhkan banyak sumberdaya untuk mendukung semua kegiatan tersebut.

Pembangunan kota harus berwawasan lingkungan sehingga akan menjadikan kota tersebut berkelanjutan. Berkaitan dengan penataan ruang, maka penataan ruang merupakan salah satu upaya untuk memanfaatkan ruang di perkotaan agar dapat memberikan fungsi yang tepat terhadap aspek ekonomi, aspek ekologi, aspek teknologi dan aspek sosial. Kota yang menganut paradigma pembangunan berkelanjutan dalam rencana tata ruangnya merupakan kota yang memberikan kenyamanan bagi penghuninya, dimana akses ekonomi dan sosial budaya terbuka luas bagi setiap warganya untuk memenuhi kebutuhan dasar maupun kebutuhan

interaksi sosial warganya serta terjadi kedekatan dengan lingkungan. Pembangunan perkotaan yang tidak berwawasan lingkungan dalam penataan ruangnya akan memberikan dampak buruk di masa depan terutama dalam hal penurunan jumlah dan kualitas sumber daya dalam ruang kota.

Kawasan perkotaan merupakan wilayah yang mempunyai kegiatan utama bukan pertanian dengan susunan fungsi kawasan sebagai tempat permukiman perkotaan, pemusatan dan distribusi pelayanan jasa pemerintahan, pelayanan sosial, dan kegiatan ekonomi. Kawasan perkotaan merupakan pusat dari semua bentuk kegiatan pembangunan.

Setiap kegiatan atau proyek pembangunan memerlukan lokasi pada ekosistem tertentu atau bagian ekosistem. Hal ini menunjukkan bahwa setiap kegiatan akan mengakibatkan dampak terhadap komponen-komponen ekosistem tersebut (Manik, 2007:17). Dampak kegiatan pembangunan tidak dapat dihindari. Untuk itu upaya yang dilakukan adalah memaksimalkan dampak positif dan meminimalkan dampak negatif.

Wilayah perkotaan merupakan kawasan yang kompleks dan rentan. Kekompleksan ditandai dengan berbagai kepentingan dan kegiatan yang semakin berkembang seperti kegiatan sektor perikanan, perindustrian, permukiman, reklamasi pantai, dan kegiatan ekonomi lain. Di sisi lain, kota cukup rentan terhadap perubahan lingkungan apabila dimanfaatkan tanpa memperhatikan kaidah konservasi dan rencana pemanfaatan yang benar. Dalam arti yang lebih luas, lingkungan hidup di perkotaan tidak semata-mata dipandang sebagai penyedia sumber daya alam yang harus dieksploitasi, tetapi juga sebagai tempat hidup yang mensyaratkan adanya keserasian dan keseimbangan antara manusia dengan lingkungannya (Djajadiningrat, 2001:184).

Jakarta merupakan kota yang potensial untuk dikembangkan. Kawasan ini merupakan pusat kegiatan ekonomi yang tumbuh pesat karena kedekatannya dengan pusat-pusat kegiatan ekonomi, seperti pelabuhan, pergudangan, industri, dan pusat perdagangan grosir. Aktivitas ekonomi yang beragam dan berintensitas tinggi serta jumlah penduduk yang tinggi di Jakarta mengakibatkan kebutuhan air

semakin meningkat. Kebutuhan air hanya dapat dipenuhi dengan melakukan pengambilan air tanah yang pada akhirnya akan mengancam terjadinya penurunan muka air tanah.

### **2.3.2 Perubahan Penggunaan Lahan Perkotaan terhadap Cadangan Air Tanah**

Arsyad (2000:207) menjelaskan bahwa penggunaan lahan dapat diartikan sebagai setiap bentuk intervensi (campur tangan) manusia terhadap lahan dalam rangka memenuhi kebutuhan hidupnya baik materiil maupun spiritual. Penggunaan lahan dapat dikelompokkan ke dalam dua golongan besar yaitu lahan pertanian dan lahan bukan pertanian. Penggunaan lahan pertanian dibedakan berdasarkan atas penyediaan air dan komoditi yang diusahakan, dimanfaatkan atau yang terdapat di atas lahan tersebut. Berdasarkan hal ini dikenal macam penggunaan lahan seperti tegalan, sawah, kebun kopi, padang rumput dan lain sebagainya. Penggunaan lahan bukan pertanian dapat dibedakan ke dalam penggunaan lahan kota atau desa. Selain itu dapat pula dibedakan berdasarkan kegiatannya misalnya industri, rekreasi, pertambangan, dan lain sebagainya.

Selain kebutuhan akan air, penduduk perkotaan juga membutuhkan lahan sebagai lokasi kegiatan. Hal ini menyebabkan perubahan penggunaan lahan paling banyak terjadi di daerah perkotaan. Selanjutnya Kodoati (2010:152) menjelaskan bahwa perubahan lahan merupakan penyebab utama banjir dibandingkan dengan penyebab lainnya. Sebagai contoh, apabila suatu hutan yang berada di daerah aliran sungai diubah menjadi permukiman, maka debit puncak suatu sungai akan meningkat antara 6 sampai 20 kali. Angka 6 dan 20 ini bergantung dari jenis hutan dan jenis permukiman. Demikian pula untuk perubahan yang lainnya maka akan terjadi debit puncak yang signifikan.

Perubahan penggunaan lahan juga akan memberikan kontribusi dominan kepada aliran permukaan. Hujan yang jatuh ke tanah, airnya akan menjadi aliran permukaan dan sebagian meresap ke dalam tanah bergantung pada kondisi tanahnya. Air akan menjadi air tanah untuk daerah CAT, namun hanya akan menjadi air permukaan untuk daerah bukan CAT.

Tabel 2.2 Peningkatan Debit Puncak Suatu Sungai

Penggunaan Lahan	Debit Puncak (m <sup>3</sup> /detik)		Kenaikan
	Minimum	Maksimum	
Hutan	10	10	Referensi
Rerumputan	23	25	2 – 2,5 kali
Taman	17	50	2 – 5 kali
Sawah	25	90	2,5 – 9 kali
Permukiman	50	200	5 – 20 kali
Industri/Niaga	60	250	6 – 25 kali
Jalan Beton/Aspal	63	350	6,3 – 35 kali

Sumber: Kodoati (2010:153)

Tabel 2.2 memperlihatkan bahwa penggunaan lahan yang berupa jalan beton/aspal memberikan debit puncak yang paling tinggi dibanding penggunaan lahan lainnya. Perubahan penggunaan lahan dari hutan (sebagai referensi) menjadi jalan memberikan kenaikan yang paling tinggi hingga 35 kali dari referensi.

Chow (*dalam* Rasul, 2005:21) menjelaskan bahwa indikator yang berupa koefisien limpasan juga dapat digunakan sebagai salah satu cara untuk mengetahui pengaruh penggunaan lahan terhadap air yang melimpas di permukaan tanah. Koefisien limpasan (Koefisien C) adalah angka yang menunjukkan bagian hujan yang menjadi aliran permukaan atau aliran hujan. Angka ini ditunjukkan berdasarkan pola tata guna lahan suatu daerah. Koefisien C merupakan koefisien empiris yang menghubungkan fungsi tata guna lahan dalam suatu nilai yang digunakan dalam penulisan rumus limpasan permukaan.

Bila dikaitkan dengan wilayah perkotaan yang didominasi lahan terbangun seperti permukiman, industri/niaga dan jalan, maka dapat dengan jelas akan memberikan debit peningkatan yang semakin tinggi pula. Air yang jatuh ke permukaan tanah akan berpeluang lebih besar menjadi aliran permukaan dibandingkan dengan yang meresap ke dalam tanah. Secara umum, hal ini akan berpengaruh pada sumber daya air di perkotaan.

Penataan ruang melalui pengaturan perubahan penggunaan lahan menurut Kodoati (2010:153) diperlukan sebagai salah satu upaya dalam pengelolaan

sumber daya air terutama di perkotaan yang mempunyai peluang terjadinya perubahan penggunaan lahan paling besar dibanding di pedesaan.

## 2.4 Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis

Lindgren (*dalam* Sutanto, 1992:4) mendefinisikan penginderaan jauh sebagai suatu teknik untuk memperoleh dan menganalisis informasi tentang bumi. Lillesand dan Kiefer lebih memandang penginderaan jauh sebagai sebuah ilmu dan seni, definisi lengkapnya adalah :

*Ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang obyek, daerah, atau gejala dengan jalan menganalisis data yang diperoleh dengan menggunakan alat tanpa kontak langsung terhadap obyek, daerah, atau gejala yang dikaji (Lillesand dan Kiefer dalam Sutanto, 1992:2).*

Penginderaan jauh mempunyai beberapa keunggulan bila dibandingkan dengan survei lapangan. Keunggulan tersebut antara lain cakupan yang luas dan dapat bersifat multitemporal. Dengan demikian, maka akan terjadi penghematan biaya dan waktu selama kegiatan pengkajian. Keunggulan yang dimiliki oleh data penginderaan jauh tidak berarti sudah tidak diperlukan lagi survei lapangan melainkan saling melengkapi.

Teknologi penginderaan jauh terus berkembang terutama dari segi resolusi spasial (Poniman, 2007). Secara umum beberapa data penginderaan jauh mempunyai 4 (empat) resolusi spasial yaitu resolusi rendah yang mencakup wilayah global seperti citra GMS dan NOAA-AVHRR, resolusi menengah seperti MODIS, ENVISAT, citra resolusi tinggi seperti Landsat, SPOT dan ALOS, serta resolusi sangat tinggi seperti Ikonos, Quickbird, dan WorldView.

Kemajuan teknologi informasi menyebabkan semakin berkembangnya Sistem Informasi Geografis (SIG). Foote (*dalam* Prahasta, 2002:55) mendefinisikan bahwa SIG merupakan sistem basis data dengan kemampuan-kemampuan khusus untuk data yang referensi geografis berikut sekumpulan operasi-operasi yang mengelola data tersebut. Integrasi antara SIG dan teknik pengolahan data penginderaan jauh akan sangat membantu dalam berbagai keperluan misalnya dalam berbagai hal misalnya untuk perencanaan desa, kota dan regional, untuk

pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan, ilmu-ilmu kebumihan, pengelolaan jaringan transportasi, dan lain sebagainya.

Dalam penelitian ini, menggunakan citra satelit resolusi tinggi yaitu Landsat. Selanjutnya Prasetyo (2006:1), menjelaskan bahwa penggunaan Landsat dapat digunakan secara efektif untuk analisis yang berkaitan dengan penggunaan lahan dalam cakupan yang luas dan multitemporal. Berdasarkan informasi tersebut, peneliti menggunakan data citra satelit Landsat dengan resolusi 15 – 30 meter, dengan perekaman tahun 2000 – 2008.

## **2.5 System Dynamics**

### **2.5.1 Pengertian System Dynamics**

Muhammadi (2001:3) menjelaskan bahwa sistem adalah keseluruhan interaksi antar unsur dari sebuah obyek dalam batas lingkungan tertentu yang bekerja mencapai tujuan. Keseluruhan yang dimaksud adalah lebih dari sekedar penjumlahan atau susunan (*aggregate*), yaitu terletak pada kekuatan (*power*) yang dihasilkan oleh keseluruhan itu jauh lebih besar dari suatu penjumlahan atau susunan. Interaksi dalam sebuah sistem merupakan pengikat atau penghubung antar unsur, yang memberi bentuk/struktur kepada obyek, membedakan dengan obyek lain, dan mempengaruhi perilaku dari obyek. Unsur dari sistem adalah benda, baik konkrit atau abstrak, yang menyusun obyek sistem. Pengertian obyek adalah sistem yang menjadi perhatian dalam suatu batas tertentu sehingga dapat dibedakan antara sistem dengan lingkungan sistem.

*Systems Thinking* menurut Richmond (*dalam* Maani, 2007:7) adalah cara berfikir mengenai dunia dan hubungannya. Paradigma dalam berfikir sistem antara lain:

1. Berfikir acak (*forest thinking*): kemampuan untuk melihat gambaran besar dan bagaimana setiap komponen berhubungan dan berinteraksi;
2. Berfikir dinamis (*dynamic thinking*): mengenali bahwa dunia tidak bersifat statis dan segala hal dapat berubah secara konstan;
3. Berfikir secara operasional (*operational thinking*): mengerti beroperasi nya sebuah sistem dan bagaimana segala hal dapat bekerja dan mempengaruhi satu sama lain;

4. Berfikir secara simpal tertutup (*closed-loop thinking*): mengenali bahwa sebab dan akibat bersifat tidak linear dan seringkali mempengaruhi sebab.

Maani (2007:60) menjelaskan bahwa pendekatan *system dynamics* merupakan pendekatan ke arah permodelan yang mempunyai keuntungan sebagai berikut:

1. Memiliki *Causal Loop Diagram* (CLD) dan *Stock Flow Diagram* (SFD) yang diformulasikan untuk menunjukkan kondisi alamiah serta arah hubungan dari setiap variabel dan sub sistem di dalam *system dynamic*;
2. Keputusan pengambilan kebijakan dapat bervariasi berdasarkan simulasi dari sistem dinamis pada periode yang ditentukan. Selain itu pengambil keputusan dapat memberikan umpan balik di dalam sistem sehingga dapat mempermudah dalam pembuatan kebijakan;
3. Hubungan linear dan tidak linear dapat digabungkan;
4. Kejadian penundaan secara fisik dan informasi dapat dipadukan;
5. Informasi dapat dimasukkan untuk memperkuat data statistik yang kadang kala tidak dapat langsung digunakan dalam sistem.

### 2.5.2 Pengembangan Model *System Dynamics*

Maani (2007:16) menjelaskan bahwa terdapat fase-fase pengembangan *systems thinking* dan permodelan sistem yang kesemuanya saling berkaitan, yaitu:

1. Penyusunan struktur masalah: merupakan kegiatan pengidentifikasian masalah, koleksi data dan informasi, dan pembatasan lingkup permasalahan
2. Permodelan simpal kausal: merupakan kegiatan pembuatan kerangka kerja untuk melihat hubungan antar masalah dan melihat pola perubahan lebih dari sekedar gambaran statisnya (Senge, dalam Maani, 2007:28)
3. Permodelan dinamis: merupakan kegiatan pembuatan diagram sistem yang menunjukkan sektor-sektor yang berpotensi terhadap model simulasi, pembuatan *stock flow diagrams*, pembuatan simulasi dan verifikasi model
4. Perencanaan dan permodelan skenario: merupakan kegiatan pembuatan skenario yang dapat membantu membuat keputusan yang mampu

menggambarkan masa depan sebuah sistem, kekuatan yang berpengaruh di dalamnya, serta ketidakpastian pada suatu skenario alternatif

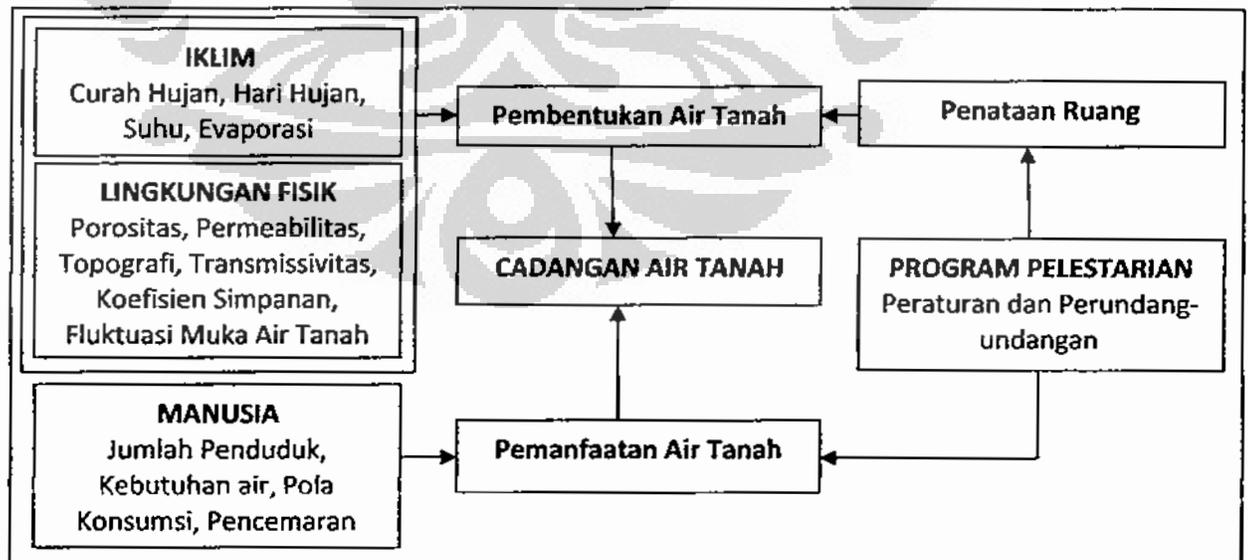
5. Penerapan dan pengorganisasian: merupakan kegiatan penerapan dari model yang dihasilkan dalam bentuk pembuatan keputusan.

Penelitian menggunakan permodelan *system dynamic* untuk mendapatkan hubungan antara faktor-faktor yang mempengaruhi ketersediaan air tanah. Selanjutnya peneliti akan menganalisis skenario yang dapat digunakan untuk upaya pelestarian air tanah.

Becker (dalam Maani, 2007:87) menjelaskan bahwa skenario akan merepresentasikan kondisi masa depan pada waktu tertentu. Skenario juga dapat menggambarkan perubahan suatu kejadian pada saat ini hingga pada waktu tertentu di masa depan. Skenario dapat didekati dari sebagai gabungan analisis kebijakan dan pemilihan strategi, karena memberikan informasi sebab akibat.

## 2.6 Kerangka Teori

Berdasarkan teori di atas, maka dapat disimpulkan bahwa cadangan air tanah dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain iklim, lingkungan fisik dan penataan ruang untuk pembentukan air tanah, faktor manusia sebagai pengambil manfaat, dan program sebagai kontrol pemanfaatan air tanah.

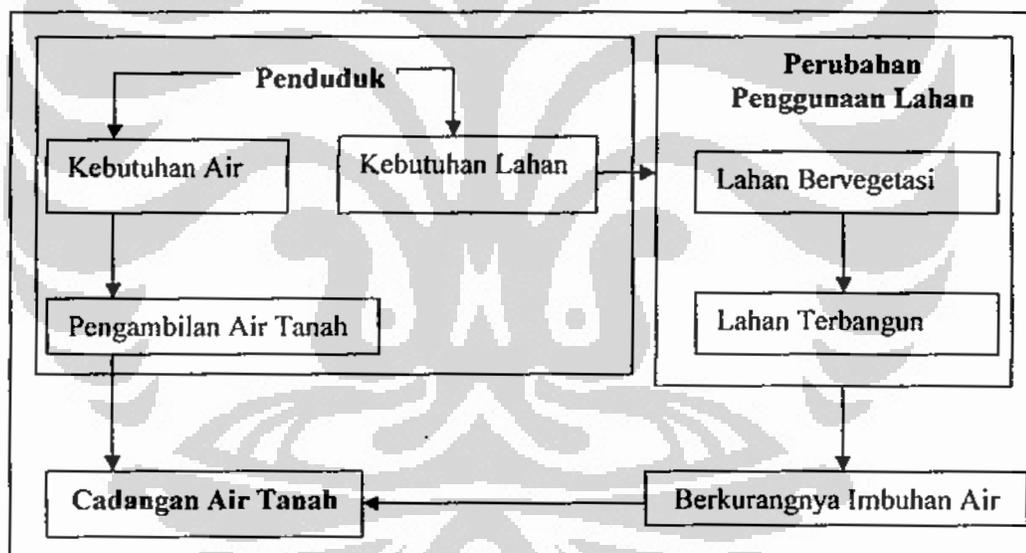


Gambar 2.9 Kerangka Teori Faktor-faktor yang Berhubungan dengan Cadangan Air Tanah

## 2.7 Kerangka Konsep

Penduduk yang berada di CAT Jakarta merupakan penduduk dengan tipologi perkotaan yang mempunyai aktifitas yang tinggi dan beragam. Aktifitas penduduk tersebut menyebabkan tingginya kebutuhan lahan dan kebutuhan air untuk memenuhi kebutuhan mereka.

Kebutuhan lahan oleh penduduk terutama untuk lahan-lahan permukiman, perdagangan, industri dan perkantoran. Penggunaan lahan tersebut dalam penelitian dikelompokkan sebagai lahan terbangun. Kebutuhan lahan terbangun yang terus meningkat menyebabkan terjadinya perubahan penggunaan lahan dari lahan bervegetasi menjadi lahan terbangun. Secara hidrologi, lahan terbangun mempunyai ciri permukaan lahan yang kedap air sehingga hal ini akan menyebabkan terjadinya berkurangnya imbuhan air dari air hujan ke dalam tanah.



Gambar 2.10 Kerangka Konsep Faktor-faktor yang Berhubungan dengan Cadangan Air Tanah

Jumlah penduduk yang terus meningkat serta aktifitas penduduk yang tinggi serta beragam juga menyebabkan peningkatan kebutuhan air. Kebutuhan air penduduk dapat diperoleh melalui air tanah dan air PAM. Layanan air PAM yang kurang memadai menyebabkan penduduk menggunakan air tanah sebagai sumber utama air bersih untuk memenuhi kebutuhan air mereka. Dengan demikian, jumlah penduduk yang terus meningkat akan berpengaruh terhadap cadangan air tanah.

Faktor-faktor yang berhubungan dengan cadangan air tanah dapat dilihat pada Gambar 2.9. Gambar 2.9 tersebut memperlihatkan bahwa penduduk merupakan faktor utama yang menyebabkan penurunan cadangan air tanah dari sisi kebutuhan lahan dan kebutuhan air.

## 2.8 Definisi Operasional

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini diberi batasan atau definisi operasional untuk memudahkan analisis. Definisi operasional variabel yang digunakan dalam penelitian terlihat dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Matriks Definisi Operasional Penelitian

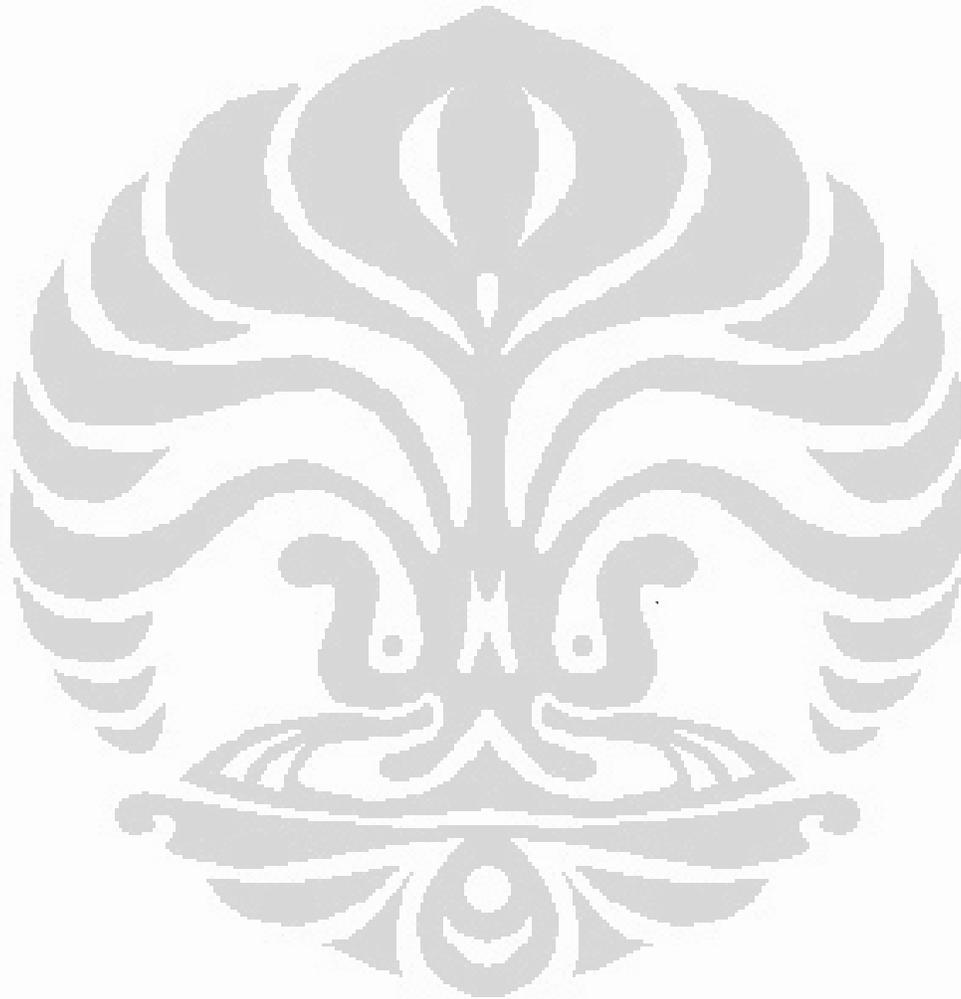
No.	Variabel	Definisi Operasional	Metode	Jenis	Satuan
<b>Variabel Penduduk</b>					
1.	Penduduk	Jumlah penduduk yang berada di CAT Jakarta	Jumlah penduduk+(kelahiran-kematian)	<i>Stock</i>	Orang
2.	Laju kelahiran	Besarnya laju kelahiran	Angka kelahiran x Jumlah Penduduk	<i>Flow</i>	Orang/tahun
3.	Laju Kematian	Besarnya laju kematian	Angka kematian x Jumlah Penduduk	<i>Flow</i>	Orang per tahun
<b>Variabel Lahan</b>					
4.	Lahan yang Dapat Dibangun	Luas lahan yang dapat dibangun.	Perhitungan menggunakan analisis citra satelit	<i>Stock</i>	Ha
5.	Lahan Terbangun	Luas lahan terbangun.	Perhitungan menggunakan analisis citra satelit	<i>Stock</i>	Ha
6.	Laju Pembangunan	Besarnya perubahan penggunaan lahan dari lahan yang dapat dibangun menjadi lahan terbangun	Selisih perubahan antara penggunaan lahan dari lahan yang dapat dibangun menjadi lahan terbangun	<i>Flow</i>	Ha/tahun

Tabel 2.3, Lanjutan

7	Rasio Lahan Terbangun	Besarnya rasio antara lahan terbangun dengan luas lahan	Lahan terbangun/Luas Lahan	<i>Aux</i>	-
Variabel Air					
8.	Cekungan Air Tanah	Batasan hidrogeologis pengelolaan air tanah			Ha
9.	Cadangan Air Tanah	Volume air tanah di CAT Jakarta.	Tinggi muka air tanah dalam akuifer x luas akuifer x porositas akuifer	<i>Stock</i>	m <sup>3</sup>
9.	Imbuan	Besarnya air yang terimbuh ke sebagai untuk menambah cadangan air tanah	Fungsi <i>delay</i> dari imbuan total	<i>Flow</i>	m <sup>3</sup> /tahun
10.	Laju Pengambilan Air Tanah	Besarnya pengambilan air tanah	Kebutuhan air total oleh penduduk x (1-Faktor Layanan Air PAM)	<i>Flow</i>	m <sup>3</sup> /tahun
11.	Laju Evaporasi	Besarnya evaporasi	Fungsi dari Angka Evaporasi	<i>Flow</i>	m <sup>3</sup> /tahun
12.	Kebutuhan Air	Besarnya kebutuhan total air oleh penduduk	Jumlah penduduk x standar kebutuhan air	<i>Aux</i>	m <sup>3</sup> /tahun
13.	Faktor Layanan Air PAM	Besarnya kemampuan layanan air PAM		<i>Constant</i>	%
14.	Limpasan permukaan total	Besarnya air hujan yang menjadi limpasan permukaan	Limpasan permukaan lahan terbangun + limpasan permukaan lahan yang dapat dibangun	<i>Aux</i>	m <sup>3</sup> /tahun

## 2.9 Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini merupakan hipotesis pengarah yaitu faktor perubahan penggunaan lahan menjadi lahan terbangun serta pengambilan air tanah oleh penduduk menyebabkan penurunan cadangan air tanah di CAT Jakarta.



### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Desain Penelitian

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan *mix method* yang menggabungkan pendekatan kuantitatif dan pendekatan kualitatif. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk menganalisis faktor-faktor yang berpengaruh terhadap air tanah, antara lain penduduk, penggunaan lahan dan cadangan air tanah. Pendekatan kualitatif digunakan untuk mencari informasi yang berasal dari informan dengan cara wawancara dengan kriteria inklusi tertentu yang berkaitan dengan jenis data dan informasi yang tidak terukur.

Menurut taraf analisisnya, penelitian menggunakan pendekatan deskriptif analitik untuk menjelaskan tentang fakta yang terjadi saat ini dengan menggunakan sistem model dinamis. *System dynamics* yang diterapkan tidak mempertimbangkan proses-proses yang terjadi di dalam sistem hidrogeologi CAT Jakarta.

Tabel 3.1 Matriks Hubungan antara Tujuan Penelitian dan Metode Analisis

No	Tujuan Penelitian	Metode Analisis
1	Mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya penurunan cadangan air tanah di CAT Jakarta	Analisis deskriptif
2	Menganalisis pengaruh penggunaan lahan dan pertumbuhan penduduk terhadap penurunan cadangan air tanah di CAT Jakarta dengan menggunakan model <i>system dynamics</i>	Analisis deskriptif, Analisis sistem
3	Menganalisis skenario yang dapat diterapkan dalam melestarikan air tanah di CAT Jakarta	Analisis deskriptif Analisis sistem

### 3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi dalam penelitian ini adalah CAT Jakarta. Terpilihnya lokasi ini karena:

1. Penduduk yang berada di wilayah CAT Jakarta berjumlah besar dan mengalami kecenderungan untuk meningkat setiap tahun;
2. Banyaknya infrastruktur yang dibangun di CAT Jakarta yang membutuhkan air dalam jumlah besar;
3. Adanya penduduk dan kegiatan/usaha di wilayah CAT Jakarta berada di jaringan layanan air bersih PAM dan tetap menggunakan air tanah sebagai cadangan air bersihnya;
4. Perubahan penggunaan lahan di wilayah CAT Jakarta terjadi dengan cepat dari lahan bervegetasi menjadi lahan terbangun.

### 3.3 Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari – Maret 2011. Pada tahap ini dilaksanakan kegiatan pengumpulan data primer dan sekunder. Bulan April – Mei 2011 dilaksanakan kegiatan pengolahan data dan analisis hasil penelitian.

### 3.4 Populasi dan Sampel

Populasi penelitian adalah semua kegiatan usaha, penduduk, air dan lahan di CAT Jakarta. Sampel penelitian diambil dengan menggunakan *purposive sampling* dari pengelola kegiatan/usaha yang melakukan pengambilan air tanah dan air PAM, serta pegawai instansi yang berwenang dalam mengelola air tanah di CAT Jakarta. Sampel diambil berdasarkan kriteria tertentu yang dianggap memiliki kesamaan dalam hal pemanfaatan air tanah.

Untuk menambah informasi dan analisis dalam pembahasan, peneliti melakukan wawancara dengan 14 orang informan. Informan dalam penelitian ini sebagian besar adalah aparat pemerintah. Daftar informan dapat dilihat pada Lampiran 3. Informan tersebut dipilih berdasarkan kriteria inklusi yang ditetapkan dalam penelitian ini.

Kriteria inklusi untuk pengelola kegiatan usaha antara lain:

1. Kegiatan/usaha untuk niaga, yaitu orang yang mengelola dan bertanggung jawab terhadap kegiatan/usaha yang digunakan hanya untuk kegiatan niaga

misalnya pertokoan, mal, plaza, perbankan, perkantoran, apartemen, rumah susun, rumah-toko (ruko), rumah-kantor (rukan) dan berbagai kegiatan niaga lainnya.

2. Kegiatan/usaha untuk non-niaga, yaitu: orang yang mengelola dan bertanggung jawab terhadap kegiatan/usaha yang tidak digunakan untuk aktifitas niaga;
3. Kegiatan/usaha untuk permukiman, yaitu: orang yang mengelola dan bertanggung jawab terhadap kegiatan/usaha yang berupa permukiman tanpa ada kegiatan niaga;
4. Kegiatan/usaha untuk industri, yaitu: orang yang mengelola dan bertanggung jawab terhadap kegiatan yang berupa industri, misalnya industri kimia dasar, industri mesin dan logam dasar, industri kecil, dan aneka industri yang menggunakan air tanah dan atau air PAM

Wawancara dilakukan kepada orang yang mengelola dan bertanggung jawab terhadap kegiatan/usaha tersebut dan mengetahui mengenai penyediaan sumber air bersih yang digunakan.

Kriteria inklusi untuk informan yang bukan pengelola kegiatan/usaha antara lain:

1. Kriteria Aparat Pemerintah: bertugas di instansi yang berhubungan dengan pengelolaan air tanah, memiliki kapasitas dalam menjelaskan tentang penggunaan dan konservasi air tanah serta dokumen yang melandasinya sesuai dengan tingkatan wilayah kerja masing-masing (pusat/provinsi/kabupaten).
2. Kriteria Ahli: berlatar belakang pendidikan yang terkait erat dengan air tanah dan konservasi air tanah dan atau pernah melakukan penelitian yang berhubungan dengan air tanah.

### **3.5 Instrumen Penelitian**

Penelitian menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil observasi di lokasi penelitian, sedangkan data sekunder diperoleh dari beberapa instansi, lembaga, dinas atau kantor terkait, informan dan studi pustaka.

Data Primer meliputi:

1. Peta Penggunaan Lahan tahun 2000 hasil interpretasi citra satelit tahun 2000
2. Peta Penggunaan Lahan tahun 2003 hasil interpretasi citra satelit tahun 2003
3. Peta Penggunaan Lahan tahun 2008 hasil interpretasi citra satelit tahun 2008
4. Dokumentasi lapangan
5. Observasi lapangan
6. Hasil Wawancara

Data Sekunder meliputi:

- a. Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:25.000 dari Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (Bakosurtanal)
- b. Citra satelit Landsat Perekaman tahun 2000
- c. Citra satelit Landsat Perekaman tahun 2003
- d. Citra satelit Landsat Perekaman tahun 2008
- e. Peta Penggunaan Lahan Tahun 2006
- f. Data DEM SRTM resolusi 90 meter dari USGS
- g. Peta Hidrogeologi Lembar Jakarta 1, Skala 1:250.000, dari Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
- h. Data Statistik dari BPS
- i. Data Kegiatan/Usaha yang menggunakan air tanah di CAT Jakarta dari Instansi Pemerintah
- j. Data Iklim Tahun 1974 - 2009 dari *World Meteorological Organization* (WMO)

Tabel 3.2 Matriks Hubungan antara Variabel Penelitian, Sumber Data dan Instrumen Penelitian

No	Variabel Utama Penelitian	Variabel Tambahan	Sumber Data	Instrumen Penelitian
1.	Penduduk	Laju Kelahiran, Angka Kelahiran, Laju kematian, Laju Kelahiran.	Sekunder	Literatur
2.	Cadangan Air Tanah	Laju Imbuhan, Laju pengambilan air, kebutuhan air penduduk, laju evaporasi,	Sekunder	Wawancara, observasi, literatur

Tabel 3.2. Lanjutan

3.	Lahan yang Dapat Dibangun	Rasio lahan terbangun, laju pembangunan, limpasan lahan terbangun, limpasan lahan yang dapat dibangun	Primer dan Sekunder	Observasi, literatur, pengolahan data penginderaan jauh dan SIG,
4.	Lahan Terbangun			

### 3.6 Teknik Pengumpulan Data

Peneliti mengumpulkan data primer melalui survei lapangan. Dalam survei lapangan, peneliti melakukan pengamatan terhadap penggunaan lahan yang mengarah pada terjadinya perubahan penggunaan lahan yang dapat mempengaruhi berkurangnya peresapan air hujan.

Informasi juga diperoleh melalui wawancara terarah dengan informan dari instansi pemerintah yang berwenang dalam urusan pengelolaan air tanah di daerah penelitian. Informan merupakan seseorang yang menjadi subyek yang bersedia untuk diwawancarai. Peneliti menggunakan panduan wawancara sebagai pegangan peneliti dan daftar pertanyaan yang telah diarahkan untuk menjawab pertanyaan penelitian. Kriteria eksklusi akan digunakan bila informan tidak bersedia dilakukan wawancara.

Metode pengumpulan data sekunder adalah dengan melakukan analisis dokumen. Dokumen yang dimaksud antara lain perundang-undangan mengenai pengelolaan lingkungan, dokumentasi yang berupa foto dan gambar, dokumen yang berupa literatur, buku, laporan penelitian, dan peta.

Data sekunder juga dikumpulkan dari instansi yang termasuk dalam daerah penelitian. Data sekunder juga diperoleh dari studi pustaka dan hasil penelitian terdahulu yang masih relevan dan valid untuk keperluan penelitian. Teknik pengumpulan data dalam studi literatur adalah dengan mendalami, mencermati, dan menelaah pengetahuan yang ada. Berdasarkan jenis datanya, data sekunder ada yang bersifat keruangan atau spasial dan yang bersifat non-spasial atau berupa data, angka, foto, atau keterangan lainnya. Hasil dari pengumpulan data

sekunder tersebut disusun secara rapi, terklasifikasi dan sistematis agar memudahkan peneliti dalam melakukan analisis dan pembahasan.

### 3.7 Teknik Pengolahan Data

Secara umum data dalam penelitian ini berupa data spasial dan data non-spasial. Data spasial berupa peta kerja, peta tematik, dan citra satelit, sedangkan data non-spasial berupa data deskriptif dan atau data angka. Tabel 3.3 menunjukkan jenis data dan metode pengolahannya.

Data penginderaan jauh yang berupa citra satelit digunakan untuk mengetahui penggunaan lahan dalam rangkaian waktu tertentu dengan menggunakan analisis GIS. Analisis GIS secara spasiotemporal akan memberikan gambaran perubahan penggunaan lahan dalam periode antara tahun 2000 – 2008 di CAT Jakarta. Selanjutnya perubahan penggunaan lahan tersebut untuk mengetahui besarnya air hujan yang mampu meresap ke dalam tanah sebagai imbuhan air tanah.

Tabel 3.3. Metode Pengolahan Data

No	Data	Metode Pengolahan	Perangkat Lunak
1	Spasial (citra satelit, peta tematik digital, atau non digital)	Koreksi geometris, penajaman/ <i>stretching</i> , <i>scanning</i> , digitasi, input data, interpretasi <i>on screen</i> , dan hal lain yang terkait	Perangkat lunak pengolah data spasial
2	Non Spasial (data deskriptif dan atau data angka)	Klasifikasi data, tabulasi, dan hal lain yang terkait	Perangkat lunak pengolah data non-spasial

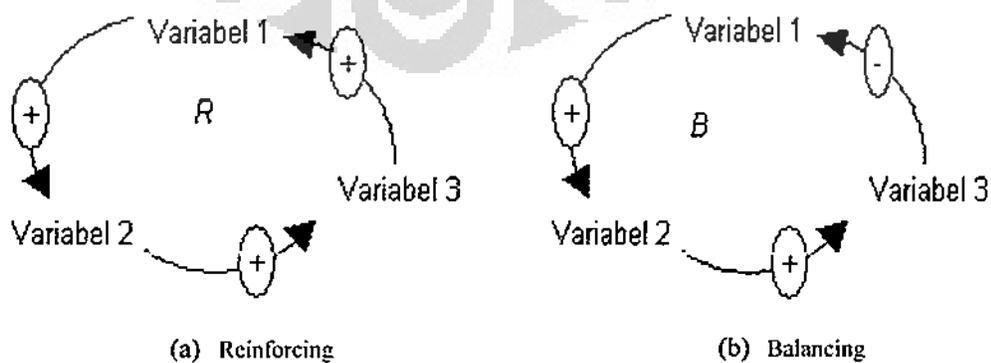
Perangkat lunak pengolah data penginderaan jauh dan sistem informasi geografis digunakan sebagai alat untuk mendapatkan data mengenai perubahan penggunaan lahan. Perangkat lunak yang digunakan adalah ArcGIS v9.2 yang telah dilengkapi dengan ekstensi *digital imaging* untuk keperluan *on screen digitizing*. Perangkat lunak pengolah citra satelit seperti ErMapper v7.0 digunakan untuk membuat mozaik citra satelit agar dapat diinterpretasi. Mozaik pada citra satelit Landsat menggunakan *band 4*, *band 3* dan *band 2*, yang menghasilkan kenampakan *true color* yang sesuai dengan kondisi kenyataannya di lapangan.

Data primer diperoleh dari hasil interpretasi citra penginderaan jauh, survei atau pengamatan di lokasi penelitian. Hasil interpretasi citra secara *on screen digitizing* dari citra satelit Landsat digunakan untuk menganalisis perubahan penggunaan lahan tahun 2000, 2003, dan 2008. Untuk melengkapi data maka peneliti menggunakan peta penggunaan lahan tahun 2006.

Interpretasi citra satelit untuk menghasilkan peta penggunaan lahan diklasifikasikan menggunakan metode klasifikasi *supervised* yang antara lain:

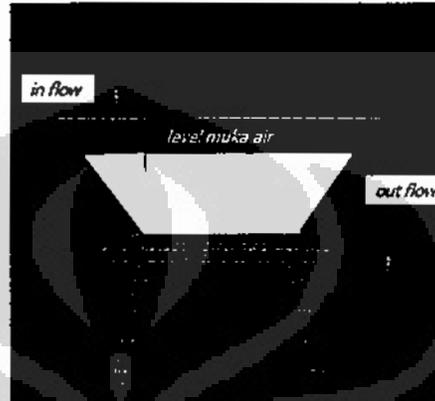
1. Lahan terbangun
2. Lahan kosong
3. Lahan bervegetasi
4. Badan air
5. Awan (*no data*)

Keseluruhan data yang diperoleh kemudian diolah lebih lanjut dengan menggunakan pendekatan model sistem dinamis. Variabel yang digunakan dalam kerangka konsep digunakan sebagai landasan klasifikasi data. Variabel tersebut kemudian dibuat Diagram Simpal Kausal (*Causal Loop Diagram/CLD*) yang menggambarkan hubungan antar variabel. CLD menjadi dasar dalam permodelan sistem dinamis dalam penelitian ini. Gambar 3.1 menunjukkan contoh CLD untuk beberapa variabel. Dalam CLD, variabel dalam sistem akan yang berperilaku saling menguatkan (*reinforcing*) menggunakan tanda R, sedangkan variabel yang saling memberikan keseimbangan (*balancing*) menggunakan tanda B.



Gambar 3.1 Contoh Diagram Simpal Kausal (*Causal Loop Diagram/CLD*)

Prinsip kerja yang digunakan dalam model sistem dinamis yaitu dengan menerapkan prinsip *stock and flow* yang menggambarkan adanya aliran proses dari setiap variabel. Prinsip *stock and flow* tersebut digambarkan dalam suatu model *stock and flow diagram* yang secara sederhana seperti terlihat dalam Gambar 3.2.



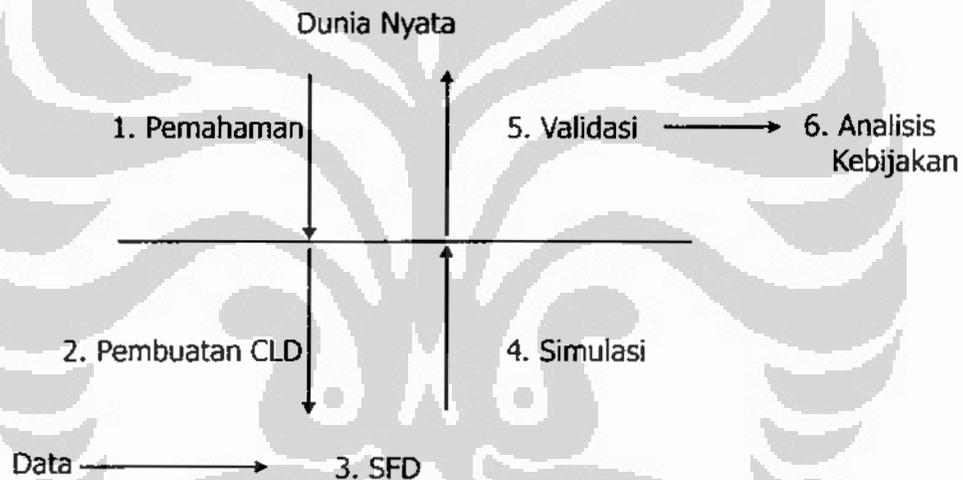
Gambar 3.2. Prinsip *Stock and Flow Diagram* (SFD) (dalam Soesilo, 2010)

Berdasarkan Gambar 3.2, maka *stock* adalah variabel jumlah yang terakumulasi dalam sistem yang berupa cadangan sumber daya, sedangkan *flow* adalah variabel yang melakukan perubahan pada *stock* selama periode waktu tertentu. *Flow* dapat bersifat menambah dan pula bersifat mengurangi *stock*. Pada suatu sistem, kadang kala perlu variabel tambahan yang akan membuat setiap unsur yang berpengaruh pada variabel menjadi lebih pasti. Variabel tersebut merupakan variabel tambahan (*auxiliary variabel*). Variabel tambahan dapat berupa konstanta, grafik hubungan dan hubungan perilaku.

Berdasarkan Gambar 3.3, maka tahapan dalam permodelan *system dynamics* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemahaman, merupakan proses awal yang didalamnya terdapat kegiatan merumuskan inti permasalahan yang terjadi dalam dunia nyata. Selain itu terdapat juga kegiatan pembatasan lingkup masalah, pengumpulan data dan informasi, dan mendefinisikan variabel
2. Pembuatan CLD, merupakan proses yang didalamnya terdapat kegiatan menghubungkan setiap variabel dalam diagram siklus simpal kausal.

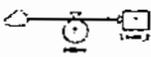
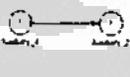
3. Pembuatan SFD, merupakan proses permodelan yang menggunakan prinsip *Stock and Flow* yang dibangun berdasarkan CLD yang telah dibuat serta data dan informasi yang telah dikumpulkan.
4. Simulasi, merupakan suatu prosedur kuantitatif yang menggambarkan perilaku dan kerja dari model sistem yang telah dibuat. Simulasi dapat dilakukan dengan melakukan sederetan uji coba untuk memperkirakan perilaku sistem pada kurun waktu tertentu
5. Validasi, merupakan kegiatan untuk mendapatkan model yang mendekati dengan dunia nyata sehingga model tersebut layak untuk digunakan
6. Analisis Kebijakan, merupakan kegiatan analisis dari model yang telah dibuat serta merumuskan skenario yang kemungkinan dapat diterapkan.



Gambar 3.3. Tahapan Permodelan *System Dynamics* (dalam Soesilo, 2010)

Variabel akan dihubungkan dengan bantuan perangkat lunak Powersim v2.5 di bawah Sistem Operasi *Windows*. Model menggunakan simbol atau lambang yang mewakili cara kerja variabel dalam sistem. Tabel 3.4 menunjukkan simbol yang digunakan dalam pembuatan SFD pada perangkat lunak Powersim.

Tabel 3.4 Simbol Powersim yang Digambarkan dalam *Stock Flow Diagram*

Simbol	Nama	Keterangan
	<i>Level</i> atau <i>Stock</i>	<i>Memory of the system</i> , menggambarkan akumulasi material, dapat bertambah dan berkurang
	<i>Rate</i> atau <i>Flow</i> , sebagai <i>inflow</i> , <i>Cloud</i> sebagai <i>source</i>	Menggambarkan sebagai proses penambahan, material per satuan waktu. <i>Source</i> menggambarkan material hilang, eksogenus ( <i>outside model boundary</i> )
	<i>Rate</i> atau <i>Flow</i> , sebagai <i>outflow</i> , <i>Cloud</i> sebagai <i>sink</i>	Menggambarkan sebagai proses penambahan, material per satuan waktu. <i>Sink</i> menggambarkan material hilang, eksogenus ( <i>outside model boundary</i> )
	<i>Auxiliary</i>	Variabel yang digunakan untuk memperjelas hubungan antar variabel lainnya.
	<i>Constant</i>	Variabel yang nilainya tetap sepanjang waktu simulasi yang disebut juga sebagai parameter.
	<i>Information Flow</i>	- Gambar panah merupakan lambang aliran informasi antar variabel - Gambar katub ( <i>valve</i> ) merupakan <i>Flow Regulator</i>
	<i>Delayed information flow</i>	Gambar panah merupakan lambang aliran informasi yang tertunda dari suatu variabel ke variabel lainnya
	Fungsi <i>Graph</i> atau fungsi non linier	Fungsi yang menggambarkan perilaku non linier.
	Fungsi <i>Delay</i>	Fungsi yang menggambarkan penundaan aliran material atau informasi

Sumber: Soesilo, 2010, dengan modifikasi

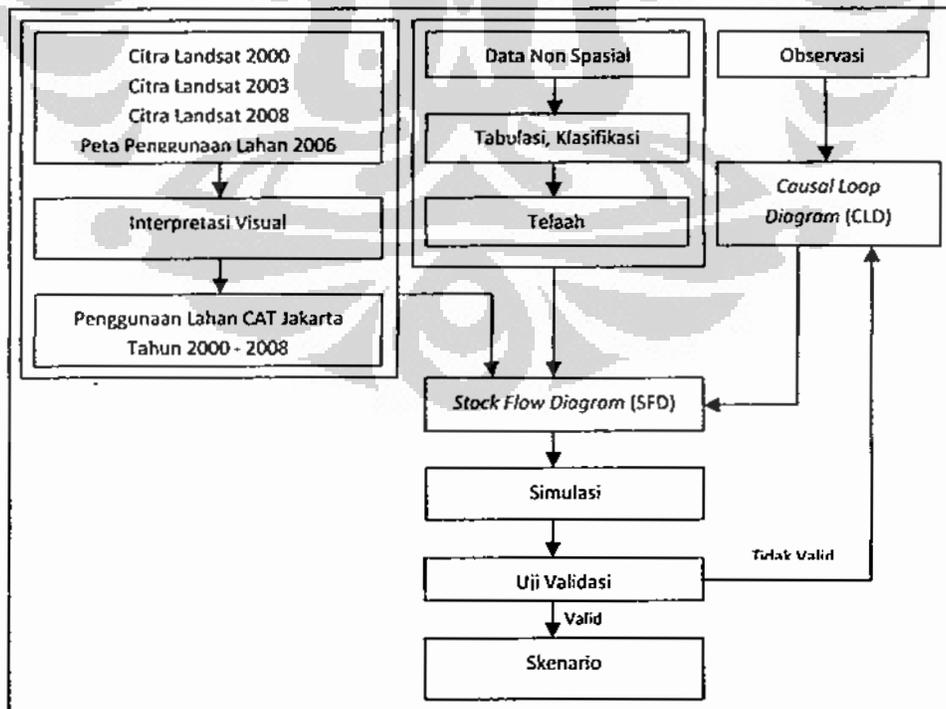
### 3.8 Analisis Data

Analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif dan analisis sistem. Analisis deskriptif digunakan agar dapat menggambarkan kondisi di lapangan mengenai faktor-faktor yang yang mempengaruhi terjadinya penurunan cadangan air tanah serta pengaruh kegiatan pembangunan terhadap cadangan air tanah di CAT Jakarta. Analisis berdasarkan data dan informasi yang telah dikumpulkan di lapangan serta berdasarkan model yang telah dibuat.

Muhammadi (2001:351) menjelaskan bahwa model yang telah dibuat memerlukan uji validitas yang berfungsi untuk mengetahui seberapa jauh kemiripan struktur model mendekati dunia nyata sehingga memenuhi syarat sebagai model ilmiah yang taat fakta. Uji validitas dalam penelitian ini

menggunakan pendekatan statistik untuk melihat penyimpangan antara output simulasi dengan data aktual melalui AME. Validasi menggunakan AME (*absolute mean error*) akan menunjukkan besarnya penyimpangan antara nilai rata-rata simulasi terhadap aktual. Batas penyimpangan yang dapat diterima adalah antara 5-10% untuk kondisi terkendali dan < 30% untuk kondisi yang tidak terkendali.

Model yang telah mempunyai validitas baik, maka selanjutnya dapat dilakukan pembuatan skenario yang dapat diterapkan dalam melestarikan air tanah di CAT Jakarta berdasarkan model *system dynamics* yang telah dibuat. Skenario dilakukan dengan melakukan simulasi terhadap model dengan cara membuat beberapa perubahan terhadap variabel di dalam model untuk merefleksikan kemungkinan perubahan lingkungan yang akan terjadi di dalam dunia nyata. Perubahan tersebut dapat menghasilkan beberapa model skenario yang dapat diterapkan sesuai dengan kenyataan di dunia nyata. Berdasarkan Gambar 3.2, hasil analisis digunakan untuk menentukan skenario. Pembuatan skenario merupakan tahap terakhir dalam permodelan menggunakan *system dynamics*. Tahapan penelitian secara umum terlihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian

### 3.9 Asumsi yang Digunakan

Asumsi digunakan untuk mengurangi keterbatasan dalam model. Asumsi yang digunakan antara lain:

1. Curah hujan, Evaporasi, limpasan permukaan dan infiltrasi bersifat merata di seluruh wilayah;
2. Penelitian tidak mempertimbangkan pengaruh perubahan iklim;
3. Penduduk di Provinsi DKI Jakarta hanya berdasarkan data dari BPS dan tidak memperhitungkan perbedaan jumlah penduduk saat siang dan saat malam;
4. Air yang digunakan penduduk diasumsikan air tawar semua sehingga penelitian tidak mempertimbangkan air asin yang ada di dalam daerah penelitian;
5. Penduduk menggunakan air sebesar 250 l/orang/hari, sesuai dengan patokan dalam SNI 19-6728.1-2002 tentang Penyusunan Sumber Daya Air Spasial;
6. Cadangan air tanah yang dimaksud dalam penelitian merupakan gabungan dari air tanah dangkal dan air tanah dalam;
7. Proses *Self Purification* pada air tanah yang terimbuh ke dalam cekungan air tanah tidak dipertimbangkan dalam penelitian;
8. Daya dukung lingkungan yang menjadi penghubung antara penduduk dan lahan dijadikan konstanta dengan asumsi kekomplekan masalah antara keduanya. Daya dukung lingkungan dianggap = 1 sehingga tepat pada ambang batas daya dukung lingkungan.

## 4. HASIL PENELITIAN

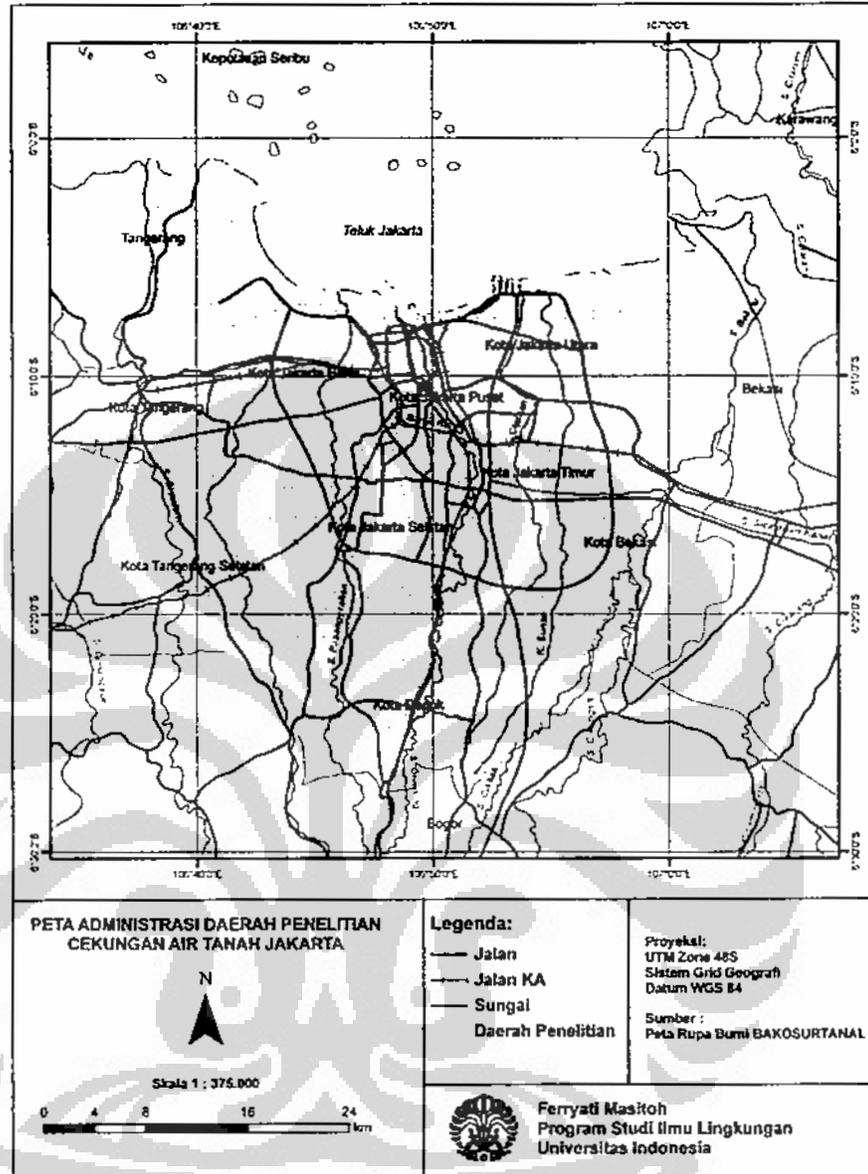
### 4.1 Gambaran Lokasi Penelitian

#### 4.1.1 Batas Wilayah Administrasi

Secara administratif, lokasi penelitian terdiri dari beberapa wilayah administrasi yaitu:

1. Provinsi DKI Jakarta, yang antara lain: Kota Jakarta Utara, Kota Jakarta Barat, Kota Jakarta Pusat, Kota Jakarta Timur dan Kota Jakarta Selatan. Wilayah kota yang termasuk dalam CAT Jakarta hanyalah yang ada di daratan saja sehingga Kabupaten Kepulauan Seribu di Provinsi ini tidak dipertimbangkan;
2. Provinsi Banten, terdiri atas: Kota Tangerang, Kota Tangerang Selatan dan Kabupaten Tangerang. Dalam penelitian ini, data Kota Tangerang Selatan masih bergabung dengan Kabupaten Tangerang sebagai kabupaten induk. Hal ini terkait dengan belum lengkapnya data yang tersedia terutama di Kota Tangerang Selatan;
3. Provinsi Jawa Barat, terdiri dari: Kota Bekasi, Kabupaten Bekasi dan Kabupaten Bogor. Dalam penelitian ini, Kabupaten Bogor tidak dipertimbangkan karena luas wilayah yang tercakup dalam CAT Jakarta kecil dan dianggap tidak berpengaruh besar terhadap pengambilan air tanah.

Lokasi penelitian mempunyai luas 1.428 km<sup>2</sup> secara geografis ada pada koordinat 106° 36' 30" BT - 107° 04' 12" BT, dan 6° 00' 13" LS - 6° 38' 46" LS. Batas sebelah Utara lokasi penelitian adalah garis pantai Pulau Jawa, sebelah Timur adalah garis imajiner Tambun - Jonggol, batas Selatan adalah Cijeruk - Ciawi - Gunung Kencana, dan sebelah Barat adalah Tanjungkait - Rumpin.



Gambar 4.1 Daerah Penelitian (Sumber: Peta Rupa Bumi Indonesia, diolah)

Berdasarkan Tabel 4.1 yang menunjukkan luas kabupaten/kota yang termasuk dalam CAT Jakarta. Kota-kota yang berada di wilayah Provinsi DKI Jakarta secara keseluruhan berada di wilayah CAT Jakarta, sedangkan kota dan kabupaten di luar DKI Jakarta, hanya sebagian saja berada di wilayah CAT Jakarta.

Tabel 4.1. Luas Wilayah Kabupaten/Kota di CAT Jakarta

No	Nama Kota/Kabupaten	Provinsi	Luas wilayah (km <sup>2</sup> )	Prosentase luas administrasi dari CAT (%)	Prosentase CAT dari Luas Administrasi (%)
1	Kab. Bekasi	Jawa Barat	108,11	7,57	8,58
2	Kota Bekasi		132,57	9,28	57,13
3	Kota Depok		153,31	10,73	78,06
4	Kab. Bogor		23,58	1,65	0,79
5	Kab. Tangerang	Banten	215,98	15,12	18,72
6	Kota Tangerang		140,43	9,83	74,55
7	Kota Jakarta Barat	DKI Jakarta	123,59	8,65	100
8	Kota Jakarta Pusat		52,26	3,66	100
9	Kota Jakarta Selatan		152,87	10,70	100
10	Kota Jakarta Timur		189,26	13,25	100
11	Kota Jakarta Utara		136,36	9,55	100
	Luas CAT		1428	100,00%	

Sumber: Peta Administrasi Digital, diolah

#### 4.1.2 Iklim

Curah hujan rata-rata tahunan di daerah penelitian sebesar 2.127 mm. Curah hujan minimum sebesar 2.000 mm/tahun dan curah hujan maksimum sebesar 3.500 mm/tahun. Dengan memperhitungkan luas CAT sebesar 1428 km<sup>2</sup>, maka CAT Jakarta mendapat curah hujan per tahun antara 2.856.000.000–4.998.000.000 dengan rata-rata sebesar 3.037.356.000 m<sup>3</sup>. Hari hujan rata-rata sebanyak 160 hari per tahun. Curah hujan maksimum terjadi pada bulan Januari (baik jumlah curahan maupun hari hujan) yang bertepatan dengan konvergensi antar tropis dan musim angin barat, sedangkan hujan minimum pada bulan Agustus saat berhembus angin timur (dalam Sobirin, 2000:7).

Evaporasi aktual merupakan bagian dari siklus hidrologi yang mempunyai fungsi mengurangi air di bumi yang berupa proses penguapan air dari tanah. Penelitian tidak menggunakan evapotranspirasi karena sebagian besar lahan berupa lahan terbangun. Sobirin (2000:7) menyebutkan bahwa evaporasi aktual rata-rata harian sebesar 3 mm sehingga besarnya evaporasi tahunan sebesar 1,095 m. Bila

memperhatikan luas CAT Jakarta, maka besarnya evaporasi tahunan sebesar  $1.563.660.000 \text{ m}^3$ .

#### 4.1.3 Hidrogeologi

Air tanah di CAT Jakarta terbentuk dalam 3 (tiga) lapis akuifer dengan kedalaman hingga mencapai 250 m di bawah muka tanah (bmt). Lapisan akuifer tersebut terdiri atas: akuifer dangkal, akuifer semi tertekan dan akuifer tertekan. Karakteristik akuifer CAT Jakarta dapat dilihat pada Tabel 4.2. Berdasarkan Tabel 4.2, terlihat bahwa air tanah dangkal mempunyai permeabilitas air yang paling besar dibanding air tanah semi tertekan dan tertekan yaitu 2,64 m/hari serta konduktivitas hidrolis yang terbesar pula yaitu sebesar  $108 \text{ m}^2/\text{hari}$ . Hal ini menunjukkan bahwa batuan yang ada di dalam akuifer air tanah dangkal mempunyai kemampuan besar dalam mengalirkan air sehingga kecepatan dalam mengimbuah dan memberikan hasil air pun menjadi besar dibandingkan air tanah di akuifer yang lain.

Tabel 4.2 Karakteristik Akuifer pada CAT Jakarta

No	Tipe Akuifer	Kedalaman (m bmt)	Karakteristik		
			Konduktivitas Hidrolis (T) $\text{m}^2/\text{hari}$	Permeabilitas(K) m/hari	Debit (Q) $\text{m}^3/\text{hari}$
1.	Akuifer Dangkal (bebas)	0 - 40	108	2,64	803
2.	Akuifer Semi Tertekan (tengah)	40 - 140	55,2	1,2	
3.	Akuifer Tertekan (dalam)	140 <	103,2	0,96	40

Sumber : Anwar (2008:112)

Keterbatasan data mengenai volume akuifer yang sebenarnya menyebabkan peneliti membuat asumsi berdasarkan keterangan dari Dwiyanto (2007:10) yang menyebutkan bahwa penurunan muka air tanah di CAT Jakarta sebesar 2 m/tahun. Dengan demikian, bila pada tahun 2007 penurunan telah mencapai kedalaman 40 m bmt, maka diperkirakan pada tahun 2002, muka air tanah berada di kedalaman 30 m bmt. Apabila kedalaman maksimum CAT Jakarta adalah 250

meter, maka ketebalan akuifer sebesar 220 m bmt. Pertimbangan besarnya volume air tanah tidak hanya memperhitungkan ketebalan dan luas cekungan saja melainkan juga dengan mempertimbangkan porositas batuan. Porositas batuan di akuifer CAT Jakarta didekati dengan mengetahui besarnya permeabilitas batuan yang nampak pada Tabel 4.3. Berdasarkan hal tersebut, maka diperkirakan porositas batuan di akuifer Jakarta sebesar 43% dari volume akuifer. Selain itu dapat diketahui pula bahwa materi dominan dalam akuifer CAT Jakarta berupa pasir halus.

Tabel 4.3 Nilai Porositas dan Permeabilitas Batuan

Materi	Porositas (%)	Permeabilitas (m/hr)	Materi	Porositas (%)	Permeabilitas (m/hr)
Kerikil, kasar	28	150	Gumuk pasir	45	20
Kerikil, sedang	32	270	Loess	49	0,08
Kerikil, halus	43	450	Peat	92	5,7
Pasir, kasar	39	45	Skiss	38	0,2
Pasir, sedang	39	12	Batulempung	43	
Pasir, halus	43	2,5	Tuf	41	0,2
Geluh	46	0,08	Basalt	17	0,01
Lempung	42	0,0002	Gabbro, lapuk	43	0,2
Batupasir, berbutir halus	33	0,2	Granite, lapuk	45	1,4
Batupasir, berbutir sedang	37	3,1	Dolomit	26	0,001
Batugamping	30	0,94			

Sumber : Morris and Johnson (*dalam* Todd, 1980:28), dengan modifikasi

Besarnya volume pada tahun 2002 yang telah mempertimbangkan penurunan muka air tanah, luas cekungan serta porositas batuan, dijadikan sebagai data inisial dalam *stock* volume air tanah dalam penelitian. Keadaan sebelum tahun 2002 tidak dipertimbangkan. Berdasarkan hasil perhitungan, maka cadangan air tanah pada tahun 2002 sebesar 135.088.800.000 m<sup>3</sup>. Naik turunnya volume air tanah selanjutnya dipengaruhi oleh besarnya imbuhan dan pengambilan air tanah. Imbuhan air tanah dipengaruhi oleh faktor curah hujan serta limpasan permukaan.

#### 4.1.4 Hidrologi Permukaan

Daerah penelitian berada di sebagian wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung dan sebagian wilayah DAS Cisadane. Wilayah Kota Depok, Provinsi DKI Jakarta secara keseluruhan, sebagian wilayah Kota Bekasi dan sebagian wilayah Kabupaten Bekasi berada di DAS Ciliwung, sedangkan sebagian wilayah Kota Tangerang dan Kabupaten Tangerang berada di DAS Cisadane. Aliran sungai dan kanal yang terbentuk di permukaan CAT Jakarta terbentuk di kedua DAS tersebut. Sungai yang mengalir di daerah penelitian adalah sebanyak 22 sungai dan 5 kanal. Sebagian besar sungai dan kanal tersebut melewati Provinsi DKI Jakarta dengan fungsi sebagai saluran air perkotaan dan pengendali banjir, sumber air baku dan air minum, serta perikanan. Batas permukaan CAT Jakarta adalah antara Kali Cisadane di sebelah barat dan Kali Bekasi di sebelah timur.

Selain sungai dan kanal, daerah penelitian juga mempunyai situ/waduk sebagai cekungan permukaan tanah yang berfungsi sebagai reservoir air di permukaan tanah. Situ/waduk pada umumnya tidak dapat dimanfaatkan karena airnya telah mengalami pencemaran akibat dijadikan sebagai tempat pembuangan sampah oleh penduduk.

Selanjutnya, hujan memberikan tambahan air ke bumi dan mengalir melalui permukaan tanah. Tanah dalam penelitian ini berupa lahan untuk membedakan antara tanah sebagai hasil pelapukan dengan lahan sebagai sebuah fungsi pengelolaan. Perubahan penggunaan lahan, pada dasarnya akan menentukan besarnya air hujan yang bisa terimbuh ke dalam tanah. Hal ini terjadi karena penggunaan lahan yang permukaannya bersifat kedap air akan menghalangi air meresap dan akan membentuk aliran permukaan. Aliran permukaan yang tidak terkendali akan mengakibatkan banjir di beberapa lokasi yang mempunyai topografi lebih rendah dibanding daerah sekitarnya. Rasio besarnya air hujan yang membentuk aliran permukaan dijelaskan dalam bentuk koefisien *run off* (Koefisien C). Tabel 4.1 menunjukkan besarnya koefisien C di berbagai penggunaan lahan yang digunakan dalam penelitian.

Berdasarkan tabel 4.4, maka lahan terbangun mempunyai koefisien yang tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa lahan terbangun akan memberikan aliran permukaan yang terbesar sehingga sedikit air yang akan mengimbuh ke dalam tanah. Lahan bervegetasi dan badan air mempunyai koefisien *run off* yang rendah. Hal ini menunjukkan bahwa lahan bervegetasi mempunyai kemampuan terbesar dalam mengimbuh air tanah.

Tabel 4.4. Tabel Koefisien *Run Off*

No.	Penggunaan Lahan	Koefisien C
1.	Lahan terbangun	0,70 – 0,90
2.	Lahan kosong	0,25 – 0,40
3.	Lahan bervegetasi	0,10 – 0,25
4.	Badan Air	1

Sumber : Arsyad (2000:51), dimodifikasi.

Curah hujan yang jatuh di daerah penelitian sebesar 3.037.356.000 m<sup>3</sup>/tahun. Bila diasumsikan bahwa rata-rata lahan terbangun mempunyai koefisien limpasan sebesar 0,75, maka 75% air hujan yang jatuh akan menjadi limpasan permukaan dan 25% akan meresap ke dalam tanah. Koefisien limpasan sebesar 0,75 akan memberikan debit aliran permukaan sebesar 2.278.017.000 m<sup>3</sup>/tahun. Aliran permukaan akan mengalir ke saluran drainase perkotaan dan sungai yang kemudian masuk ke laut.

Lahan terbangun dalam penelitian merupakan gabungan antara lahan permukiman, perdagangan, industri, dan lain sebagainya, sedangkan lahan yang dapat dibangun merupakan gabungan antara lahan bervegetasi dan lahan lahan kosong. Luas lahan terbangun di daerah penelitian mengalami peningkatan sebesar 6,4% dari luas daerah penelitian selama periode tahun 2000–2008. Dengan demikian, rata-rata pertumbuhan lahan terbangun per tahun sebesar 0,8%. Hal ini diperkuat dengan hasil wawancara yang menyebutkan 100% informan mengakui bahwa telah terjadi peningkatan lahan terbangun yang terjadi akibat adanya perubahan penggunaan lahan dari lahan bervegetasi menjadi lahan

terbangun. Peningkatan lahan terbangun pada umumnya terjadi di wilayah pinggiran daerah penelitian menjadi areal permukiman.

Pertumbuhan lahan terbangun akan memberikan dampak pada berkurangnya permukaan resapan air tanah. Dengan demikian, kemungkinan terjadinya imbuhan air tanah menjadi kecil. Bila lahan terbangun semakin luas setiap tahunnya, maka akan berimbas pada kenaikan debit limpasan permukaan yang pada akhirnya akan berpotensi pada berkurangnya imbuhan air tanah.

Upaya yang dilakukan oleh Pemerintah dalam mengendalikan peningkatan luas lahan terbangun dalam kaitannya dengan konservasi air tanah salah satunya dengan meningkatkan luas ruang terbuka hijau. Keseluruhan informan menyakini bahwa dengan meningkatkan luas lahan terbuka hijau maka akan semakin memberikan peluang terjadinya imbuhan air tanah sehingga akan menambah cadangan air tanah.

#### **4.1.5 Kebutuhan dan Penggunaan Air Bersih**

Kebutuhan air bersih penduduk dapat dipenuhi dari air tanah dan air PAM. Berdasarkan hasil wawancara, keseluruhan informan menyebutkan bahwa air tanah dan air PAM digunakan secara bersamaan. Hal yang melatarbelakangi antara lain: (1) Air tanah masih banyak tersedia, yang dinyatakan oleh 78,57% informan; serta (2) adanya keterbatasan air PAM, yang dinyatakan oleh 85,71% informan. Dengan demikian, maka anggapan adanya air yang banyak serta keterbatasan air PAM akan menyebabkan pengambilan air tanah semakin tinggi untuk memenuhi kebutuhan air di CAT Jakarta.

CAT Jakarta dapat dikategorikan sebagai kelas kota metropolitan sehingga kebutuhan airnya mengikuti standar kebutuhan air sebesar 250 l/orang /hari. Standar ini mengikuti SNI 19-6728.1-2002 tentang Penyusunan Sumber Daya Air Spasial. Tabel 4.5 menunjukkan besarnya kebutuhan air penduduk di daerah penelitian. Kebutuhan air terbesar adalah di wilayah DKI Jakarta. Tingginya kebutuhan air di Jakarta terjadi karena banyaknya penduduk yang tinggal dan bekerja di Jakarta terutama saat siang hari jumlahnya mencapai 2 kali lipat.

Kabupaten Bekasi mempunyai kebutuhan air bersih yang kecil sebab jumlah penduduk yang berada di daerah penelitian sedikit. Jumlah kebutuhan air bersih secara keseluruhan mengalami peningkatan setiap tahun. Laju kenaikan kebutuhan air bersih penduduk sebesar 4,25% per tahun.

Tabel 4.5. Perkiraan Kebutuhan Air Bersih Penduduk

Tahun	Volume Kebutuhan Air Bersih (m <sup>3</sup> )						Total
	DKI Jakarta	Kab. Tangerang	Kota Tangerang	Kota Bekasi	Kab. Bekasi	Depok	
2002	680.859.320	50.962.165	96.383.334	94.354.177	13.521.631	88.840.095	1.024.920.722
2003	680.444.954	32.753.748	99.766.650	94.338.480	14.698.744	95.143.999	1.017.146.574
2004	681.807.773	54.735.699	101.269.296	99.830.383	15.268.674	97.546.365	1.050.458.189
2005	825.046.456	56.666.648	104.573.905	104.397.782	15.876.952	97.906.858	1.204.468.602
2006	817.753.300	58.680.172	100.788.006	108.024.510	16.087.504	101.180.435	1.202.513.927

Sumber: BPS, 2011, pengolahan data

Kebutuhan air bersih terus meningkat setiap tahunnya seiring dengan pertambahan jumlah penduduk. Pada tahun 2006 terjadi penurunan volume air yang dibutuhkan sebab adanya penurunan jumlah penduduk di Kota Tangerang.

Daerah penelitian merupakan kawasan yang mempunyai banyak penduduk dan kegiatan/usaha di atasnya. Sumber air bersih penduduk adalah air tanah dan air PAM, sebagian penduduk yang lain tidak mendapatkan akses terhadap air bersih sehingga menggunakan sumber air dari sungai yang telah tercemar. Penduduk yang mempunyai tingkat ekonomi lebih baik pada umumnya menggunakan air PAM sebagai sumber air bersih, namun juga tetap menggunakan air tanah sebagai sumber air tambahan. Hal ini berbeda dengan kegiatan/usaha yang pada umumnya justru cenderung menggunakan air tanah dibanding air PAM.

Layanan air PAM di daerah penelitian mempunyai beberapa keterbatasan produksi antara lain: air baku yang terbatas untuk proses produksi, adanya tingkat kebocoran yang secara umum mencapai 46%, infrastruktur yang tidak memadai serta modal yang tidak mencukupi untuk pengembangan usaha.

Air PAM menjadi kebutuhan utama terutama di sepanjang pantai daerah penelitian. Kualitas air tanah yang asin dan tidak adanya ijin pengambilan air

tanah dangkal merupakan penyebab utamanya. Hasil observasi menunjukkan bahwa air tanah dalam banyak diambil oleh banyak kegiatan/usaha akan tetapi peneliti tidak dapat mendapatkan data kegiatan/usaha yang menggunakan air tanah dalam tersebut. Tabel 4.4 menunjukkan besarnya air PAM yang terjual ke pelanggan di daerah penelitian baik yang digunakan oleh penduduk maupun kegiatan/usaha.

Berdasarkan Tabel 4.5. penggunaan air PAM tertinggi di Provinsi DKI Jakarta. Tingginya penggunaan air PAM di Jakarta karena adanya peraturan daerah yang mewajibkan kegiatan/usaha menggunakan air PAM sebagai sumber air utama dibanding air tanah. Berdasarkan peraturan tersebut, air PAM wajib digunakan oleh semua penduduk dan kegiatan/usaha terutama di sepanjang pantai daerah penelitian. Sebagai catatan. Kecamatan Penjaringan di Jakarta Utara merupakan salah satu kecamatan yang kurang mendapat layanan distribusi air PAM.

Layanan air PAM di daerah penelitian dikelola oleh badan di bawah Pemerintah Daerah. Layanan air PAM di Provinsi DKI Jakarta, dioperatori oleh PT. Aetra dan PT. Pam Lyonnase Jaya (Palyja). PT. Aetra melayani pelanggan yang berada di wilayah timur Kali Ciliwung yang mencakup Jakarta Timur, sebagian Jakarta Pusat, sebagian Jakarta Selatan dan sebagian Jakarta Utara, sedangkan PT. Palyja melayani pelanggan yang berada di wilayah barat Kali Ciliwung yang mencakup Jakarta Barat, sebagian Jakarta Pusat, sebagian Jakarta Timur dan sebagian Jakarta Utara.

Tabel 4.6. Penjualan Air PAM

Tahun	Volume Penjualan Air (m <sup>3</sup> )						Total
	DKI Jakarta	Kab. Tangerang	Kota Tangerang	Kota Bekasi	Kab. Bekasi	Depok	
2002	255.161.069	17.376.321,08	18.040.225	17.752.482	676.369	8.901.893.71	317.908.359
2003	274.102.317	15.745.215,10	15.894.769	22.888.986	547.408	8.434.097.30	337.612.793
2004	270.908.257	21.741.761,62	17.202.406	16.941.455	805.330	5.897.302,64	333.496.511
2005	267.080.481	21.719.047,71	92.133.563	35.324.735	1.253.438	8.309.376,94	425.820.641
2006	261.856.133	21.991.173,98		21.086.704	804.376	9.553.438,67	315.291.826

Sumber: BPS, 2011, pengolahan data

Tabel 4.7 menunjukkan bahwa setiap kota/kabupaten memiliki badan layanan air PAM. Informan dari Badan Regulasi PAM DKI Jakarta menyebutkan bahwa secara umum air baku yang digunakan untuk produksi air PAM di untuk DKI Jakarta, Kota Bekasi, Kabupaten Bekasi, dan Kota Depok berasal dari sumber air yang sama yaitu Kanal Tarum Barat yang airnya bersumber dari Waduk Jatiluhur. Peningkatan debit waduk berpengaruh pada peningkatan ketersediaan air baku dari segi kuantitas tetapi buruk dari segi kualitas. Hal yang sama juga terjadi untuk air yang berasal dari Kali Cisadane untuk suplai air PAM Kota Tangerang dan Kabupaten Tangerang.

Suplai air baku untuk produksi air PAM sangat tergantung pada debit aliran sungai dan kanal tersebut. Perubahan penggunaan lahan di hulu sungai dan kanal menyebabkan semakin tingginya debit aliran yang masuk sehingga dari sisi kuantitas dapat membantu untuk penyediaan air baku. Akan tetapi, banyaknya limbah yang masuk ke badan air sungai dan kanal menyebabkan operator harus melakukan pengolahan lanjutan sehingga layak konsumsi. Hal ini kemudian menjadi salah satu penyebab rendahnya suplai air baku layak olah bagi operator air PAM.

Tabel 4.7 Operator Layanan Air PAM

No.	Wilayah	Operator	Sumber Air Baku
1.	Barat Kali Ciliwung Provinsi DKI Jakarta	PT. Palyja	Kanal Tarum Barat
2.	Timur Kali Ciliwung Provinsi DKI Jakarta	PT. Actra	Kanal Tarum Barat
3.	Kota Bekasi	PDAM Tirta Patriot	Kanal Tarum Barat
4.	Kota Depok	PDAM Tirta Kahuripan	Kanal Tarum Barat
5.	Kota Tangerang	PDAM Tirta Benteng	Kali Cisadane
6.	Kabupaten Tangerang	PDAM Tirta Kerta Raharja	Kali Cisadane
7.	Kabupaten Bekasi	PDAM Tirta Kahuripan	Kanal Tarum Barat

Sumber: Observasi Lapangan dan Studi Literatur, 2011

Air PAM yang sudah diolah tidak semua dapat tersalurkan ke pelanggan sebab adanya kehilangan air. Kehilangan air dapat dilihat dari dua sisi: dari sisi kehilangan itu sendiri dan dari sisi jika tidak kehilangan. Pemahaman dua

dimensi ini memberikan gambaran bahwa kehilangan air merupakan wanprestasi dari suatu proses pelayanan air secara keseluruhan. Selain itu, jika tidak kehilangan memberikan nilai bahwa ada hak publik yang diambil yang seharusnya ada. Dimensi ganda ini membuat pemahaman tentang kehilangan air menjadi sebuah kata kunci dalam pemahaman arti penting angka kehilangan air pada pelayanan air bersih. Berdasarkan hasil wawancara, angka kehilangan air rata-rata dari seluruh operator air PAM di daerah penelitian sebesar 46% dari keseluruhan produksi air.

Tabel 4.8 menunjukkan volume air yang diproduksi oleh operator air PAM dengan menggunakan asumsi bahwa semua wilayah terlayani PAM dan tetap mengikuti batas administrasi yang masuk dalam daerah penelitian. Berdasarkan tabel tersebut, laju rata-rata peningkatan produksi air setiap tahun sebesar 6%. Secara keseluruhan, layanan air PAM hanya menjangkau 36% dari keseluruhan kebutuhan air bersih penduduk.

Tabel 4.8 Produksi Air PAM

Tahun	Volume Produksi Air PAM (m <sup>3</sup> )						Total
	DKI Jakarta	Kab. Tangerang	Kota Tangerang	Kota Bekasi	Kab. Bekasi	Depok	
2002	488.241,125	9.704,869	25.912,837	31.062,960	650,424	5.917,498	561.489,714
2003	497.662,644	15.745,215	25.500,870	40.050,720	752,805	6.848,948	586.561,203
2004	518.990,345	21.741,762	26.402,829	29.643,840	946,755	8.613,484	606.339,014
2005	536.650,419	30.143,048	29.422,001	61.810,560	1.169,527	10.640,239	669.835,793

Sumber: BPS, diolah

Selain penduduk, kegiatan/usaha juga menggunakan air tanah untuk memenuhi kebutuhannya. Kebutuhan air oleh kegiatan/usaha sebagian dapat dipenuhi oleh air PAM dan kekurangannya dipenuhi melalui pengambilan air tanah dalam. Pengambilan air tanah dalam oleh kegiatan/usaha tidak dapat diketahui secara langsung. Data yang diperoleh dari instansi pemerintah pada umumnya data ijin pengambilan maksimum air tanah dalam yang diperbolehkan. Data maksimum tersebut digunakan untuk memperkirakan besarnya pengambilan maksimum air tanah dalam. IWACO (1994:87) menyebutkan bahwa pengambilan air tanah dalam pada kenyataannya tiga kali lipat dari data perijinan di instansi pemerintah.

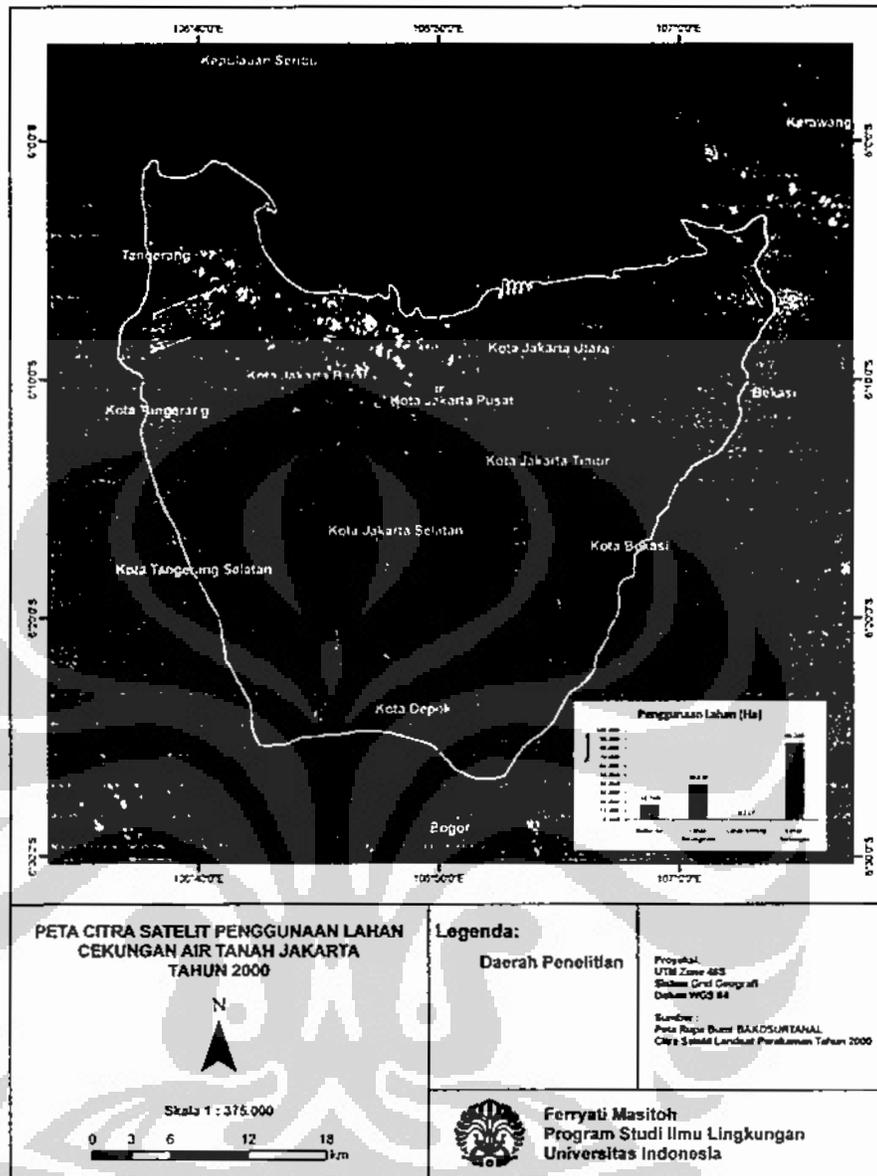
Besarnya kebutuhan air tanah dalam di daerah penelitian didekati dengan menghitung kebutuhan air oleh industri. Anwar (*dalam* Arsyad, 2008:114) menjelaskan bahwa pada tahun 2003, jumlah air tanah dalam yang diambil di daerah penelitian sebesar  $23,21.10^6 \text{ m}^3$ .

#### 4.1.6 Penggunaan Lahan

Daerah penelitian terletak di daerah dengan topografi yang datar. Topografi yang datar tersebut akan memberi pengaruh yang baik terhadap perkembangan kegiatan penduduk. Klasifikasi penggunaan lahan perkotaan yang digunakan dalam penelitian ini dititikberatkan pada penggunaan lahan terbangun dan lahan bervegetasi. Lahan terbangun merupakan lahan yang berupa kawasan permukiman, industri, perdagangan sedangkan lahan bervegetasi merupakan lahan yang berupa ruang terbuka hijau termasuk didalamnya adalah pertanian, perkebunan, vegetasi rawa, taman dan hutan kota.

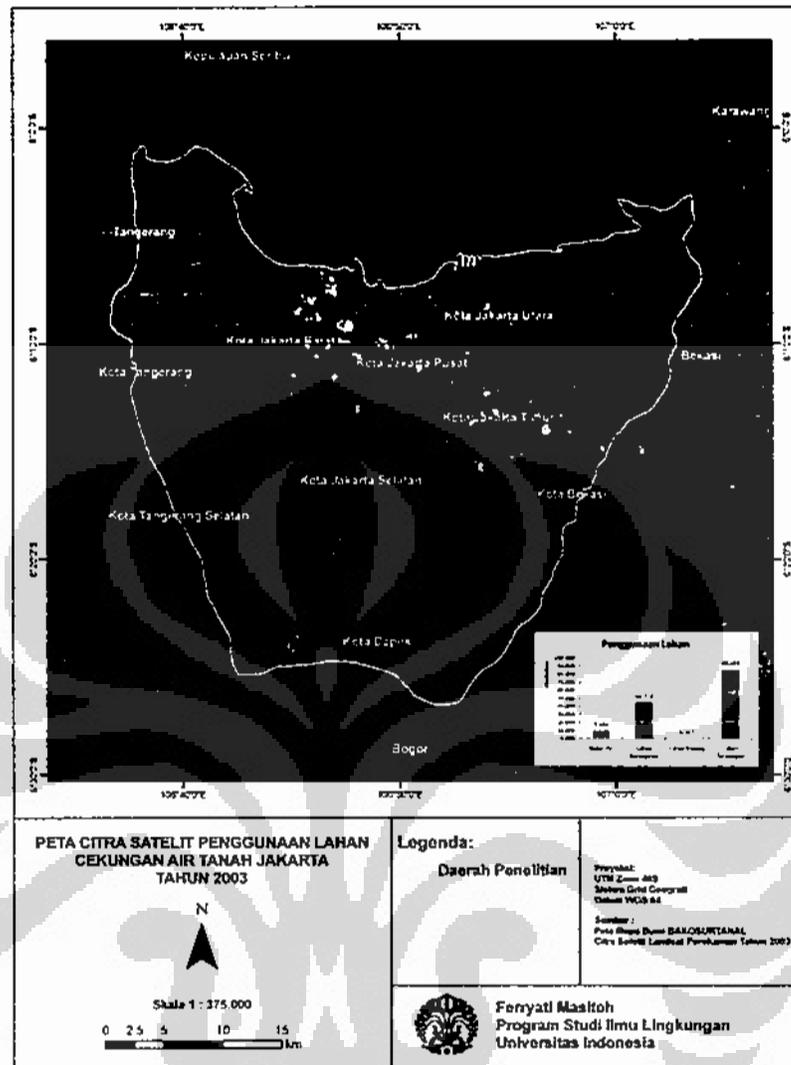
Penggunaan lahan diperoleh dari interpretasi citra satelit. Citra yang digunakan adalah citra satelit Landsat spasiotemporal sehingga dapat diketahui perubahan ruang secara spasial di setiap satuan waktunya. Berdasarkan citra satelit Landsat (Gambar 4.2–4.4) nampak bahwa perkembangan lahan terbangun semakin meluas terutama di Jakarta.

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa lahan terbangun mempunyai cakupan yang paling luas dibanding penggunaan lahan lainnya. Warna merah pada citra merupakan kenampakan sebagai lahan terbangun sedangkan warna hijau sebagai lahan bervegetasi. Luas lahan terbangun mencapai luas 86.207 ha atau setara dengan 60% dari luas daerah penelitian, sedangkan lahan bervegetasi seluas 39.640 ha atau setara dengan 27,5% dari luas daerah penelitian. Sebaran lahan terbangun terluas berada di wilayah Provinsi DKI Jakarta dan Kota Depok. Tingginya lahan terbangun di daerah tersebut dapat terjadi karena Jakarta sebagai pusat kegiatan nasional, sedangkan Kota Depok merupakan daerah suburban yang lahannya pada umumnya digunakan untuk pertanian, permukiman, industri dan perdagangan.



Gambar 4.2 Peta Citra Satelit Penggunaan Lahan tahun 2000 di daerah penelitian (Sumber: Citra Landsat, diolah)

Berdasarkan Gambar 4.3 terlihat bahwa lahan terbangun semakin meluas pada tahun 2003. Perluasan lahan terbangun ke arah selatan Kota Depok, begitu juga ke timur Kota Bekasi dan barat Tangerang. Luas badan air mengalami penurunan luas. Hal ini justru terbalik dengan semakin bertambahnya lahan bervegetasi. Kemungkinan yang terjadi adalah rawa-rawa dan situ yang mengering atau mengalami penurunan muka air sehingga tumbuh berbagai macam vegetasi. Badan air yang berupa rawa nampak terlihat di panta utara Bekasi yang pada tahun 2003 mengalami penurunan luas dan berubah menjadi lahan terbangun.

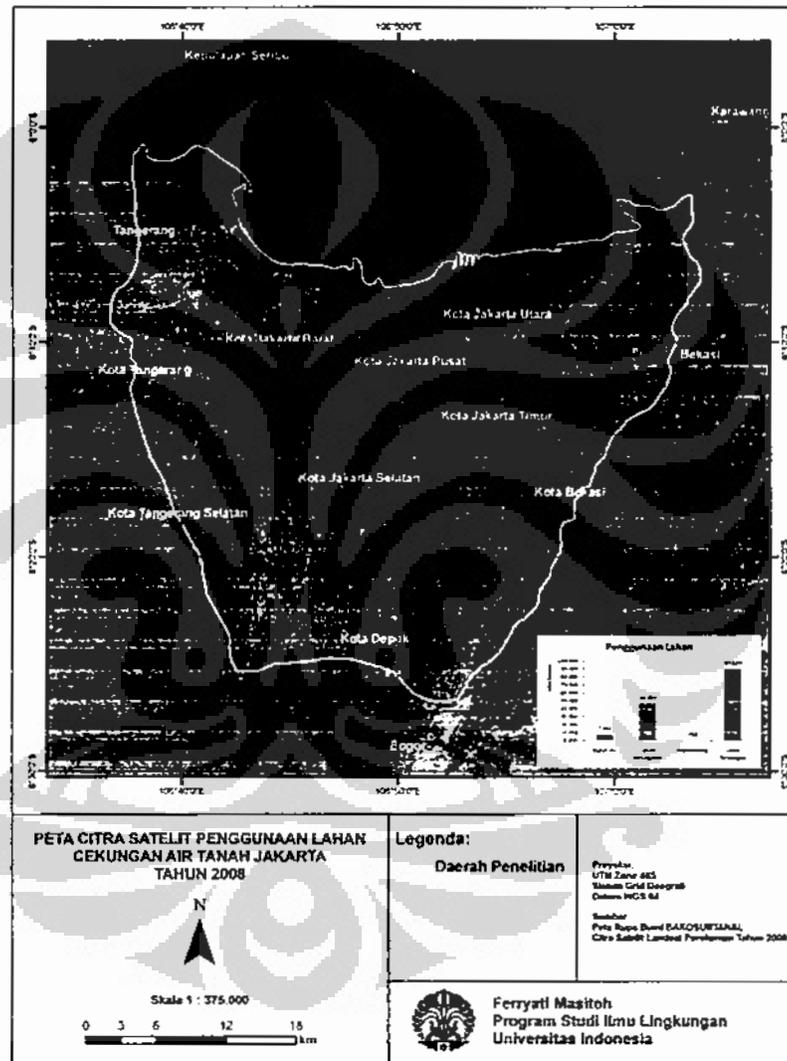


Gambar 4.3 Peta Citra Satelit Penggunaan Lahan tahun 2003 di daerah penelitian (Sumber: Citra Landsat, diolah)

Gambar 4.4 memperlihatkan bahwa perkembangan lahan terbangun semakin meluas hingga mencapai 89.650 ha atau sekitar 63% dari luas daerah penelitian. Perubahan penggunaan lahan terjadi terutama di pinggiran daerah penelitian yang berfungsi sebagai daerah suburban. Pada tahun 2003, pinggiran daerah penelitian merupakan lahan bervegetasi yang berupa lahan pertanian. Pada tahun 2008, telah berubah berfungsi sebagai lahan terbangun yang hal ini merupakan ciri utama dari daerah urban.

Perubahan penggunaan lahan dari lahan bervegetasi menjadi lahan terbangun dapat terjadi sebagai akibat tingginya kebutuhan lahan untuk pembangunan

perumahan, perkantoran, kawasan industri, dan perdagangan. Secara ekonomi, hal ini dinilai baik sebab mendukung kegiatan ekonomi dari segi penyediaan infrastruktur. Akan tetapi hal ini akan memberikan dampak buruk terhadap air tanah sebab berkurangnya permukaan tanah yang diperlukan untuk resapan air. Laju kenaikan lahan terbangun pada periode tahun 2000–2008 sebesar 6,4% atau 0,8% per tahun.



Gambar 4.45 Peta Citra Satelit Penggunaan Lahan tahun 2008 di daerah penelitian (Sumber: Citra Landsat, diolah)

Jakarta merupakan pusat dari segala kegiatan perekonomian. Perubahan penggunaan lahan di daerah ini hanya perubahan fungsi yang sebelumnya lahan permukiman menjadi lahan untuk perkantoran dan perdagangan. Perubahan penggunaan lahan menjadi lahan terbangun paling banyak terjadi di daerah

pinggiran daerah penelitian. Pada tahun 2000, daerah pinggiran masih berupa lahan bervegetasi untuk pertanian dan perkebunan. Pada tahun 2008, telah beralih fungsi menjadi lahan terbangun terutama untuk permukiman.

#### 4.1.7 Kependudukan

Daerah penelitian terbagi atas 3 (tiga) Provinsi yaitu seluruh wilayah Provinsi DKI Jakarta, sebagian wilayah Provinsi Jawa Barat dan sebagian wilayah Provinsi Banten. Provinsi DKI Jakarta merupakan Provinsi yang mempunyai kepadatan penduduk tertinggi di Indonesia. Hal ini karena Jakarta merupakan pusat kegiatan pemerintahan dan ekonomi yang menjadi daya tarik tersendiri bagi penduduk di sekitarnya dan di Provinsi lainnya. Daya tarik Jakarta tersebut akan menjadi salah satu hal yang menyebabkan adanya migrasi ke Jakarta yang pada akhirnya akan meningkatkan populasi penduduk.

Tabel 4.9 Jumlah Penduduk di Daerah Penelitian

Tahun	Jumlah Penduduk (orang)						Total
	DKI Jakarta	Kab. Tangerang	Kota Tangerang	Kota Bekasi	Kab. Bekasi	Kota Depok	
2002	7.461.472	558.489	1.056.256	1.034.018	148.182	973.590	11.232.008
2003	7.456.931	598.242	1.093.333	1.033.846	161.082	1.042.674	11.386.109
2004	7.471.866	599.843	1.109.801	1.094.032	167.328	1.069.001	11.511.871
2005	9.041.605	621.004	1.146.015	1.144.085	173.994	1.072.952	13.199.656
2006	8.961.680	643.070	1.104.526	1.183.830	176.301	1.108.827	13.178.235

Sumber: BPS Tahun 200-2006, diolah

Jumlah penduduk Jakarta berbeda antara siang dan malam. Penduduk malam pada umumnya adalah penduduk yang memang bertempat tinggal di Jakarta, sedangkan penduduk siang adalah penduduk yang berada di Jakarta hanya saat siang hari untuk bekerja. Penduduk pada siang hari umumnya bertempat tinggal di kawasan sekitar Jakarta misalnya Depok, Bekasi, Tangerang dan Bogor. Tabel 4.9 memperlihatkan bahwa setiap tahun terjadi peningkatan jumlah penduduk di daerah penelitian dengan laju sebesar 3.5 % per tahun.

BPS (2007:10) memproyeksikan bahwa angka kelahiran total (*Total Fertility Rate/ TFR*) di Jakarta mengalami kenaikan selama periode 10 tahun dari tahun

2000-2010. Hal ini berbeda dengan Jawa Barat dan Banten yang justru mengalami penurunan. Kecenderungan penurunan angka kelahiran total terjadi karena keberhasilan Program KB dan kesadaran masyarakat untuk mengatur kelahiran. BKKBN (*dalam* BPS, 2007:11) menyebutkan bahwa angka kelahiran total setiap tahun semakin mendekati *Net Reproduction Rate* (NRR) sebesar 1 yang berarti  $TFR = 2,1$ . Hal ini kemudian dipagu di angka  $TFR = 2,1$  yang bersifat konstan setiap tahun dan tidak mengalami penurunan hingga ke angka 1.2. Angka kelahiran 1.2 tersebut sama dengan angka kelahiran anak wanita di negara-negara maju dengan pertimbangan untuk menjaga kestabilan jumlah penduduk.

Angka kelahiran di DKI Jakarta mengalami peningkatan sebesar 0,01 dalam periode 10 tahun. Pada periode tahun 2005-2010,  $TFR = 1.572$ , artinya adalah setiap perempuan yang lahir mempunyai kesempatan melahirkan 1 orang anak perempuan. Hal ini berbeda dengan Provinsi Jawa Barat dan Provinsi Banten yang mempunyai  $TFR = 2,218$  dan  $2,399$  pada periode tahun 2005-2010, yang menunjukkan bahwa setiap perempuan berkemungkinan akan melahirkan 2 orang anak perempuan. Dengan semakin tingginya jumlah anak perempuan yang lahir maka peluang terjadinya peningkatan angka kelahiran akan semakin besar yang kemudian akan meningkatkan jumlah penduduk. Daerah penelitian menggunakan angka  $TFR$  rata-rata sebesar 2,063 dengan batas penurunan  $TFR$  sebesar 1,2 per tahun. Asumsi nilai  $TFR = 1,2$  adalah nilai tersebut akan menghasilkan jumlah penduduk yang stabil. Anak perempuan akan tumbuh menjadi perempuan dewasa yang akan memberikan memberikan peluang terjadinya peningkatan jumlah penduduk melalui kelahiran. Tidak lengkapnya data populasi penduduk perempuan produktif yang berseri, maka peneliti menggunakan angka kelahiran kasar yang diproyeksikan oleh BPS. Angka kelahiran kasar (*Crude Birth Rate/CBR*) di daerah penelitian sebesar 22 atau 2,2% per tahun. Angka ini tidak memisahkan penduduk laki-laki dan perempuan yang berada di usia reproduksi.

Tabel 4.10 menunjukkan populasi perempuan di daerah penelitian. Populasi perempuan lebih banyak dibanding laki-laki sehingga *sex ratio* rata-rata sebesar 102.

Tabel 4.10 Jumlah Penduduk Perempuan

Tahun	Jumlah Penduduk (orang)						Total
	DKI Jakarta	Kab. Tangerang	Kota Tangerang	Kota Bekasi	Kab. Bekasi	Kota Depok	
2002	3.592.594	274.305	529.182	500.875	76583	481.082	5.454.620
2003	3.583.521	294.975	535.880	522.844	78.987	511.627	5.527.833
2004	3.591.452	295.764	543.223	546.696	81.858	524.623	5.583.617
2005	4.527.781	311.348	568.269	573.944	84.680	529.397	6.595.420
2006	4.529.068	326.738	550.324	588.350	86.410	546.819	6.627.708

Sumber: BPS Tahun 200-2006, diolah

Salah satu faktor yang mempengaruhi jumlah penduduk selain kelahiran adalah kematian. Semakin tinggi angka kematian maka jumlah penduduk semakin berkurang. Angka kematian yang digunakan dalam penelitian menggunakan angka kematian total (*Total Mortality Rate/TMR*) menurut BPS untuk wilayah Indonesia sebesar 3,6 atau 0,36% per tahun. Hal ini karena minimnya data mengenai angka kematian untuk wilayah Jakarta dan sekitarnya.

Migrasi penduduk juga menentukan jumlah penduduk di daerah penelitian. Keterbatasan data penelitian mengakibatkan peneliti tidak dapat menentukan besarnya migrasi di daerah penelitian. BPS memproyeksikan bahwa untuk periode tahun 2000 – 2005 sebesar -7,4 terjadi di Propinsi DKI Jakarta. Angka negatif memperlihatkan bahwa Jakarta mengalami migrasi keluar yang lebih banyak daripada migrasi masuk. Selanjutnya Chotib (1995:19) menjelaskan bahwa Jakarta yang merupakan pusat segala kegiatan ternyata menjadi daerah pengirim migran ke wilayah lain terutama Jawa Barat, Banten dan Jawa Tengah.

Migran yang keluar dari Jakarta akan menjadi migran masuk ke Jawa Barat dan Banten. Hal ini akan menaikkan angka migrasi masuk ke dua Provinsi tersebut terutama di sekitar Jakarta (Kota Depok, Kota Tangerang, Kota Bekasi, Kabupaten Tangerang dan Kabupaten Bekasi). Migrasi masuk akan menaikkan jumlah penduduk di wilayah tersebut. Secara umum, angka rata-rata migrasi netto di daerah penelitian sebesar 1,6.

#### 4.1.8 Kelembagaan

Pengelolaan air tanah di daerah penelitian dikelola oleh beberapa lembaga Pemerintah yang berada di tingkat propinsi dan kota/kabupaten. Pengelolaan air tanah tersebut dapat dibagi menjadi beberapa hal antara lain: perencanaan, pengorganisasian dan pengawasan. Dari segi perencanaan, pengelolaan air tanah dilakukan oleh Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) dan kepala wilayah (Gubernur atau Walikota atau Bupati), baik dari sisi pembagian tugas kerja instansi, serta dalam hal perencanaan anggaran yang dibutuhkan.

Berdasarkan hasil wawancara, banyaknya instansi yang mengelola air tanah berkaitan dengan beberapa alasan antara lain:

1. Keberadaan air tanah yang berada di bawah permukaan tanah menjadikan air tanah berada pada kelompok pertambangan. Sebagai bagian dari pertambangan, maka air tanah dikelola oleh badan yang menangani pertambangan yaitu Dinas Pertambangan. Contoh wilayah adalah Propinsi DKI Jakarta sebelum tahun 2008. Dinas Pertambangan Propinsi DKI Jakarta saat ini telah bergabung dengan Badan Pengelola Lingkungan Hidup DKI Jakarta;
2. Air tanah dapat dikategorikan sebagai sumber daya alam yang mempunyai nilai ekonomi tinggi sehingga termasuk dalam salah satu sumber pendapatan daerah. Dengan demikian maka air tanah berada dalam lingkup pengelolaan Dinas Pendapatan dan Badan Perijinan;
3. Air tanah sangat dibutuhkan oleh berbagai kegiatan/usaha terutama industri sehingga pengelolaan air tanah diserahkan kepada Dinas Perindustrian, misalnya untuk Kota Depok hingga tahun 2008;
4. Air tanah adalah salah satu sumber daya alam yang mempunyai pengaruh besar terhadap lingkungan secara keseluruhan sehingga, pengelolaan air tanah berada di bawah instansi Badan Lingkungan Hidup dan Dinas Pekerjaan Umum.

Keempat alasan tersebut diatas kemudian mengalami perubahan sebagai akibat dari adanya perubahan cara pandang Pemerintah terhadap air tanah. Air tanah saat ini dianggap sebagai bagian dari lingkungan hidup yang mempunyai

pengaruh luas terhadap penduduk, alam dan aktivitas pembangunan yang tidak hanya dibawah pengawasan lembaga tertentu saja. Dengan demikian, air tanah berada dalam wilayah pengelolaan Badan Lingkungan Hidup sebagai koordinator pengelolaan.

Pengambilan air tanah di daerah penelitian dilakukan oleh penduduk dan kegiatan/usaha. Sebanyak 85,71% informan menyatakan bahwa penduduk mengambil air tanah sebanyak yang dibutuhkan dan tanpa ada pengawasan dari pemerintah. Penduduk pada umumnya mengambil air dari air tanah dangkal sebab tidak memerlukan teknologi besar untuk mengambilnya. Selain itu, pengambilan air tanah oleh penduduk tidak memerlukan perijinan kepada Pemerintah sebelum melakukan pengeboran sumur air tanahnya.

Berbeda dengan penduduk yang tidak memerlukan perijinan, maka semua kegiatan/usaha diwajibkan memerlukan perijinan terlebih dahulu sebelum melakukan pengeboran sumur air tanah. Mereka harus melalui proses kajian terlebih dahulu untuk mengetahui volume air tanah yang diperlukan, jumlah sumur yang dibangun serta debit maksimum yang diijinkan dalam satu hari. Keseluruhan informan menyatakan bahwa tidak semua kegiatan usaha mempunyai ijin pengambilan air tanah. Hal ini terkait dengan besarnya air yang mereka butuhkan sehingga akan berimbas pada besarnya retribusi air yang harus dibayarkan kepada pemerintah. Berdasarkan ijin yang dikeluarkan setiap tahun oleh Badan Perijinan, maka nampak adanya peningkatan jumlah kegiatan/usaha yang mengajukan ijin pengambilan air tanah serta ijin untuk menambah sumur air tanah (keterangan dari 100% informan). Dengan demikian, maka semakin banyaknya ijin yang dikeluarkan untuk pengambilan air tanah dan penambahan jumlah dan debit sumur air tanah, akan berpengaruh besar terhadap cadangan air tanah.

Keseluruhan informan yang berasal dari instansi pemerintah menyakini bahwa pengambilan air tanah merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap cadangan air tanah di daerah penelitian. Hal ini menjadi salah satu hal yang melatarbelakangi perlu adanya pengawasan pada kegiatan/usaha yang melakukan pengambilan air tanah. Pengawasan tidak dapat dilakukan secara terus-menerus

karena adanya keterbatasan sumber daya yang dimiliki oleh Pemerintah, sehingga pengawasan tersebut hanya dilakukan dengan cara razia yang bersifat insidental atau sewaktu-waktu. Jika ditemukan adanya pelanggaran dalam pelaksanaan ijin pengambilan air tanah, maka akan dilakukan tindakan pencabutan ijin pengambilan air tanah.

Keterangan dari 21% informan menyebutkan bahwa hambatan lain yang dialami pemerintah adalah bahwa adanya ketidaktahuan aparat pemerintah yang menangani pengelolaan air tanah, terkait dengan volume yang diijinkan. Penentuan volume yang diijinkan tersebut seharusnya dapat diketahui dengan mengetahui posisi sumur air tanah terhadap letaknya di cekungan air tanah. Pada kenyataannya, aparat pemerintah tersebut tidak mengetahui termasuk di dalam cekungan air tanah yang mana, sehingga penentuan debit yang diijinkan yang diambil hanya berdasarkan pada perkiraan.

Selain melakukan pengawasan terhadap pelaksanaan ijin pengambilan air tanah, Pemerintah melakukan upaya lainnya yaitu dengan membuat biopori dan sumur resapan, serta memperluas Ruang Terbuka Hijau. Berdasarkan hasil wawancara, 64,29% informan menyatakan tidak mengetahui tingkat keefektifan upaya tersebut, sedangkan 14,29% informan menyatakan ragu-ragu dengan pertimbangan bahwa air tanah yang diambil telah mencapai air tanah dalam. Upaya lainnya untuk menjaga kelestarian cadangan air tanah yaitu dengan menganjurkan kepada kegiatan/usaha untuk lebih banyak menggunakan air PAM dibandingkan air tanah. Akan tetapi pada faktanya, peran serta pemerintah terkait dengan peningkatan layanan air PAM baru sebatas koordinasi, yang hal ini dinyatakan oleh 92,86% informan.

Berdasarkan hal tersebut, maka secara umum, pengelolaan air tanah yang dilakukan oleh lembaga pemerintah masih sangat lemah dan upaya yang dilakukan untuk melestarikan air tanah tidak terlalu signifikan hasilnya. Jika kemudian dikaitkan dengan persepsi bahwa air tanah adalah salah satu sumber pendapatan daerah, maka hal ini semakin berlawanan dengan upaya konservasi air tanah. Setiap daerah akan berusaha untuk meningkatkan pendapatan

daerahnya sehingga justru akan semakin meningkatkan volume pengambilan air tanah.

## **4.2 Pelaksanaan Penelitian**

### **4.2.1 Keterbatasan Penelitian**

1. Penelitian memiliki keterbatasan waktu, biaya dan tenaga;
2. Data yang diperoleh tidak semuanya bersifat *time series* dan tidak semua wilayah administrasi memiliki data yang dibutuhkan;
3. Data yang dimiliki instansi, kadang kala berbeda-beda, misalnya data mengenai jumlah penduduk yang memiliki versi yang berbeda-beda baik dalam instansi yang sama maupun instansi yang berbeda;
4. Semua informan dari kegiatan/usaha tidak bersedia untuk diwawancarai;
5. Sebagian besar instansi yang berhubungan dengan penelitian tidak bersedia memberikan datanya sehingga peneliti menggunakan studi literatur;
6. Perbedaan jenis data yang dibutuhkan serta periode waktu yang berbeda menyebabkan peneliti menggunakan pertimbangan tertentu dalam penggunaan data dan informasinya. Pertimbangan tersebut berkaitan dengan faktor kelengkapan dan kelayakan data;
7. Data satelit penginderaan jauh resolusi tinggi tahun 2006 tidak diperoleh sehingga pengamatan perkembangan penggunaan lahan kurang maksimal.

### **4.2.2 Model Pengaruh Pertumbuhan Penduduk dan Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Ketersediaan Air Tanah**

Model pengaruh pertumbuhan penduduk dan perubahan penggunaan lahan terhadap cadangan air tanah dapat terlihat melalui diagram simpal kausal pada Gambar 4.6. Pada diagram simpal kausal tersebut terdapat faktor-faktor utama yang menyebabkan penurunan cadangan air tanah di CAT Jakarta. Secara keseluruhan terdapat pola hubungan antara penduduk dan lahan yang dapat dibangun sehingga terbentuk 4 (empat) lup yang terdiri atas 1 (satu) lup positif dan 3 (tiga) lup negatif.

Pada subsistem penduduk terdapat 2 (dua) lup yaitu 1 (satu) lup positif R1 dan 1 (satu) lup negatif B2. Pada lup R1, terdapat hubungan antara variabel

kelahiran dan variabel penduduk. Jumlah penduduk yang meningkat akan menyebabkan jumlah kelahiran meningkat dan bila jumlah kelahiran meningkat maka jumlah penduduk juga akan meningkat. Hubungan positif lup ini saling menguatkan (*reinforcing*). Lup yang lain yaitu lup B2 yang menghubungkan variabel penduduk dengan variabel kematian. Jika jumlah penduduk meningkat maka kematian akan meningkat dan jika jumlah kematian meningkat maka jumlah penduduk akan berkurang. Hubungan lup negatif tersebut saling memberikan keseimbangan dalam sistem (*balancing*).

Pada subsistem lahan terdapat 1 (satu) lup negatif yaitu lup B3 pada hubungan antara laju pembangunan, lahan terbangun dan rasio lahan terbangun. Laju pembangunan dipengaruhi oleh rasio lahan terbangun dan lahan yang dapat dibangun. Semakin luas lahan yang dapat dibangun maka laju pembangunan akan meningkat. Jika kemudian laju pembangunan meningkat maka akan menyebabkan luas lahan yang terbangun akan meningkat pula. Perbandingan antara luas lahan terbangun dengan luas wilayah akan menyebabkan rasio lahan terbangun akan meningkat. Selanjutnya, jika rasio lahan terbangun meningkat maka laju pembangunan akan menurun. Hubungan lup negatif tersebut akan memberikan perilaku seimbang dalam sistem (*balancing*).

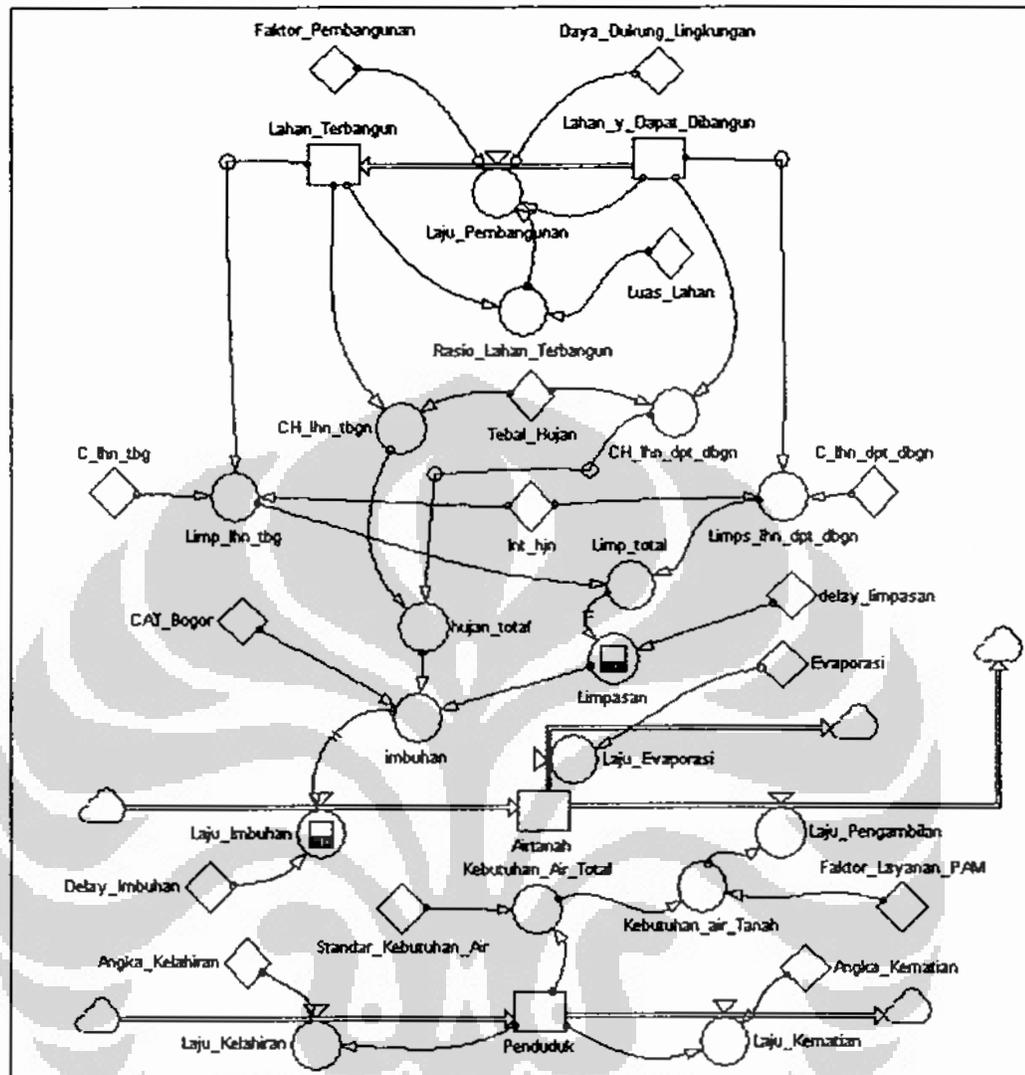
Hubungan antara penduduk, lahan dan air tanah akan membentuk lup negatif yaitu lup B4 yang akan memberikan keseimbangan sistem. Penduduk yang meningkat akan mempengaruhi daya dukung lingkungan. Daya dukung lingkungan yang meningkat akan meningkatkan lahan yang dapat dibangun. Lahan yang dapat dibangun memberikan kesempatan besar terhadap peningkatan laju pembangunan. Tingginya laju pembangunan akan memberikan dampak pada peningkatan lahan terbangun.



Dari sisi ekonomi, peningkatan lahan terbangun akan memberikan dampak yang baik karena terpenuhinya sarana yang dibutuhkan untuk aktifitas penduduk. Hal ini justru akan memberikan dampak negatif terhadap air sebab mengakibatkan terjadinya limpasan permukaan. Limpasan permukaan yang terus meningkat akan mengurangi volume air yang meresap ke dalam tanah sebagai imbuhan air tanah. Jika imbuhan air tanah meningkat, maka akan meningkatkan volume air tanah. Selanjutnya akan memberikan peluang terjadinya peningkatan laju pengambilan air tanah. Laju pengambilan air tanah yang tinggi akan membantu dalam pemenuhan kebutuhan air total untuk penduduk. Pada tahap selanjutnya, jika laju pengambilan air tanah meningkat maka akan berpengaruh pada penurunan daya dukung lingkungan.

Berdasarkan CLD pada gambar 4.5, maka untuk menjawab bagaimana pengaruh penduduk terhadap air tanah, maka dapat dilihat pada hubungan antara variabel: penduduk – daya dukung lingkungan – lahan yang dapat dibangun – limpasan permukaan – imbuhan – air tanah. Hubungan antara 6 (enam) variabel tersebut memberikan perilaku yang saling berlawanan sehingga bila penduduk semakin banyak maka air tanah akan berkurang. Selain itu, untuk menjawab bagaimana pengaruh antara lahan terbangun dengan air tanah, dapat dilihat pada hubungan antara variabel: lahan terbangun – limpasan permukaan – imbuhan – air tanah. Hubungan antara 4 (empat) variabel tersebut memberikan perilaku saling berlawanan sehingga jika lahan terbangun semakin meluas maka air tanah akan berkurang.

Diagram simpal kausal pada Gambar 4.5 dapat diterjemahkan pada diagram *stock flow* seperti yang terlihat pada Gambar 4.6. *Stock* pada model antara lain: penduduk, lahan yang dapat dibangun, lahan terbangun dan air tanah. *Stock* penduduk berada di dalam subsistem penduduk yang secara langsung dipengaruhi oleh kelahiran dan kematian. Kelahiran sebagai *inflow* dan kematian sebagai *outflow*. Kelahiran akan berfungsi untuk menambah jumlah penduduk dan kematian akan mengurangi jumlah penduduk.



Gambar 4.6 Diagram *Stock and Flow* pada Pengaruh Pertumbuhan Penduduk dan Lahan Terbangun pada Cadangan air Tanah

*Stock* pada subsistem lahan yaitu lahan yang dapat dibangun dan lahan terbangun. Lahan terbangun merupakan proses lanjutan dari lahan yang dapat dibangun. Perubahan lahan yang dapat dibangun dipengaruhi oleh laju pembangunan yang merupakan *outflow* dari lahan yang dapat dibangun dan menjadi *inflow* untuk lahan terbangun. Laju pembangunan dipengaruhi secara langsung oleh faktor pembangunan, rasio lahan terbangun dan daya dukung lingkungan. Faktor pembangunan merupakan faktor yang mempengaruhi naik atau tidaknya laju pembangunan. Rasio lahan terbangun adalah rasio antara lahan terbangun dan luas lahan. Rasio luas lahan akan berfungsi sebagai faktor yang

akan membatasi laju pembangunan sehingga laju pembangunan tidak melebihi luas lahan yang tersedia.

*Stock* pada subsistem air tanah dipengaruhi oleh *inflow* dari imbuhan dan *outflow* laju pengambilan dan laju evaporasi. Imbuhan secara langsung dipengaruhi oleh besarnya curah hujan, limpasan permukaan dan debit dari CAT Bogor. Dalam penelitian ini, aliran air tanah dari CAT Bogor dianggap sebagai konstanta yang bersifat tetap sehingga peneliti tidak mempertimbangkan segala hal yang terjadi pada CAT Bogor. CAT Bogor berada dalam sistem air yang lain dan tidak masuk dalam model.

*Stock* air tanah memiliki *outflow* berupa laju pengambilan air tanah. Laju pengambilan air tanah dipengaruhi oleh kebutuhan air total dan faktor layanan air PAM. Kebutuhan air total dipengaruhi oleh subsistem penduduk dan faktor layanan air PAM dijadikan konstanta yang dalam penelitian ini sebesar 36% dari kebutuhan air total. Air yang keluar sebagai air yang digunakan oleh penduduk dianggap sebagai air yang keluar dari sistem sehingga semua kejadian setelah melalui *outflow* laju pengambilan air, sudah tidak dipertimbangkan lagi. Selain *outflow* dari laju pengambilan air tanah, *stock* air tanah mempunyai *outflow* yang berupa laju evaporasi. Laju evaporasi dipengaruhi oleh faktor evaporasi yang merupakan besaran volume evaporasi tahunan.

#### 4.2.3 Pengujian Model

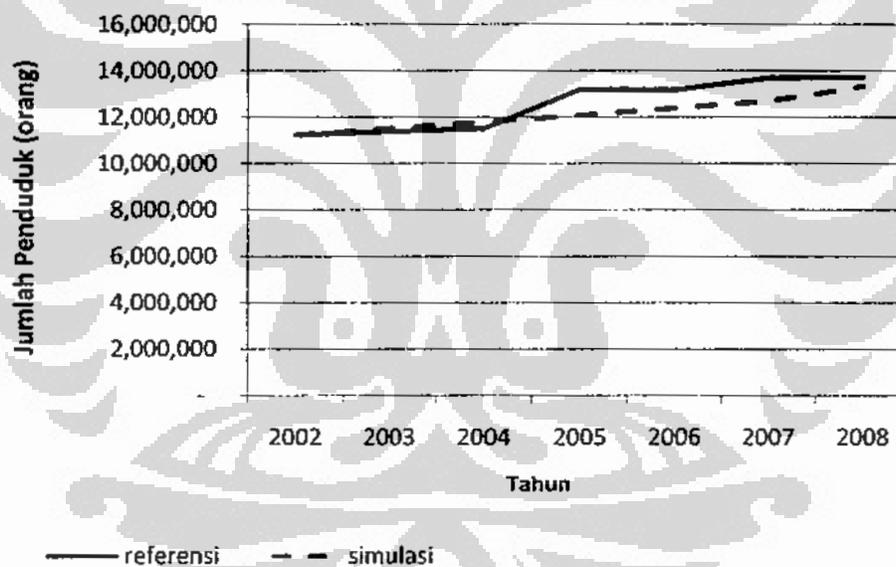
Peneliti melakukan pengujian model untuk mengetahui besarnya penyimpangan antara hasil simulasi dengan kenyataan di lapangan. Untuk mengetahui besarnya penyimpangan maka peneliti menggunakan cara visual dan salah satu metode dari statistik yaitu *Absolute Means Error* (AME). Pengujian dilakukan pada hasil simulasi Stok Lahan dan hasil simulasi Stok Penduduk yang memiliki data multiwaktu. Pengujian pada simulasi Stok Air Tanah tidak dilakukan karena tidak ada data riil mengenai data air tanah secara multiwaktu. Pengamatan secara visual yaitu dengan mengamati garis trendline antara data hasil simulasi dengan data referensi. Bila penyimpangan besar maka dianggap hasil simulasi tidak valid, dan bila saling bersesuaian atau tepat garis maka dianggap hasil simulasi

valid. Penggunaan metode AME menggunakan formula tertentu sehingga besar penyimpangan dapat diketahui. Penyimpangan akan dianggap diabaikan dan sesuai dengan kondisi riil bila di bawah 30%. Hal ini dikarenakan lahan dan penduduk merupakan faktor yang sulit dikontrol.

Tabel 4.11 Data Referensi dan Hasil Simulasi dari Jumlah Penduduk

Tahun	Data Referensi (orang)	Data Simulasi (orang)
2002	11.232.008	11.232.008
2003	11.386.109	11.509.412
2004	11.511.871	11.793.668
2005	13.199.656	12.084.944
2006	13.178.235	12.383.414
2007	13.705.364	12.689.256
2008	13.712.217	13.323.786

Sumber: Pengolahan data



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Data Hasil Simulasi dan Data Referensi pada Jumlah Penduduk

Data yang digunakan dalam pengujian model adalah data tahun 2002-2008. Hal ini karena adanya keterbatasan data yang diperoleh dalam penelitian. Berdasarkan Tabel 4.11 dan Gambar 4.7, terlihat bahwa data hasil simulasi berada di bawah data referensi yang dimulai pada tahun 2005. Data referensi penduduk tahun 2005 mempunyai kenaikan yang besar dari tahun 2004. Hal ini karena adanya penambahan penduduk di Propinsi DKI Jakarta sehingga

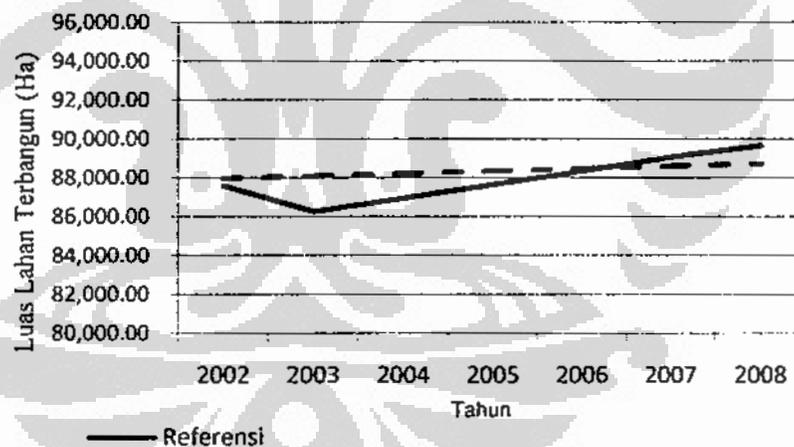
mempengaruhi grafiknya. Perilaku pada stok penduduk adalah pertumbuhan (*growth*) yang terus mengalami kenaikan setiap tahun.

Berdasarkan perhitungan nilai AME antara data referensi dan hasil simulasi, dihasilkan nilai AME sebesar 3,31%. Nilai AME tersebut menunjukkan adanya penyimpangan hasil simulasi terhadap data referensi. Nilai penyimpangan ini berada di bawah 30% sehingga model dianggap valid.

Tabel 4.12 Data Referensi dan Hasil Simulasi pada Luas Lahan Terbangun

Tahun	Data Referensi (Ha)	Data Simulasi (Ha)
2002	87.592,43	87.592,43
2003	86.263,53	88.096,99
2004	86.953,64	88.223,50
2005	87.649,27	88.349,32
2006	88.350,46	88.474,48
2007	89.057,27	88.598,97
2008	89.650,34	88.722,80

Sumber: Pengolahan data



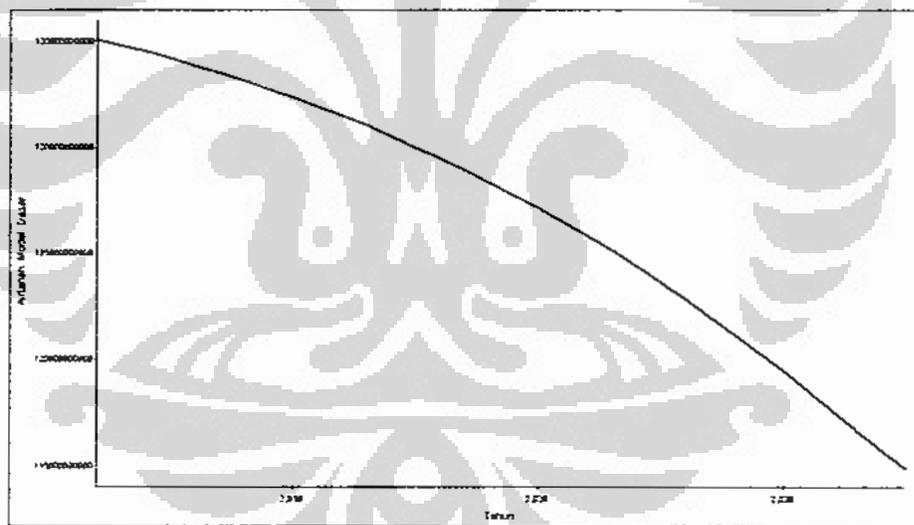
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Data Hasil Simulasi dan Data Referensi pada Luas Lahan Terbangun

Data yang digunakan dalam pengujian model adalah data tahun 2002-2008. Hal ini karena adanya keterbatasan data yang diperoleh dalam penelitian. Berdasarkan Tabel 4.12 dan Gambar 4.8, terlihat bahwa pada tahun 2003 terdapat selisih antara data referensi dengan data hasil simulasi. Data simulasi melebihi data referensi sehingga grafiknya berada di atas data referensi. Pada tahun 2006

terdapat kesesuaian data sehingga hasil simulasi bersesuaian dengan referensi. Setelah tahun 2006, data simulasi melebihi data referensi. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.9 tersebut nampak bahwa stok lahan terbangun mengalami pertumbuhan (*growth*) yang terjadi setiap tahun.

Berdasarkan perhitungan nilai AME antara data referensi dan hasil simulasi, dihasilkan nilai AME sebesar 0,02%. Nilai AME tersebut menunjukkan adanya penyimpangan hasil simulasi terhadap data referensi. Nilai penyimpangan ini berada di bawah 30% sehingga model dianggap valid.

Keterbatasan data multiwaktu pada stok air tanah menyebabkan peneliti tidak dapat melakukan pengujian. Pertimbangan bahwa data yang digunakan adalah data valid dan pengujian pada stok penduduk dan stok lahan yang menghasilkan data valid pada hasil simulasinya, maka peneliti mengambil kesimpulan bahwa hasil simulasi pada stok air tanah dianggap valid.



Gambar 4.9 Hasil Simulasi pada Stok Air Tanah

Berdasarkan Gambar 4.9 maka terlihat bahwa perilaku cadangan air tanah adalah mengalami *exponential collaps* yang menunjukkan bahwa terjadinya penurunan cadangan air tanah setiap tahun.

## 5. PEMBAHASAN

### 5.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Subsistem Air Tanah

Cadangan air tanah dipengaruhi oleh subsistem penduduk, lahan dan air. Pada subsistem air terdapat faktor hujan (tebal hujan dan intensitas hujan), limpasan permukaan, imbuhan yang akan menambah cadangan air tanah sedangkan faktor evaporasi dan laju pengambilan air tanah akan mengurangi cadangan air tanah.

Secara keseluruhan, tren curah hujan mengalami penurunan setiap tahun. Pada tahun 2002, daerah penelitian mendapat curah hujan maksimum sebesar 4.459 mm yang menyebabkan terjadinya banjir besar di seluruh wilayah. Kejadian banjir dipahami sebagai akibat dari berkurangnya lahan untuk meresapkan air. Selain itu rendahnya kemampuan untuk meresapkan air mengakibatkan sedikit sekali air yang meresap ke dalam tanah. Berkaitan dengan faktor iklim, peneliti membuat asumsi bahwa penelitian tidak mempertimbangkan pengaruh perubahan iklim, serta bahwa sebaran curah hujan dan evaporasi bersifat seragam di seluruh wilayah di daerah penelitian. Berdasarkan hal tersebut maka curah hujan dan evaporasi menjadi salah satu konstanta dalam penelitian.

Curah hujan maksimum di daerah penelitian sebesar 3.000 mm/tahun dengan intensitas hujan rata-rata yang sangat rendah sebesar 0,96 mm/jam. Intensitas hujan tersebut menurut klasifikasi Kohnke dan Bertrand (*dalam* Arsyad, 2000:73) berupa hujan gerimis. Intensitas hujan mempertimbangkan banyaknya hari hujan yang jatuh di daerah penelitian. Hari hujan yang digunakan dalam penelitian adalah hari hujan rata-rata efektif dalam satu tahun yang hanya terjadi selama 130 hari atau selama 4 bulan 10 hari. Intensitas hujan dipertimbangkan dalam penelitian sebagai salah satu konstanta yang akan mempengaruhi besarnya debit limpasan permukaan. Semakin tinggi intensitas hujan dan semakin banyaknya hari hujan akan memberikan peluang pada semakin besarnya limpasan permukaan serta peluang terjadinya imbuhan.

Penelitian tidak menggunakan metode rasional yang umum digunakan dalam penentuan limpasan permukaan karena adanya pertimbangan bahwa Metode

Rasional hanya dapat digunakan untuk DAS dengan luas kurang dari 800 Ha. Luas daerah penelitian sebesar 1.428 km<sup>2</sup> terdiri atas beberapa DAS dan tidak dibatasi oleh batas ekologi DAS. Dengan demikian maka penentuan limpasan permukaan hanya menggunakan koefisien limpasan terhadap intensitas hujan dan luas permukaan saja.

Dalam proses pengimbuhan air ke dalam tanah, limpasan permukaan akan mengalami *delay* sebesar 0,02 tahun sebelum menjadi imbuhan. *Delay* tersebut diasumsikan sebagai waktu yang diperlukan untuk menjadi limpasan permukaan maksimum sehingga berpeluang terhadap terjadinya imbuhan. Selanjutnya, imbuhan air tanah adalah selisih antara curah hujan yang jatuh dengan limpasan permukaan. Imbuhan air tanah tidak langsung menjadi air tanah di dalam akuifer. Besarnya kecilnya permeabilitas akuifer menyebabkan terjadinya *delay* dalam proses pembentukan air tanah, setelah mengalami proses infiltrasi dari proses imbuhan. Besarnya *delay* akibat rendahnya permeabilitas akuifer CAT Jakarta adalah 15,15 hari atau 0,04 tahun. *Delay* tersebut diasumsikan bahwa air imbuhan secara total akan terimbuh ke dalam tanah dan akan menjadi air dalam akuifer setelah 15,15 hari.

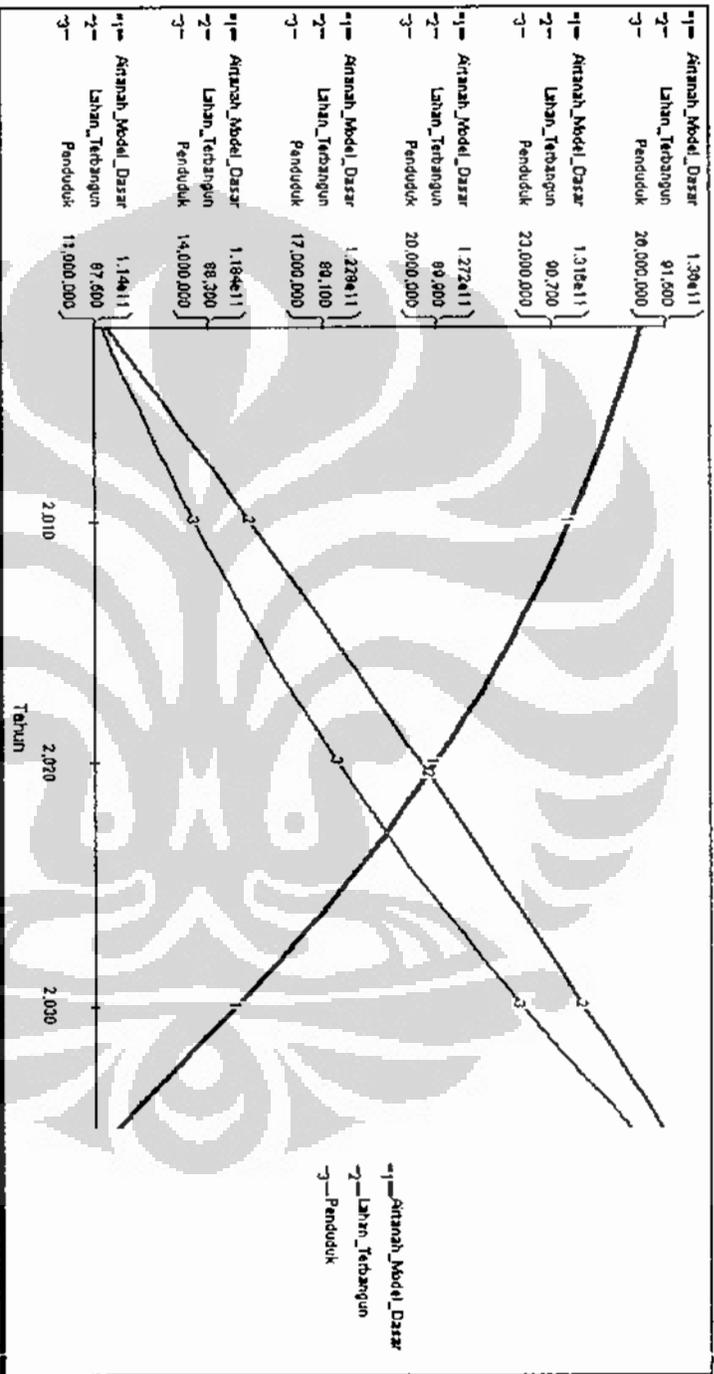
Adanya *delay* dalam imbuhan menyebabkan air yang berasal dari air hujan tidak serta merta masuk ke dalam tanah dan langsung menjadi air tanah secara keseluruhan. Proses *delay* menyebabkan pembentukan air tanah menjadi lambat. Hal ini berbeda dengan proses pengambilan air tanah. Air yang diambil dari tanah melalui sumur-sumur pengambilan, tidak mengalami *delay* akibat proses pengeluaran air dari rongga tanah. Perbedaan laju pengambilan air tanah yang lebih besar dibanding imbuhan menyebabkan cadangan air tanah akan terus mengalami penurunan. Hal ini mengakibatkan air tanah dapat dikelompokkan sebagai sumber daya yang tidak dapat diperbarui.

Faktor pengambilan air tanah dipengaruhi oleh besarnya kebutuhan air oleh penduduk dan layanan air PAM. Penduduk yang terus meningkat jumlahnya menyebabkan air yang dibutuhkan pun terus meningkat. Pertumbuhan penduduk akan menyebabkan semakin tingginya kebutuhan air. Laju pertumbuhan penduduk berdasarkan hasil simulasi adalah sebesar 2,52% per tahun dengan

angka kelahiran sebesar 2,8% per tahun dan angka kematian sebesar 0,36% per tahun. Angka kelahiran berdasarkan model merupakan angka yang berpengaruh besar terhadap penurunan cadangan air tanah sebab akan memicu pertumbuhan penduduk.

Terkait dengan pemenuhan kebutuhan air penduduk, maka air PAM seharusnya menjadi sumber air bersih utama. Jika kondisi layanan air PAM tetap, sedangkan kebutuhan air terus meningkat maka cadangan air tanah akan terus menurun jumlahnya. Pada dasarnya, kebutuhan air total penduduk tidak hanya dapat dipenuhi dari air tanah dan layanan air PAM saja. Jika penduduk kemudian menggunakan alternatif lain misalnya air hujan yang ditampung dan air laut yang disuling, maka laju pengambilan air tanah akan berkurang. Dengan demikian, maka cadangan air tanah akan lebih terjaga dan dampak lanjutan (intrusi air laut, penurunan muka air tanah dan amblesan) akibat pengambilan air tanah pun akan lebih dapat diminimalkan.

Pada subsistem lahan, faktor utama yang mempengaruhi cadangan air tanah adalah faktor lahan terbangun. Lahan terbangun yang terus meluas akan mempengaruhi pembentukan air tanah yaitu melalui penurunan luas bidang resapan. CAT Jakarta mempunyai lahan terbangun yang luas, sehingga akan mengurangi besarnya air yang dapat mengimbuh ke dalam tanah. Lahan yang dapat dibangun di CAT Jakarta pun tidak semuanya mampu untuk mengimbuh air tanah. Hal ini karena lahan yang dapat dibangun dapat pula berasal dari lahan terbangun yang kemudian diubah menjadi lahan yang dapat dibangun, misalnya sebagai lahan bervegetasi. Hal ini menyebabkan adanya lapisan kedap air di bawah lahan bervegetasi tersebut, yang kemudian justru menyebabkan terhambatnya proses imbuhan ke dalam tanah.



Gambar 5.1 Grafik Hubungan antara Pertumbuhan Penduduk, Lahan Terbangun dan Cadangan Air Tanah

Berdasarkan Gambar 5.1 terlihat bahwa dalam simulasi terjadi penurunan cadangan air tanah. Perilaku yang ditunjukkan air tanah dalam hasil simulasi adalah *exponential collapse*. Perilaku tersebut terjadi karena rendahnya laju imbuan dan tingginya laju pengambilan. *Outflow* yang berasal dari evaporasi dianggap bersifat tetap. Laju imbuan yang menjadi *inflow* dalam subsistem air tanah mempunyai besaran yang tetap meskipun imbuan mengalami naik turun akibat faktor hujan dan limpasan permukaan. Laju pengambilan air tanah yang terus meningkat dipengaruhi oleh semakin banyaknya jumlah penduduk yang membutuhkan air tanah. Bila kebutuhan air penduduk tidak dibarengi oleh penambahan layanan air PAM maka cadangan air tanah akan terus mengalami penurunan. Berdasarkan hasil simulasi, maka pertumbuhan jumlah penduduk dengan laju kenaikan sebesar 2,52% per tahun serta kenaikan laju pembangunan sebesar 0,8% per tahun, menyebabkan penurunan cadangan air tanah rata-rata sebesar 0,49% per tahun.

Penelitian menggunakan tahun simulasi dari tahun 2002-2035. Hal ini karena data yang digunakan dalam penelitian menggunakan tahun inisial pada tahun 2002 yang dianggap memiliki data lebih lengkap. Tahun simulasi hingga tahun 2035 berkaitan dengan target angka kelahiran sebesar 1,8% yang ditargetkan harus dicapai sebelum tahun 2035 menurut Adioetomo (*dalam* Widhaningrat, 2009). Pertimbangan yang diberikan oleh Adioetomo tersebut adalah pada tahun tersebut akan terjadi rasio ketergantungan penduduk yang rendah yang hal ini berarti akan lebih banyak penduduk produktif yang membutuhkan air dibanding penduduk usia belum dan tidak produktif. Peninjauan terhadap besarnya laju pengambilan air tanah dan lahan terbangun dapat dilakukan setiap 5 (lima) tahun sekali. Hal ini karena jangka waktu 5 tahun dianggap merupakan waktu terbaik dalam melakukan peninjauan kembali cadangan air tanah dan faktor-faktor yang mempengaruhi penurunannya.

## 5.2 Pengaruh Pertumbuhan Penduduk terhadap Cadangan Air Tanah

Karakter penduduk di daerah penelitian mempunyai ciri khas penduduk perkotaan. Penduduk perkotaan mempunyai ciri-ciri ikatan sosial yang rendah dan sikap gotong royong yang rendah pula. Penduduk menjadi sangat heterogen ditinjau dari latar belakang sosial, budaya dan ekonomi. Hal ini dapat dipahami sebab di daerah penelitian terdapat pusat pemerintahan, perekonomian dan hiburan sehingga menjadi pusat urbanisasi dari berbagai daerah di sekitarnya bahkan di Indonesia. Hal kemudian mengakibatkan penambahan penduduk karena faktor urbanisasi menjadi besar. Dalam penelitian ini, urbanisasi tidak dipertimbangkan sehingga data yang digunakan hanyalah penduduk yang dimiliki oleh BPS.

Daerah penelitian yang sebagian besar wilayahnya merupakan ibukota negara mengakibatkan terjadinya migrasi. Migrasi masuk akan memberikan tambahan penduduk dan migrasi keluar akan mengurangi jumlah penduduk setiap tahunnya. Adanya kota-kota satelit di sekitar Kota Jakarta juga memberikan dampak terhadap peningkatan jumlah penduduk. Penduduk Jakarta akan bertambah sekitar dua kali lipat saat siang dibanding penduduk saat malam hari. Saat siang hari, kota-kota satelit di sekitar Jakarta tersebut menyuplai tenaga kerja ke berbagai sektor baik industri, perdagangan, pemerintahan dan wisata. Dengan demikian, maka Kota Jakarta menjadi sangat padat saat siang hari dan lengang saat malam hari. Penduduk di sekitar Jakarta menjadi penduduk komuter harian dan mingguan bagi daerah di sekitarnya. Selain penduduk komuter harian dan mingguan, Jakarta juga memiliki penduduk musiman. Penduduk musiman tersebut berada di Jakarta pada saat-saat tertentu saja dengan lama tinggal yang beraneka ragam.

Banyaknya jumlah penduduk di Jakarta menyebabkan banyak pula penduduk yang tidak mampu memiliki lahan untuk tempat tinggal. Tingginya harga lahan di Jakarta menjadi salah satu penyebab semakin rendahnya akses penduduk terhadap lahan. Tempat tinggal bagi penduduk Jakarta yang tidak memiliki akses langsung terhadap lahan pada umumnya tinggal di rumah susun bagi yang berpenghasilan rendah dan apartemen bagi yang berpenghasilan tinggi.

Penduduk yang ingin mempunyai akses langsung terhadap lahan baik yang berpenghasilan tinggi maupun yang rendah, pada umumnya memilih tinggal di luar Kota Jakarta misalnya Tangerang, Depok dan Bekasi yang memiliki harga lahan lebih rendah serta kenyamanan tinggal yang lebih baik. Hal ini pada akhirnya meningkatkan kebutuhan lahan sehingga menyebabkan terjadinya perubahan penggunaan lahan produktif menjadi lahan terbangun terutama untuk pemukiman.

Data mengenai jumlah penduduk yang pasti di daerah penelitian tidak mudah didapat sebab besarnya mobilitas penduduk yang menyebabkan perbedaan migrasi masuk dan migrasi keluar. BPS (2005) menyebutkan bahwa migrasi di Jakarta antara tahun 2002-2005 sebesar -7.4 dan pada periode 2005-2010 diproyeksikan sebesar -7.9. Angka migrasi yang bernilai negatif tersebut mengindikasikan bahwa penduduk Jakarta semakin berkurang akibat besarnya migrasi keluar dan kecilnya migrasi masuk.

Angka migrasi yang didapat oleh BPS hingga bernilai negatif dapat memberikan gambaran bahwa kepadatan penduduk di Jakarta tinggi sehingga banyak penduduk yang memilih keluar dari Jakarta. Hal ini terlepas dari tuntutan pekerjaan yang menyebabkan penduduk harus bermigrasi keluar Jakarta.

Berbeda dengan Kota Jakarta, kota-kota di sekitar Jakarta justru memberikan nilai positif terhadap migrasi di wilayahnya. Hal ini mengartikan bahwa telah terjadi penambahan penduduk di kota-kota tersebut. Secara umum, angka migrasi di Jakarta tidak dapat menggambarkan besarnya angka migrasi daerah penelitian sebab, batas daerah penelitian adalah batas ekologi yang bersifat lintas batas administrasi. Dengan demikian, angka migrasi rata-rata wilayah tidak dapat mewakili kondisi sebenarnya. Faktor migrasi dalam penelitian menjadi hal yang tidak dipertimbangkan dengan asumsi bahwa mobilitas penduduk hanya bersifat internal di daerah penelitian sehingga kecil terjadinya migrasi masuk dan migrasi keluar. Migrasi yang terjadi di daerah penelitian hanya berupa mobilitas internal penduduk dalam batas ekologi CAT Jakarta.

Tabel 5.1 Kepadatan Penduduk

Tahun	Jumlah Penduduk (orang)	Kepadatan Penduduk (orang/km <sup>2</sup> )
2002	11.232.008	7.865,55
2003	11.386.109	7.973,47
2004	11.511.871	8.061,53
2005	13.199.656	9.243,46
2006	13.178.235	9.228,46

Sumber: BPS, diolah

Berdasarkan Tabel 5.1, terlihat bahwa penduduk di daerah penelitian mengalami peningkatan setiap tahun. Luas wilayah yang bersifat tetap menyebabkan kepadatan penduduk bertambah. Kepadatan penduduk yang tinggi menyebabkan tingginya kebutuhan akan sumber daya termasuk air tanah untuk mensuplai air bersihnya. Laju peningkatan kepadatan penduduk sebesar 5,71% per tahun.

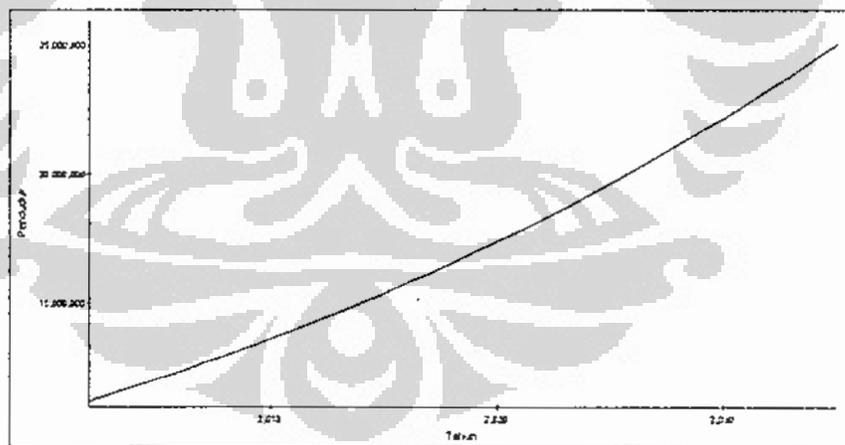
Kepadatan penduduk pada kenyataannya akan semakin meningkat jumlahnya dan dapat melebihi data yang dimiliki oleh BPS serta lembaga yang berkaitan. Hal ini terjadi bila dalam perolehan datanya memperhitungkan penduduk yang bertempat tinggal di rumah susun, apartemen serta penduduk yang tidak mempunyai identitas penduduk resmi. Dalam penelitian, peneliti tidak memperhitungkan jumlah penduduk yang tinggal di rumah susun, apartemen dan penduduk yang tidak memiliki identitas resmi sebagai penduduk di daerah penelitian yang dalam hal ini terkait dengan keterbatasan data.

Selain faktor migrasi penduduk, faktor kelahiran juga menyebabkan adanya pengaruh tidak langsung terhadap air tanah. Kelahiran mempunyai sifat menambah jumlah penduduk. Angka kelahiran yang diperhitungkan dalam penelitian adalah Angka Kelahiran Kasar (*Crude Birth Rate*) yang tidak memisahkan antara laki-laki dan perempuan. Keterbatasan data di daerah penelitian menyebabkan data yang digunakan untuk angka kelahiran kasar adalah rata-rata angka kelahiran kasar tingkat propinsi sebesar 22 per seribu penduduk atau sebesar 2,8% dari jumlah penduduk. Angka tersebut merupakan laju kelahiran kasar tahunan.

Faktor kematian juga berpengaruh terhadap penduduk di CAT Jakarta yang berupa penurunan jumlah penduduk. Penelitian menggunakan angka kematian

kasar (*Crude Death Rate*) sebagai faktor yang mengurangi jumlah penduduk. Keterbatasan data BPS menyebabkan angka kematian kasar dalam penelitian tidak didapatkan secara pasti. Penelitian menggunakan angka kematian kasar untuk penduduk Provinsi DKI Jakarta sebesar 3,6 per seribu penduduk. Asumsi yang digunakan adalah bahwa proporsi Provinsi DKI Jakarta dalam penelitian mencakup 100% dari luas daerah penelitian serta adanya mobilitas internal di dalam daerah penelitian. Besarnya angka 3,6 per seribu penduduk memberikan pengertian bahwa laju kematian sebesar 0,36% dari jumlah penduduk.

Angka kelahiran di daerah penelitian lebih besar dibanding angka kematian. Besarnya angka kelahiran dikarenakan adanya kemudahan menjangkau fasilitas kesehatan serta adanya pengetahuan ibu hamil dalam hal menjaga kehamilan sehingga anak yang dilahirkan dalam keadaan hidup. Kemudahan untuk menjangkau fasilitas kesehatan dan pengetahuan untuk memelihara kesehatan juga memberikan dampak pada rendahnya angka kematian. Perbandingan yang besar antara angka kelahiran dan angka kematian menyebabkan jumlah penduduk di daerah penelitian mengalami peningkatan.



Gambar 5.2 Grafik Pertambahan Penduduk

Berdasarkan Gambar 5.2 maka terlihat bahwa terjadi kenaikan jumlah penduduk setiap tahun. Laju peningkatan penduduk berdasarkan hasil simulasi sebesar 2,52% per tahun yang hal ini berbeda dengan data referensi sebesar 1,2% per tahun. Perbedaan dapat terjadi karena adanya perbedaan metode pengolahan data penduduknya.

Pertambahan jumlah penduduk yang terus meningkat menyebabkan semakin meningkatnya kebutuhan air total. Selain jumlah penduduk, kebutuhan air juga dipengaruhi oleh besarnya standar kebutuhan air rata-rata yang menurut SNI adalah sebesar 250 l/orang/hari. Berdasarkan Tabel 5.2 dan Gambar 5.3, nampak bahwa terjadi penurunan cadangan air tanah (perilaku *exponential collapse*) sebesar 0,49% per tahun. Kebutuhan air total penduduk tersebut mempunyai asumsi bahwa hingga pada tahun akhir simulasi tidak terjadi penambahan faktor layanan air PAM. Faktor layanan air PAM menjadi konstanta yang sebesar 36% dari kebutuhan air total penduduk. Kebutuhan air yang belum dapat dipenuhi oleh layanan air PAM selanjutnya dipenuhi oleh air tanah.

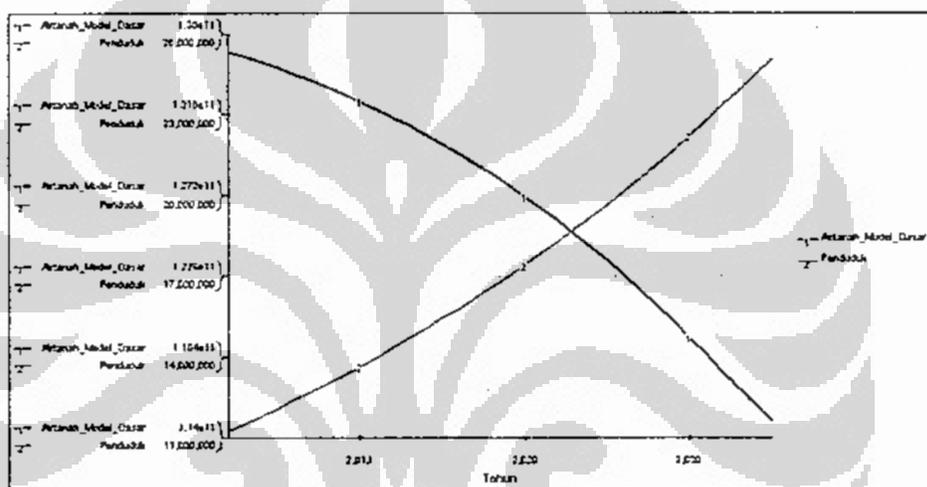
Tabel 5.2 Data Jumlah Penduduk dan Cadangan Air Tanah

Tahun	Cadangan Air Tanah (m <sup>3</sup> )	Jumlah Penduduk (orang)
2002	135.088.800.000	11.232.008,0
2003	134.807.936.419	11.509.412,5
2004	134.510.674.767	11.793.668,3
2005	134.196.610.051	12.084.944,6
2006	133.865.327.273	12.383.414,7
2007	133.516.401.188	12.689.256,3
2008	133.149.396.047	13.002.651,5
2009	132.763.865.338	13.323.786,8
2010	132.359.351.525	13.652.853,4
2011	131.935.385.767	13.990.047,2
2012	131.491.487.647	14.335.568,2
2013	131.027.164.882	14.689.624,2
2014	130.541.913.030	15.052.423,9
2015	130.035.215.193	15.424.183,8
2016	129.506.541.702	15.805.125,4
2017	128.955.349.812	16.195.475,3
2018	128.381.083.369	16.595.466,0
2019	127.783.172.486	17.005.335,5
2020	127.161.033.199	17.425.327,8
2021	126.514.067.125	17.855.693,0
2022	125.841.661.098	18.296.687,2
2023	125.143.187.945	18.748.572,9
2024	124.418.014.239	19.211.619,1
2025	123.665.530.330	19.686.101,6
2026	122.885.228.712	20.172.302,6
2027	122.076.861.274	20.670.511,7

Tabel 5.2, Lanjutan

2028	121.240.696.635	21.181.025,4
2029	120.377.873.709	21.704.147,5
2030	119.490.812.763	22.240.189,6
2031	118.583.612.569	22.789.470,7
2032	117.662.344.139	23.352.317,8
2033	116.735.155.966	23.929.065,9
2034	115.812.132.691	24.520.058,3
2035	114.904.891.814	25.125.646,8

Sumber: pengolahan data



Gambar 5.3 Grafik Hubungan antara Jumlah Penduduk dan Cadangan Air Tanah Pada tahun 2002, jumlah penduduk sebesar 11.232.008 orang. Jumlah ini diprediksikan akan meningkat sebanyak 2 kali lipat pada tahun 2030. Bila disesuaikan dengan laju pertumbuhan penduduk sebesar 2,52 % per tahun, maka artinya setiap 28 tahun, jumlah penduduk akan meningkat 2 kali lipat. Hal ini kemudian akan memberikan pengaruh terhadap cadangan air tanah. Dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk, maka kebutuhan air tanah akan meningkat 2 kali lipat pula sehingga akan mengurangi cadangan air tanah. Hal ini sesuai dengan CLD pada Gambar 4.5 pada hubungan antara penduduk dan cadangan air tanah yang memperlihatkan perilaku saling berlawanan yaitu penduduk yang mengalami peningkatan jumlahnya dan cadangan air tanah yang terus menurun volumenya.

### 5.3 Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Cadangan Air Tanah

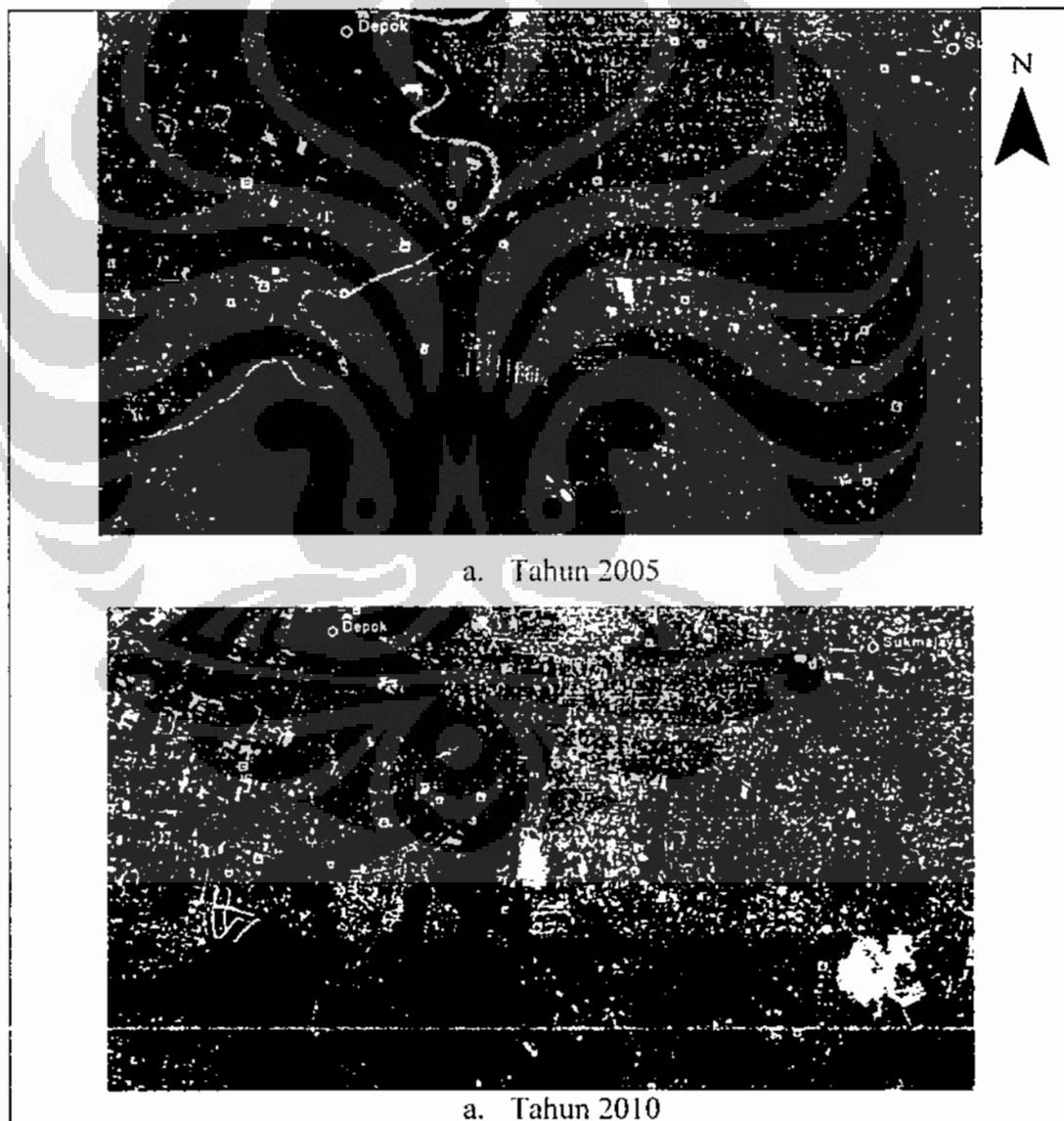
Lahan merupakan sumber daya alam yang bersifat terbatas sedangkan aktivitas penduduk tidak terbatas dan terus mengalami peningkatan. Aktifitas penduduk yang terus beragam dan dengan jumlah yang terus meningkat menyebabkan semakin meningkatkan kebutuhan akan lahan. Lahan yang berupa lahan kosong dan lahan bervegetasi adalah lahan yang paling sering mengalami alih fungsi menjadi lahan permukiman dan perdagangan. Lahan bervegetasi yang umumnya berupa lahan-lahan pertanian dianggap kurang memberikan nilai keuntungan langsung dengan cepat, sehingga lahan tersebut sering kali dijual ke pengembang terutama untuk dijadikan lahan permukiman.

Secara umum, penggunaan lahan di daerah penelitian sebagian besar berupa lahan terbangun yang merupakan salah satu ciri dari tata ruang perkotaan. Lahan terbangun di perkotaan umumnya berupa lahan permukiman, lahan untuk penggunaan fasilitas umum dan sosial, lahan untuk kawasan industri dan perdagangan. Perubahan penggunaan lahan di Kota Jakarta dianggap tidak lagi mengalami perubahan penggunaan lahan dari lahan bervegetasi menjadi lahan terbangun. Hal ini dikarenakan sebagian besar lahan di Jakarta sudah berupa lahan terbangun sejak lama sebelum tahun simulasi. Perubahan penggunaan lahan hanya terjadi pada fungsi lahan misalnya lahan permukiman menjadi lahan untuk perdagangan.

Berdasarkan data citra satelit yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 hingga Gambar 4.4 memperlihatkan bahwa lahan terbangun terus meluas hingga ke kota-kota di sekitar Jakarta pada tahun 2008. Perubahan penggunaan lahan banyak terjadi di pinggiran daerah penelitian yaitu dari lahan bervegetasi menjadi lahan terbangun. Hal ini diperkuat dengan adanya keterangan dari informan bahwa lahan terbangun semakin meluas setiap tahunnya yang terjadi di sekitar pinggiran daerah penelitian. Gambar 5.4 menunjukkan salah satu contoh perubahan penggunaan lahan yang terjadi di Kota Depok tahun 2005 dan 2010.

Berdasarkan Gambar 5.4, panah merah menunjukkan lokasi terjadinya perubahan penggunaan lahan dari lahan bervegetasi menjadi lahan terbangun. Perubahan penggunaan lahan bervegetasi di Kota Depok termasuk kota-kota di sekitar

Jakarta pada umumnya berubah menjadi lahan permukiman. Lampiran 1, menunjukkan adanya perubahan penggunaan lahan dari lahan bervegetasi menjadi lahan terbangun di beberapa lokasi di daerah penelitian. Lahan terbangun yang ditunjukkan Lampiran 1, umumnya berupa lahan permukiman. Lahan permukiman tersebut dibangun sebagai jawaban atas kurangnya lahan untuk permukiman bagi penduduk yang bekerja di Jakarta. Dengan demikian, mereka tinggal di kota-kota sekitar Jakarta tetapi dengan lokasi kerja yang berada di Jakarta. Penduduk dengan tipe demikian umumnya merupakan penduduk komuter harian.



Gambar 5.4 Perubahan Penggunaan Lahan di Kota Depok  
(Sumber: Citra Satelit Ikonos)

Dalam penelitian, lahan yang dapat dibangun merupakan lahan yang masih dapat dibangun yang diperoleh dari selisih antara luas lahan dan lahan yang sudah dibangun. Pada tahun 2002, lahan yang masih dapat dibangun seluas 41.518,385 Ha. Lahan tersebut merupakan gabungan antara lahan kosong dan lahan bervegetasi yang diasumsikan mempunyai peluang besar terhadap terjadinya perubahan penggunaan lahan menjadi lahan terbangun. Laju kenaikan perubahan lahan yang dapat dibangun menjadi lahan terbangun diasumsikan sebesar 0,8% per tahun dari luas lahan terbangun sebelumnya berdasarkan pengolahan data citra satelit Landsat.

Dalam siklus hidrologi, air hanya dapat meresap di lahan yang bervegetasi. Apabila lahan bervegetasi berubah menjadi lahan terbangun, maka permukaan lahan menjadi kedap dan air tidak dapat meresap ke dalam tanah. Akibat selanjutnya adalah meningkatnya limpasan permukaan. Limpasan permukaan juga terbentuk di lahan bervegetasi tetapi hanya sebagian kecil saja yang terlimpas dan sisanya meresap ke dalam tanah.

Penelitian mengasumsikan bahwa koefisien limpasan untuk lahan terbangun sebesar 0,75. Hal ini menunjukkan bahwa 75% air hujan yang jatuh di atas bidang lahan terbangun akan menjadi limpasan permukaan dan 25% sisanya berpeluang teresap ke dalam tanah. Semakin tinggi koefisien limpasan, maka semakin besar limpasan permukaan yang selanjutnya tersebut akan mengurangi peluang terjadinya imbuhan air tanah. Pada lahan yang masih dapat dibangun, limpasan permukaan diasumsikan sebesar 0,1 yang artinya bahwa 10% air hujan akan menjadi limpasan permukaan dan 90% sisanya akan berpeluang menjadi imbuhan air tanah.

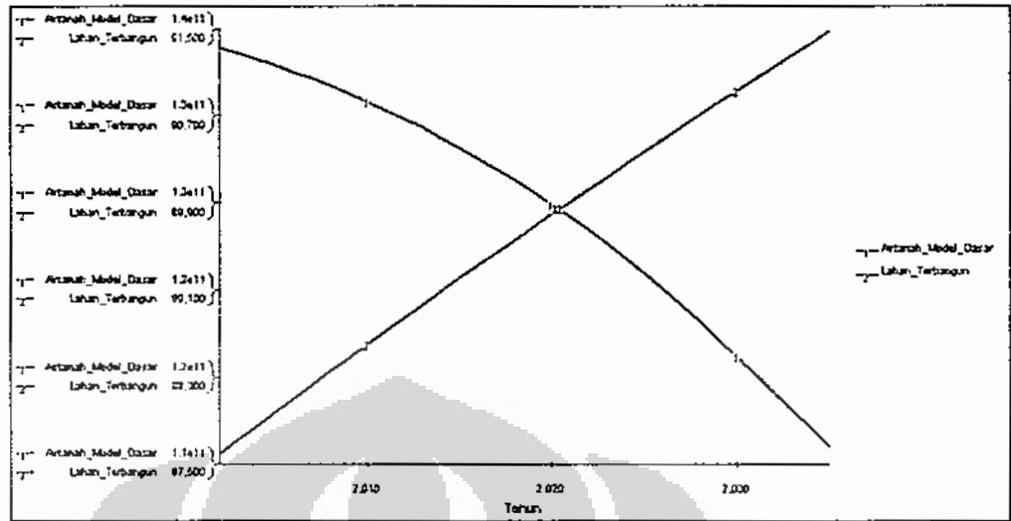
Perubahan penggunaan lahan yang dapat dibangun menjadi lahan terbangun mempengaruhi stok cadangan air tanah melalui *inflow*nya. *Inflow* air tanah di daerah penelitian dipengaruhi oleh curah hujan, limpasan permukaan dan debit dari CAT Bogor. Dalam penelitian ini, curah hujan dianggap sebagai faktor yang bersifat tetap setiap tahun. Hal ini juga terjadi pada CAT Bogor yang dalam penelitian ini dianggap sebagai faktor yang bersifat tetap. Segala perubahan yang terjadi pada CAT Bogor misalnya perubahan penggunaan lahan yang

mempengaruhi imbuhan nya tidak dipertimbangkan. Selanjutnya, limpasan permukaan dalam penelitian diasumsikan bersifat dinamis yang terpengaruh oleh lahan terbangun.

Tabel 5.3 Data Luas Lahan Terbangun dan Cadangan Air Tanah

Tahun	Cadangan Air Tanah (m <sup>3</sup> )	Luas Lahan Terbangun (Ha)
2002	135.088.800.000	87.592.4
2003	134.807.936.419	87.720.5
2004	134.510.674.767	87.847.9
2005	134.196.610.051	87.974.6
2006	133.865.327.273	88.100.6
2007	133.516.401.188	88.225.9
2008	133.149.396.047	88.350.6
2009	132.763.865.338	88.474.6
2010	132.359.351.525	88.597.9
2011	131.935.385.767	88.720.6
2012	131.491.487.647	88.842.7
2013	131.027.164.882	88.964.1
2014	130.541.913.030	89.084.8
2015	130.035.215.193	89.205.0
2016	129.506.541.702	89.324.5
2017	128.955.349.812	89.443.3
2018	128.381.083.369	89.561.6
2019	127.783.172.486	89.679.3
2020	127.161.033.199	89.796.3
2021	126.514.067.125	89.912.7
2022	125.841.661.098	90.028.6
2023	125.143.187.945	90.143.8
2024	124.418.014.239	90.258.5
2025	123.665.530.330	90.372.5
2026	122.885.228.712	90.486.0
2027	122.076.861.274	90.598.9
2028	121.240.696.635	90.711.3
2029	120.377.873.709	90.823.1
2030	119.490.812.763	90.934.3
2031	118.583.612.569	91.044.9
2032	117.662.344.139	91.155.0
2033	116.735.155.966	91.264.5
2034	115.812.132.691	91.373.5
2035	114.904.891.814	91.482.0

Sumber: Pengolahan data



Gambar 5.5 Grafik Hubungan antara Lahan Terbangun dengan Air Tanah

Berdasarkan Tabel 5.3 dan Gambar 5.5, terlihat bahwa pada tahun 2002-2035 terjadi kenaikan lahan terbangun dengan laju pembangunan sebesar 0.8% per tahun. Pada periode tersebut, cadangan air tanah mengalami penurunan sebesar 0,49% per tahun.

#### 5.4 Pelestarian Air Tanah di CAT Jakarta

Pelestarian air tanah pada kenyataannya telah diupayakan oleh banyak pihak melalui berbagai cara antara lain: melalui peraturan yang mengikat serta upaya penyadaran untuk hemat air dan penggunaan air daur ulang. Upaya pelestarian air tanah tersebut merupakan upaya untuk meminimalkan dampak yang terjadi apabila pengambilan air tanah dilakukan terus-menerus dan tanpa kontrol.

Dwiyanto (2007:10-14) menyebutkan bahwa pengambilan air tanah secara terus menerus akan menyebabkan dampak sebagai berikut:

##### 1. Penurunan muka air tanah

Pemakaian air tanah yang terus meningkat dan tidak terkendali akan menyebabkan penurunan muka air tanah. Hingga tahun 2007, penurunan muka air tanah di CAT Jakarta tercatat rata-rata sekitar 1-2 m/tahun. Kedalaman muka air tanah tertekan pada daerah pusat-pusat industri di CAT Jakarta kedudukannya saat ini bervariasi antara 20 sampai lebih dari 40 m bmt setempat. Angka tersebut kemudian memberikan gambaran bahwa penurunan muka air tanah menyebabkan pemakaian air tanah akan

membutuhkan energi tambahan dalam bentuk pompa yang makin besar kapasitasnya yang selanjutnya diterjemahkan dalam nilai ekonomi (*cost*) yang lebih tinggi, yang pada akhirnya menyebabkan harga air tanah semakin bertambah tinggi.

## 2. Intrusi air laut/air asin

Apabila keseimbangan hidrostatik antara air tanah tawar dan air tanah asin di daerah pantai terganggu, misalnya akibat pemakaian air tanah, maka akan terjadi pergerakan air tanah asin/air laut ke arah darat, dan intrusi air laut terjadi. Batas air tanah payau/asin pada akuifer tidak tertekan, di dataran pantai Jakarta adalah garis yang ditarik melewati sekitar daerah Jurumudi dan Porisgaga dengan jarak 6-8 km, Kebon Jeruk, Kemanggisan, Matraman Pulogadung, Ujung Menteng 6-10 km, dan Tarumajaya serta Babelan 6-7 km dari garis pantai. Sedangkan pada akuifer tertekan, batas air tanah payau/asin adalah garis yang ditarik melewati sekitar daerah Jurumudi, dan Porisgaga dengan jarak 7-8 km, Kebon Jeruk, Tanah Abang, Cempaka Putih, Kelapa Gading, dan Cilincing 8-11 km, Bogorsora dan Babelan 8-11 km dari garis pantai.

## 3. Amblesan tanah

Permasalahan amblesan tanah (*land subsidence*) timbul menyusul pengambilan air tanah yang berlebihan dari lapisan akuifer yang tertekan (*confined aquifers*). Akibat pengambilan yang berlebihan (*overpumping*) maka air tanah yang tersimpan pada pori-pori lapisan penutup akuifer (*confined layer*) akan terperas keluar yang mengakibatkan penyusutan lapisan penutup tersebut. Refleksinya adalah penurunan tanah di permukaan. Amblesan tanah tidak dapat dilihat seketika, namun dalam kurun waktu yang lama akan mengena pada daerah yang luas. Di CAT Jakarta, amblesan tanah terutama terjadi di dataran pantai Jakarta, kecepatan amblesan tanah yang didasarkan pengukuran pada patok ketinggian periode 1982 – 1997 adalah antara 0,7 cm – 12,0 cm/tahun. Kecepatan amblesan tanah tertinggi terjadi di daerah Tegal Alur dan Cengkareng, Jakarta Barat.

Berdasarkan hal tersebut, maka peneliti membuat 4 (empat) model skenario dalam upaya pelestarian air tanah di CAT Jakarta. Skenario yang diterapkan

dalam model berupa intervensi pada 3 (tiga) variabel yang antara lain: lahan terbangun, laju kelahiran, dan faktor layanan air PAM. Tabel 5.4 menjelaskan tentang skenario yang dilakukan dalam penelitian. Skenario yang dibangun menggunakan model dasar yang telah dibuat seperti nampak pada Gambar 4.7.

Tabel 5.4 Skenario Pelestarian Air Tanah

No.	Variabel Intervensi	Model Dasar (%/tahun)	Skenario			
			I	II	III	IV
1.	Laju Pembangunan	0,8	0,68	0,8	0,8	0,8
2.	Laju Kelahiran	2,8	2,8	1,8	2,8	2,8
3.	Faktor Layanan Air PAM	36	36	36	70	70

#### 5.4.1 Skenario I dengan Pengurangan Lahan Terbangun

Skenario I yaitu dengan mengurangi luasan lahan terbangun. Asumsi yang digunakan adalah bahwa jika luasan lahan terbangun dikurangi, maka akan menambah luasan lahan yang dapat berpotensi untuk meresapkan air ke dalam tanah. Selain itu, luasnya lahan resapan akan mengurangi besarnya limpasan permukaan sehingga potensi air yang meresap ke dalam tanah akan semakin besar.

Pada tahun 2002, lahan terbangun di daerah penelitian seluas 87.592,43 Ha. Skenario I adalah bahwa lahan terbangun dibatasi hanya seluas 85.000 Ha atau setara dengan 60% luas wilayah sebagai lahan terbangun. Angka 60% diambil dengan pertimbangan bahwa ruang terbuka hijau yang dalam penelitian ini berupa lahan yang dapat dibangun (lahan bervegetasi dan lahan kosong) menempati lahan minimal 30% dari luas wilayah berdasarkan UU No 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang. Luasan 85.000 Ha tersebut diupayakan dapat dicapai pada tahun 2035 sehingga laju pengurangan lahan sebesar 0,14% per tahun. Pada analisis *system dynamics*, peneliti menggunakan fungsi *if* dengan tahun intervensi dimulai setelah tahun 2008.

Skenario I dalam penelitian ini dianggap sebagai skenario pesimis. Pertimbangan tersebut diambil karena adanya kesulitan mengkonversi lahan terbangun menjadi lahan yang bervegetasi lagi.

Tabel 5.5 Data Volume Cadangan Air Tanah pada Model Dasar dan Skenario I

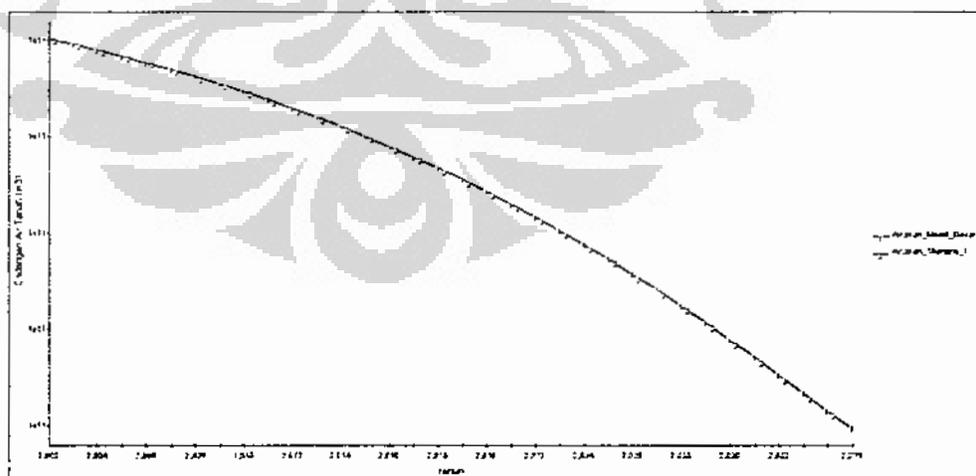
Tahun	Volume Cadangan Air Tanah (m <sup>3</sup> )	
	Model Dasar	Skenario I
2002	135.088.800.000	135.088.800.000
2003	134.807.936.419	134.807.936.419
2004	134.510.674.767	134.510.674.767
2005	134.196.610.051	134.196.610.051
2006	133.865.327.273	133.865.327.273
2007	133.516.401.188	133.516.401.188
2008	133.149.396.047	133.149.396.047
2009	132.763.865.338	132.763.865.338
2010	132.359.351.525	132.359.351.525
2011	131.935.385.767	131.935.385.767
2012	131.491.487.647	131.491.487.647
2013	131.027.164.882	131.027.164.882
2014	130.541.913.030	130.541.913.030
2015	130.035.215.193	130.035.215.193
2016	129.506.541.702	129.506.541.702
2017	128.955.349.812	128.955.349.812
2018	128.381.083.369	128.381.083.369
2019	127.783.172.486	127.783.172.486
2020	127.161.033.199	127.161.033.199
2021	126.514.067.125	126.514.067.125
2022	125.841.661.098	125.841.661.098
2023	125.143.187.945	125.143.187.945
2024	124.418.014.239	124.418.014.239
2025	123.665.530.330	123.665.530.330
2026	122.885.228.712	122.885.228.712
2027	122.076.861.274	122.076.861.274
2028	121.240.696.635	121.240.696.635
2029	120.377.873.709	120.377.873.709
2030	119.490.812.763	119.490.812.763
2031	118.583.612.569	118.583.612.569
2032	117.662.344.139	117.662.344.139
2033	116.735.155.966	116.735.155.966
2034	115.812.132.691	115.812.132.691
2035	114.904.891.814	114.904.891.814

Sumber: Pengolahan data

Berdasarkan Tabel 5.5 dan Gambar 5.6 nampak bahwa Skenario I pada penelitian ini tidak mempengaruhi cadangan air tanah secara signifikan meskipun telah diupayakan pengurangan luas lahan terbangun. Laju penurunan cadangan air tanah hasil simulasi skenario I sebesar 0,49% sama dengan laju penurunan pada model dasar. Penurunan cadangan air tanah yang terjadi lebih diakibatkan oleh besarnya laju pengambilan air tanah.

Jika ditinjau dari segi hidrogeologi, kemampuan tanah untuk meresapkan air tanah sangat kecil sehingga air yang terbentuk di dalam akuifer pun menjadi lambat meskipun lahan terbangun sudah dikurangi. Dengan demikian, maka upaya melestrakan cadangan air tanah dengan menurunkan laju pembangunan tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap lestariannya cadangan air tanah.

Pertimbangan lain sehingga Skenario I tidak dapat dijalankan adalah faktor tingginya harga lahan di lahan yang sudah terbangun, sehingga pengurangan lahan terbangun akan membutuhkan biaya tinggi. Selain itu, masih adanya anggapan bahwa lahan yang terbangun mempunyai nilai ekonomi yang lebih tinggi daripada lahan bervegetasi dan lahan kosong menyebabkan semakin tidak terkendalinya laju pembangunan sehingga luas lahan terbangun semakin meningkat. Hal ini secara ekonomi kurang memberikan nilai manfaat.



Gambar 5.6 Grafik Cadangan Air Tanah pada Model Dasar dan pada Skenario I

Batas penelitian adalah batas ekologi dari CAT Jakarta yang bersifat lintas batas administrasi. Target pengurangan hingga 85.000 ha pada tahun 2035 akan memberikan permasalahan tertentu kepada pemerintah setempat untuk mengalokasikan besarnya porsi luas lahan terbangun pada wilayah mereka.

Penerapan Skenario I yang berupa pengurangan lahan terbangun juga akan memberikan dampak terutama pada masalah sosial. Umumnya lahan-lahan yang dikonversi dari lahan terbangun menjadi lahan resapan adalah lahan-lahan yang digunakan untuk permukiman kumuh dan lahan kosong. Upaya mengkonversikan lahan yang digunakan untuk permukiman kumuh akan memberikan konflik antara penduduk di permukiman tersebut dengan pemerintah setempat. Kegiatan semacam itu pada umumnya disebut sebagai penggusuran. Upaya perluasan lahan bervegetasi sebagai lahan resapan pada daerah penggusuran bukanlah hal yang mudah.

Terkait dengan imbuhan, perluasan lahan bervegetasi sebagai lahan resapan juga hanya efektif untuk menambah air tanah dangkal, tetapi hal ini juga tidak dapat menyelesaikan masalah utama penurunan cadangan air tanah. Selain itu, berdasarkan hasil simulasi, mengurangi laju pembangunan dalam rangka untuk memperluas kawasan resapan tersebut tidak dapat memberikan tambahan terhadap peningkatan imbuhan ke dalam cadangan air tanah. Hal ini karena proses imbuhan sangat tergantung pada kondisi hidrogeologi setempat bukan pada penambahan lahan resapan.

Penataan ruang yang dalam hal ini adalah dengan membuat aturan tentang lahan-lahan yang layak dijadikan lahan terbangun dan lahan resapan perlu dipertimbangkan. Penataan ruang yang secara hukum dan teknis yang telah tertuang dalam UU No 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang dan Peraturan Pemerintah No 27 Tahun 2008 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional beserta turunannya, perlu diaplikasikan secara nyata di lapangan. Hal ini berkaitan dengan besaran luas dan distribusi fungsi dari ruang itu sendiri. Perluasan ruang termasuk untuk lahan resapan harus mendapat prioritas utama dalam kaitannya keberlangsungan pembangunan di wilayah tersebut. Konsep 30% dari luas wilayah yang berupa ruang terbuka hijau, yang dalam penelitian ini

berwujud lahan bervegetasi, perlu dipertimbangkan ulang dengan tetap mempertimbangkan keberlanjutan semua sumber daya yang ada di wilayah tersebut termasuk sumber daya air tanah.

Berkaitan dengan daerah penelitian, Kota Tangerang, Kabupaten Tangerang, Kota Tangerang Selatan, Kota Depok, Kota Bekasi dan Kabupaten Bekasi merupakan daerah *hinterland* bagi Kota Jakarta. Daerah *hinterland* tersebut mendapat pengaruh besar dari Kota Jakarta sehingga menjadi bagian dari Megapolitan Jakarta. Dengan demikian, kota-kota sekitar Jakarta tersebut mempunyai tingkat kerentanan yang sangat tinggi terhadap peningkatan luas lahan terbangun yang dapat mengakomodasi semua kegiatannya. Kota Jakarta sendiri sudah tidak mengalami perluasan lahan terbangun melainkan mengalami perubahan fungsi misalnya dari lahan permukiman menjadi lahan untuk perdagangan.

Secara umum, Skenario I dalam penelitian ini termasuk dalam skenario pesimis sebab tingginya kesulitan dalam menekan laju pembangunan untuk mengurangi semakin meluasnya lahan terbangun.

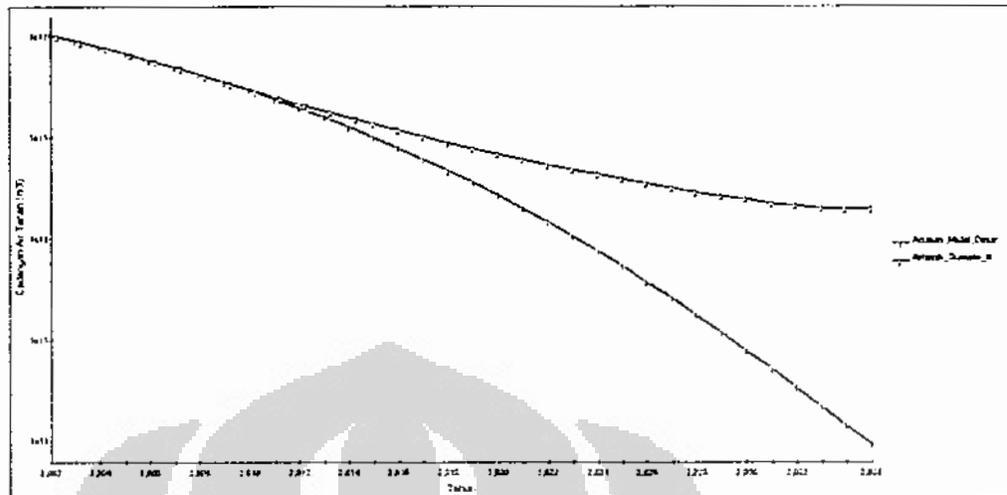
#### **5.4.2 Skenario II dengan Penurunan Jumlah Penduduk**

Skenario II adalah dengan menekan pertumbuhan penduduk melalui pengurangan laju kelahiran. Tingginya laju kelahiran di daerah penelitian sebesar 2,8% per tahun menyebabkan semakin meningkatnya jumlah penduduk. Target pengurangan laju kelahiran mengikuti target yang diskenariokan oleh Adioetomo (dalam Widhaningrat, 2009) bahwa sebelum tahun 2030, target angka kelahiran adalah sebesar 1,8% per tahun. Asumsi yang diambil berkaitan dengan adanya *window of opportunity* yang akan terjadi setelah tahun 2030 yaitu tercapainya rasio ketergantungan terendah pada penduduk Indonesia bila mampu mencapai laju kelahiran sebesar 1,8%. Rasio ketergantungan penduduk yang rendah menggambarkan besarnya jumlah penduduk dewasa (produktif). Penduduk dewasa dapat dianggap sebagai pengguna air yang lebih besar dibanding usia penduduk balita dan lanjut usia.

Tabel 5.6 Data Volume Cadangan Air Tanah pada Model Dasar dan Skenario II

Tahun	Volume Cadangan Air Tanah (m <sup>3</sup> )	
	Model Dasar	Skenario II
2002	135.088.800.000	135.088.800.000
2003	134.807.936.419	134.807.936.419
2004	134.510.674.767	134.510.674.767
2005	134.196.610.051	134.196.610.051
2006	133.865.327.273	133.865.327.273
2007	133.516.401.188	133.516.401.188
2008	133.149.396.047	133.149.396.047
2009	132.763.865.338	132.763.865.338
2010	132.359.351.525	132.393.502.291
2011	131.935.385.767	132.033.242.179
2012	131.491.487.647	131.682.949.532
2013	131.027.164.882	131.342.490.698
2014	130.541.913.030	131.011.733.816
2015	130.035.215.193	130.690.548.795
2016	129.506.541.702	130.378.807.287
2017	128.955.349.812	130.076.382.664
2018	128.381.083.369	129.783.149.998
2019	127.783.172.486	129.498.989.034
2020	127.161.033.199	129.223.769.172
2021	126.514.067.125	128.957.379.172
2022	125.841.661.098	128.699.698.481
2023	125.143.187.945	128.450.610.649
2024	124.418.014.239	128.210.011.135
2025	123.665.530.330	127.977.836.352
2026	122.885.228.712	127.754.142.674
2027	122.076.861.274	127.539.264.069
2028	121.240.696.635	127.334.069.830
2029	120.377.873.709	127.140.318.536
2030	119.490.812.763	126.961.069.531
2031	118.583.612.569	126.801.080.491
2032	117.662.344.139	126.667.101.603
2033	116.735.155.966	126.567.981.252
2034	115.812.132.691	126.514.525.142
2035	114.904.891.814	126.519.093.478

Sumber: Pengolahan data



Gambar 5.7 Grafik Cadangan Air Tanah pada Model Dasar dan pada Skenario II

Berdasarkan Tabel 5.6, terlihat bahwa cadangan air tanah tetap mengalami penurunan meskipun laju kelahiran telah ditekan hingga mencapai angka kelahiran sebesar 1,8%. Bila pada model dasar laju penurunan sebesar 0,49% per tahun, maka pada model skenario II laju penurunan cadangan air tanah sebesar 0,22% per tahun. Faktor yang menyebabkan penurunan tersebut adalah bahwa masih banyaknya penduduk yang menggunakan air tanah sedangkan faktor layanan air PAM tetap, sehingga mengakibatkan laju pengambilan air tanah tetap tinggi.

Berdasarkan Tabel 5.6 dan Gambar 5.7, maka Skenario II dianggap sebagai skenario pesimis dalam penelitian ini. Hal ini karena perlunya upaya lebih untuk bisa menekan angka kelahiran hingga mencapai 1,8% per tahun. Upaya yang dapat dilakukan tersebut membutuhkan kebijakan nasional mengenai pembatasan kelahiran dan perencanaan jumlah keluarga. Kebijakan nasional yang hingga saat ini masih berjalan dalam upaya menurunkan angka kelahiran adalah melalui Program Keluarga Berencana.

Peneliti juga beranggapan bahwa pengurangan angka kelahiran juga dapat dilakukan melalui upaya pemberian pemahaman kepada penduduk bahwa cadangan air tanah merupakan sumber daya yang terbatas. Jumlah penduduk yang terus meningkat akan menyebabkan semakin banyak penduduk yang

memerlukan air, yang pada akhirnya akan menyebabkan kelangkaan sumber air bersih, dalam hal ini air tanah, di kemudian hari.

Pertimbangan lain selain tidak mudahnya upaya untuk menurunkan angka kelahiran, yaitu adanya kecenderungan peningkatan penduduk perkotaan untuk mengkonsumsi air. Pada tahun 1990, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah menetapkan bahwa standar kebutuhan air untuk kota besar adalah 200 l/orang/hari. Hal ini kemudian direvisi pada tahun 2002 oleh Badan Standarisasi Nasional yang mengeluarkan standar kebutuhan air untuk kota besar sebesar 250 l/orang/hari. Hal ini dapat menjadi pertimbangan bahwa meskipun laju kelahiran dikurangi sehingga jumlah penduduk berkurang, tetapi volume konsumsi air justru naik, maka kemungkinan terjadinya pengambilan air tanah dalam jumlah besar pun akan semakin tinggi peluangnya. Dampak selanjutnya adalah penurunan cadangan air tanah di CAT Jakarta.

#### **5.4.3 Skenario III dengan Penambahan Kemampuan Layanan Air PAM**

Penambahan kemampuan layanan air PAM merupakan intervensi yang dapat dilakukan melalui penguasaan modal dan teknologi. Skenario III adalah dengan menambah faktor layanan air PAM yang sebelumnya 36% menjadi 70%. Besaran tersebut diasumsikan lebih realistis dalam upaya-upaya menaikkan layanan air PAM meskipun masih berada di bawah efisiensi 80%. Berdasarkan Tabel 5.7 dan Gambar 5.9, pada hasil simulasi skenario III, terlihat terjadinya penurunan volume cadangan air tanah sebesar 0,1% yang lebih kecil dibanding pada model dasar. Skenario III dianggap sebagai skenario optimis karena diasumsikan bahwa skenario ini lebih dapat diterapkan dan memberikan gambaran peningkatan cadangan air tanah yang lebih baik.

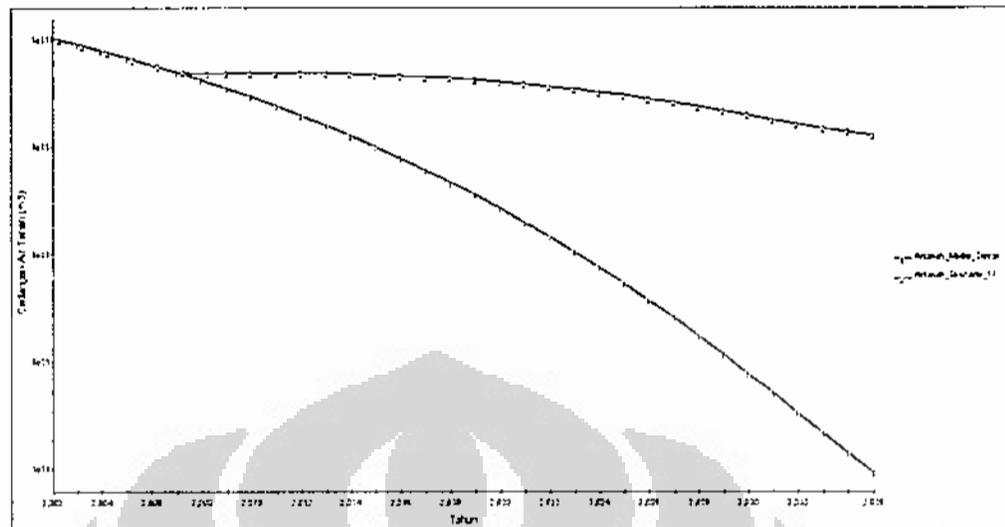
Skenario III termasuk dalam skenario optimis karena peningkatan layanan air PAM lebih dapat direncanakan dan dikendalikan. Pertimbangan tersebut diambil karena CAT Jakarta dilalui oleh DAS Cisadane dan DAS Ciliwung yang berpotensi besar dalam memberikan suplai air baku. Kondisi saat ini, air baku untuk suplai air PAM hanya berasal dari Kali Cisadane dan Kali Malang (Kanal Tarum Barat). Kedua sumber air baku tersebut mampu memberikan layanan air

PAM sebesar 36%. Apabila sebagian besar sungai digunakan sebagai sumber air baku dengan penambahan sarana Instalasi Pengolahan Air (IPA) maka layanan air PAM sebesar 70% pada tahun 2035 akan dapat dijangkau.

Tabel 5.7 Data Volume Cadangan Air Tanah pada Model Dasar dan Skenario III

Tahun	Volume Cadangan Air Tanah (m <sup>3</sup> )	
	Model Dasar	Skenario III
2002	135.088.800.000	135.088.800.000
2003	134.807.936.419	134.807.936.419
2004	134.510.674.767	134.510.674.767
2005	134.196.610.051	134.196.610.051
2006	133.865.327.273	133.865.327.273
2007	133.516.401.188	133.516.401.188
2008	133.149.396.047	133.416.655.111
2009	132.763.865.338	133.439.453.233
2010	132.359.351.525	133.453.353.025
2011	131.935.385.767	133.458.134.718
2012	131.491.487.647	133.453.573.116
2013	131.027.164.882	133.439.437.461
2014	130.541.913.030	133.415.491.298
2015	130.035.215.193	133.381.492.328
2016	129.506.541.702	133.337.192.271
2017	128.955.349.812	133.282.336.714
2018	128.381.083.369	133.216.664.961
2019	127.783.172.486	133.139.909.876
2020	127.161.033.199	133.051.797.727
2021	126.514.067.125	132.954.048.022
2022	125.841.661.098	132.840.373.338
2023	125.143.187.945	132.716.480.293
2024	124.418.014.239	132.580.077.490
2025	123.665.530.330	132.430.905.758
2026	122.885.228.712	132.268.816.729
2027	122.076.861.274	131.093.930.296
2028	121.240.696.635	131.906.892.175
2029	120.377.873.709	131.709.227.685
2030	119.490.812.763	131.503.753.045
2031	118.583.612.569	131.294.972.757
2032	117.662.344.139	131.089.373.585
2033	116.735.155.966	130.895.530.040
2034	115.812.132.691	130.723.963.305
2035	114.904.891.814	130.586.738.201

Sumber: Pengolahan data



Gambar 5.8 Grafik Cadangan Air Tanah pada Model Dasar dan pada Skenario III

Hambatan utama yang dihadapi dalam peningkatan air PAM terkait dengan kualitas air baku adalah adanya kecenderungan penurunan kualitas air baku di semua sungai di CAT Jakarta. Sungai yang digunakan sebagai air baku untuk air PAM saat ini adalah air dari Kanal Tarum Barat dan Sungai Cisadane. Kanal Tarum Barat mendapat pasokan air dari Waduk Jatiluhur dan melalui beberapa bendung untuk membagi air ke saluran irigasi. Hal ini menyebabkan terbatasnya suplai air yang masuk ke Kanal Tarum Barat tersebut. Selama proses pengaliran air dalam kanal tersebut, air baku mendapat cemaran dari aktivitas industri, rumah tangga dan pertanian sehingga akan memperburuk kualitas air baku yang sampai ke Instalasi Pengolahan Air PAM. Tidak hanya Kanal Tarum Barat, Sungai Cisadane dan sungai yang mengalir di CAT Jakarta secara keseluruhan mempunyai kualitas air yang buruk.

Air baku yang mempunyai kualitas air buruk tersebut menyebabkan semakin perlunya teknologi yang lebih maju dalam pemrosesan air sehingga layak untuk dikonsumsi. Sisi lain dalam upaya peningkatan kualitas air PAM sehingga layak dikonsumsi tersebut adalah besarnya kemungkinan tarif air PAM di kemudian hari. Peningkatan tarif tersebut merupakan dampak lanjutan dari biaya pengolahan dan target laba perusahaan yang dibebankan kepada pelanggan air PAM. Kekhawatiran berikutnya adalah tingginya tarif tersebut menyebabkan

banyak penduduk yang justru tidak mampu membeli air sehingga menggunakan air tanah sebagai sumber air bersihnya. Dengan demikian, penentuan tarif air yang dianggap dapat dibayar oleh pelanggan perlu dipertimbangkan supaya pelanggan tidak menggunakan air tanah lagi sebagai akibat dari mahalanya tarif air. Suplai air baku yang berasal dari Waduk Jatiluhur dan sungai-sungai yang mengalir di CAT Jakarta perlu dijaga agak tidak tercemar sehingga dapat digunakan untuk air baku PAM. Hal ini diharapkan dapat mengurangi mahalanya tarif air PAM akibat biaya pengolahan air yang membutuhkan biaya besar.

Kehilangan air juga menjadi salah satu hambatan dalam peningkatan layanan air PAM. Akan tetapi, kehilangan air tersebut dapat dikurangi dengan cara peningkatan penggunaan teknologi distribusi dan sistem pengawasan manajemen produksi dan distribusi yang lebih baik.

Indonesia juga merupakan salah satu negara yang meratifikasi MDG's yang berkaitan dengan suplai bersih. Salah satu item dalam MDG's tersebut akan menjadi faktor pendorong untuk memperluas jaringan layanan air PAM di seluruh wilayah minimal 50% pada tahun 2015. Dengan demikian, Skenario III merupakan skenario optimis yang dapat diterapkan untuk CAT Jakarta.

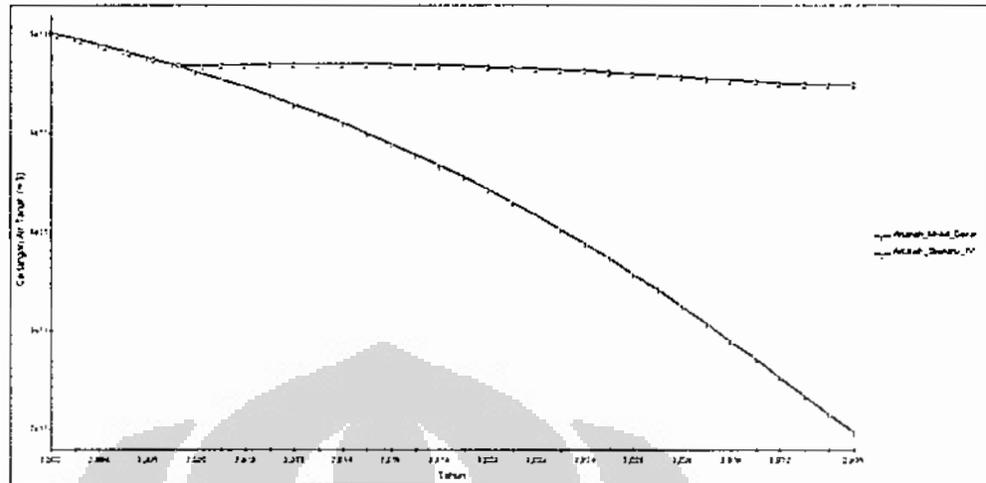
#### **5.4.4 Skenario IV dengan Penurunan Jumlah Penduduk dan Penambahan Layanan PAM**

Skenario IV merupakan gabungan antara skenario II dan Skenario III yaitu dengan menurunkan jumlah penduduk melalui angka kelahiran dan menambah layanan air PAM. Angka kelahiran berdasarkan model dasar dari 2,8% per tahun diturunkan menjadi 1,8% per tahun, dan layanan PAM yang pada model dasar sebesar 36% dinaikkan menjadi 70%. Pertimbangan yang diambil dalam skenario ini adalah bahwa berdasarkan Skenario II dan Skenario III yang menunjukkan adanya laju penurunan cadangan air tanah yang kecil, maka jika kemudian skenario tersebut digabung, diharapkan akan memberikan laju penurunan cadangan air tanah yang semakin kecil dibanding skenario sebelumnya.

Tabel 5.8 Data Volume Cadangan Air Tanah pada Model Dasar dan Skenario IV

Tahun	Volume Cadangan Air Tanah (m <sup>3</sup> )	
	Model Dasar	Skenario IV
2002	135.088.800.000	135.088.800.000
2003	134.807.936.419	134.807.936.419
2004	134.510.674.767	134.510.674.767
2005	134.196.610.051	134.196.610.051
2006	133.865.327.273	133.865.327.273
2007	133.516.401.188	133.516.401.188
2008	133.149.396.047	133.416.655.111
2009	132.763.865.338	133.443.608.118
2010	132.359.351.525	133.465.395.854
2011	131.935.385.767	133.481.943.402
2012	131.491.487.647	133.493.174.761
2013	131.027.164.882	133.499.012.826
2014	130.541.913.030	133.499.379.375
2015	130.035.215.193	133.494.195.050
2016	129.506.541.702	133.483.379.345
2017	128.955.349.812	133.466.850.582
2018	128.381.083.369	133.444.525.901
2019	127.783.172.486	133.416.321.241
2020	127.161.033.199	133.382.151.320
2021	126.514.067.125	133.341.929.620
2022	125.841.661.098	133.295.568.367
2023	125.143.187.945	133.242.979.651
2024	124.418.014.239	133.184.083.532
2025	123.665.530.330	133.118.838.437
2026	122.885.228.712	133.047.319.906
2027	122.076.861.274	132.969.878.217
2028	121.240.696.635	132.887.396.121
2029	120.377.873.709	132.801.642.807
2030	119.490.812.763	132.715.685.371
2031	118.583.612.569	132.634.286.395
2032	117.662.344.139	132.564.198.113
2033	116.735.155.966	132.514.268.101
2034	115.812.132.691	132.495.298.392
2035	114.904.891.814	132.519.642.664

Sumber: Pengolahan Data



Gambar 5.9 Grafik Cadangan Air Tanah pada Model Dasar dan pada Skenario IV

Berdasarkan Tabel 5.9 dan Gambar 5.9, hasil simulasi memperlihatkan perilaku penurunan (*exponential collapse*) hingga tahun 2035 dengan laju rata-rata penurunan sebesar 0,06% per tahun. Penurunan cadangan air tanah tersebut terjadi karena masih adanya pengambilan air dari penduduk yang tidak mendapat akses layanan air PAM meskipun laju kelahiran penduduk telah berkurang hingga 1,8% per tahun.

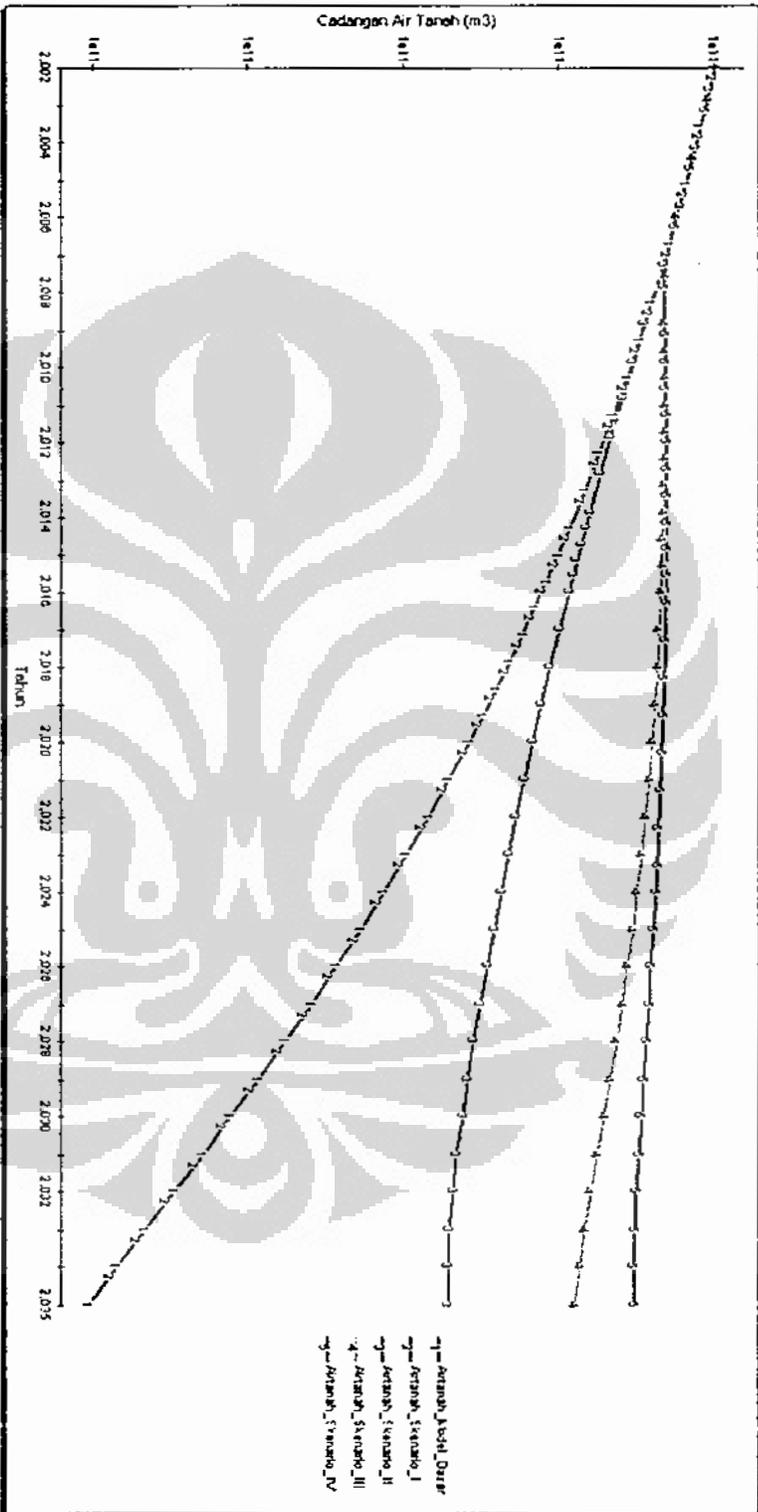
Skenario IV merupakan skenario yang mengintervensi sisi pengambilan air tanah yang dalam hal ini menggunakan variabel laju kelahiran dan faktor layanan air PAM. Penurunan laju kelahiran akan memberikan pengaruh berupa turunnya jumlah penduduk yang memerlukan air, sedangkan faktor layanan air PAM akan memberikan alternatif sumber air bagi penduduk sehingga laju pengambilan air tanah pun akan berkurang.

Skenario IV merupakan skenario optimis. Pertimbangan tersebut karena adanya faktor yang saling mendukung dalam upaya menekan laju penurunan cadangan air tanah. Penurunan angka kelahiran akan memberikan penurunan jumlah penduduk yang menggunakan air tanah sebagai sumber air bersihnya. Selain itu, upaya menaikkan layanan air PAM yang dilaksanakan sejalan dengan penurunan angka kelahiran diharapkan akan saling mendukung sehingga laju penurunan cadangan air tanah pun semakin kecil. Hasil simulasi menunjukkan angka sebesar 0,06% per tahun pada skenario ini.

Jangka waktu tahun simulasi hingga tahun 2035 akan memberikan waktu yang lebih panjang dalam upaya untuk menurunkan angka kelahiran dan menaikkan faktor layanan air PAM. Upaya yang dapat dilakukan dalam menurunkan angka kelahiran tersebut salah satunya melalui peningkatan pemahaman mengenai keterbatasan cadangan air tanah dan penghematan air oleh penduduk. Pertimbangannya adalah jika penduduk memahami bahwa air tanah semakin langka keberadaannya maka akan dapat mempengaruhi banyaknya air yang dapat dinikmati oleh setiap penduduk. Hal ini mengartikan bahwa akses penduduk akan air pada akhirnya akan semakin terbatas akibat cadangan air yang terbatas pula. Dengan pemahaman tersebut, maka diharapkan penduduk secara sadar akan mengurangi angka kelahiran. Selain menekan angka kelahiran, peningkatan layanan air PAM juga diperlukan melalui peningkatan kapasitas produksi, pengurangan angka kehilangan air, dan peningkatan teknologi pengolahan air.

Skenario IV merupakan salah satu wujud dalam pelaksanaan kesepakatan *Millenium Development Goals* (MDGs) terutama mengenai pelayanan ketersediaan air bersih yang harus mencapai 50% dari total penduduk pada tahun 2015. Dalam definisinya, pelayanan air bersih tidak hanya berupa air perpipaan, tetapi juga air kemasan dan air tanah. Pada kenyataannya, pengambilan air tanah secara terus-menerus untuk memenuhi kebutuhan air akan memberikan dampak besar terhadap penduduk dan lahan yang berupa penurunan muka air tanah, amblesan dan intrusi air laut. Dengan demikian, hal yang perlu mendapat perhatian selanjutnya adalah perlunya penggunaan air perpipaan yang dalam hal ini air PAM sebagai sumber air bersih utama di CAT Jakarta.

Semua skenario dapat dibandingkan cadangan air tanahnya melalui grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.10. Semua grafik menunjukkan perilaku *exponential collapse* yang artinya terjadi penurunan cadangan air tanah, yang secara umum semua skenario menunjukkan tren penurunan yang sama mulai tahun 2008, tetapi mempunyai laju penurunan yang berbeda-beda. Pada skenario I, penurunan laju sebesar 0,49%. pada skenario II sebesar 0,22%, pada skenario III sebesar 0,10% dan pada skenario IV sebesar 0,06%.



Gambar 5.10 Volume Cadangan Air Tanah Berdasarkan Simulasi Skenario

Tahun 2008 merupakan tahun pemberlakuan intervensi pada variabel laju pembangunan, angka kelahiran dan faktor layanan air PAM. Sebelum tahun 2008, volume cadangan air tanah menunjukkan besarnya cadangan air tanah pada kondisi yang berlaku tanpa intervensi. Grafik semua simulasi pada Gambar 5.10 menunjukkan grafik yang saling berhimpit. Hal ini menunjukkan bahwa semua skenario belum berlaku sebelum tahun 2008. Intervensi yang dilakukan setelah tahun 2008 memberikan tren yang berbeda-beda untuk semua skenario. Skenario I berhimpit dengan model dasar sehingga menunjukkan bahwa Skenario I kurang mampu menurunkan laju penurunan cadangan air tanah. Bila dibandingkan dengan Skenario II, maka Skenario II memberikan hasil yang lebih baik dibanding Skenario I. Skenario I mengintervensi pembentukan air tanah sedangkan Skenario II mengintervensi pengambilan air tanah. Dengan demikian, intervensi pada pengambilan air tanah akan memberikan laju penurunan cadangan air tanah yang lebih rendah daripada bila harus mengintervensi pembentukan air tanah. Hal ini juga nampak pada Skenario III dan IV yang juga mengintervensi pengambilan air tanah.

Berdasarkan Gambar 5.10, Skenario IV mempunyai tren yang cenderung lebih datar dan memberikan laju penurunan cadangan air tanah yang paling rendah dibandingkan dengan skenario lainnya. Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka Skenario IV merupakan skenario optimis yang dapat diterapkan dalam upaya pelestarian air tanah di CAT Jakarta.

Pengelolaan air tanah tidak terlepas dari aspek kelembagaan yang mempunyai kewenangan terhadap pengelolaan air. Persoalan mengenai air tanah tidak dapat diselesaikan secara sendiri-sendiri oleh instansi tertentu saja sebab persoalan air tanah melibatkan banyak pihak. Dengan demikian, maka akan banyak lembaga atau instansi yang mempunyai peran dalam pengelolaan air tanah.

*Skenario IV yang mengintervensi angka kelahiran menjadi 1,8% per tahun, yang hal ini diperlukan upaya lebih lanjut dari lembaga pemerintah misalnya BKKBN, Dinas Kesehatan dan Dinas Pendidikan. BKKBN harus mensosialisasikan Program Keluarga Berencana dan memberikan pemahaman kepada penduduk*

bahwa jika angka kelahiran yang besar akan menyebabkan semakin banyaknya anggota keluarga yang membutuhkan air. Dengan demikian maka jika semakin banyak keluarga yang mempunyai anggota keluarga dalam jumlah besar, akan menyebabkan semakin banyaknya air yang perlu disediakan untuk mencukupi kebutuhan air keluarga tersebut. Dampak lanjutannya adalah kelangkaan sumber daya air.

Dinas Kesehatan mempunyai tugas dalam upaya mendistribusikan alat-alat untuk program KB sehingga akan semakin banyak keluarga yang mendapat akses layanan KB. KB tersebut tidak hanya dimaksudkan untuk mencegah kehamilan tetapi juga untuk mengatur kehamilan. Jika kehamilan diatur, maka peluang terjadinya kelahiran akan semakin kecil sehingga laju pertumbuhan penduduk juga akan semakin kecil.

Dinas Pendidikan mempunyai peran yang sangat penting terutama pada pemberian pemahaman bahwa air tanah merupakan sumber daya alam yang terbatas dan tidak dapat diperbarui. Jika laju kelahiran terus meningkat sedangkan air tanah semakin terbatas maka yang terjadi adalah kelangkaan cadangan air tanah. Pemahaman mengenai air tanah sebagai sumber daya alam yang terbatas tersebut dapat dilakukan melalui pengembangan kurikulum di sekolah yang khusus membahas mengenai cadangan air tanah di CAT Jakarta. Kekhususan masalah air tanah di CAT Jakarta berbeda dengan CAT lainnya, yaitu pada tingginya laju pertumbuhan penduduk yang membutuhkan air serta sumber cemaran air yang banyak dan beraneka ragam, sehingga alternatif sumber air lainnya menjadi terbatas.

Selain mengintervensi laju kelahiran, Skenario IV juga mengintervensi faktor layanan air PAM. Layanan air PAM dapat ditingkatkan dengan adanya koordinasi dari berbagai instansi antara lain: Dinas Pekerjaan Umum, PDAM, Bappeda, Dinas Pendapatan, Badan Lingkungan Hidup, Dinas Pertambangan dan Dinas Perindustrian. Bappeda adalah instansi yang mempunyai kewenangan besar dalam mengatur program dan anggaran dinas dan lembaga pemerintah daerah. Bappeda harus dapat memprogram konservasi air tanah di semua lembaga terkait, serta mengatur anggaran yang diperlukan sehingga program

tersebut dapat dijalankan. Tugas Bappeda cenderung pada perencanaan program dan anggaran, sedangkan lembaga lainnya mempunyai fungsi sebagai pelaksana program dan anggaran.

Salah satu tugas dari Dinas Pekerjaan Umum (PU) adalah sebagai pengatur dalam pengelolaan sumber daya air terutama air permukaan (sungai, danau, situ, waduk). Terkait dalam upaya meningkatkan layanan air PAM, maka Dinas PU harus dapat menjaga kesinambungan ketersediaan air baku dari sungai dan kanal di CAT Jakarta, tidak hanya ketersediaan tetapi juga kualitas airnya. Dinas PU harus bekerja sama dengan Badan Lingkungan Hidup (LH) untuk melarang semua kegiatan/usaha serta penduduk untuk mengalirkan limbahnya ke sungai dan kanal. Selain itu, Dinas PU harus membangun saluran limbah yang terpisah dengan saluran drainase kota untuk mencegah tercampurnya air kotor dengan air drainase. Hal ini mengingat air drainase pada umumnya akan masuk ke sistem air sungai dan kanal. Jika tidak ada lagi kegiatan/usaha dan penduduk yang mengalirkan limbahnya ke sungai dan kanal, maka diharapkan kualitas air baku untuk suplai air di PDAM akan lebih baik. Selanjutnya, hal tersebut tidak akan membebani beban produksi air PAM.

PDAM sebagai operator dalam penyediaan air bersih harus dapat meningkatkan kapasitas produksi, menurunkan angka kehilangan air, meningkatkan layanan distribusi, dan memperbaiki kualitas airnya. Keempat hal tersebut hanya dapat terjadi jika pemerintah menambah modal kepada PDAM terutama untuk memperbarui teknologi pengolahan air dan sistem distribusinya.

Dinas Pertambangan, Dinas Perindustrian dan Badan Lingkungan Hidup selanjutnya harus dapat menghentikan keluarnya ijin pengambilan air tanah terutama bagi kegiatan/usaha sebab mereka umumnya menggunakan air dalam jumlah besar. Penghentian keluarnya ijin pengambilan air tanah tersebut terkait dengan resiko terjadinya amblesan, penurunan muka air tanah serta intrusi air laut. Jika ijin pengambilan air tanah terus dikeluarkan maka peluang terjadinya amblesan, penurunan muka air tanah dan intrusi air laut semakin besar. CAT Jakarta terbentuk dari materi geologi yang berasal dari proses sedimentasi. Proses sedimentasi tersebut mengakibatkan terbentuknya akuifer CAT Jakarta hingga

kedalaman 250 m bmt. Sifat materi geologi dari sedimen di CAT Jakarta tidak stabil sehingga mudah mengalami amblesan. Jika pengambilan air tanah terjadi, maka pori-pori dalam batuan dan materi sedimen tersebut akan menjadi kosong sehingga amblesan akan semakin mudah terjadi terutama di daerah-daerah yang mengalami pengambilan air berlebih. Terjadinya amblesan di CAT Jakarta akan memberikan dampak yang sangat besar sebab permukaan tanah di CAT Jakarta telah ditumbuhi oleh banyak bangunan tinggi. Jika amblesan terjadi, maka struktur bangunan akan menjadi tidak stabil, ambles dan dapat mengakibatkan korban materi yang besar serta membahayakan penduduk yang berada di atas dan sekitarnya. Terkait dengan intrusi air laut, maka pengambilan air tanah terutama oleh kegiatan/usaha yang terletak dekat pantai akan menyebabkan berkurangnya air tanah yang mampu menahan intrusi air laut. Air tanah sekitar pantai akan menjadi air asin dan tidak dapat digunakan sebagai sumber air bersih. Secara umum, maka pengambilan air tanah tidak dapat diteruskan dan harus dihentikan. Selanjutnya, kebutuhan air harus dapat dipenuhi dari air PAM.

*Dinas Pendapatan juga mempunyai peran besar terhadap pelestarian air tanah. Air tanah adalah salah satu sumber pendapatan daerah sebab air mempunyai nilai ekonomi yang tinggi. Upaya meningkatkan pendapatan daerah melalui retribusi air tidak boleh dilakukan kembali. Jika daerah masih berfikir untuk menaikkan pendapatan daerah melalui peningkatan retribusi air maka dampaknya adalah semakin banyaknya ijin pengambilan air yang terbit untuk kegiatan/usaha. Kegiatan/usaha tersebut akan membayar retribusi yang diwajibkan kepada mereka dengan pertimbangan bahwa jika terjadi kekurangan air maka kesalahan dibebankan kepada Pemerintah sebab mereka telah membayar retribusi kepada Pemerintah. Untuk mengantisipasi hal tersebut, serta untuk menjaga kelestarian air tanah, maka Dinas Pendapatan harus dapat menghentikan segala retribusi air dan harus membebankan denda yang besar terhadap kegiatan/usaha yang melakukan pengambilan air tanah.*

Pengelolaan air tanah tidak hanya dibebankan secara keseluruhan kepada instansi pemerintah. Penduduk adalah subyek yang menggunakan air tanah, mencemari air tanah, serta yang mendapat pengaruh besar terhadap terjadinya kelangkaan air

tanah. Perubahan konsep dan pemahaman tentang air tanah sebagai sumber daya alam yang mempunyai ketersediaan melimpah menjadi sumber daya yang tidak dapat diperbarui perlu dilakukan. Perubahan konsep dan pemahaman tersebut diharapkan dapat mengubah perilaku dan pola penggunaan air. Air yang dimaksud tidak hanya air tanah melainkan juga air sungai, air laut dan air hujan. Air sungai sebagai sumber air baku untuk layanan air PAM harus dijaga kondisinya (kesinambungan debit aliran dan kualitas air yang baik), sehingga air PAM dapat menjadi sumber utama air bersih tanpa harus membebani penduduk untuk membayar harga airnya. Terkait dengan air hujan, maka air hujan harus bisa menjadi salah satu sumber alternatif dalam pemenuhan kebutuhan air. Air hujan dapat ditampung dan digunakan sesuai kebutuhan. Upaya menjaga kualitas air hujan agar tidak menjadi hujan asam juga harus dipertimbangkan oleh penduduk sehingga kualitas air hujan tetap baik. Sumber lain untuk memenuhi kebutuhan air penduduk juga dapat dilakukan dengan menyuling air laut. Penyulingan air laut membutuhkan biaya yang besar terkait dengan teknologi yang harus diterapkan. Dengan demikian, maka layanan air PAM yang bersumber dari air sungai dan kanal akan tetap menjadi pilihan terbaik dalam upaya pemenuhan kebutuhan air penduduk.

## 6. KESIMPULAN

### 6.1 Kesimpulan

1. Faktor-faktor yang mempengaruhi penurunan cadangan air tanah antara lain: menurunnya luas lahan resapan, meningkatnya lahan terbangun, meningkatnya jumlah penduduk, rendahnya laju imbuhan dan rendahnya layanan air PAM;
2. Model hubungan antara pertumbuhan penduduk dan perubahan penggunaan lahan dari lahan bervegetasi menjadi lahan terbangun memberikan hasil simulasi dengan hasil valid. Model menggunakan fungsi *delay* pada limpasan permukaan dan proses imbuhan. Berdasarkan model dasar, maka peningkatan lahan terbangun sebesar 0,8% per tahun serta laju pertumbuhan penduduk sebesar 2,52% per tahun mengakibatkan penurunan cadangan air tanah sebesar 0,49% per tahun; dan
3. Model dasar digunakan untuk pembuatan skenario pelestarian air tanah yang dalam hal ini, penelitian mengusulkan 4 (empat) skenario yaitu: penurunan luas lahan terbangun (Skenario I), penurunan angka kelahiran (Skenario II), peningkatan layanan air PAM (Skenario III) dan gabungan antara penurunan angka kelahiran dan peningkatan layanan air PAM (Skenario IV). Hasil simulasi menunjukkan bahwa Skenario IV merupakan skenario optimis yang mempunyai peluang terbesar untuk diterapkan dan memberikan keberlangsungan air tanah lebih baik dibandingkan dengan skenario lainnya.

### 6.2. Saran

1. Untuk Pemerintah Pusat, adalah bahwa CAT Jakarta yang bersifat lintas batas administrasi maka harus dibentuk badan koordinasi khusus dalam upaya pengelolaannya. Hal ini dengan maksud agar koordinasi dapat lebih optimal mengingat CAT Jakarta menentukan keberlangsungan ibukota negara dan daerah sekitarnya dari sisi ketersediaan sumber daya air tanah.
2. Untuk Pemerintah Provinsi dan Kota/Kabupaten, harus tegas dalam upaya pengawasan pengambilan air tanah terutama untuk kegiatan/usaha yang

mengambil air dalam jumlah besar dan selanjutnya ijin pengambilan air tanah harus dihentikan. Hal ini berkaitan dengan resiko terjadinya amblesan, penurunan muka air tanah serta intrusi air laut. Selain itu, tarif air tanah yang diberlakukan harus tidak dimasukkan dalam sumber pendapatan daerah melainkan disisihkan sebagai anggaran khusus untuk konservasi lingkungan terutama sumber daya air tanah. Terkait dengan layanan air PAM, harus ada penambahan modal dalam bentuk dana, penyediaan tenaga ahli serta teknologi untuk memperbaiki kualitas air baku sehingga layak minum, mengurangi angka kehilangan air dan memperbaiki distribusi. Upaya lain terkait dengan laju kelahiran maka harus diupayakan pemberian pemahaman melalui jalur pendidikan (sekolah) bahwa jika laju kelahiran naik maka jumlah penduduk yang membutuhkan air akan semakin meningkat. Resiko yang terjadi kemudian adalah kelangkaan sumber daya air;

3. Penduduk harus paham bahwa air tanah adalah sumber daya yang terbatas dan tidak dapat diperbarui. Dengan demikian, pengambilan air tanah harus dihentikan, pencemaran air harus dihentikan dan kebutuhan air bersih disuplai dari air PAM;
4. Bagi penelitian selanjutnya, disarankan untuk memasukkan subsistem air PAM dalam model sehingga dapat diketahui lebih lanjut dinamika PAM dan pengaruhnya terhadap upaya pelestarian sumber daya air tanah;
5. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai model sistem pengendalian pengambilan air tanah yang tidak hanya memasukkan penduduk sebagai pengambil air saja melainkan juga kegiatan/usaha, sumber-sumber alternatifnya, serta tarif air yang dianggap dapat diterapkan tanpa membebani biaya produksi; dan
6. Perlu penelitian lanjutan mengenai dinamika spasial hubungan antara kepadatan penduduk dan pengambilan air oleh kegiatan/usaha serta pengaruhnya terhadap penurunan muka air tanah dan amblesan dengan titik berat pada CAT Jakarta yang merupakan wilayah pesisir.

## DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_, 2009. Peraturan Daerah Propinsi DKI Jakarta Nomor 37 Tahun 2009 tentang Nilai Perolehan Air sebagai Dasar Pengenaan Pajak Pengambilan dan Pemanfaatan Airtanah
- \_\_\_\_\_, 2009. Peraturan Daerah Kabupaten Bogor Nomor 10 Tahun 2001 tentang Retribusi dan Izin Pengeboran Air Bawah Tanah
- \_\_\_\_\_, 2004. Undang-undang Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air
- \_\_\_\_\_, 2007. Undang-undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang
- \_\_\_\_\_, 2009. Undang-undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
- Ali, F., 2009. *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu untuk Menunjang Pembangunan DKI Jakarta*. Presentasi dalam Sosialisasi Bidang Airtanah dan Pertambangan DKI Jakarta, 26 September 2009, Jakarta
- Anonim, 2009. *Indikator Pembangunan Berkelanjutan Di Indonesia*.  
[www.bulletin.penataanruang.net/upload/data\\_artikel/data%20bltn%202009.pdf](http://www.bulletin.penataanruang.net/upload/data_artikel/data%20bltn%202009.pdf). Diakses pada 11 Juli 2010 jam 21:34 WIB
- Anonim, \_\_\_\_\_. *Profil Kota Tangerang*. Bappeda Kota Tangerang.
- Asdak, C., 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan DAS*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Ariani, AAA., 2006. *Pengaruh Kegiatan Pembangunan pada Ekosistem Terumbu Karang (Studi Kasus: Efek Sedimentasi di Wilayah Pesisir Timur Pulau Bintan)*. Tesis. Program Studi Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Indonesia, Jakarta
- Arsyad, S., dan E. Rustiadi, 2008. *Penyelamatan Tanah, Air dan Lingkungan*. Cresspent Press dan Yayasan Obor Indonesia. Bogor
- Arsyad, S., 2000., *Konservasi Tanah dan Air*. IPB Press, Bogor
- BPLHD Provinsi DKI Jakarta, 2009. *Laporan Status Lingkungan Hidup Propinsi DKI Jakarta*, Jakarta.

- BPS Provinsi DKI Jakarta, 2008. *Jakarta dalam Angka Tahun 2000-2008*. BPS, Jakarta
- BPS Provinsi DKI Jakarta, 2008. *Indikator Kesejahteraan Penduduk dan Indeks Pembangunan Manusia Provinsi DKI Jakarta Tahun 2007*. BPS, Jakarta
- BPS Kota Tangerang, 2009. *Kota Tangerang dalam Angka Tahun 2000-2009*. BPS, Kota Tangerang
- BPS Kota Tangerang, 2009. *Indikator Kesejahteraan Penduduk dan Indeks Pembangunan Manusia Kota Tangerang Tahun 2009*. BPS, Kota Tangerang
- BPS Kabupaten Tangerang, 2008. *Kabupaten Tangerang dalam Angka Tahun 2000-2009*. BPS, Kabupaten Tangerang
- BPS Kabupaten Tangerang, 2008. *Indikator Kesejahteraan Penduduk dan Indeks Pembangunan Manusia Kabupaten Tangerang Tahun 2007*. BPS, Kabupaten Tangerang
- BPS Kota Depok, 2008. *Kota Depok dalam Angka Tahun 2000-2009*. BPS, Kota Depok
- BPS Kota Depok, 2008. *Indikator Kesejahteraan Penduduk dan Indeks Pembangunan Manusia Kota Depok Tahun 7*. BPS, Kota Depok
- BPS Kota Bekasi, 2008. *Kota Bekasi dalam Angka Tahun 2000-2009*. BPS, Kota Bekasi
- BPS Kota Bekasi, 2008. *Indikator Kesejahteraan Penduduk dan Indeks Pembangunan Manusia Kota Bekasi Tahun 2007*. BPS, Kota Bekasi
- BPS Kabupaten Bekasi, 2008. *Kabupaten Bekasi dalam Angka Tahun 2000-2009*. BPS, Kabupaten Bekasi
- BPS Kabupaten Bekasi, 2008. *Indikator Kesejahteraan Penduduk dan Indeks Pembangunan Manusia Kabupaten Bekasi dalam Angka Tahun 2007*. BPS, Kabupaten Bekasi
- BPS, 2006. *Statistik Air Bersih 2004-2008*. Jakarta
- BPS, 2005. *Statistik Air Bersih 1999-2004*. Jakarta
- BPS, 2005. *Proyeksi penduduk Indonesia*. Jakarta

- BPS, 2007. *Survey Demografi dan Kesehatan*. Jakarta
- BPS, 2009. *Indikator Kesejahteraan Rakyat*. Jakarta
- BSNI, 2002. *SNI 19-6728.1-2002 tentang Penyusunan Sumber Daya Air Spasial*.  
Diakses dari <http://sisni.bn.go.id> pada tanggal 17 Mei 2011 jam 14.30 WIB
- Catanese, AJ., dan JC. Snyder, 1988. *Urban Planning 2<sup>nd</sup> ed.* McGraw-Hill Inc. New York.
- Chotib, 1998. *Skedul Model Migrasi dari DKI Jakarta/Luar Jakarta*. Tesis, Program Studi Kependudukan dan Ketenagakerjaan, Universitas Indonesia.
- Dardak, H., 2005. *Pemanfaatan Lahan Berbasis Rencana Tata Ruang Sebagai Upaya Perwujudan Ruang Hidup Yang Nyaman, Produktif, Dan Berkelanjutan*. Makalah dalam Seminar Nasional "Save Our Land" for The Better Environment, Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor, 10 Desember 2005. Bogor
- Darsoprajitno, S. 2002. *Ekologi Pariwisata*. Penerbit Angkasa. Bandung.
- Djajadiningrat, ST., 2001. *Pemikiran, Tantangan dan Permasalahan Lingkungan*. Penerbit Departemen Teknik Industri ITB. Bandung.
- Djumantri, M, et al, 2009. *Kamus Penataan Ruang*. Direktorat Jenderal Penataan Ruang Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Jakarta
- Dwiyanto, B, 2007. *Kondisi Dan Lingkungan Air Tanah Di Indonesia*. Makalah dalam Lokakarya nasional Rekayasa Dampak Pengambilan Air Tanah, 6 September 2007, Jakarta
- Frolking, S., et all., 2010. *A New Model Of Holocene Peatland Net Primary Production, Decomposition, Water Balance And Peat Accumulation*. Earth System Dynamic Journal, 1, 1-21, 2010. European Geosciences Union.
- Hafsaridewi, D, 2004. *Pengaruh Pertumbuhan Penduduk pada Pemanfaatan Lahan dan Ketersediaan Air Bersih*, Tesis. Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia
- Hammond, R, and P. McCullach, 1963. *Quantitative in Geography* 2nd ed.

- Healy, RW, 2002. *Using groundwater Levels to Estimate Recharge*. Hydrogeology Journal, vol. 10, p: 91 – 109
- Hendrayana, H, 2007. *Pengembangan Air Tanah Sebagai Berbasis Non Renewable Resource Risk Management*. Makalah dalam Lokakarya nasional Rekayasa Dampak Pengambilan Air Tanah, 6 September 2007, Jakarta
- Herendeen, RA., 1998, *Ecological Numeracy : Quantitative Analysis of Environmental Issues*. John Wiley & Sons
- Hubart, JA., 2006. *Variables Effecting Water Yield*. Encyclopedia of Earth (Environmental Information Coalition, National Council for Science and The Environment), Washington DC. Diakses dari [http://www.eoearth.org/article/Variables\\_affecting\\_water\\_yield](http://www.eoearth.org/article/Variables_affecting_water_yield) pada tanggal 15 Mei 2011 jam 20.30 WIB
- Iwaco, 1994. *Jabotabek Water Resources Management Study*. Final Report. Jakarta
- Kashef, AAI, 1986. *Goundwater Engineering*. McGraw-Hills, New York
- Koestoer, RH., dan AS. Wartaman, 2006. *Perluasan Jakarta Metropolis dan Implikasi Lingkungan*. Jurnal Lingkungan Volume 1/1/Juni/2006. Program Studi Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Indonesia, Jakarta
- Kodoati, RJ, 2007. *Dampak Pengambilan Air Tanah Terhadap Lingkungan Geologi*. Makalah dalam Lokakarya nasional Rekayasa Dampak Pengambilan Air Tanah, 6 September 2007, Jakarta
- Kodoati, RJ., dan Roestam Sjarif, 2010. *Tata Ruang Air*. Penerbit Andi, Jogjakarta.
- Kozlowski, J., 1997. *Pendekatan Ambang Batas dalam Perencanaan Kota, Wilayah dan Lingkungan*. Terjemahan: Bambang Pubowiseso. UI-Press. Jakarta
- Kusnadi, S, 2003. *Pengelolaan Air Bersih secara lestari di Pulau Kecil (Studi Kasus Pulau Panggang, Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu, Provinsi DKI Jakarta*. Tesis. Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia
- Maani, KE, and RY. Cavana, 2004. *System Thinking, System Dynamic: Managing Change and Complexity*. Pearson Education, New Zealand

- Manik, KES, 2007. *Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Djambatan, Jakarta
- Masitoh, F., 2005. *Karakteristik Air Tanah Dangkal di Sisi Utara Gunungapi Sumbing Antara Kali Kedu dan Kali Parang*. Skripsi. Program Studi Geografi Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada. Jogjakarta
- Muhammadi, E. Aminullah, dan TEB. Soesilo, 2001. *Analisis Sistem Dinamis: Lingkungan Hidup, Sosial, Ekonomi, Manajemen*. UMJ Press, Jakarta
- Nirmalakhandan, N, 2002. *Modelling Tools for Engineers and Scientist*. CRC Press, Boca Raton-Florida
- Nurhayati, M., 2009. *Strategi Optimasi Daya Dukung Sumber Daya Air di Kota Bekasi*. Tesis. Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia
- Pierce, S., J. Sharp, et al. (2006). *Defining tanable groundwater management: Integrating stakeholder preferences, distributed parameter models, and systems dynamics to aid groundwater resources allocation*. MODFLOW and More. International Groundwater Modeling Center, Golden, Colorado.
- Poniman, A., 2007. *Dari Data Penginderaan Jauh samapi Pengetahuan Geografis Sumber Daya Alam dan Lingkungan serta Kebencanaan*. Makalah dalam Seminar Nasional: Pembangunan Wilayah Berbasis Lingkungan di Indonesia. Yogyakarta, 27 Oktober 2007.
- Prahasta, E., 2002. *Konsep-konsep Dasar Sistem Informasi Geografis*. Penerbit Informatika, Bandung
- Puspowardoyo, S., 1986. *Peta Hidrogeologi Lembar Jakarta 1, Skala 1:250.000*. Direktorat Geologi dan Tata Lingkungan, Bandung
- Rieza, M., 2006. *Perkembangan wilayah terbangun kota Jakarta 1990 – 2005*. Skripsi. Departemen Geografi Fakultas MIPA Universitas Indonesia.
- Rasul, R., 2005. *Peran serta masyarakat dalam pengelolaan Limpasan hujan di Kawasan Perkotaan (Studi kasus Kelurahan Duren Sawit dan Pondok Kopi, Kecamatan Duren Sawit, Jakarta Timur)*. Program Studi Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Indonesia, Jakarta

- Sabar, A., 2011. *Perlunya Manajemen Air Berkelanjutan : Sebuah Latar Belakang*. Materi Seminar Sehari World Water Day 2011, "Pengelolaan Sumber daya Air Terpadu dan Berkelanjutan dalam Rangka Adaptasi Perubahan Sistem Iklim Global", Bandung, 25 Maret 2011
- Samsuhadi, 2005. *Pemanfaatan Air Tanah Jakarta*. Disertasi. Program Studi Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Indonesia, Jakarta
- Sanford, W., 2002. *Recharge and Groundwater Models: An Overview*. Hydrogeologi Journal, vol. 10, p: 110 – 120
- Shihab, K., N. Chalabi., 2007. *Dynamic Modeling Of Ground-Water Quality Using Bayesian Techniques*. Journal Of The American Water Resources Association. Vol. 43, No. 3
- Sihwanto, 2001. *Peta Pengendalian Pengambilan Airtanah dan Perlindungan Daerah Resapan Skala 1 : 250.000*. Direktorat Geologi dan Tata Lingkungan, Bandung
- Sinaga, 2007. *Analisis Uji Pemompaan dengan Geometri Akuifer (Wilayah Jakarta dan Sekitarnya)*. Tesis. Depok
- Sitanala, F., 2005. *Pergerakan Penduduk Kota Depok Menuju Tempat Bekerja Tahun 2001*. Makara Sains, Vol. 9, No. 1, April 2005: 41-44
- Sobirin, 2000. *Kondisi Hidro-Klimatologi Daerah Jakarta dan sekitarnya*. Jurusan Geografi, FAkultas MIPA, UI.
- Soerjani, M., 2006. *Lingkungan Hidup, Pendidikan, Pengelolaan Lingkungan dan Pembangunan Berkelanjutan*. Yayasan Institut Pendidikan dan Pengembangan Lingkungan. Jakarta.
- Stiglitz, JE. 1988. *Economic in The Public Sector*. W.W. Norton & Company, Inc., New York
- Suganda, E, 2006. *Penataan Ruang Kawasan Perkotaan Pantai dalam Pembangunan Berkelanjutan*. Disertasi Program Studi Ilmu Lingkungan UI, Jakarta.
- Sugandhy, A, 2007. *Prinsip Dasar Kebijakan : Pembangunan Berkelanjutan Berwawasan Lingkungan*. Bumi Aksara, Jakarta.

- Sukrisna, A., E. Murtianto, dan S. Ruchijat, 2008. *Peta Cekungan Air Tanah Propinsi Jawa Barat dan Daerah Khusus Ibukota Jakarta*, Skala 1:250.000. Direktorat Geologi dan Tata Lingkungan, Bandung
- Suripin. 2002. *Pengelolaan Sumber Daya Tanah dan Air*. Andi. Yogyakarta.
- Soesilo B., 2010. *Sistem Dinamik*. Kumpulan presentasi bahan Kuliah Sistem Dinamik dan Permodelan Lingkungan. Program Pasca Sarjana Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia, Jakarta
- Suparmoko, M, 2008. *Ekonomi Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Edisi 4*. BPFE. Yogyakarta.
- Susilo, ES, 2007. *Pengembangan Air Tanah Berwawasan Lingkungan*. Makalah dalam Lokakarya Nasional Rekayasa Dampak Pengambilan Air Tanah, 6 September 2007, Jakarta
- Susilastuti, D., IM Putrawan, CH. Wijaya, 2009. *Model Hubungan Penduduk dan Konversi Lahan dengan Ketersediaan Air Bersih untuk Perencanaan dan Pengelolaan Sumber Daya Air Melalui Metode System Dynamic di Kabupaten Bekasi*. Jurnal Bumi Lestari. Volume 9 No. 2, Agustus 2009, hlm. 138 - 150
- Sutrisno, 2002. *Aspek Hukum dan Kelembagaan Pengelolaan Air Tanah dalam Penyelenggaraan Otonomi Daerah*. Makalah untuk Pelatihan Manajemen Air Bawah Tanah di Wilayah Perkotaan yang Berwawasan Lingkungan, 15 – 27 September 2002., Yogyakarta
- Tidwell, VC., HD Passel et al., 2004., *System Dynamics Modeling For Community-Based Water Planning: Application to the Middle Rio Grande*. Aquatic Sciences, Dübendorf.
- Todd, DK, 1980. *Goundwater Hydrology*. 2nd John Wiley and Sons, New York
- Tim Penyusun, 1994. *Laporan Final Evaluasi dan Analisis Data AWLR di Wilayah DKI Jakarta*. Departemen Pertambangan dan Energi
- Widhaningrat. SK.. *Dasar-dasar Kependudukan/Demografi*. Kumpulan presentasi bahan Kependudukan. Program Pasca Sarjana Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia, Jakarta

White, RR., 1994. *Urban Environmental Management: Environmental Change and Urban Design*. John Wiley & Son, New york.

Wuryanta, A., Sukresna, Beny Harjadi, 2002. *Pengaruh Kondisi Penutupan Lahan Terhadap Karakteristik Hidrologi di DTW Wonogiri*. Prosiding Ekspose BP2TPDAS-IBB, Surakarta.

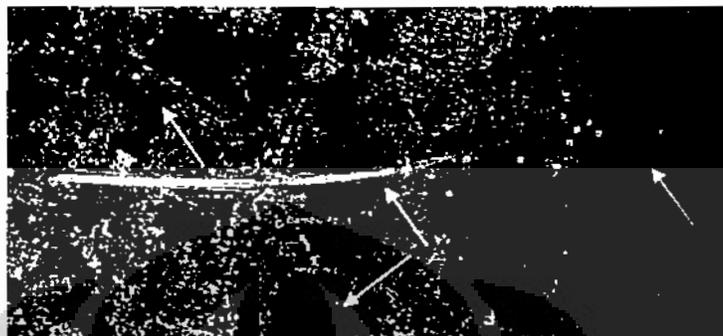
Internet

[http://westjavawater.blogspot.com/2005\\_04\\_01\\_archive.html](http://westjavawater.blogspot.com/2005_04_01_archive.html)

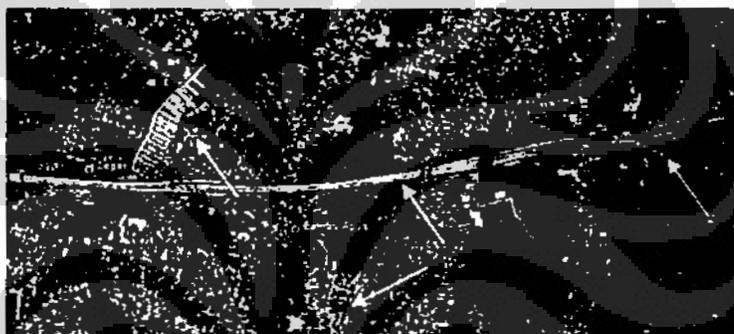
<http://bps.go.id>

<http://bkkbn.go.id>

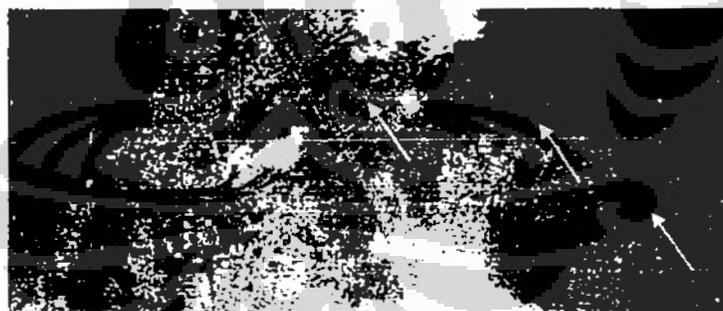
## Lampiran 1. Gambaran Lokasi yang Mengalami Perubahan Penggunaan Lahan



1. Daerah Bambu Apus Tahun 2003



2. Daerah Bambu Apus Tahun 2010

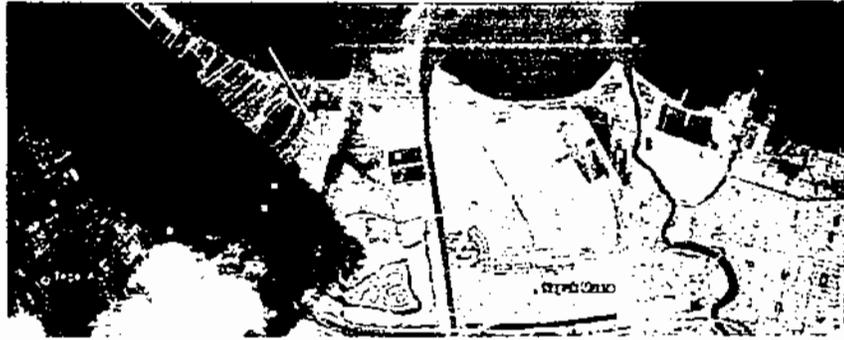


3. Daerah Cakung Tahun 2003



4. Daerah Cakung Tahun 2010

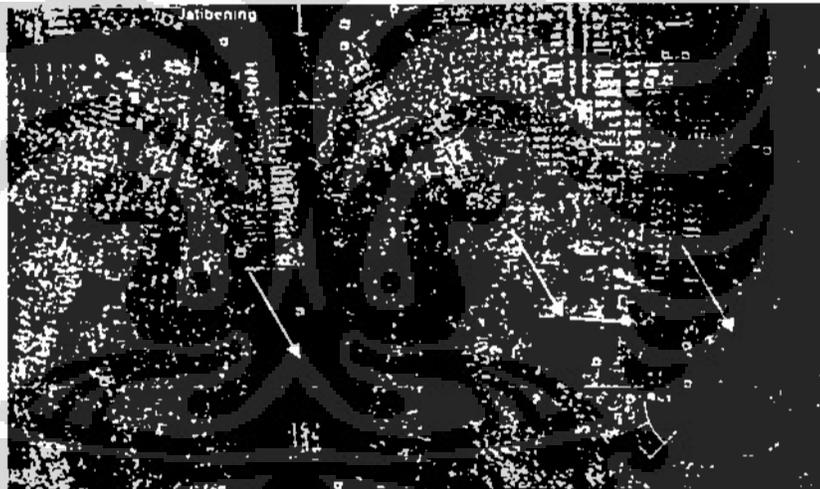
Keterangan: Tanda merah dipakai daerah yang mengalami perubahan penggunaan lahan



5 Daerah Kapuk Tahun 2004



6 Daerah Kapuk Tahun 2010



7 Daerah Jatibening Tahun 2003

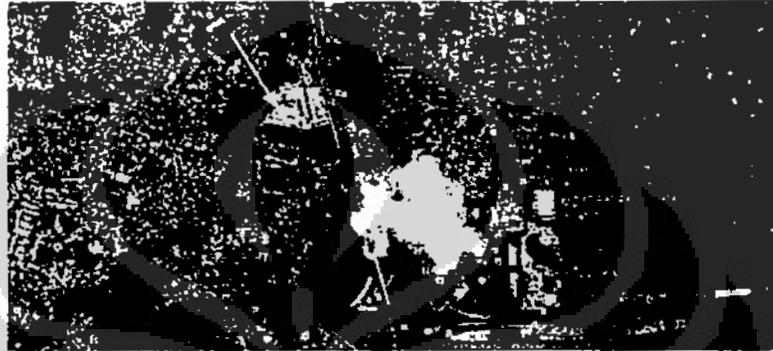


8 Daerah Jatibening Tahun 2010

Keterangan: Panah merah spakan daerah yang mengalami perolehan, pengalihan lahan



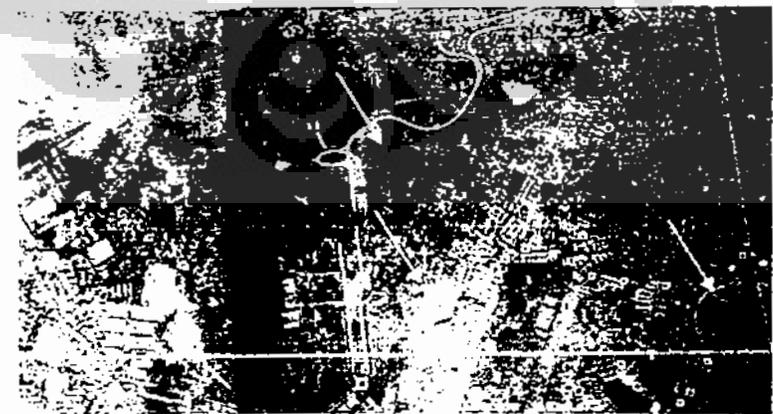
9 Daerah Kembangan Tahun 2002



10 Daerah Kembangan Tahun 2011



11 Daerah Kunciran, Tangerang, Tahun 2004

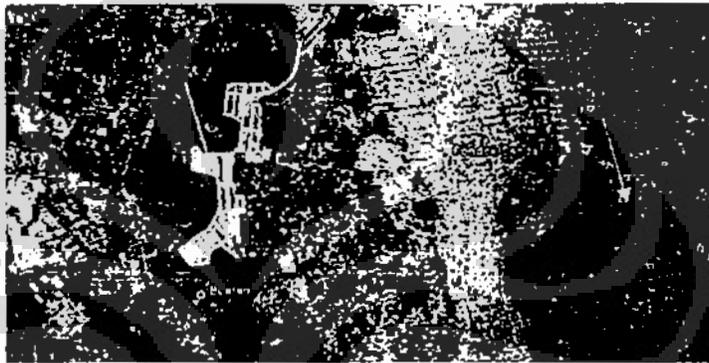


12 Daerah Kunciran, Tangerang, Tahun 2010

Keterangan: Titik-titik putih adalah daerah yang mengalami perubahan penggunaan lahan



13 Daerah Pondok Benda Tahun 2006



14 Daerah Pondok Benda Tahun 2010



15 Daerah Selatan Babelan Tahun 2002



16 Daerah Selatan Babelan Tahun 2010

Keterangan: Panah menunjukan daerah yang mengalami perubahan penggunaan lahan



17. Daerah Timur Cibubur Tahun 2003



18. Daerah Timur Cibubur Tahun 2010

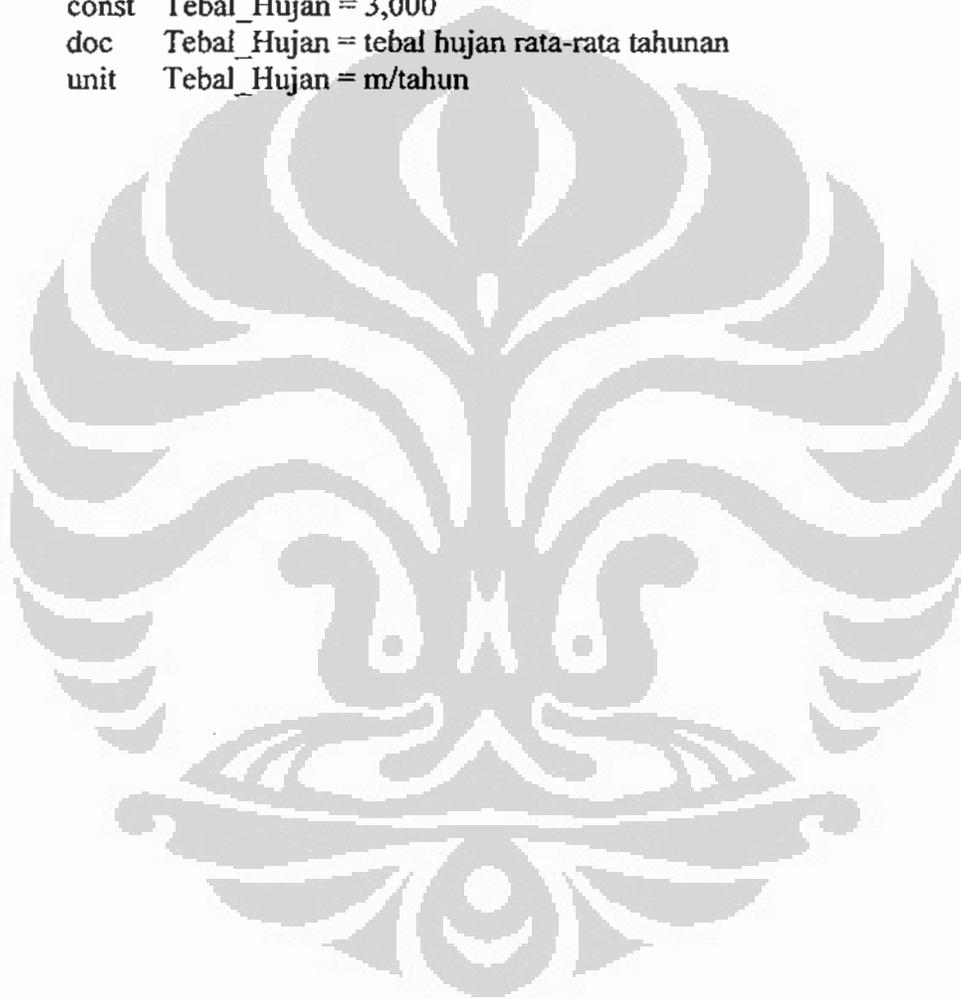
Keterangan: Panah merupakan daerah yang mengalami perubahan penggunaan lahan

## Lampiran 2. Persamaan Powersim

init Airtanah\_Model\_Dasar = 135088800000.00  
 flow Airtanah\_Model\_Dasar = -dt\*Laju\_Evaporasi  
 -dt\*Laju\_Pengambilan  
 +dt\*Laju\_Imbuhan  
 doc Airtanah\_Model\_Dasar = Volume cadangan air tanah  
 unit Airtanah\_Model\_Dasar = m<sup>3</sup>  
 init Airtanah\_Skenario\_I = 135.088.800.000,00  
 nit Lahan\_Terbangun = 87.592,43  
 flow Lahan\_Terbangun = +dt\*Laju\_Pembangunan  
 doc Lahan\_Terbangun = Lahan yang terbangun pada tahun 2002  
 unit Lahan\_Terbangun = ha  
 init Lahan\_y\_Dapat\_Dibangun = 41518.385  
 flow Lahan\_y\_Dapat\_Dibangun = -dt\*Laju\_Pembangunan  
 doc Lahan\_y\_Dapat\_Dibangun = Lahan yang tersisa yang dapat dibangun  
 tahun 2002  
 unit Lahan\_y\_Dapat\_Dibangun = ha  
 init Penduduk = 11232008  
 flow Penduduk = +dt\*Laju\_Kelahiran  
 -dt\*Laju\_Kematian  
 doc Penduduk = Jumlah penduduk tahun 2002  
 unit Penduduk = orang  
 aux Laju\_Evaporasi = Evaporasi  
 aux Laju\_Imbuhan = DELAYMTR(imbuhan, Delay\_Imbuhan, 40,  
 1.946.748.266,827)  
 unit Laju\_Imbuhan = tahun  
 aux Laju\_Kelahiran = Angka\_Kelahiran\*Penduduk  
 doc Laju\_Kelahiran = Besarnya laju kelahiran penduduk  
 aux Laju\_Kematian = Penduduk\*Angka\_Kematian  
 doc Laju\_Kematian = Laju kematian penduduk  
 aux Laju\_Pembangunan =  
 (Lahan\_y\_Dapat\_Dibangun\*Faktor\_Pembangunan\*(1-  
 Rasio\_Lahan\_Terbangun)\*Daya\_Dukung\_Lingkungan)  
 doc Laju\_Pembangunan = Besarnya laju pembangunan  
 unit Laju\_Pembangunan = ha/tahun  
 aux Laju\_Pengambilan = Kebutuhan\_air\_Tanah  
 doc Laju\_Pengambilan = laju pengambilan  
 aux CH\_lhn\_dpt\_dbgn = Lahan\_y\_Dapat\_Dibangun\*Tebal\_Hujan\*10.000  
 doc CH\_lhn\_dpt\_dbgn = volume curah hujan yang jatuh di lahan yang dapat  
 dibangun  
 unit CH\_lhn\_dpt\_dbgn = m<sup>3</sup>/tahun  
 aux CH\_lhn\_tbgn = Lahan\_Terbangun\*Tebal\_Hujan\*10000  
 doc CH\_lhn\_tbgn = volume curah hujan yang jatuh di lahan terbangun  
 unit CH\_lhn\_tbgn = m<sup>3</sup>/tahun  
 aux hujan\_total = (CH\_lhn\_dpt\_dbgn+CH\_lhn\_tbgn)  
 doc hujan\_total = curah hujan total yang jatugh di lahan terbangun dan lahan  
 yang dapat dibangun

aux imbuhan = hujan\_total-Limpasan+CAT\_Bogor  
 doc imbuhan = selisih antara curah hujan total, limpasan dan evaporasi  
 aux Kebutuhan\_air\_Tanah = Kebutuhan\_Air\_Total-  
 (Kebutuhan\_Air\_Total\*Faktor\_Layanan\_PAM)  
 unit Kebutuhan\_air\_Tanah = m<sup>3</sup>/tahun  
 aux Kebutuhan\_Air\_Total = Penduduk\*Standar\_Kebutuhan\_Air  
 doc Kebutuhan\_Air\_Total = Besarnya kebutuhan air total  
 unit Kebutuhan\_Air\_Total = m<sup>3</sup>/tahun  
 aux Limp\_lhn\_tbg =  
 Int\_hjn\*0.000177231\*C\_lhn\_tbg\*Lahan\_Terbangun\*10000  
 aux Limp\_total = Limp\_lhn\_tbg+Limps\_lhn\_dpt\_dbgn  
 doc Limp\_total = limpasan total  
 unit Limp\_total = m<sup>3</sup>/tahun  
 aux Limpasan = DELAYMTR(Limp\_total, delay\_limpasan, 3,  
 773.591.733,173)  
 aux Limps\_lhn\_dpt\_dbgn =  
 Int\_hjn\*0.000177231\*C\_lhn\_dpt\_dbgn\*Lahan\_y\_Dapat\_Dibangun\*1000  
 0  
 aux Rasio\_Lahan\_Terbangun = Lahan\_Terbangun/Luas\_Lahan  
 doc Rasio\_Lahan\_Terbangun = rasio lahan terbangun terhadap luas wilayah  
 const Angka\_Kelahiran = 2,8%  
 doc Angka\_Kelahiran = Besarnya angka kelahiran kasar tahun 2002  
 unit Angka\_Kelahiran = /tahun  
 const Angka\_Kematian = 0,36%  
 doc Angka\_Kematian = Besarnya angka kematian penduduk  
 unit Angka\_Kematian = /tahun  
 const C\_lhn\_dpt\_dbgn = 0,1  
 doc C\_lhn\_dpt\_dbgn = koefisien limpasan untuk lahan yang dapat dibangun  
 (lahan kosong dan lahan bervegetasi)  
 const C\_lhn\_tbg = 0,75  
 doc C\_lhn\_tbg = Koefisien limpasan untuk lahan terbangun  
 const CAT\_Bogor = 37.000.000  
 unit CAT\_Bogor = m<sup>3</sup>/tahun  
 const Daya\_Dukung\_Lingkungan = 1  
 doc Daya\_Dukung\_Lingkungan = Daya dukung lingkungan dianggap sama  
 dengan ambang batas =1  
 const Delay\_Imbuhan = 0,04  
 const delay\_limpasan = 0,02  
 doc delay\_limpasan = Rata-rata *delay* limpasan  
 unit delay\_limpasan = tahun  
 const Evaporasi = 1.563.660.000,00  
 const Faktor\_Layanan\_PAM = 36%  
 doc Faktor\_Layanan\_PAM = Faktor layanan air PAM  
 unit Faktor\_Layanan\_PAM = /tahun  
 unit Faktor\_Layanan\_PAM\_2 = /tahun  
 const Faktor\_Pembangunan = 0,8%  
 doc Faktor\_Pembangunan = Besarnya faktor perubahan penggunaan lahan  
 yang dapat dibangun ke lahan terbangun

unit Faktor\_Pembangunan = /tahun  
const Int\_hjn = 0,96  
doc Int\_hjn = intensitas hujan  
unit Int\_hjn = mm/jam  
const Luas\_Lahan = 142.800  
doc Luas\_Lahan = luas wilayah/luas daerah penelitian  
unit Luas\_Lahan = ha  
const Standar\_Kebutuhan\_Air = 91,25  
doc Standar\_Kebutuhan\_Air = standar kebutuhan air total menurut SNI  
unit Standar\_Kebutuhan\_Air = m<sup>3</sup>/tahun  
const Tebal\_Hujan = 3,000  
doc Tebal\_Hujan = tebal hujan rata-rata tahunan  
unit Tebal\_Hujan = m/tahun



### Lampiran 3. Informan Penelitian

No.	Nama	Lembaga	Catatan
1.	Agus	Badan Pelayanan dan Perijinan Terpadu Kota Tangerang	Bagian Perijinan Air Tanah, Sekretariat Perijinan,
2.	Ibu Ema Komariah	Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kota Depok	Seksi Kemetrolgian
3.	Pak Zaenal	Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kabupaten Tangerang	Bidang Pertambangan
4.	Saepul Rohim	Badan Pelayanan dan Perijinan Terpadu Kabupaten Tangerang	Bagian Penerbitan Surat Ijin Pengambilan Airtanah
5.	Ibu Rita	Badan Lingkungan Hidup Kota Tangerang Selatan	Bagian Konservasi
6.	Pak Hartanto	Dinas Bina Marga dan Sumber Daya Air Kota Depok	Kepala Seksi Bina Teknik dan Pengendalian
7.	Ibu Dias	Badan Pelayanan dan Perijinan Terpadu Kota Depok	Bagian Perijinan Air Tanah
8.	Pak X	Badan Pelayanan dan Perijinan Terpadu Kota Tangerang	(tidak bersedia disebutkan nama dan jabatan)
9.	Pak X	Badan Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta	(tidak bersedia disebutkan nama dan jabatan)
10.	Pak X	Badan Pengelola Lingkungan Hidup Kota Bekasi	(tidak bersedia disebutkan nama dan jabatan)
11.	Pak X	Badan Regulasi PAM DKI Jakarta	(tidak bersedia disebutkan nama dan jabatan)
12.	Pak X	PT. Palyja	(tidak bersedia disebutkan nama dan jabatan)
13.	Pak X	PT. Aetra	(tidak bersedia disebutkan nama dan jabatan)
14.	Pak X	Kantor Lingkungan Hidup Kota Jakarta Utara	(tidak bersedia disebutkan nama dan jabatan)

**Lampiran 4. Panduan Wawancara Untuk Instansi Pemerintah**

Nama : .....

Jabatan : .....

Lembaga : .....

1. Apakah sebagian besar penduduk dan kegiatan/usaha di wilayah anda menggunakan: Air tanah atau Air PAM, dan atau Keduanya? Mengapa demikian?
2. Apakah sebagian besar dari penduduk dan kegiatan/usaha telah mempunyai ijin pengambilan air tanah? Adakah kecenderungan peningkatan pengurusan ijin pengambilan air tanah?
3. Bagaimana perilaku penduduk dan kegiatan/usaha dalam mematuhi ijin pengambilan air tanah yang telah mereka miliki? *Patuh/tidak patuh?*
4. Apakah ada upaya dari Pemerintah dalam menangani ketidakpatuhan penduduk dan pengelola kegiatan/usaha terhadap ijin pengambilan air tanah?
5. Berkaitan dengan konservasi, program apa saja yang dilakukan oleh pemerintah? Apa saja bentuknya (perencanaan/ pengorganisasian/ monitoring)?
6. Menurut anda, seberapa besar tingkat efektifitas program tersebut dalam konservasi air tanah di CAT Jakarta?
7. Faktor-faktor utama apa saja yang dianggap akan menurunkan cadangan air tanah khusus CAT Jakarta?
8. Mengenai perubahan penggunaan lahan, adakah kecenderungan mengalami perubahan penggunaan lahan menjadi lahan terbangun?
9. Bagaimana upaya pemerintah dalam mengendalikan perubahan penggunaan lahan menjadi lahan terbangun dalam kaitannya dengan konservasi air tanah?
10. Berkaitan dengan layanan PAM, bagaimana bentuk peran dan upaya pemerintah dalam membantu meningkatkan keberlanjutan layanan PAM di CAT Jakarta?

### Lampiran 5. Panduan Wawancara Untuk Pengelola Kegiatan/Usaha

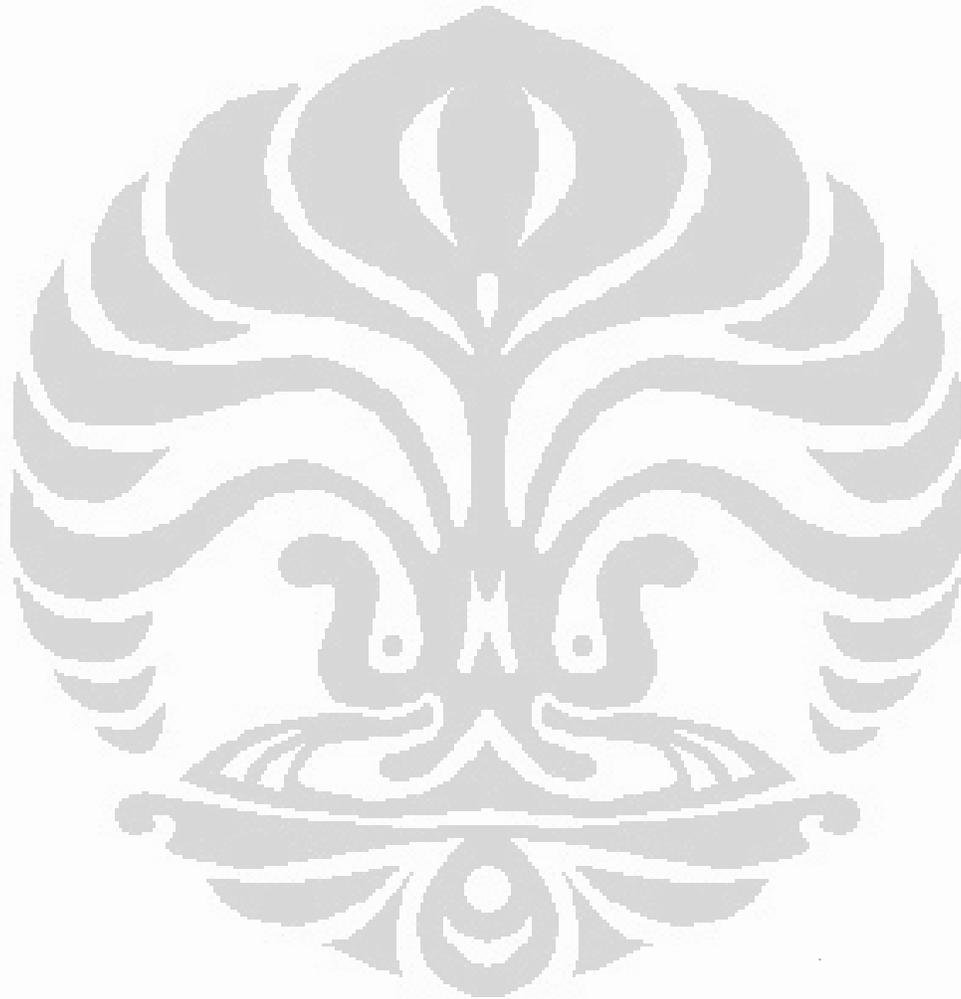
Nama : .....

Jenis Usaha : .....

Nama Kegiatan/Usaha: .....

1. Apakah kegiatan/usaha anda menggunakan:
  - a. Air tanah saja, (berlanjut ke nomor 2 sampai nomor 9)
  - b. Air PAM saja, (langsung ke nomor 10 sampai nomor 15)
  - c. Keduanya, (semua)
2. Mengapa kegiatan/usaha anda menggunakan air tanah?
3. Apakah kegiatan/usaha anda mempunyai ijin pengambilan air tanah?
4. Berapa besar volume bulanan penggunaan air tanah di tempat kegiatan/usaha anda?
5. Berapa biaya yang dikeluarkan dalam satu bulan untuk membayar retribusi dan pajak air tanah?
6. Sudahkah anda mengetahui tentang peraturan daerah mengenai ijin Pengambilan Air Tanah?
7. Menurut anda, apakah Perda itu membebani kegiatan/usaha anda? Bila iya, bagaimana sebaiknya?
8. Berkaitan dengan konservasi, apakah anda mengetahui tentang konservasi air tanah?
9. Menurut anda, apa saja yang dapat dilakukan para pemilik kegiatan/usaha dalam konservasi air tanah?
10. Mengapa kegiatan/usaha anda menggunakan air PAM? Dari perusahaan layanan apa
11. Bagaimana keberlanjutan penyediaan air PAM bagi kegiatan/usaha anda?
12. Berapa debit sambungan dari layanan PAM kepada kegiatan/usaha anda?
13. Berapa biaya yang anda keluarkan untuk membayar langganan air PAM?
14. Apakah pernah/jarang/sering mengalami penghentian sementara akibat PAM tidak mampu melayani? Seberapa jarang/sering (dalam satuan waktu)?
15. Apakah anda puas dengan layanan PAM selama ini?

16. Sebandingkah keberlanjutan layanan air PAM selama ini dengan biaya yang anda keluarkan?
17. Adakah keinginan anda untuk menghentikan langganan air PAM dan beralih menggunakan air tanah? Mengapa?
18. Apakah penggunaan air tanah dan air PAM di tempat kegiatan/usaha anda bersifat bersamaan datau saling melengkapi bila kekurangan?



## Lampiran 6. Rekapitulasi Hasil Wawancara

No. Wawancara	Jawaban Rekap	Jumlah	%
1	1. Air tanah banyak digunakan oleh penduduk terutama yang belum mendapat layanan air PAM	12	85,71
	2. Air tanah dianggap air kritis	1	7,14
	3. Air PAM kadang digunakan bersamaan dengan air tanah	12	85,71
	4. Layanan air PAM terbatas	12	85,71
	5. Kegiatan usaha terutama industri menggunakan air tanah.	12	85,71
	6. Pemda kurang mengetahui, termasuk dalam CAT mana sehingga tidak mengetahui berapa sebaiknya debit yang diijinkan dalam ijin pengambilan air tanah	3	21,43
	7. Pantai Utara tidak boleh ada pengambilan air tanah	3	21,43
	8. Air tanah masih dianggap banyak	11	78,57
2	1. Tidak semua kegiatan/usaha mempunyai ijin pengambilan air tanah	12	85,71
	2. Penduduk tidak diwajibkan mempunyai ijin untuk pengambilan air tanah	12	85,71
	3. Untuk kegiatan/usaha terjadi peningkatan pengurusan pengambilan air tanah	14	100,00
	4. Dinas hanya memantau alat meteran air dan tidak memantau berapa air yang terambil.	2	14,29
	5. Tidak semuanya kegiatan/usaha dapat diawasi ijinnya, sebab pemda mempunyai keterbatasan sumber daya.	14	100,00
	6. Kegiatan/usaha banyak yang mempunyai ijin pengambilan terus meningkat dari segi penambahan jumlah sumur dan jenis usaha	14	100,00
	7. Tidak semua kegiatan usaha memiliki ijin pengambilan air tanah. Ijin sebatas pada formalitas	14	100,00

## Lampiran 6, lanjutan

3	1. Kegiatan/usaha banyak yang tidak patuh dalam pengambilan air tanah sesuai ijin yang diberikan	14	100,00
	2. Penduduk mengambil air sesuai kebutuhan saja dan lebih sering sebagai cadangan bila air PAM mati	14	100,00
	3. Penduduk di dekat pantai lebih banyak menggunakan air curah untuk yang miskin, dan air PAM untuk yg mampu. Berkaitan dgn adanya intrusi air laut	3	21,43
4	1. Pemerintah melakukan razia penertiban sewaktu-waktu	6	42,86
	2. Mencabut ijin pengambilan air tanah	6	42,86
5	1. Mensosialisasikan biopori dan sumur resapan, memperluas RTH, meningkatkan tarif retribusi air tanah dalam	10	71,43
	2. Menetapkan perda tentang ijin pengambilan air	7	50,00
	3. Mengurangi jumlah ijin yang keluar dengan mempertimbangkan ada tidaknya layanan air PAM	7	50,00
6	1. Dianggap efektif	2	14,29
	2. Ragu-ragu dengan pertimbangan	2	14,29
	3. Tidak efektif	1	7,14
	4. Tidak tau	9	64,29
7	1. Pengambilan air oleh penduduk	14	100,00
8	1. Meningkatkan	14	100,00
9	1. Memperluas RTH	14	100,00
10	1. Koordinasi	13	92,86
	2. Menambah sumber daya	1	7,14