



**ANALISIS SISTIM AKUIFER  
DAN  
PEMODELAN ALIRAN AIRTANAH**

**TESIS**

**Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan  
Program Magister Teknik Sipil**

**Oleh  
Pentardi Rahardjo  
L4A098033**

**PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG  
2002**

# ANALISIS SISTIM AKUIFER DAN PEMODELAN ALIRAN AIRTANAH

Disusun Oleh:  
**Pentardi Rahardjo**  
NIM: L4A098033

Dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal:

16 September 2002

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk  
memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

Tim Penguji:

- |               |                                   |
|---------------|-----------------------------------|
| 1. Ketua      | : Prof. Ir. Joetata Hadihardaya   |
| 2. Sekretaris | : Ir. Sri Sangkawati, MS.         |
| 3. Anggota 1  | : Dr. Ir. Robert Kodoatie, M.Eng. |
| 4. Anggota 2  | : Dr. Ir. Suripin, M.Eng.         |
| 5. Anggota 3  | : Ir. Sugiyanto, M.Eng.           |

1.....  
2.....  
3.....  
4.....  
5.....

Semarang, September 2002

Universitas Diponegoro Program Pascasarjana



**ANALISIS SISTIM AKUIFER  
DAN  
PEMODELAN ALIRAN AIRTANAH**

**TESIS**

Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan  
Program Magister Teknik Sipil

Oleh:

Pentardi Rahardjo

NIM: L4A098033

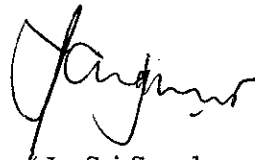
Disetujui Oleh:

Pembimbing Utama



( Prof. Ir. Joetata Hadihardaya )

Pembimbing Pendamping



( Ir. Sri Sangkawati, MS )

## ABSTRAKSI

Airtanah merupakan salah satu dari sekian banyak alternatif sumber air yang mempunyai kuantitas yang besar dengan kualitas yang baik, sebagai akibatnya semakin banyak pihak yang menggunakan airtanah. Walaupun jumlahnya besar, keberadaan airtanah adalah tidak tak terbatas, pengambilan debit yang berlebihan dikhawatirkan dapat menyebabkan perusakan lingkungan. Untuk itu diperlukan sarana guna memantau, mengendalikan dan mempertahankannya. Adapun pelaksanaannya dengan melakukan pengukuran dan analisis kedudukan muka airtanah, analisis sistim akuifer serta pemodelan aliran airtanah sekaligus memprediksi kedudukan muka airtanah pada masa yang akan datang.

Studi ini bertujuan mendapatkan geometri maupun karakteristik akuifer, mendapatkan sistim akuifer daerah peneltian, mendapatkan kedudukan muka airtanah dan memprediksi kedudukan muka airtanah pada masa yang akan datang, dilakukan dengan menggunakan piranti lunak *Processing Modflow Version 3.0*, dengan mengambil studi kasus DKI Jakarta.

Kondisi akuifer wilayah studi berupa akuifer tertekan, terletak pada kedalaman rata-rata 90 meter bawah air laut dan ketebalan rata-ratanya 120 meter, sedangkan nilai transmisivitasnya berkisar antara  $0,75 \text{ m}^2/\text{hari}$  hingga  $312,2 \text{ m}^2/\text{hari}$  dengan penyebaran yang tidak merata.

Kedudukan muka airtanah pada awal studi, April 1997 adalah 28,94 meter di atas muka laut, dengan adanya pengambilan airtanah dengan debit yang terus meningkat dari tahun ketahun sebesar  $17,17 \text{ m}^3/\text{hari}$ , pada tahun 2000 terjadi penurunan muka airtanah sebesar 17,1 meter, sehingga kedudukan muka airtanahnya berubah menjadi 11,84 m di atas muka laut. Dengan prediksi peningkatan debit pengambilan sebesar 20% pada tahun 2004, muka airtanahnya turun menjadi 7,83 meter di atas muka laut.

Dari hasil proses anlisis ini dapat diartikan bahwa dengan debit pengambilan yang ada sekarang, telah terjadi penurunan muka airtanah yang cukup besar, lebih-lebih jika terjadi peningkatan debit pengambilan airtanah. Untuk itu perlu dilakukan upaya pengendalian dan pelestariannya, dengan melakukan pengukuran debit pengambilan airtanah yang teliti, menambah jumlah sumur pantau dan melakukan pemeliharaan daerah tangkapan air yang memadai.

## ABSTRACT

Groundwater is one of many water resources alternatives which has a big of quantity and good quality, therefore, there are more people tend to use it. Although its quality is high, the existence of groundwater is not unlimited, over abstraction of groundwater would degrade its environment. For that reason, some instrument for supervising, directing and preventing are needed. Those would be done by measuring and analyzing the groundwater surface, analyzing the aquifer system and developing the groundwater model, predicting the groundwater surface as well in the future.

The study is purposed to find out the geometry and aquifer characteristic, the system of aquifer, find out the groundwater surface and predicting the future groundwater surface by using Processing MODFLOW Version 3.0.software at DKI Jakarta region as case study.

The condition of aquifer in the study area is confined. It is laid on 90 meter below sea level, and average of aquifer thickness is 120 meter. The value of transmisivitas (T) range between  $0,75 \text{ m}^2/\text{day}$  until  $312,12 \text{ m}^2/\text{day}$  which is un equally distributed.

The groundwater surface on April 1997 is 28,94 meter above the sea level. The abstraction of groundwater the increases annually, with the discharge of  $17,17 \text{ m}^3/\text{day}$  in year of 2000, the elevation of groundwater surface drops to 11,84 m above sea level, in the other word, the draw down is 17,1 meter. By assuming that the groundwater abstraction is increased 20% during for use, the groundwater surface at the year of 2004 is predicted to 7,83 meter above sea level.

Based the above finding, it can be conclude that the present rate of groundwater abstraction causes high rate of groundwater surface draw down. The situation would be worsen if the discharge is increased out. For that reason, controlling and preserving of groundwater have to be carried out by increasing the number of observation well, doing accurate measurement of groundwater abstraction and managing the watershed as well.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan petunjuk, bimbingan dan kemudahan, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Magister Teknik Sipil di Universitas Diponegoro.

Walaupun sudah dikerjakan dan disusun dengan segenap tenaga pikiran, penulis menyadari sepenuhnya, bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharap adanya masukan dan kritik guna perbaikan.

Pada kesempatan ini, penulis sampaikan terima kasih kepada :

1. Prof.Ir. Joetata Hadihardaya, sebagai Pembimbing Utama, atas pengarahan dan bimbingannya.
2. Ir. Sri Sangkawati, MS, sebagai Pembimbing Pendamping, yang telah dengan susah payah memberikan bimbingan dan saran.
3. Pimpinan Politeknik Negeri Semarang, yang telah memberikan kesempatan dan dukungan kepada penulis dalam melaksanakan Tugas Belajar.
4. Pimpinan maupun Staf Dinas Pertambangan DKI Jakarta, yang telah memberi ijin dan menyediakan data untuk penelitian ini.
5. Pimpinan maupun Staf Direktorat Geologi Tata Lingkungan, yang telah membantu dalam menyediakan informasi maupun data.
6. Anakku Fitri, Nurul, Atikah dan istriku tercinta, yang telah dengan susah payah selalu mendukung, mulai dari awal perkuliahan hingga selesainya tesis ini.
7. Rekan-rekan mahasiswa Magister Teknik Sipil Undip dan semua pihak yang telah membantu dalam proses pembuatan tesis ini.

Semoga tulisan yang kurang sempurna ini dapat bermanfaat pada diri penulis khususnya dan bagi pembaca yang berminat pada umumnya.

Semarang, September 2002

Penulis

## DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
ABSTRAKSI	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xii
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tempat Penelitian	1
1.3. Ruang Lingkup	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	2
II. TINJAUAN DAERAH PENELITIAN	
2.1. Kondisi Geografi	3
2.2. Kondisi Hidrogeologi	4
2.3. Pemanfaatan Airtanah	7
2.4. Hasil Penelitian dan Studi Terdahulu	8
III. TINJAUAN PUSTAKA	
3.1. Airtanah	11
3.2. Parameter Fisik dan Hidraulik dari Akuifer	16
3.3. Geometri dan Sistem Akuifer	17
3.4. Model Aliran Airtanah	18
3.4.1. Kegunaan Model	19
3.4.2. Model Konsep	19
3.4.3. Pemilihan Persamaan Matematika dan Pembuatan Program Komputer	20
3.4.4. Perancangan Model	33
3.5. Kalibrasi Model	35
3.5.1. Tahap Persiapan	36
3.5.2. Setelah Melakukan Kalibrasi	37
IV. METODOLOGI PENELITIAN	
4.1. Pengumpulan Data	41
4.2. Pengolahan Data	42
4.3. Analisis Data	43
4.4. Prediksi Kedudukan Muka Airtanah	48
4.5. Batasan dan Asumsi Yang Diambil	48

V. SISTIM AKUIFER DAN PEMODELAN ALIRAN AIR TANAH	
5.1. Sistim Akuifer	50
5.2. Menentukan Kedudukan Muka Airtanah	52
5.2.1. Pembuatan Model Konsep	52
5.2.2. Pemilihan Persamaan Matematika dan Pembuatan Program Komputer	53
5.2.3. Perancangan Model	53
5.2.4. Komputasi Model	60
5.3. Kalibrasi Model	74
5.4. Prediksi Kedudukan Muka Airtanah Tahun 2004	87
VI. HASIL DAN PEMBAHASAN	
6.1. Geometri, Karakteristik dan Sistim Akuifer	89
6.2. Penentuan Kedudukan Muka Airtanah	90
6.3. Prediksi Kedudukan Muka Airtanah Tahun 2004	92
VII. KESIMPULAN DAN SARAN	
7.1. Kesimpulan	94
7.2. Saran	95
DAFTAR PUSTAKA	96
LAMPIRAN	98

## DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
5.1. Hasil Perhitungan Karakteristik Akuifer	51
5.2. Data Masukan Simulasi Muka Airtanah Tahun 1997-1998	57
5.3. Data Masukan Simulasi Muka Airtanah Tahun 1998-1999	58
5.4. Data Masukan Simulasi Muka Airtanah Tahun 1999-2000	59
5.5. Kalibrasi Model Tahun 1997-1998 Simulasi A	61
5.6. Kalibrasi Model Tahun 1997-1998 Simulasi B	63
5.7. Kalibrasi Model Tahun 1997-1998 Simulasi C	65
5.8. Kalibrasi Model Tahun 1997-1998 Simulasi D	67
5.9. Kalibrasi Model Tahun 1997-1998 Simulasi E	69
5.10. Hasil Kalibrasi V Model Tahun 1999-2000	82
5.11. Hasil Kalibrasi Model Tahun 1998-1999	85
5.12. Hasil Kalibrasi Model Tahun 1997-1998	86
5.13. Rangkuman Hasil Perhitungan Nilai Rata-rata Kesalahan Model	86
6.1. Rangkuman Hasil Proses Kalibrasi Model	91

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
2.1. Peta Lokasi Daerah Penelitian	5
2.2. Peta Sebaran Sumur Bor Produksi	6
2.3. Peta Sebaran Sumur Pantau	10
3.1. Siklus Hidrologi	12
3.2. Ilustrasi Definisi Sistim Akuifer	15
3.3. Ilustrasi Diskritisasi pada Suatu Sistim Akuifer	22
3.4. Sel $i,j,k$ dan 6 Sel yang Berbatasan	23
3.5. Aliran ke dalam Sel $i,j,k$ dari Sel $i,j-1,k$	24
4.1. Diagram Alir Kegiatan Penelitian	40
4.2. Diagram Alir Pemodelan Aliran Airtanah	47
5.1. Diskritisasi dan Penetapan Batas Daerah Model	55
5.2. Konfigurasi Kontur Hasil Komputasi Model Tahun 1997-1998 Simulasi A	62
5.3. Konfigurasi Kontur Hasil Komputasi Model Tahun 1997-1998 Simulasi B	64
5.4. Konfigurasi Kontur Hasil Komputasi Model Tahun 1997-1998 Simulasi C	66
5.5. Konfigurasi Kontur Hasil Komputasi Model Tahun 1997-1998 Simulasi D	68
5.6. Konfigurasi Kontur Hasil Komputasi Model Tahun 1997-1998 Simulasi E	70
5.7. Konfigurasi Kontur Hasil Komputasi Model Tahun 1998-1999	72
5.8. Konfigurasi Kontur Hasil Komputasi Model Tahun 1999-2000	73
5.9. Konfigurasi Kontur Model Tahun 1999-2000 Kalibrasi I	75
5.10. Konfigurasi Kontur Model Tahun 1999-2000 Kalibrasi II	77
5.11. Konfigurasi Kontur Model Tahun 1999-2000 Kalibrasi III	79
5.12. Konfigurasi Kontur Model Tahun 1999-2000 Kalibrasi IV	81
5.13. Konfigurasi Kontur Model Tahun 1999-2000 Kalibrasi V	83
5.14. Konfigurasi Kontur Prediksi Tahun 2004	88

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	halaman
Tabel A-1. Debit Pengambilan Airtanah Periode 1997-1998	98
Tabel A-2. Debit Pengambilan Airtanah Periode 1998-1999	98
Tabel A-3. Debit Pengambilan Airtanah Periode 1999-2000	98
Tabel B-1. Kedudukan Muka Airtanah Tahun 1997-1998	99
Tabel B-2. Kedudukan Muka Airtanah Tahun 1998-1999	99
Tabel B-3. Kedudukan Muka Airtanah Tahun 1999-2000	100
Gambar C-1. Situasi Daerah Penelitian dan Lintasan Pekerjaan Pengeboran	101
Gambar C-2. Logging Pemboran Penampang C-D	102
Gambar C-3. Logging Pemboran Penampang G-H	103
Gambar C-4. Logging Pemboran Penampang I-J	104
Gambar C-5. Logging Pemboran Penampang M-N	105
Gambar D-1. Konfigurasi Kontur MAT Hasil Pengukuran Tahun 1997-1998	106
Gambar D-2. Konfigurasi Kontur MAT Hasil Pengukuran Tahun 1998-1999	107
Gambar D-3. Konfigurasi Kontur MAT Hasil Pengukuran Tahun 1999-2000	108
Gambar E-1. Geometri Akuifer Penampang C-D	109
Gambar E-2. Geometri Akuifer Penampang G-H	110
Gambar E-3. Geometri Akuifer Penampang I-J	111
Gambar E-4. Geometri Akuifer Penampang M-N	112
Lampiran F-1. Hasil Komputasi Model Tahun 1999-2000 Dalam Bentuk Numerik	113
Lampiran F-2. Hasil Komputasi Model Tahun 1998-1999 Dalam Bentuk Numerik	121
Lampiran F-3. Hasil Komputasi Model Tahun 1997-1998 Dalam Bentuk Numerik	125
Gambar G-1. Sumur dengan <i>cone of depression</i> awal penelitian tahun 1997-1998	129
Gambar G-2. Sumur dengan <i>cone of depression</i> hasil komputasi model 1997-1998	130
Gambar G-3. Sumur dengan <i>cone of depression</i> hasil komputasi model 1998-1999	131
Gambar G-4. Sumur dengan <i>cone of depression</i> hasil komputasi model 1999-2000	132
Gambar G-5. Sumur dengan <i>cone of depression</i> hasil prediksi tahun 2004	134

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

1. AML	= Atas Muka Laut
2. ASCII	= American Standard Codes International Interchange
3. AWLR	= Automatic Water Level Recorder
4. BML	= Bawah Muka Laut
5. DGTL	= Direktorat Geologi Tata Lingkungan
6. Distam DKI	= Dinas Pertambangan Daerah Khusus Ibukota
7. HK	= Hasil Komputasi
8. HP	= Hasil Pengukuran
9. $i$	= Gradian Hidraulik
10. I	= Initial Head
11. K	= Konduktivitas Hidraulik
12. $k$	= Permeabilitas
13. LPM-ITB	= Lembaga Pengabdian Masyarakat Institut Teknologi Bandung
14. MAE	= Mean Absolut Error
15. MAT	= Muka Air Tanah
16. ME	= Mean Error
17. $n$	= Porositas
18. PM3	= Processing Modflow Version 3.0.
19. Q	= Debit Pengambilan
20. $r$	= Koefisien korelasi
21. RMS	= Root Mean Squared Error
22. $S_s$	= Simpanan Spesifik
23. T	= Transmisivitas
25. $\Delta h$	= Perbedaan Tekanan

# I. PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Airtanah sebagai salah satu alternatif sumber air, merupakan sumber air yang dapat diandalkan, hal ini dikarenakan mempunyai kualitas maupun kuantitas yang baik. Sehubungan dengan itu, semakin banyak pihak yang memanfaatkan airtanah.

Dengan bertambah banyaknya pihak yang memanfaatkan airtanah, khususnya para pemilik sumur bor, mengakibatkan perubahan jumlah tampungan airtanah dan apabila jumlah pengambilan melebihi jumlah pengisiannya, akan mengakibatkan terjadinya penurunan muka airtanah.

Adanya penurunan muka airtanah di satu sisi dan pemenuhan kebutuhan akan air bersih di sisi yang lain, akan menimbulkan pertentangan kepentingan, yaitu adanya potensi perusakan lingkungan (intrusi air laut dan atau penurunan permukaan tanah) dan pendapatan redistribusi pemanfaatan airtanah. Oleh sebab itu, dipandang perlu untuk melakukan penelitian tentang permasalahan ini.

Penelitian yang dimaksud mencakup identifikasi lapisan tanah jenuh air, identifikasi geometri akuifer, menetapkan parameter parameter fisik maupun hidrolis dari akuifer, menetapkan sistem akuifer yang dilanjutkan dengan pemodelan aliran airtanah serta prediksi kedudukan muka airtanah pada masa yang akan datang.

## 1.2. Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Daerah Khusus Ibukota Jakarta (DKI Jakarta) dengan pertimbangan karena begitu banyak pihak yang memanfaatkan airtanah dan adanya peningkatan jumlah konsumen pengguna airtanah, ketidakseimbangan antara jumlah

pengisian dengan jumlah pengambilan airtanah dan adanya potensi terjadinya penurunan muka airtanah.

### **1.3. Ruang Lingkup**

Lingkup penelitian ini adalah menentukan kedudukan muka airtanah berdasarkan pada hasil identifikasi dan analisis yang dilakukan terhadap akuifer daerah penelitian.

### **1.4. Tujuan Penelitian**

Terdapat beberapa hal yang hendak dicapai dalam penelitian ini, yaitu :

1. Mendapatkan geometri maupun karakteristik akuifer.
2. Mendapatkan sistim akuifer dari daerah penelitian
3. Mendapatkan kedudukan muka airtanah
4. Memprediksi keadaan airtanah pada masa yang akan datang.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Dengan tercapainya tujuan penelitian, akan diperoleh manfaat bertambah luasnya wawasan tentang geometri, karakter dan sistim akuifer, model aliran airtanah serta kedudukan muka airtanah, selanjutnya dapat digunakan sebagai masukan dan bahan pertimbangan dalam menetapkan kebijakan pengelolaan airtanah.

## II. TINJAUAN DAERAH PENELITIAN

### 2.1. Kondisi Geografi

Penelitian dilakukan di DKI Jakarta, dimana merupakan daerah pengguna airtanah yang cukup besar. Secara geografis daerah penelitian terletak pada  $106^{\circ}.30'$  -  $107^{\circ}.00'$  bujur timur dan  $6^{\circ}.00'$  -  $6^{\circ}.30'$  lintang selatan. Pada lokasi ini termasuk daerah yang datar, khususnya arah barat - timur, sedangkan arah selatan - utara, mempunyai kelandaian 1,2 %, peta wilayah DKI Jakarta dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Daerah Khusus Ibukota Jakarta, terbagi menjadi lima Pemerintahan Kota, yaitu :

- Jakarta Pusat
- Jakarta Utara
- Jakarta Timur
- Jakarta Selatan
- Jakarta Barat

Secara Administratif, Daerah Khusus Ibukota Jakarta dibatasi oleh :

- Sebelah Utara : Laut Jawa
- Sebelah Timur : Kota Bekasi
- Sebelah Selatan : Kota Depok
- Sebelah Barat : Kota Tangerang .

Pada daerah penelitian ini, terdapat lebih dari 3.200 sumur bor dan debit pengambilannya sebesar  $14.837.411 \text{ m}^3 / \text{tahun}$  yang tersebar di lima pemerintahan kota (Distam DKI Jakarta, 1997). Peta sebaran sumur bor produksi terlihat pada Gambar 2.2. Adapun penggunaannya hampir di semua bidang kegiatan masyarakat, mulai dari tempat ibadah, rumah tangga, maupun industri.

Pengelolaan airtanah dilakukan bersama antara Dinas Pertambangan DKI Jakarta (Distam DKI Jakarta) dalam hal administrasi, dan Direktorat Geologi Tata Lingkungan (DGTL), Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral dalam hal teknis.

## **2.2. Kondisi Hidrogeologi**

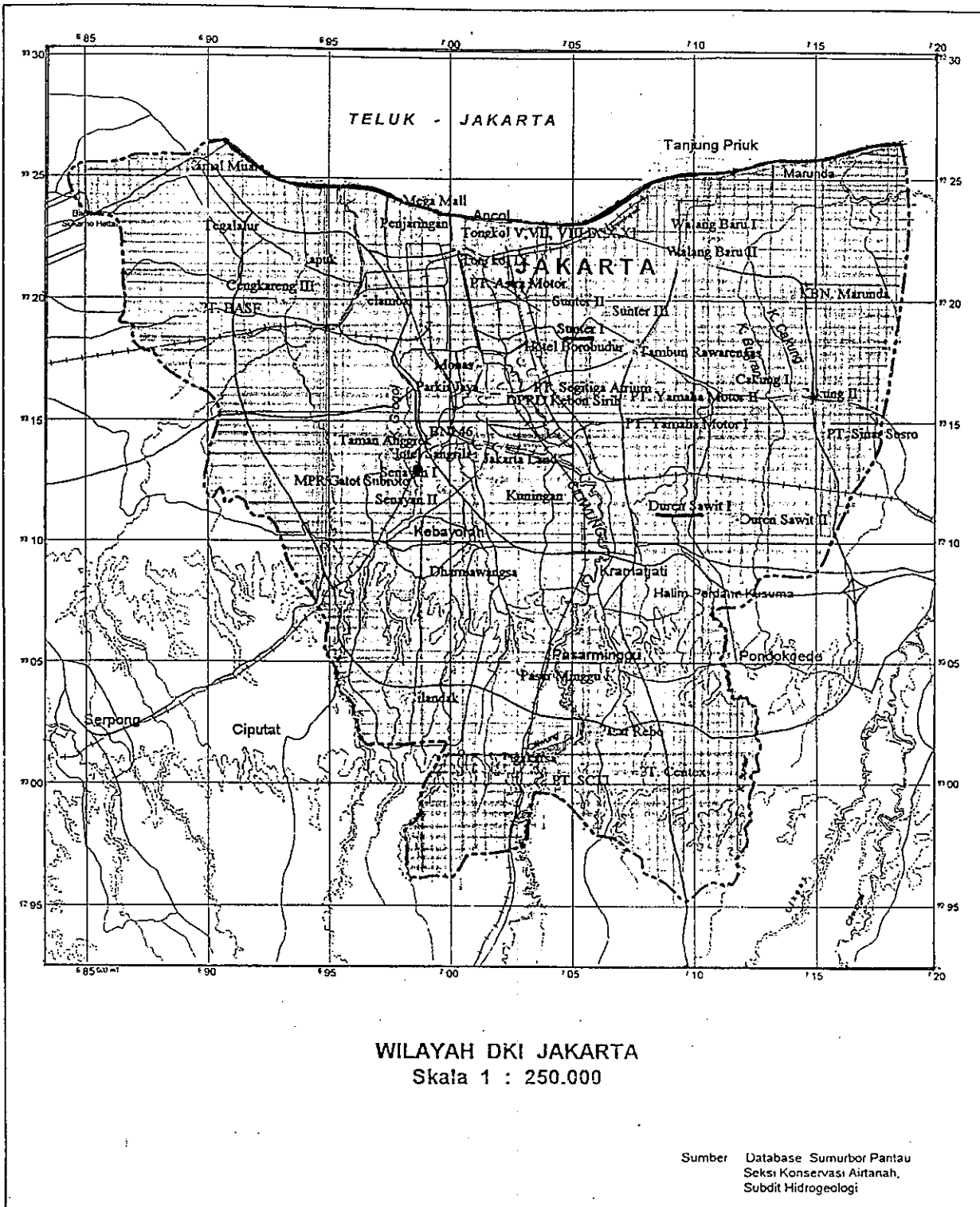
Seperti pada umumnya kondisi daerah di Indonesia lainnya, Daerah Khusus Ibukota Jakarta termasuk daerah tropis, dengan 2 musim, yaitu musim kemarau dan musim penghujan.

Curah hujan tahunan rata-rata di kawasan DKI Jakarta antara 1500 mm - 2000 mm per tahun atau jumlah curah hujan bulanan antara 125 mm - 166,67 mm / bulan (Klimatologi, Stasiun DKI Jakarta Juanda, 1994).

Airtanah yang terdapat di daerah penelitian, umumnya berpotensi sedang sampai dengan besar, mulai dari lapis permukaan hingga kedalaman lebih dari 250 m, yang dapat dikelompokkan kedalam empat golongan ( DGTL, 1994 ) yaitu :

1. Kedalaman 0 – 40 meter, tak tertekan.
2. Kedalaman 40 – 100 meter, tertekan atas.
3. Kedalaman 100 – 140 meter, tertekan tengah.
4. Kedalaman 140 – 250 meter, tertekan bawah.

Dalam kaitannya dengan pemanfaatan airtanah, pengambilannya dilakukan dengan pembuatan sumur bor, dan sebagian besar mengambil dari airtanah tertekan.



Gambar : 2.1  
Peta Lokasi Daerah Penelitian



### 2.3. Pemanfaatan Airtanah

Airtanah di daerah penelitian yang pengambilannya dilakukan dengan sumur bor, dimanfaatkan hampir diseluruh kegiatan masyarakat, mulai dari rumah ibadat, rumah tangga, perguruan dan sekolah, usaha kecil, losmen, hotel, industri kecil sampai dengan industri berat, yang terbagi kedalam 31 klasifikasi tarif redistribusi penggunaan airtanah DKI Jakarta (Distam, 1977).

Dari rekapitulasi jumlah konsumen, jumlah sumur pantau dan kapasitas pengambilan dan redistribusi penggunaan airtanah, tercatat :

- Jumlah sumur bor : 3.200 buah
- Jumlah sumur pantau : 14 buah
- Kapasitas pengambilan air : 14. 837. 411 m<sup>3</sup> / thn

Agar didalam memanfaatkan airtanah dapat berjalan dengan baik, ditetapkan mekanisme pengambilan airtanah sebagai berikut :

1. Pengajuan permohonan Ijin Bor.
2. Realisasi Surat Ijin Bor (SIB) yang didasarkan atas saran teknis dari DGTL.
3. Realisasi Surat Ijin Pemboran Air (SIPA) dan pemasangan meter pengukur debit pemakaian air.
4. Operasional pengambilan airtanah, pencatatan meter dan pembayaran redistribusi ke Dipenda DKI.
5. Monitoring kelebihan debit pengambilan airtanah, yang dalam hal ini dibatasi lebih dari 5.000 m<sup>3</sup> / bulan / konsumen.

Disamping mekanisme tersebut diatas, terdapat juga ketentuan, bahwa setiap konsumen yang memiliki sumur bor lebih dari 4 (empat), diwajibkan membuat 1 (satu) sumur pantau, sehingga didaerah penelitian terdapat 54 sumur pantau, walaupun

hanya terdapat 14 buah yang terpelihara dengan baik, adapun sebaran lokasi sumur pantau dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Pekerjaan pemantauan kedudukan muka airtanah dilakukan dengan menggunakan *Automatic Water Level Recorder* (AWLR), maupun dengan menggunakan *Level Indicator Manual*. Sebagai pelaksananya adalah DGTL dengan mendapatkan dukungan dari Distam DKI. Pemantauan dilakukan periodik bulanan, setelah AWLR di set untuk pantauan tiap hari selama 1 (satu) bulan.

#### **2.4. Hasil Penelitian dan Studi Terdahulu**

Dari observasi dan pengamatan lapangan yang dilakukan, diperoleh hasil, telah dilakukan beberapa studi maupun penelitian dalam kaitannya dengan pemanfaatan airtanah didaerah penelitian, antara lain:

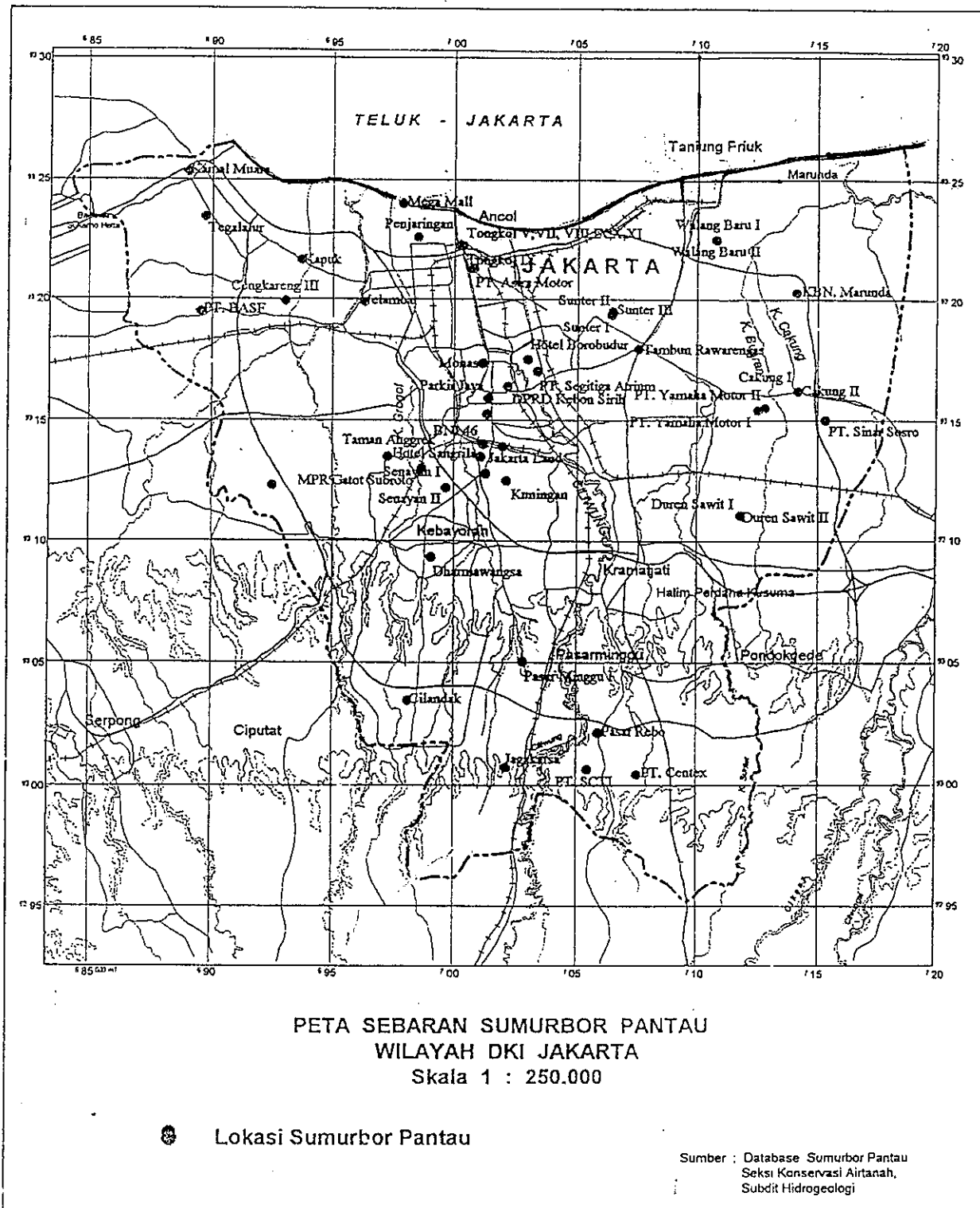
1. **Tirtomihardjo dan Maimun (1994)**, melakukan studi konservasi airtanah di wilayah Jakarta, Bogor, Tangerang, Bekasi (JABOTABEK), dengan kesimpulan: pengambilan airtanah dalam cenderung meningkat, dari 31,3 juta  $m^3$ /tahun menjadi 33,8 juta  $m^3$ /tahun atau rata-rata meningkat 9,03 %
2. **LPM-ITB dan Distam DKI Jakarta (1997)** dalam studi optimasi penggunaan airtanah Jakarta, menghasilkan prediksi tahun 1999 hasil simulasi, bahwa dengan debit 26,52  $m^3$ /hari akan terjadi penurunan muka airtanah kurang dari 5 m dan pergeseran kontur kearah selatan dan daerah *cone of depresi* yang meluas.

3. **Assegaf Abdurahman (1998)**, dalam tesisnya, menyimpulkan :

- Berdasar sifat lapis penutupnya, sistem cekungan airtanah Jakarta dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu: kelompok akuifer tak tertekan (elevasi 0- 20 m) dan kelompok akuifer tertekan (elevasi 20 – 300 m).
- Berdasar pola penyebaran airtanah, dapat diungkapkan bahwa daerah resapan umumnya berada di daerah selatan.
- Adanya perbedaan landai hidrolik alami disertai pula adanya perbedaan permeabilitas pada setiap kelompok, terdapat perbedaan tingkat permeabilitas yang mencolok.

4. **LPM-ITB dan Distam DKI Jakarta (2000)** dalam studi pengaruh pemompaan air bawah tanah terhadap *land subsidence* dan intrusi air laut, disimpulkan:

- Jumlah air yang diambil lebih besar dari jumlah pengisiannya.
- Akibat pemompaan yang berlebihan, menyebabkan penurunan muka airtanah yang berarti, sehingga wilayah DKI Jakarta memiliki potensi yang tinggi terhadap terjadinya *land subsidence* dan intrusi air laut. *Land Subsidence* dapat terjadi dengan skala yang berarti didaerah yang di alasi oleh tanah-batuan dengan kompresibilitas tinggi, sedangkan intrusi air laut dapat terjadi didaerah pesisir, dimana ada kontak antara akuifer dengan air laut.



Gambar : 2.3  
Peta Sebaran Sumur Pantau

### III. TINJAUAN PUSTAKA

Pada dasarnya ketersediaan airtanah tidaklah tak terbatas, sehingga diperlukan pengetahuan dan kemampuan rekayasa dalam pemanfaatannya, hingga pada akhirnya dapat diperoleh keseimbangan antara ketersediaan dengan pemenuhan kebutuhan sepanjang waktu.

#### 3.1. Airtanah

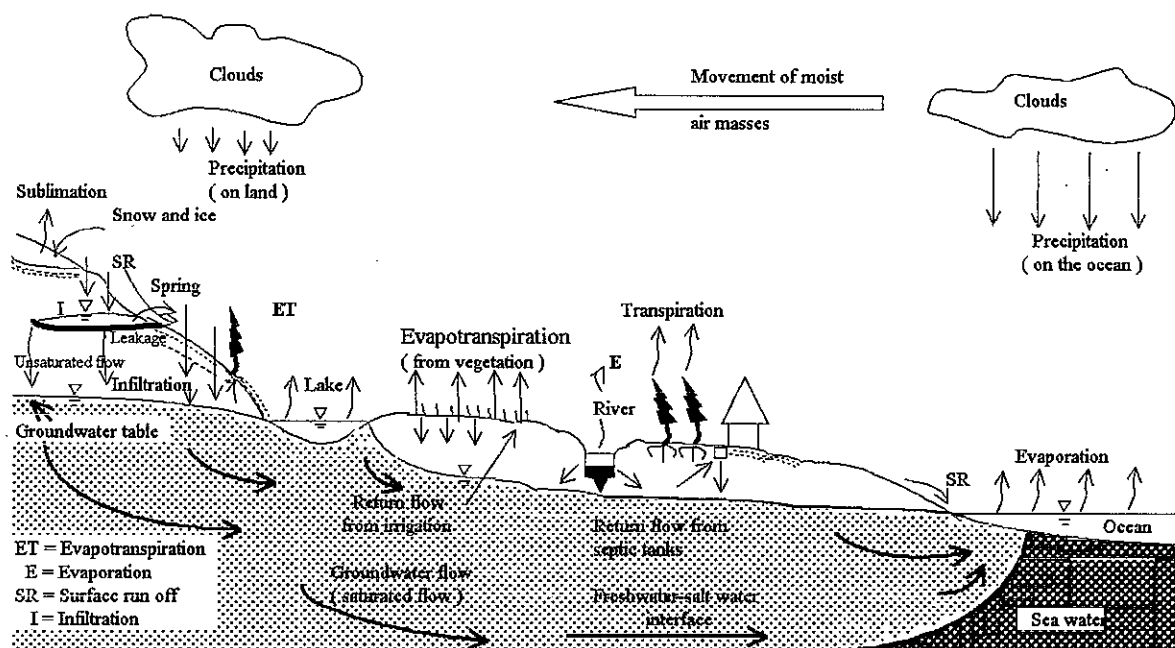
Airtanah pada dasarnya berupa air yang dibedakan menurut asal dan tempat keberadaannya yang digolongkan menjadi air *meteoric*, *juvenile* dan *air connate* (Bowles, Yoseph, 1979).

Disebut air *meteoric* apabila airtanahnya berasal dari air hujan yang meresap kedalam tanah, sedangkan disebut air *juvenile*, apabila airnya berasal dari proses *volcanic*, yaitu saat terjadinya proses pembekuan magma, sehingga terjadi pemisahan antara bahan padat dan bahan cair. Selanjutnya, apabila air *juvenile* ini tertutup oleh lapisan kedap air, maka dinyatakan sebagai air *connate*.

##### 3.1.1. Siklus Hidrologi

Konsep dari siklus hidrologi merupakan hal yang sangat penting didalam membahas masalah keberadaan air, karena air (baik air permukaan maupun airtanah) merupakan bagian dari siklus hidrologi. Siklus hidrologi dapat dimulai dari terjadinya hujan. Sebelum jatuh ke atas permukaan tanah, sebagian air hujan akan tertahan sebagai intersepsi, dan sebagian akan langsung jatuh ke permukaan tanah. Hujan yang jatuh ke permukaan tanah, akan bergerak dalam arah yang berbeda, sebagian tertahan oleh butiran-butiran tanah. Sebagian akan langsung bergerak dengan arah horizontal sebagai limpasan langsung (*run off*), sebagian akan bergerak ke bawah sebagai infiltrasi, dan sebagian kecil akan kembali ke atmosfer melalui penguapan.

Air yang terinfiltrasi ke dalam tanah, mula-mula akan mengisi pori-pori tanah, sampai mencapai kondisi jenuh. Apabila kondisi tersebut telah tercapai, maka air yang dimaksud akan bergerak dalam dua arah, arah horizontal sebagai aliran antara (*interflow*) dan arah vertical sebagai perkolasi. Air yang terperkolasi inilah yang akan mengisi tampungan (*storage*) airtanah, yang selanjutnya disebut sebagai airtanah. Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada Gambar : 3.1.



Gambar : 3.1  
Siklus Hidrologi (Yacob, 1979)

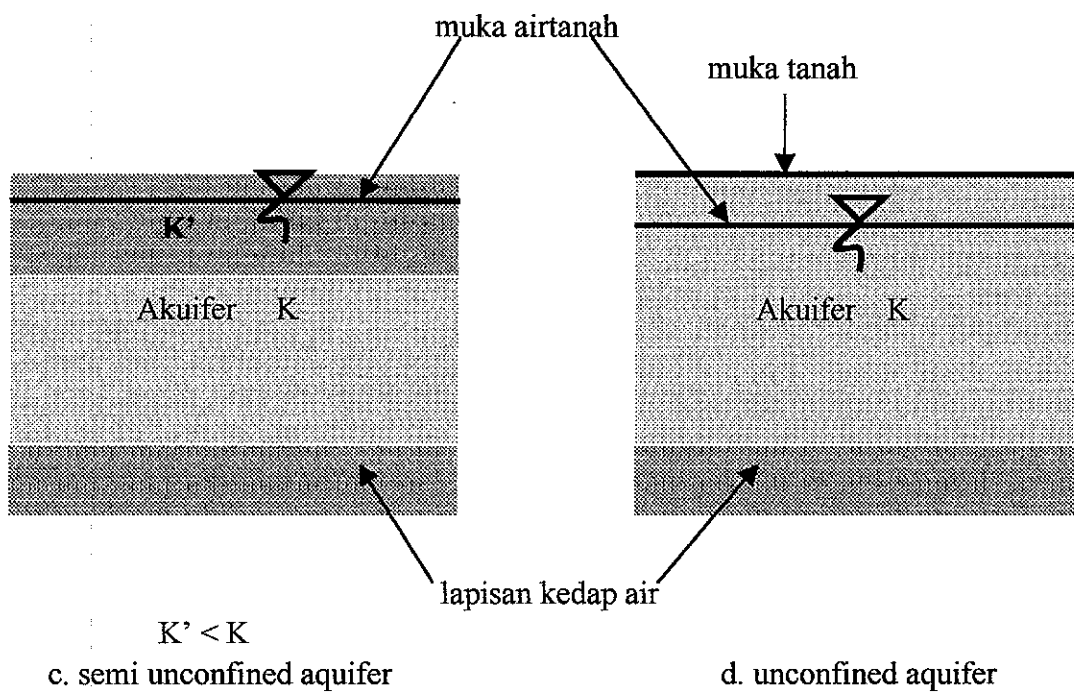
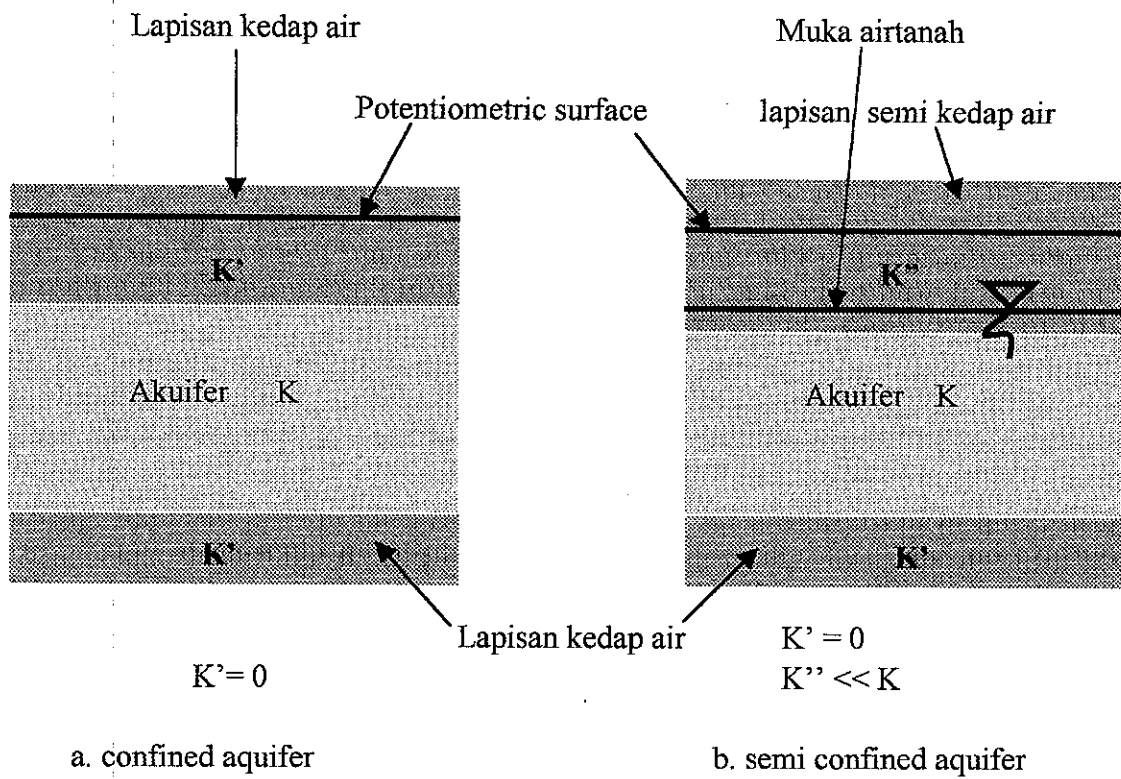
### 3.1.2 Sistim Akuifer

Suatu lapisan tanah yang pori-porinya berisi air, terdapat pembatas dan lokasinya berbeda-beda, maka dapat didefinisikan sebagai akuifer, *aquiclude*, *aquitard*, *confined akuifer*, dan *unconfined akuifer* (Kodoatie,1996) yang secara definitif diartikan sebagai berikut :

1. **Akuifer**, didefinisikan sebagai suatu lapisan, formasi atau kelompok formasi satuan geologi yang permeable dengan kondisi jenuh air dan mempunyai suatu besaran konduktivitas hidraulik sehingga dapat membawa air (air dapat diambil) dengan kuantitas yang ekonomis.
2. ***Aquiclude***, didefinisikan sebagai suatu lapisan, formasi atau kelompok formasi satuan geologi yang kedap air, dengan nilai konduktivitas hidraulik yang sangat kecil, sehingga tidak mungkin air melewatinya. Dapat juga dikatakan sebagai lapisan pembatas atas dan pembatas bawah dari suatu akuifer tertekan.
3. ***Confined Aquifer***, didefinisikan sebagai akuifer, yang dibatasi lapisan atas dan bawahnya oleh *aquiclude*, dan tekanan airnya lebih besar dari tekanan atmosfer. Pada lapis pembatasnya tidak ada air yang mengalir. *Confined Aquifer* untuk selanjutnya diistilahkan sebagai akuifer tertekan.
4. ***Artesian Aquifer***, merupakan akuifer tertekan, dimana ketinggian hidrauliknya lebih tinggi dari muka tanah. Oleh karena itu, apabila padaa akuifer ini dilakukan pengeboran, maka akan timbul pancaran air, hal ini disebabkan karena air yang keluar dari pengeboran ini berusaha mencapai ketinggian hidrauliknya.
5. ***Aquitard***, adalah suatu lapisan tipis, formasi atau kelompok formasi satuan geologi yang *permeable* dengan nilai konduktivitas hidraulik yang kecil, namun masih memungkinkan air melewati lapisan ini walaupun dengan

gerakan yang lambat. Dapat dikatakan juga merupakan lapisan pembatas atas dan bawah suatu semi *confined aquifer*.

6. ***Unconfined Aquifer***, merupakan akuifer, lapisan pembatasnya merupakan *aquiclude* hanya pada bagian bawahnya dan tidak ada pembatas *aquiclude* dilapisan atasnya, batas di lapisan atasnya berupa muka airtanah. Tekanan udara di permukaan airtanah relatif sama dengan tekanan atmosfer. Airtanah yang terdapat pada akuifer ini disebut juga airtanah bebas, begitu pula tinggi muka airtanahnya relatif tidak stabil karena dipengaruhi oleh curah hujan.
7. ***Semi Unconfined Aquifer***, akuifer yang jenuh air, yang dibatasi hanya lapisan bawahnya oleh *aquitard*. Pada bagian atasnya ada lapisan pembatas yang mempunyai konduktivitas hidraulik lebih kecil dari pada konduktivitas hidraulik dari akuifer. Akuifer ini juga mempunyai muka airtanah yang terletak pada lapisan pembatas tersebut.



Gambar : 3.2  
 Ilustrasi Definisi Sistem Akuifer  
 (Kodoatie, 1996)

## **3.2. Parameter Fisik dan Hidraulik dari Akuifer**

Parameter fisik dan hidraulik dari akuifer yang akan dijadikan landasan dalam menentukan karakter dan sistem akuifer antara lain: ketebalan lapisan yang jenuh air ( $b$ ), transmisivitas ( $T$ ), konduktivitas hidraulik ( $K$ ), debit pengambilan airtanah ( $Q$ ) dan kedudukan muka airtanah ( $h$ ).

### **3.2.1. Ketebalan lapisan jenuh air ( $b$ )**

Merupakan ketebalan vertikal dari lapisan jenuh air, apabila akuifernya tertekan berarti sama dengan ketebalan akuifer, sedangkan jika akuifernya tak tertekan, maka ketebalannya sama dengan tinggi tekan hidrauliknya.

### **3.2.2. Transmisivitas ( $T$ )**

Merupakan kecepatan aliran dari air melewati suatu bidang vertikal setebal akuifer, selebar satu satuan panjang dibawah satu unit hidraulik. Transmisivitas dari akuifer tertekan sama dengan konduktivitas hidraulik dikalikan ketebalan jenuh dari akuifer ( $b$ ), sementara transmisivitas dari akuifer tak tertekan, faktor pengalinya sama dengan tinggi tekan hidraulik ( $h$ ).

### **3.2.3. Konduktivitas Hidraulik ( $K$ )**

Merupakan kecepatan aliran air melalui satu unit daerah luas potongan melintang dari akuifer. konduktivitas hidraulik disebut juga sebagai koefisien permeabilitas.

### 3.2.4. Koefisien penyimpanan ( S )

Merupakan volume air yang dapat dilepaskan atau dapat disimpan oleh akuifer setiap satuan luas pada satu satuan perubahan kedudukan muka airtanah. Koefisien penyimpanan ditentukan di lapangan dengan uji pemompaan.

### 3.3. Geometri dan Sistim Akuifer

Geometri dari suatu sistim akuifer merupakan gambaran bentuk dan keadaan penyebaran arah lateral (L) dan penyebaran arah vertikal-ketebalan (V) dari penampang melintang dari sejumlah logging pemboran. Studi geometri didasarkan pada data bor dengan litologi, dilakukan dengan melakukan identifikasi terhadap beberapa logging pemboran. Logging pemboran yang didapatkan dari pemboran pada titik-titik di lintasan tertentu, disusun secara grafis sesuai dengan koordinat masing-masing. Dari susunan logging pemboran yang ada, didapat korelasi tentang masing-masing jenis lapisan maupun ketebalannya.

Dari proses identifikasi hingga didapatkannya korelasi antar logging pemboran inilah yang kemudian dijadikan dasar untuk menetapkan geometri dari akuifer yang bersangkutan. Geometri dari suatu akuifer, biasanya ditampilkan dalam bentuk grafis, dan dari grafis yang ada, dimungkinkan untuk dapat digunakan sebagai dasar dalam mengestimasi kandungan airtanah maupun cadangan airtanah yang ada pada akuifer tersebut .

Untuk melengkapi informasi dari akuifer yang bersangkutan, dari geometri yang sudah ada, perlu ditentukan parameter fisik maupun hidrauliknya seperti transmisivitas, konduktivitas hidraulik, maupun koefisien penyimpanan, yang akhirnya dapat ditentukan sistim akuifernya.

Dengan diketahui sistim akuifernya, dapat dipilih metode pengambilan airtanahnya, peletakan filter sumur maupun kedalaman yang diperlukan, hingga memenuhi kebutuhan yang telah direncanakan sebelumnya.

### **3.4. Model Aliran Airtanah**

Model aliran airtanah merupakan alat yang dirancang untuk menggambarkan bentuk sederhana dari suatu kejadian dalam sistem aliran airtanah. Dari model aliran airtanah, diharapkan mampu memprediksi suatu variable yang tidak diketahui nilainya, seperti misalnya nilai tinggi tekan, distribusi tekanan maupun nilai variable lainnya dalam waktu dan ruang tertentu.

Langkah pertama dalam pembuatan model aliran airtanah adalah membuat model konsep, menterjemahkan model konsep tersebut kedalam bentuk persamaan matematika (model matematika), yang berupa serangkaian persamaan deferensial parsial yang berasosiasi dengan berbagai kondisi batas. Akhirnya, solusi dari persamaan deferensial tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan metode analitik atau metode numerik.

Proses pembuatan model aliran airtanah secara rinci, seperti yang diutarakan oleh Anderson dan Woessner (1992), adalah sebagai berikut :

1. Menentukan kegunaan model
2. Membuat model konsep
3. Pemilihan persamaan matematika dan pembuatan program komputer.
4. Perancangan model (pemilihan rancangan grid, parameter waktu, kondisi awal dan batas dan membuat estimasi parameter-parameter model).
5. Kalibrasi rancangan model, dengan tujuan agar model yang dibuat dapat menghasilkan nilai yang mendekati data lapangan.

6. Menentukan efek ketidaktentuan dari hasil model, atau biasa disebut efek sensitivitas. Parameter-parameter dari model bervariasi dalam selang nilai yang mungkin dan efek dari hasil model dievaluasi.
7. Pemeriksaan terhadap model yang telah dirancang dan dikalibrasi, dengan mengubah dan memperbaiki kondisi batas maupun karakteristik akuifer secara terus menerus, hingga dicapai kesamaan antara data pengukuran dengan hasil komputasi.
8. Memprediksi hasil model yang telah dikalibrasi.
9. Menentukan efek ketidaktentuan dari hasil prediksi model.
10. Menampilkan rancangan model dan hasilnya.
11. Melakukan pemeriksaan akhir.

#### **3.4.1. Kegunaan Model**

Hasil pemodelan aliran airtanah, dapat digunakan untuk :

1. Pengujian suatu hipotesa, atau meningkatkan pengetahuan yang berkaitan dengan sistim akuifer
2. Memahami proses fisika, kimia maupun biologi
3. Merancang usaha-usaha perbaikan
4. Memprediksi kondisi yang akan datang atau akibat dari suatu aksi yang dialami oleh sistim akuifer
5. Managemen sumber daya.

#### **3.4.2. Model Konsep**

Anderson dan Woessner (1992), menyatakan bahwa model konsep adalah kenampakan bergambar dari sistim aliran airtanah dan sistim transportasi, sering

digambarkan dalam bentuk diagram blok atau dalam bentuk penampang melintang. Bentuk alami dari model konsep akan menentukan dimensi model numerik dan rancangan grid.

Formulasi model konsep pada aliran airtanah terdiri dari :

1. Menentukan bentuk kenampakan hidrogeologi, dalam hal ini adalah sistim akuifer yang akan dimodelkan
2. Menentukan sistim aliran, sumber dan perjalanan air di dalam sistim seperti *recharge* dari proses infiltrasi, aliran dasar, evapotranspirasi dan pemompaan.

Adapun kegunaan dari pembuatan model konsep ini adalah, untuk menyederhanakan masalah lapangan, sehingga lebih mudah untuk dibuat modelnya.

### 3.4.3. Pemilihan Persamaan Matematika dan Pembuatan Program Komputer

Pemilihan persamaan matematik yang dimaksud adalah menyederhanakan persamaan pengatur (persamaan deferensial parsial) kedalam metode numerik.

Terdapat lima jenis metode numerik yang dapat digunakan dalam pemodelan airtanah, yaitu : *Finite differences, finite elements, integrated finite differences, the boundary integral equation, analytic elements* (Mc.Donald dan Harbaugh,1984). Penyederhanaan dari persamaan diferensial parsial kedalam bentuk persamaan beda hingga, seperti yang dijelaskan berikut ini:

Aliran airtanah melalui material berpori seperti tanah, dinyatakan dengan persamaan deferensial parsial (persamaan pengatur), pada saat akuifernya tertekan, bentuk persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

dimana :

$K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}$  = Konduktifitas hidrolis arah X, Y, Z

$h$  = Tinggi tekan potensial

$W$  = Fluktuasi Volume (Volume flux per unit volume)

$S_s$  = Koefisien penyimpanan

$S_s, K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}$  merupakan fungsi ruang, ( $S_s = S_{s(x,y,z)}$  dan  $K_{xx} = K_{xx(x,y,z)}$  dan seterusnya)

$h$  dan  $W$  = merupakan fungsi waktu, ( $h = h_{(x,y,z,t)}$ ,  $W = W_{(x,y,z,t)}$ )

Jadi persamaan pengatur seperti tertulis diatas, menguraikan aliran airtanah dalam kondisi tak seimbang pada media heterogen dan anisotropik.

Pengembangan dari persamaan aliran airtanah kedalam persamaan beda hingga mengikuti hukum kontinuitas, yaitu: jumlah aliran yang masuk dan yang keluar dari sel harus sama dengan perubahan-perubahan yang terjadi dalam simpanan antara sel. Persamaan kontinuitas yang menyatakan keseimbangan aliran dalam suatu sel, yaitu :

$$\sum Q_i = S_s \frac{\Delta h}{\Delta t} \Delta V \dots\dots\dots(3.2)$$

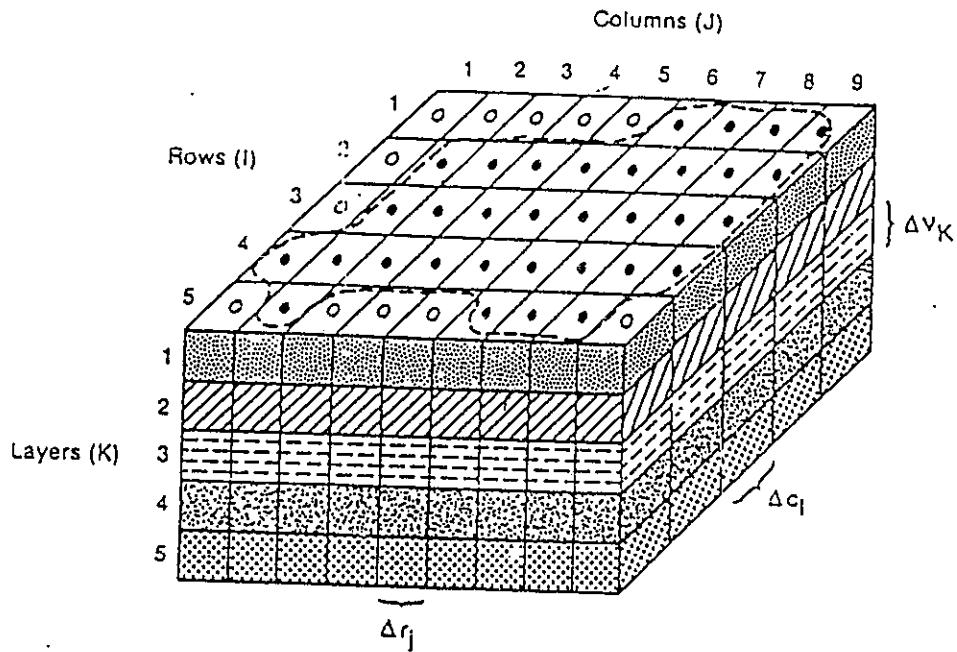
dimana:

$Q_i$  = Aliran yang masuk kedalam sel ( $L^3t^{-1}$ )

$S_s$  = Simpanan spesifik ( $L^{-1}$ )

$\Delta V$  = Volume sel ( $L^3$ )

$\Delta h$  = Perubahan tekanan dalam interval waktu  $\Delta t$



Keterangan :

----- = Batas akuifer

• = Sel yang aktif

o = Sel yang tidak aktif

$r_j$  = Dimensi sel arah - j

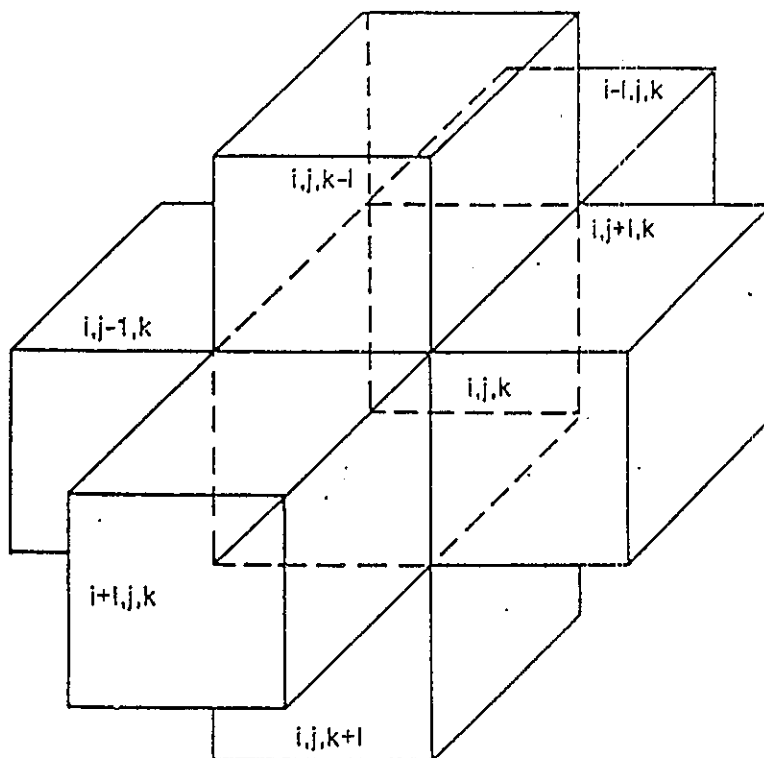
$c_i$  = Dimensi sel arah - i

$v_k$  = Dimensi sel arah - k

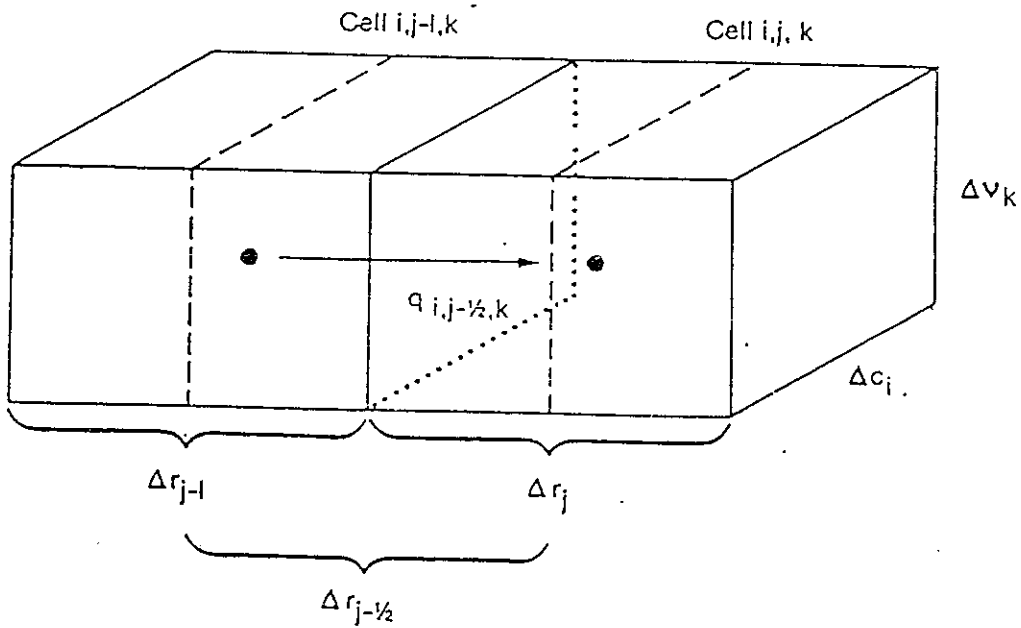
Gambar : 3.3.  
 Ilustrasi Diskritisasi Pada Suatu Sistem Akuifer  
 ( McDonald dan Harbaugh, 1984 )

### Analisis Pada Tinjauan 1 Sel

Ambil satu sel  $i,j,k$  dan 6 sel yang berbatasan, yaitu , Sel  $i-1,j,k$ ;  $i+1,j,k$ ;  $i,j-1,k$ ;  $i,j+1,k$ ;  $i,j,k-1$  dan Sel  $i,j,k+1$  seperti pada gambar berikut :



Gambar : 3.4  
Sel  $i,j,k$  dan 6 sel yang berbatasan  
(McDonald dan Harbaugh, 1984)



Gambar : 3.5  
 Aliran kedalam Sel i,j,k dari Sel i,j-1,k  
 (McDonald dan Harbaugh, 1984)

Berdasarkan persamaan Darcy :

$$Q = -KA \frac{\partial h}{\partial l} \dots \dots \dots (3.3)$$

maka aliran yang masuk kedalam sel i,j,k dari sel i,j-1,k adalah :

$$q_{i,j-1/2,k} = KR_{i,j-1/2,k} \Delta c_i \Delta v_k \frac{(h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k})}{\Delta r_{j-1/2}} \dots \dots \dots (3.4)$$

dimana :

$q_{i,j-1/2,k}$  = Volume cairan yang menembus permukaan diantara sel i,j,k dan i,j-1,k

$KR_{i,j-1/2,k}$  = Konduktivitas hidraulik antara sel i,j,k dan sel i,j-1,k

$\Delta r_{j-1/2}$  = jarak antara sel  $i,j,k$  dan  $i,j-1,k$

$h_{i,j,k}$  = Tinggi tekan pada sel  $i,j,k$

$\Delta c_i \Delta v_k$  = Luas permukaan tegak lurus dengan sel

Dengan cara yang sama, dapat dituliskan pendekatan persamaan aliran beda hingga kedalam dan keluar dari sel melalui lima permukaan yang lain, yaitu:

$$q_{i,j+\frac{1}{2},k} = KR_{i,j+\frac{1}{2},k} \Delta c_j \Delta v_k \frac{(h_{i,j+1,k} - h_{i,j,k})}{\Delta r_{j+\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots(3.5)$$

$$q_{i+\frac{1}{2},j,k} = KC_{i+\frac{1}{2},j,k} \Delta r_j \Delta v_k \frac{(h_{i+1,j,k} - h_{i,j,k})}{\Delta c_{i+\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots(3.6)$$

$$q_{i-\frac{1}{2},j,k} = KC_{i-\frac{1}{2},j,k} \Delta r_y \Delta v_k \frac{(h_{i-1,j,k} - h_{i,j,k})}{\Delta c_{i-\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$q_{i,j,k+\frac{1}{2}} = KV_{i,j,k+\frac{1}{2}} \Delta r_j \Delta c_i \frac{(h_{i,j,k+1} - h_{i,j,k})}{\Delta v_{k+\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots(3.8)$$

$$q_{i,j,k-\frac{1}{2}} = KV_{i,j,k-\frac{1}{2}} \Delta r_j \Delta c_i \frac{(h_{i,j,k-1} - h_{i,j,k})}{\Delta v_{k-\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots(3.9)$$

Persamaan (3.4) sampai dengan (3.9) menyatakan aliran dari 6 sel yang berbatasan dengan permukaan sel  $i,j-1,k$  menuju sel  $i,j,k$  (lihat gambar). Masing-masing

persamaan menggambarkan aliran melalui permukaan sel  $i,j,k$  dalam unsur tekanan, ukuran grid dan konduktivitas hidraulik.

Dimensi grid dan konduktivitas hidraulik selalu konstan sepanjang proses simulasi, sehingga notasi ini dapat disederhanakan dengan menggabungkan konstanta-konstanta kedalam satu konstanta yang disebut “konduktan hidraulik” atau disingkat konduktan, yang bentuknya :

$$CR_{i,j-\frac{1}{2},k} = \frac{KR_{i,j-\frac{1}{2},k} \Delta c_i \Delta v_k}{\Delta r_{j-\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots(3.10)$$

dimana :

$CR_{i,j-\frac{1}{2},k}$  = Konduktan pada baris  $i$  dan lapisan  $k$  antara sel  $i,j-1,k$  dan sel  $i,j,k$

Adapun konduktan didefinisikan sebagai hasil kali konduktivitas hidraulik dengan luas penampang, dibagi dengan panjang aliran, dalam hal ini jarak antara sel. Dengan mensubstitusikan persamaan (3.10) kedalam persamaan (3.4) maka didapatkan:

$$q_{i,j-\frac{1}{2},k} = CR_{i,j-\frac{1}{2},k} (h_{i,j,k} - h_{i,j-1,k}) \dots\dots\dots(3.11)$$

Analog dengan persamaan (3.5) sampai dengan (3.9), hasil substitusi dapat ditulis sebagai berikut:

$$q_{i,j+\frac{1}{2},k} = CR_{i,j+\frac{1}{2},k} (h_{i,j+1,k} - h_{i,j,k}) \dots\dots\dots(3.12)$$

$$q_{i-\frac{1}{2},j,k} = CC_{i-\frac{1}{2},j,k} (h_{i-1,j,k} - h_{i,j,k}) \dots\dots\dots(3.13)$$

$$q_{i+\frac{1}{2},j,k} = CC_{i+\frac{1}{2},j,k} (h_{i+1,j,k} - h_{i,j,k}) \dots\dots\dots(3.14)$$

$$q_{i,j,k-\frac{1}{2}} = CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} (h_{i,j,k+1} - h_{i,j,k}) \dots\dots\dots(3.15)$$

$$q_{i,j,k+\frac{1}{2}} = CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} (h_{i,j,k+1} - h_{i,j,k}) \dots\dots\dots(3.16)$$

Persamaan (3.11) sampai dengan (3.16), adalah persamaan untuk menghitung aliran yang masuk kedalam sel  $i,j,k$  dari ke-6 sel yang berbatasan (sekitarnya). Adapun untuk menghitung aliran yang masuk sel dari luar akuifer seperti rembesan dari badan sungai, drainase, imbuhan evapotranspirasi dan aliran lain dari sumur, diperlukan mekanisme tambahan.

Aliran tersebut dapat bergantung pada tekanan didalam sel penerima, tetapi tidak tergantung pada semua tekanan lainnya didalam akuifer atau mereka secara keseluruhan mungkin tidak tergantung dari tekanan didalam sel penerima. Aliran dari luar akuifer dapat dinyatakan dalam:

$$a_{i,j,k,n} = p_{i,j,k,n} + h_{i,j,k} + q_{i,j,k,n} \dots\dots\dots(3.17)$$

dimana:

$a_{i,j,k,n}$  = Aliran dari sumber eksternal ke  $-n$  kedalam sel  $i,j,k$

$p_{i,j,k,n}$  = Konstanta

$q_{i,j,k,n}$  = Konstanta

Secara umum, jika terdapat N sumber eksternal yang mempengaruhi sel tunggal, maka kombinasi alirannya dinyatakan dengan:

$$QS_{i,j,k} = \sum_{n=1}^N a_{i,j,k,n} = \sum_{n=1}^N p_{i,j,k,n} h_{i,j,k} + \sum_{n=1}^N q_{i,j,k,n} \dots\dots\dots(3.18)$$

Didefinisikan  $p_{i,j,k}$  dan  $Q_{i,j,k}$  dengan pernyataan : unsur aliran eksternal umum untuk sel  $i,j,k$  maka :

$$QS_{i,j,k} = P_{i,j,k} h_{i,j,k} + Q_{i,j,k} \dots\dots\dots(3.19)$$

Sehingga persamaan kontinuitas (3.2) termasuk laju aliran diantara sel  $i,j,k$  dan enam sel sekitarnya, dan aliran eksternal QS menghasilkan persamaan :

$$q_{i,j-\frac{1}{2},k} + q_{i,j+\frac{1}{2},k} + q_{i-\frac{1}{2},j,k} + q_{i+\frac{1}{2},j,k} + q_{i,j,k-\frac{1}{2}} + q_{i,j,k+\frac{1}{2}} + QS_{i,j,k} = Ss_{i,j,k} \frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t} \Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k \dots\dots\dots(3.20)$$

dimana :

$\Delta h_{i,j,k} / \Delta t$  = Aproksimasi pendekatan finite-difference untuk perubahan tekanan terhadap waktu.

$Ss_{i,j,k}$  = Simpanan spesifik sel  $i,j,k$

$\Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k$  = Volume sel  $i,j,k$

Persamaan (3.11) sampai dengan (3.16) dapat distubstitusikan kedalam persamaan (3.20), sehingga menjadi :

$$\begin{aligned}
 & CR_{i,j-\frac{1}{2},k} (h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k}) + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} (h_{i,j+1,k} - h_{i,j,k}) \\
 & + CC_{i-\frac{1}{2},j,k} (h_{i-1,j,k} - h_{i,j,k}) + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} (h_{i+1,j,k} - h_{i,j,k}) \\
 & + CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} (h_{i,j,k-1} - h_{i,j,k}) + CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} (h_{i,j,k+1} - h_{i,j,k}) \\
 & + P_{i,j,k} h_{i,j,k} + Q_{i,j,k} = Ss_{i,j,k} (\Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k) \frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t} \dots\dots\dots(3.21)
 \end{aligned}$$

Persamaan (3.21) adalah Persamaan Beda Hingga yang digunakan untuk mengembangkan persamaan linier, dimana perhitungan tekanan dilakukan dan merupakan basis dari pemodelan aliran airtanah.

Salah satu dari sekian banyak cara untuk memecahkan persamaan (3.21) adalah paket program MODFLOW. Paket program MODFLOW atau lebih tepatnya Processing Modflow Version 3.0. (W.H. Chiang dan Kenzelbach, 1993), dapat dijelaskan sebagai berikut.

MODFLOW adalah model aliran airtanah yang berbasis pada persamaan beda hingga yang mampu melakukan simulasi untuk semua jenis akuifer, seperti akuifer tertekan, akuifer tidak tertekan, akuifer semi tertekan maupun akuifer campuran. Kelebihan MODFLOW yang lainnya adalah, mampu menerima data masukan yang beragam, baik dari jenis akuifer, ketebalan lapisan maupun karakteristik transmisivitasnya.

MODFLOW memperhitungkan sistim tiga dimensi seperti pada rangkaian lapisan material yang porus. Pada grid arah horizontal, umumnya menggunakan grid

arah sumbu X dan sumbu Y. Sebagai grid beda hingga, grid horizontalnya harus sama pada setiap lapisannya. Model ini tidak memerlukan masukan  $\Delta z$ , sebagai penggantinya adalah masukan berupa masing-masing transmisivitas, yang harganya sama dengan konduktivitas hidraulik dikalikan ketebalan lapisan adapun alternatif lainnya, memberikan nilai konduktivitas hidraulik pada elevasi atas (*top*) dan dasar (*bottom*) dari lapisan yang ada.

Lapisan-lapisan yang ada didalam tanah dapat berupa akuifer tertekan, tidak tertekan atau diantara keduanya. Apabila akuifernya tertekan, membutuhkan masukan transmisivitas dan koefisien simpanan. Lapisan atas dari sistim akuifernya didefinisikan sebagai lapisan tidak tertekan, maka akan membutuhkan masukan konduktivitas hidraulik, dan koefisien tampungan spesifik (*Specific yield*). MODFLOW akan melakukan perhitungan harga transmisivitas dari lapisan tersebut dengan mengalikan antara konduktivitas hidraulik dengan ketebalan lapisan jenuhnya. Setiap akhir dari iterasi, ketebalan lapisan jenuhnya di koreksi dengan mempertimbangkan harga trasmisivitas yang baru, MODFLOW mengijinkan permukaan air memancar lebih tinggi dari elevasi permukaan lapis tidak tertekan. Pada kondisi ini, elevasi atas lapisannya dianggap sebagai ketebalan yang tak terbatas. Jika lapisannya dianggap dapat berubah, diberikan data masukan konduktivitas hidraulik dan tebal lapisan akuifer, maka MODFLOW akan menghitung harga transmisivitas.

Pada setiap akhir iterasi, model akan mengontrol dan menghitung tekanan dalam akuifer, berada diatas atau berada dibawah elevasi atas dari lapisannya. Jika tekanan dalam lapis akuifernya lebih tinggi dari elevasinya, maka harus dinyatakan sebagai lapisan akuifer tertekan. Jika sebaliknya, maka lapisan akuifernya dianggap tak tertekan.

Pada saat MODFLOW harus mensimulasi yang melibatkan lebih dari satu lapisan, pemakai modflow harus memperhitungkan transmisivitas vertikal atau bocoran yang disebut sebagai VCONT pada setiap sel didalam grid kecuali blok pada dasar lapisan. Blok pada dasar lapisan tidak diperlukan, karena dianggap sebagai lapis yang kedap air dan VCONT nya dianggap nol.

VCONT merupakan fungsi antara konduktivitas hidraulik vertikal dengan ketebalan lapisan. Banyak cara untuk menghitung VCONT, tergantung pada jenis modelnya, model quasi atau model tiga dimensi murni. Tetapi pada umumnya digunakan formula untuk tiga dimensi murni, yaitu:

$$VCONT_{i,j,k+\frac{1}{2}} = \frac{2}{\frac{\Delta v_k}{(K_z)_{i,j,k}} + \frac{\Delta v_{k+1}}{(K_z)_{i,j,k+1}}} \dots\dots\dots(3.22)$$

Persamaan (3.22) digunakan pada saat tiap-tiap lapisan mempunyai unit hidrostatikgrapik yang berbeda, sementara pada saat lapisannya mempunyai hidrostatikgrapik tunggal dan  $(K_z)_{i,j,k}$  sama dengan  $(K_z)_{i,j,k+1}$ , maka persamaan (3.22), berubah menjadi :

$$VCONT_{i,j,k+\frac{1}{2}} = \frac{2K_z}{\Delta v_k + \Delta v_{k+1}} \dots\dots\dots(3.23)$$

Sementara untuk persamaan quasi tiga dimensi, digunakan persamaan :

$$VCONT_{i,j,k+\frac{1}{2}} = \frac{2}{\frac{\Delta Z_u}{(K_z)_u} + \frac{2\Delta Z_c}{(K_z)_c} + \frac{\Delta Z_L}{(K_z)_L}} \dots\dots\dots(3.24)$$

Tetapi pada keadaan dimana  $(K_z)_c \ll (K_z)_u$  dan  $(K_z)_L$ , maka persamaannya dapat disederhanakan lagi, menjadi :

$$VCONT_{i,j,k+\frac{1}{2}} = \frac{(k_z)_c}{\Delta z_c} \dots\dots\dots(3.25)$$

Banyaknya susunan VCONT karakteristik transmisivitas vertikal antar sel dalam setiap lapisnya, yaitu sebelahny dari  $i,j,k+1/2$ . Nilai vertikal antar sel diperlukan karena persamaan beda hingga yang digunakan dalam MODFLOW memerlukan karakteristik transmisi dari volume akuifer yang terletak diantara sel-sel tersebut. Model ini akan mengubah transmisivitas blok kedalam transmisivitas antar sel dengan menghitung transmisivitas antar sel, dengan menggunakan persamaan :

$$\frac{T_{i+\frac{1}{2}}}{\Delta x_{i+\frac{1}{2}}} = \frac{2T_i T_{i+1}}{\Delta x_i T_{i+1} + \Delta x_{i+1} T_i} \dots\dots\dots(3.26)$$

Selanjutnya, untuk menghitung transmisivitas rata-rata antar sel adalah dengan fungsi linier antar titik sel, dengan menggunakan persamaan, sebagai berikut :

$$T_{i+\frac{1}{2}} = (T_{i+1} - T_i) / \ln(T_{i+1} / T_i) \dots\dots\dots(3.27)$$

Dari uraian persamaan (3.22) hingga persamaan (3.27), dapat ditarik kesimpulan bahwa MODFLOW merupakan suatu model terapan dengan beberapa kondisi yang spesifik, yaitu :

1. MODFLOW merupakan model yang berbasis pada persamaan beda hingga tiga dimensi, tetapi dengan catatan, bahwa tidak secara eksplisit membutuhkan besaran nilai (dimensi grid) pada arah vertikal (sumbu z).
2. Untuk mendapatkan harga transmisivitas pada lapisan yang lebih dari satu, cukup memberikan nilai konduktivitas hidraulik dan  $\Delta z$ . Selanjutnya MODFLOW akan menghitung harga transmisivitas, yaitu dengan mengalikan antara konduktivitas hidraulik dengan  $\Delta z$ .
3. Dapat digunakan untuk pemodelan dengan kondisi lapisan yang lebih dari satu lapis (multi layer), dengan memperhitungkan transmisivitas vertikal yang diistilahkan dengan VCONT. Adapun untuk menghitung dan mendapatkan nilai VCONT, dapat dipergunakan persamaan (3.22), (3.23), (3.24) maupun persamaan (3.25) masing-masing sesuai dengan anggapan dan kondisi lapisannya.

#### **3.4.4. Perancangan Model**

Yang termasuk dalam tahapan perancangan model adalah rancangan grid, parameter waktu, kondisi batas dan kondisi awal serta pembuatan estimasi parameter-parameter model. Apakah yang dimaksud dengan rancangan grid, parameter waktu, kondisi batas dan kondisi awal, dapat dijelaskan sebagai berikut :

##### **a. Diskritisasi**

Dalam pemodelan numerik, daerah model ditentukan dengan serangkaian model diskrit yang disebut dengan grid, blok atau elemen bergantung dari metode yang

digunakan. Proses pembuatan grid biasanya dilakukan dengan meng-*overlay*-kan dengan peta lokasi yang akan dimodelkan.

Penentuan ukuran sel dan elemen yang akan digunakan merupakan pekerjaan yang tidak mudah dalam proses perancangan grid, hal ini karena adanya ketergantungan beberapa faktor : variabelitas ruang parameter model, sistim pembatas fisik, jenis model yang akan digunakan, batasan model komputer, batasan penanganan data, waktu komputasi dan biaya komputer.

Pengambilan keputusan diskritisasi juga membutuhkan pertimbangan parameter waktu. Sebagian besar model-model numerik menghasilkan perhitungan pada waktu  $T$  yang dibagi menjadi beberapa waktu tahapan,  $t$ . Umumnya tahapan waktu yang kecil lebih baik, walaupun waktu dan biaya komputasi akan meningkat.

#### b. Kondisi Batas.

Menurut Toth (1990) dan Kupper (1990) (dalam Kodoatie,1996), terdapat empat jenis kondisi yang dapat dijadikan batas dari suatu daerah model, yaitu :

- **Batas Ketinggian Yang Diketahui** (*Prescribed Head Boundary*), batas ini merupakan batas ketinggian ( $H$ ) yang konstan, misal: muka air laut, muka air danau, muka air sungai. Batas ini disesuaikan dengan data yang ada.
- **Batas Aliran Yang Diketahui** (*Prescribed Flux Boundary*), besarnya aliran sudah diketahui, artinya nilai aliran air sudah diketahui (tertentu). Aliran ini secara konstan memberikan distribusi debit yang tetap kepada persoalan akuifer yang di analisis. Apabila diketahui  $q = 0$  maka  $H = \text{konstan}$ , dan ini disebut ketinggian konstan (*constant head boundary*).
- **Batas Muka Air**, batas ini merupakan batas muka air yang diketahui. Dalam kondisi ini diketahui bahwa berdasarkan persamaan kontinuitas maka pertambahan

debit adalah konstan  $dQ = \text{konstan}$ . Dalam hal pengertian secara aplikatif adalah aliran air akan berbias melalui batas yang konstruktif (muka air yang diketahui) tersebut, namun besaran debitnya akan selalu konstan.

- **Batas Kedap Air**, yaitu suatu daerah yang kedap air (*Impermeable*) sehingga aliran tidak dapat melewatinya. Sering disebut batas tanpa aliran (*no flow boundary*).

### c. **Kondisi Awal (*Initial Condition*)**

Kondisi awal merupakan suatu keadaan dari sistim akuifer yang mempunyai parameter-parameter dengan nilai tertentu pada suatu waktu tertentu, serta digunakan pada awal proses perhitungan pada penyelesaian masalah aliran airtanah. Dengan demikian dapat diartikan pula sebagai proses pemberian nilai parameter pada saat mulai dilakukan perhitungan dan dipakai sebagai acuan kondisi sistim akuifer mula-mula. Sebagai kondisi awal misalnya dapat dipilih berupa ketinggian potensial yang diukur atau didapatkan pada suatu waktu tertentu, yang umumnya digunakan adalah pada saat awal dimulainya penelitian.

## **3.5. Kalibrasi Model**

Tujuan dilakukannya kalibrasi model adalah agar model dapat menghasilkan nilai yang mendekati data lapangan, pelaksanaannya dengan membandingkan antara hasil komputasi dengan data lapangan. Apabila terdapat perbedaan nilai, maka harus dilakukan perubahan dan perbaikan terhadap parameter-parameter yang ada.

Perubahan dan perbaikan yang memungkinkan untuk dilakukan adalah terhadap pemilihan kondisi batas, parameter-parameter akuifer (transmisivitas, konduktivitas hidraulik) dan besaran-besaran lain dari aliran airtanah.

Pekerjaan perubahan dan perbaikan ini dilakukan terus menerus secara coba-coba, hingga didapatkan hasil yang sama antara hasil komputasi dengan data lapangan hasil pengukuran, atau paling tidak, apabila sudah tercapai keadaan dengan tingkat kesalahan terkecil. Menurut Anderson dan Woessner (1992), tata cara melakukan kalibrasi model dilakukan dua tahap, yaitu tahap persiapan (sebelum melakukan kalibrasi) dan tahapan setelah melakukan kalibrasi, adapun secara rinci dijelaskan sebagai berikut:

### **3.5.1. Tahapan Persiapan (sebelum melakukan kalibrasi) :**

1. Pilih nilai parameter yang akan dikalibrasi, seperti tekanan, kemiringan tekanan, aliran atau parameter yang lainnya.
2. Estimasi kesalahan pada nilai kalibrasi termasuk kesalahan dalam pengukuran, kesalahan karena interpolasi, dan kesalahan dari pengaruh skala dan pengaruh transien. Tentukan target kalibrasi.
3. Kumpulkan data lapangan yang dibutuhkan untuk menentukan kondisi batas, nilai-nilai parameter dan hidrologi stress dan lakukan estimasi rentangan yang masuk akal dalam kondisi batas, nilai-nilai parameter dan hidrologi stress.
4. Menetapkan nilai parameter untuk daerah dalam grid dan hitung koefisien variasi untuk setiap daerah.
5. Persiapkan peta yang menggambarkan lokasi target relatif setiap sel pada grid.
6. Persiapkan tabel yang mempertunjukkan estimasi awal dari kondisi batas, parameter-parameter, hidrologi stress dan koefisien variasinya.

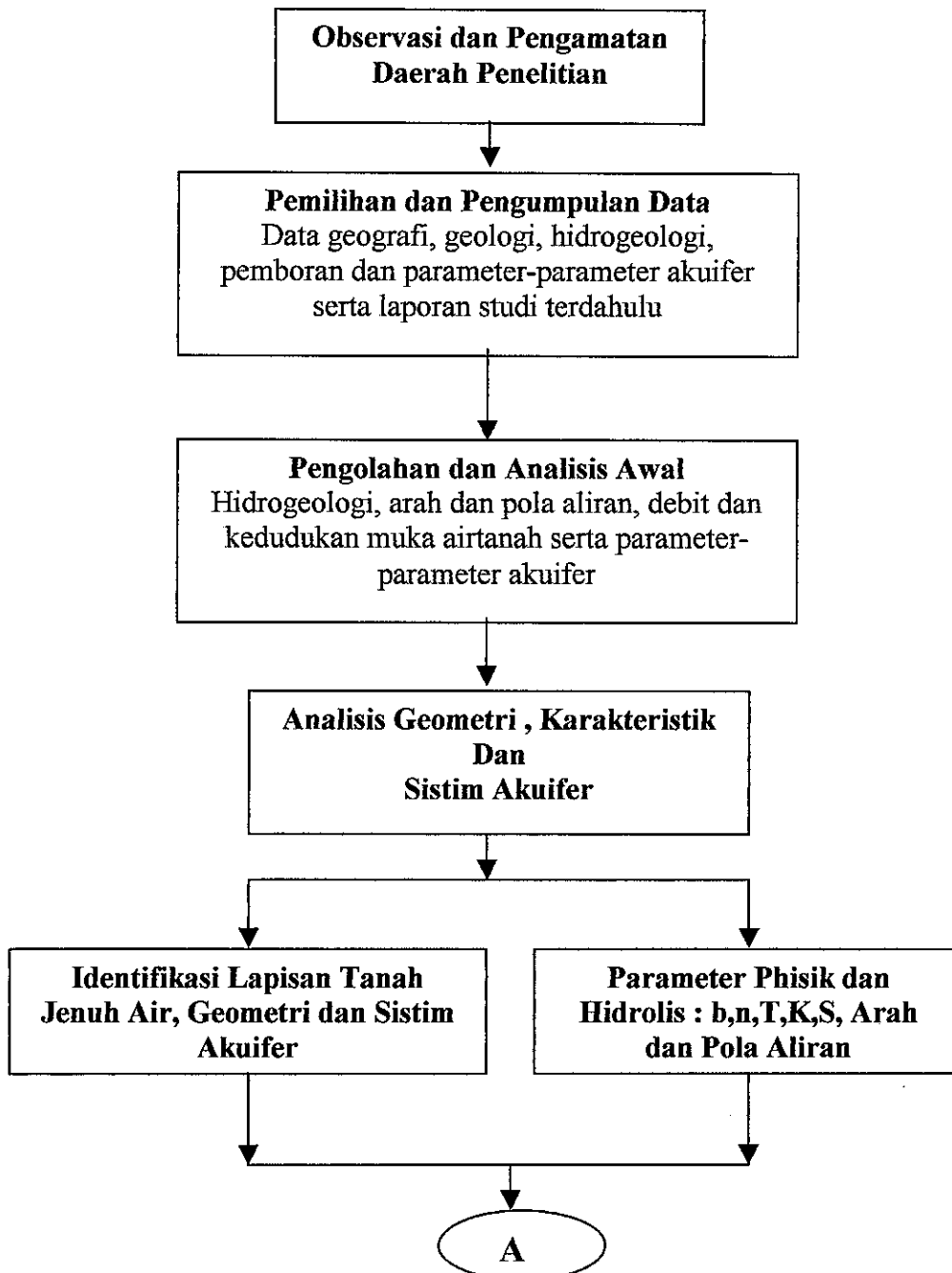
### 3.5.2. Setelah melakukan kalibrasi

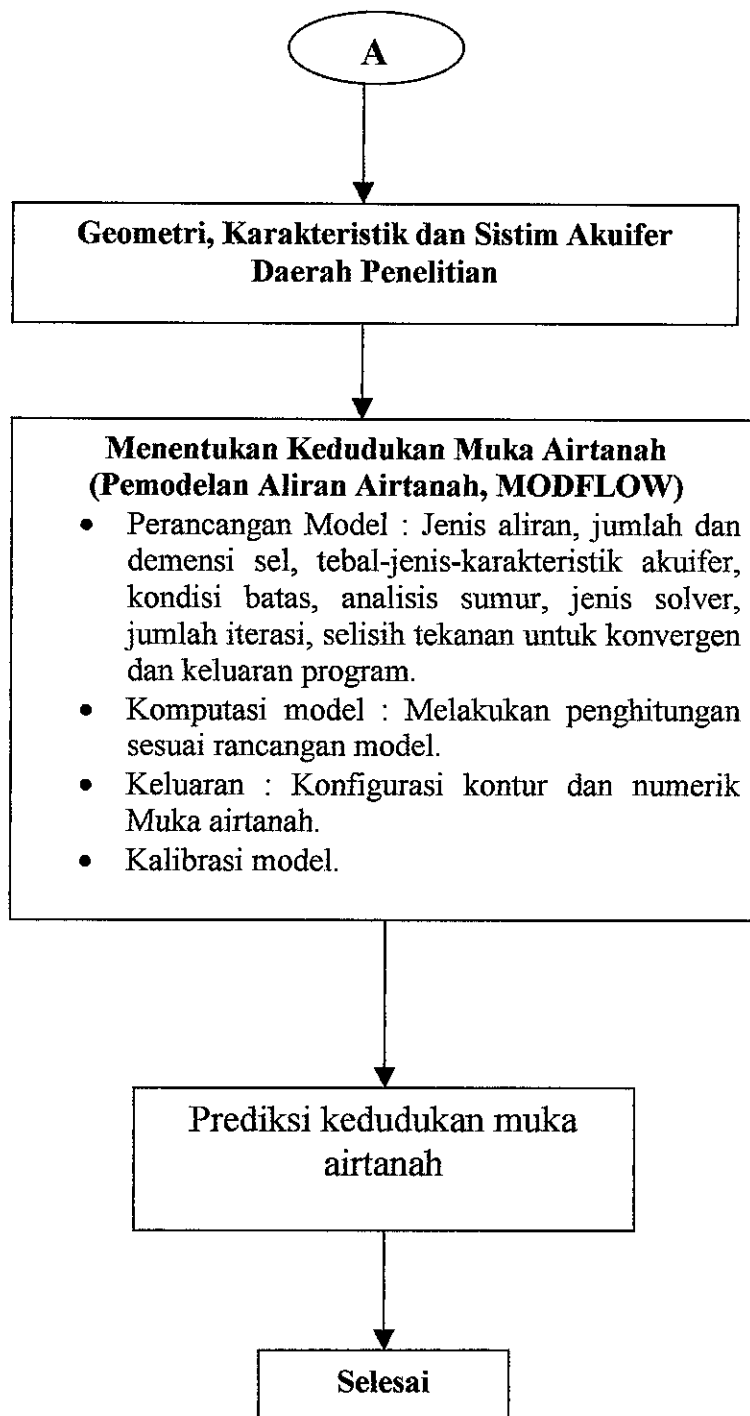
1. Hitung koefisien variasi (standard deviasi dibagi dengan nilai rata-rata) menggunakan estimasi kalibrasi dari nilai-nilai parameter. Koefisien variasi yang kecil, mengindikasikan tingkat kepastian yang relatif tinggi.
2. Persiapkan tabel yang menunjukkan perbedaan-perbedaan antara sasaran dan nilai-nilai tekanan simulasi dan aliran.
3. Hitung nilai kesalahan tekanan dalam Kesalahan rata-rata (ME), Kesalahan mutlak rata-rata (MAE) dan Kesalahan akar kuadrat rata-rata (RMS), juga lakukan perhitungan perbandingan kesalahan RMS dengan kehilangan tekanan total pada sistim.
4. Tunjukkan penyebaran tempat dari sisa dalam berbagai cara, pilihlah dari beberapa jenis penyajian sebagai berikut:
  - a. Peta yang melampiskan kontur tinggi tekan
  - b. Peta yang mempertunjukkan kontur-kontur sisa-sisa tekanan
  - c. Peta yang mempertunjukkan lokasi dan nilai sasaran kalibrasi dan nilai simulasi.
  - d. Plot nilai-nilai kalibrasi dan nilai simulasi yang menggambarkan hubungan deviasi dengan garis lurus
  - e. Plot sisa tekanan untuk setiap pelaksanaan kalibrasi
  - f. Plot nilai ME, MAE dan RMS dan jumlah pelaksanaan kalibrasi untuk menunjukkan kesesuaian kalibrasi
  - g. Plot nilai ME, MAE, RMS dan nilai parameter untuk menunjukkan kepekaan dari kalibrasi dalam merubah nilai parameter.

5. Persiapkan diskusi yang jelas dari tata cara kalibrasi dan diskusikan apa yang menyebabkan perubahan parameter awal dan kepekaan dari model dalam mengalami perubahan.
6. Tata cara kalibrasi termasuk menganalisis kepekaan. Hasil analisis kepekaan harus didiskusikan dan hasilnya harus diringkas dengan menggunakan format penyajian yang baik.

#### IV. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian ini mencakup kegiatan-kegiatan pengumpulan data, pengolahan data, analisis data dan batasan-batasan yang diambil dalam analisis. Adapun tahapan kegiatannya diuraikan dalam bentuk diagram alir seperti yang disajikan pada Gambar 4.1.





Gambar: 4.1.  
Diagram Alir Kegiatan Penelitian

#### 4.1. Pengumpulan Data

Data pada penelitian ini merupakan data sekunder yang didapatkan dengan memilih dan mengumpulkan data, adapun data utama yang dikumpulkan adalah logging pemboran, debit pengambilan airtanah, dan kedudukan muka airtanah.

Logging pemboran yang terkumpul berasal dari beberapa sumber seperti dari proyek pengembangan dan pengendalian bahan galian golongan C (LPM-ITB dan Distam DKI Jakarta, 1997) maupun dari Studi Optimasi Penggunaan airtanah Wilayah Jakarta, seperti yang terlihat pada lampiran Gambar C-1, C-2, C-3, C-4 dan C-5.

Dari logging pemboran yang didapat, digunakan dalam menentukan ketebalan maupun jenis dari lapisannya dan dengan adanya data tentang karakteristik lapisan tanahnya, dapat dipakai untuk menentukan geometri maupun sistem akuifernya.

Debit pengambilan airtanah dikumpulkan dari hasil pengukuran meter penggunaan airtanah dari setiap sumur bor produksi, yang pemantauan dan pencatatannya dilakukan oleh Dinas Pertambangan DKI Jakarta selaku pemegang otoritas administrasi.

Debit sumur bor produksi yang didapat, selanjutnya dipakai dan dianggap sebagai debit pengambilan pada sumur pantau, dan dari debit pengambilan inilah yang dijadikan sebagai kajian sampai sejauh mana pengaruhnya terhadap perubahan kedudukan muka airtanah, baik muka airtanah didalam sumur pantau maupun kedudukan muka airtanah di daerah penelitian. Data debit pengambilan airtanah dapat dilihat pada lampiran Tabel A-1, A-2 dan A-3.

Data kedudukan muka airtanah didapat dari hasil pengukuran kedudukan muka airtanah yang dilakukan oleh Direktorat Geologi Tata Lingkungan (DGTL). Pengukurannya dilakukan dengan menggunakan *Automatic Water Level Recorder (AWLR)* maupun dengan *Level Indicator Manual*, adapun perolehan data, dapat dilihat

pada lampiran Tabel B-1, B-2, B-3 serta konfigurasi kontur hasil pengukuran pada lampiran Gambar D-1, D-2 dan D-3.

Data debit pengambilan airtanah dan kedudukan muka airtanah yang terkumpul, disusun per tahun. Dengan demikian terdapat tiga kelompok data, yaitu kelompok data tahun 1997-1998, 1998-1999 dan 1999-2000 yang masing-masing berdiri sendiri.

#### 4.2. Pengolahan Data

Dari perolehan tiga data utama yaitu : logging pemboran, debit pengambilan airtanah dan kedudukan muka airtanah, selanjutnya diolah. Pengolahan data yang pertama kali, dilakukan terhadap logging pemboran, yaitu dengan melakukan identifikasi terhadap jenis serbuk bor dan masing-masing ketebalannya, khususnya terhadap lapisan yang jenuh air.

Bersamaan dengan identifikasi logging pemboran, dilakukan pula penentuan parameter fisik maupun hidraulik : ketebalan lapisan tanah (b), Transmisivitas (T), Konduktivitas Hidrolik (K) maupun besaran parameter yang lainnya. Harga transmisivitas (T) diperoleh dengan menggunakan perumusan Yacob (1979) :

$$T = \frac{2,3.Q}{4\pi.\Delta S} \dots\dots\dots (4.1)$$

Dimana :

Q = Debit sumur

$\Delta S$  = penurunan kedudukan muka airtanah

Sedangkan harga Konduktivitas Hidraulik (K) diperoleh dengan menggunakan perumusan :

$$K = \frac{T}{b} \dots\dots\dots (4.2)$$

Dimana :

T = Transmisivitas

b = Ketebalan lapis akuifer

Dari harga-harga T, K dan b, serta hasil identifikasi logging pemboran, selanjutnya dipergunakan sebagai dasar untuk menganalisis geometri, karakteristik dan sistim akuifernya, yang dalam hal ini disajikan dalam bentuk gambar potongan melintang.

### 4.3. Analisis Data

Terdapat dua bagian utama dalam analisis data, yaitu analisis data untuk mendapatkan geometri, karakteristik dan sistim akuifer serta analisis data untuk mendapatkan kedudukan muka airtanah akibat debit pengambilan airtanah .

#### 4.3.1. Sistim Akuifer

Dalam mendapatkan geometri, karakteristik dan sistim akuifer, dipergunakan hasil identifikasi logging pemboran dan nilai-nilai parameter akuifer, seperti konduktivitas hidraulik maupun transmisivitas. Geometri, karakteristik dan sistem akuifer hasil analisis, dinyatakan dalam bentuk grafis potongan melintang, lengkap

dengan jenis lapisan tanahnya, ketebalan jenis akuifer maupun penyebarannya, baik arah lateral maupun arah vertikal.

Dari analisis sistem akuifer yang diperoleh, dapat digunakan sebagai dasar dalam mempertimbangkan maupun digunakan sebagai data masukan dalam menganalisis perubahan kedudukan muka airtanah akibat debit pengambilan .

#### 4.3.2. Kedudukan Muka Airtanah

Untuk mendapatkan kedudukan muka airtanah akibat debit pengambilan airtanah, dilakukan dengan menggunakan paket program PM3 (*Processing Modflow Version 3.0*) Oleh : W.H. Chiang dan Kinzelbach (1993).

Dalam paket program PM3 terdapat tiga menu utama, yaitu *Model*, *Computation* dan *Analysis*, yang secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut :

Pada menu utama Model, terdapat 6 sub menu, yaitu : *premod*, *grid*, *properties*, *packages*, *solver* dan *output*.

- *Premod*, berfungsi untuk memproses dan membedakan antara jenis aliran *steady* dan *unsteady* sekaligus mengkompilasi kedalam standar bahasa *ASCII*.
- *Grid*, berfungsi untuk mendefinisikan lebar dan jumlah sel dari model, ketebalan lapisan (batas atas dan batas bawah), jenis lapisan akuifer dan menetapkan kondisi batas (*cell* yang aktif dan yang non aktif).
- *Properties*, berfungsi untuk menetapkan harga karakteristik akuifer seperti porositas, konduktivitas hidraulik dan *initial head* (tinggi tekan awal).
- *Packages*, berfungsi untuk menetapkan pilihan fungsi program seperti : sumur, drainasi, sungai, penguapan maupun pengisian ulang, dalam hal ini yang dipilih adalah untuk program analisis sumur.

- *Solver*, berfungsi untuk menetapkan jenis pilihan metode penyelesaian seperti : *SIP*, *SSOR* maupun *PCG2*, dalam hal ini dipakai *SIP (Strong Implicit Procedur)*. Pada saat dipilih *SIP*, akan muncul pilihan : jumlah iterasi, jumlah parameter yang diiterasi serta besarnya perbedaan tekanan hingga dicapai keadaan *convergen*.
- *Output*, berfungsi untuk menetapkan pilihan karakteristik yang akan dianalisis, seperti : Tinggi tekan piezometer, *drawdown*, *volumetric budged*, *single file* atau *several file*, dalam hal ini dipilih tinggi piezometer, *drawdown*, *single file* dan *saverel file*, yang artinya : menganalisis tinggi tekan piezometer akibat naik turunnya kedudukan muka airtanah (akibat pemompaan) dan hasil analisisnya ditampilkan dalam bentuk kontur tekanan piezometer serta dalam bentuk tulisan angka.

Pada menu utama *Computation* terdapat tiga sub menu, yaitu : *Modflow Simulation*, *Modpath Particle Tracking* dan *MT3D Transport of Contaminants* . Dalam hal ini dipilih *Modflow Simulation*. Pada saat dipilih *Modflow Simulation*, program akan melakukan simulasi, yaitu melakukan analisis dengan sejumlah iterasi dan baru berhenti setelah dicapai konvergensi.

Pada menu utama *Analysis*, terdapat sub menu : *Isoline-piezometer heads*, *Water balance*, *Pathlines Modpath plot*, *Head time curves* , *graphick plot*. Dalam hal ini dipilih *Isoline – piezometer heads*.

Pada saat dipilih *Isoline –piezometer heads*, akan muncul pilihan option, plot, transfer, yang apabila kita pilih semua, program akan melaksanakan perintah berupa : Menggambar kedudukan muka airtanah, didaerah model yang aktif .

Sesuai dengan lazimnya pada pembuatan model, hasil komputasi ini selanjutnya dibandingkan dengan data pengukuran lapangan yang telah ada, yang diistilahkan

sebagai proses kalibrasi. Apabila hasil komputasi sudah sesuai dengan data pengukuran lapangan, maka model yang dimaksud dapat dinyatakan sudah benar.

Sebaliknya, jika antara hasil komputasi dengan data pengukuran lapangan terdapat perbedaan (tidak sama), maka perlu dilakukan perubahan dan perbaikan dari parameter-parameter sesuai dengan nilai rentangannya. Setelah dilakukan perubahan dan perbaikan parameter, simulasi dilakukan terus menerus, hingga dicapai hasil yang sama, atau yang mengandung kesalahan terkecil. Dalam menentukan nilai kesalahan digunakan persamaan matematis menurut Anderson dan Woessner (1992), Yaitu :

- Kesalahan rata-rata :

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_m - h_s) \dots\dots\dots(4.3)$$

- Kesalahan Mutlak rata-rata

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(h_m - h_s)| \dots\dots\dots(4.4)$$

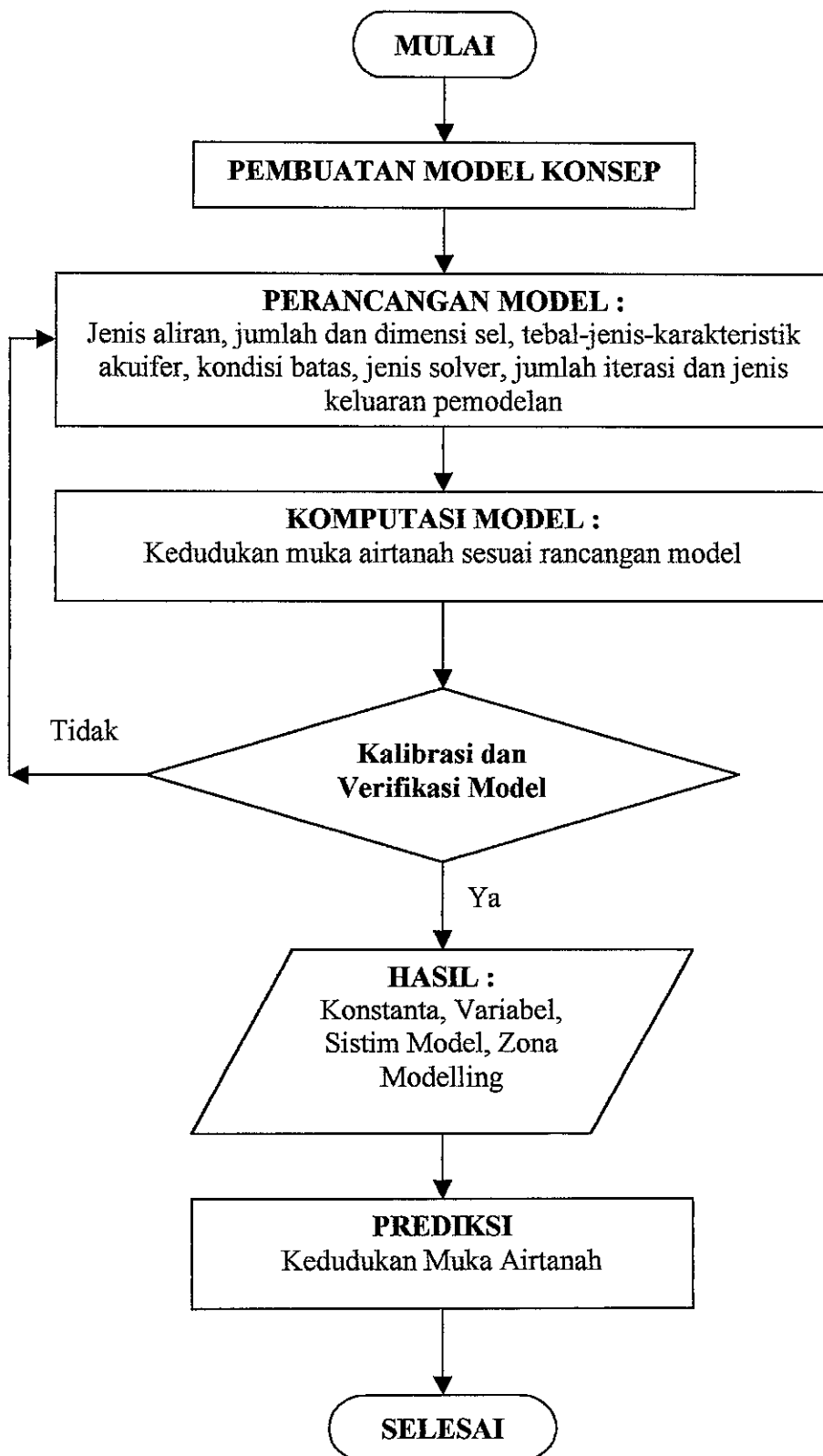
- Kesalahan akar kuadrat rata-rata

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_m - h_s)^2} \dots\dots\dots(4.5)$$

$h_m$  = kedudukan muka airtanah hasil pengukuran

$h_s$  = kedudukan muka airtanah hasil komputasi

Tahapan pekerjaan pemodelan aliran airtanah secara rinci dapat dilihat pada diagram alir, yang disajikan pada Gambar 4.2.



Gambar : 4.2  
Diagram Alir Pemodelan Aliran Airtanah

#### 4.4. Prediksi Kedudukan Muka Airtanah

Yang dimaksud adalah memprediksi kedudukan muka airtanah pada masa yang akan datang, apabila terjadi perubahan keadaan pada daerah penelitian. Memprediksi kedudukan muka airtanah pada masa yang akan datang, merupakan salah satu dari sekian banyak kegunaan dari model yang telah dihasilkan, adapun sebagai peubahnya adalah debit pengambilan airtanah.

Debit pengambilan airtanah diperkirakan meningkat sebesar 5% per tahun (Tirtomihardjo dan Maimun, 1994) sehingga pada tahun 2004 akan terjadi peningkatan debit pengambilan airtanah sebesar 20%. Dengan peningkatan debit pengambilan 20%, dijadikan sebagai data masukan pada pemodelan aliran airtanah dan hasil komputasinya merupakan prediksi kedudukan muka airtanah pada tahun 2004, yang dalam hal ini berupa konfigurasi kontur muka airtanah maupun dalam bentuk numerik (angka).

#### 4.5. Batasan dan Asumsi yang Diambil

Untuk menyederhanakan proses pemodelan aliran airtanah, diambil beberapa asumsi, yaitu :

1. Sistem Akuifer daerah penelitian bersifat tertekan; tunggal dan seragam.
2. Perkolasi air arah horizontal lebih besar dari pada arah vertikal.
3. Daerah model tertutup lapisan kedap air pada bagian atas dan dialasi lapisan kedap air pada bagian bawahnya.
4. Batas daerah model yang dipakai, dapat diuraikan sebagai berikut :
  - Utara : batas ketinggian konstan (*prescribed head boundary*)
  - Timur : batas daerah kedap air (*no flow boundary*)
  - Selatan : batas aliran konstan (*prescribed flux boundary*)
  - Barat : batas daerah kedap air (*no flow boundary*)

5. Tidak terjadi bocoran.
6. Pergerakan air yang terjadi sebagai akibat adanya perbedaan tinggi tekan.
7. Karakteristik sumur pantau sama dengan karakteristik sumur bor produksi.
8. Tidak memperhitungkan adanya imbuhan (airhujan dan atau infiltrasi ).

## **V. SISTIM AKUIFER DAN PEMODELAN ALIRAN AIR TANAH**

### **5.1. Sistim Akuifer**

Sistim akuifer yang dimaksud mencakup perihal geometri dari lapisan tanah yang mengandung air dan karakteristik dari akuifernya. Analisisnya dilakukan bertahap, mulai dari identifikasi logging pemboran, penentuan geometri, penentuan nilai karakteristik dari akuifer sampai dengan menetapkan sistim akuifernya.

Identifikasi lapisan tanah yang mengandung air dilakukan pada logging pemboran, serbuk bor dan kedudukan saringan di sumur-sumur bor. Logging pemboran yang dilengkapi serbuk pemboran yang dijadikan bahan dalam pengidentifikasian sebanyak 14 buah, adapun hasilnya disajikan dalam bentuk gambar penampang vertikal. Dari 14 gambar penampang vertikal hasil identifikasi, dapat terlihat korelasi antar sumur bor, sehingga dapat ditentukan geometrinya, seperti yang terlihat pada lampiran Gambar E-1, E-2, E-3 dan Gambar E-4.

Dari geometri akuifer yang ada, pengambilan airtanah dilakukan dengan sumur bor dan penyadapannya dilakukan pada elevasi tertentu. Hal ini tergantung pada keberadaan akuifer dan jenis serbuk bornya. Akuifer yang dapat disadap berada pada elevasi antara 50 m sampai dengan 300 m bawah muka laut, dengan keadaan :

1. Jenis akuifernya tertekan, tertutup dan dialasi lapis kedap air
2. Ketebalan (b) akuifer tidak merata
3. Letak dan panjangnya sadapan tidak sama
4. Kuantitas penyadapan mendekati kesamaan
5. Karakter hidraulisnya (T, K) bervariasi

Karakteristik akuifer yang berupa Transmisivitas, nilainya ditentukan dengan menggunakan persamaan (4.1.) demikian juga Konduktivitas Hidraulik, nilainya ditentukan dengan menggunakan persamaan (4.2.) Adapun hasilnya disajikan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Nilai Karakteristik Fisik dan Hidraulik dari Akuifer

No.	Nama Sumur	Jenis Akuifer	Tebal (m)	T ( $m^2$ /hari)	K (m/hari)
1	Tongkol Utara	Tertekan	165	1,115	0,007
2	Sunter Utara	Tertekan	115	3,45	0,030
3	Walang Baru Utara	Tertekan	115	146,74	1,276
4	Cakung Utara	Tertekan	125	8,63	0,069
5	Duren Sawit Timur	Tertekan	110	18,48	0,168
6	Pasar Minggu Selatan	Tertekan	140	312,2	2,230
7	Tambun Utara	Tertekan	140	156,8	1,120
8	Jelambar Barat	Tertekan	110	1,54	0,014
9	Parkir Jaya Barat	Tertekan	75	1,50	0,020
10	Jakarta Land Pusat	Tertekan	150	2,85	0,019
11	Astra Motor Barat	Tertekan	125	0,75	0,006
12	DPR Kebon Sirih	Tertekan	120	8,04	0,067
13	PT. Centex Timur	Tertekan	65	8,25	0,127
14	Dharmawangsa Selatan	Tertekan	140	7,98	0,057

Dari geometri maupun nilai-nilai karakteristik akuifer, dapat diambil rangkuman, bahwa sistim akuifernya adalah sebagai berikut :

1. Akuifer yang dapat diambil airtanahnya berada di elevasi 50 m hingga 300 m.
2. Jenis akuifernya adalah tertekan dan seragam, karena dibatasi lapisan kedap air (tanah lempung), pada bagian atasnya dan dialasi lapis kedap air di bagian bawahnya.
3. Tinggi tekan hidrauliknya berkisar antara 10 m hingga 30 m diatas muka laut.
4. Nilai konduktivitas hidrauliknya bervariasi, dari 0.006 m/hari hingga 2,23 m/hari.

5. Tidak terjadi kebocoran pada akuifernya.
6. Lapisan tanahnya sangat bervariasi, terdiri dari batuan gamping, batuan lempung, batuan pasir, konglomerat, breksi, batuan pasir lempungan, batuan lempung pasiran, adapun pengambilan airtanahnya disadap pada bagian batuan pasir, batuan pasir kelanauan.
7. Arah aliran airtanahnya dari selatan menuju ke arah utara.

## **5.2. Menentukan Kedudukan Muka Airtanah**

Dalam menentukan kedudukan muka airtanah pada daerah penelitian, dilakukan dengan pemodelan aliran airtanah yang dalam hal ini menggunakan paket program terapan.

Empat tahapan pokok yang harus dilakukan dalam membuat model aliran airtanah, yaitu : pembuatan model konsep, pemilihan persamaan matematika dan pembuatan program komputer, perancangan dan komputasi model serta dilengkapi dengan kalibrasi model.

### **5.2.1. Pembuatan Model Konsep**

Pada dasarnya model konsep dibuat untuk menyederhanakan permasalahan yang ada, sehingga akan memudahkan dalam pembuatan modelnya. Pada tahap ini, yang paling penting adalah menetapkan sistim akuifernya, sumber dan arah pergerakan airtanahnya.

Berdasar penampang vertikal maupun geometerinya, daerah penelitian termasuk kategori akuifer tertekan, kedalamannya bervariasi, mulai dari 50 meter sampai dengan 125 meter, adapun ketebalannya antara 65 meter hingga 165 meter. Pada daerah

penelitian tidak terdapat lensa-lensa, sehingga dapat diartikan akuifernya menerus tidak terhalang.

Kedudukan muka airtanah cukup baik, berada 20,12 meter dari atas muka laut (pengukuran April 1997) dan berada pada kedudukan 14,71 meter (pengukuran Maret 2000), seperti yang dapat dilihat pada lampiran Tabel B-1, B-2 maupun Tabel B-3.

Sehubungan dengan adanya keterbatasan kuantitas maupun kualitas data yang diperoleh, diambil beberapa asumsi (seperti yang telah diuraikan pada sub.bab. 4.5) dengan pertimbangan untuk menyederhanakan dan memudahkan dalam pemodelan.

### **5.2.2. Pemilihan Persamaan Matematika dan Pembuatan Program Komputer**

Model yang dipilih adalah model matematika, sedangkan pendekatan dan penyelesaiannya menggunakan metode numerik beda hingga, seperti yang telah diuraikan pada sub bab 3.4.3.

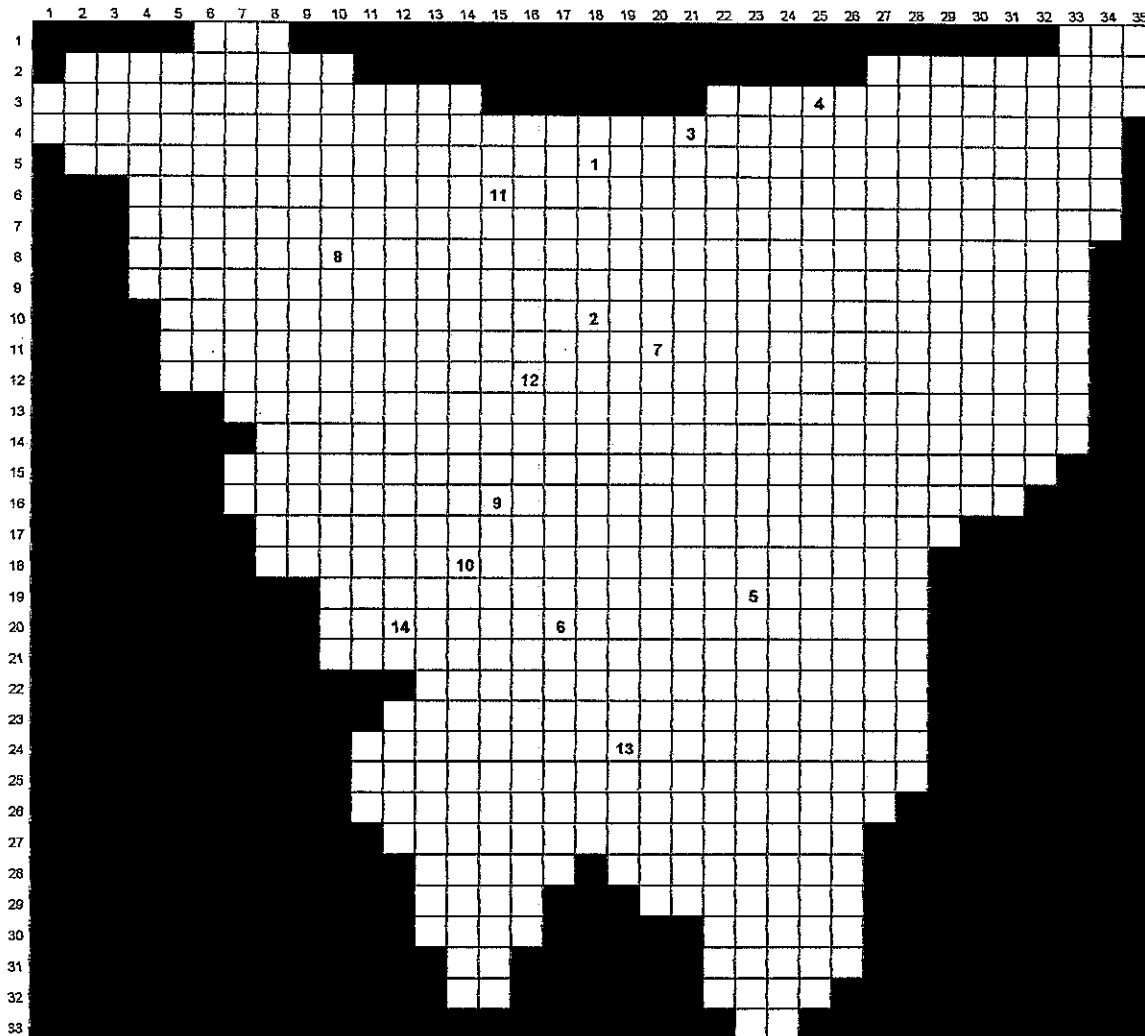
Untuk lebih menyederhanakan dalam proses pembuatan program komputer, dipilih paket program terapan PM3 (*Processing Modflow Version 3.0*), oleh WH. Chiang dan Kinzelbach (1993). PM3 pada dasarnya adalah program terapan pemodelan aliran airtanah yang memproses serangkaian data masukan, sedangkan keluarannya berupa konfigurasi kedudukan muka airtanah maupun dalam bentuk numerik (angka), seperti yang telah diuraikan pada sub bab 3.4.3.

### **5.2.3. Perancangan Model**

Pada perancangan model ini terdapat tiga tahapan pekerjaan, yaitu : diskritisasi, penentuan kondisi batas dan kondisi awal serta masukan data karakteristik daerah model. Berhubung daerah penelitian termasuk dataran yang cukup luas, pembuatan grid

dan selnya cukup banyak. Diskritisasi daerah model dibuat dengan bentuk jaring-jaring bujur sangkar dengan dimensi 1000 meter x 1000 meter.

Penentuan batas daerah model disesuaikan dengan kondisi batas fisik maupun anggapan-anggapan yang diambil. Hal ini dilakukan untuk memudahkan dalam melakukan pemodelan, diskritisasi dan penetapan kondisi batas seperti terlihat pada Gambar 5.1.



Gambar: 5.1.  
Diskritisasi dan Penetapan Batas Daerah Model

Sebagai data masukan pada perancangan model, mula-mula dimasukkan: jenis akuifer tertekan satu lapis dan seragam. Ketebalan akuifer bervariasi, konduktivitas sesuai dengan posisi sumur di masing-masing sel, debit dan kedudukan muka airtanah pada awal pengukuran. Data masukan simulasi muka airtanah secara lengkap, dapat dilihat pada Tabel 5.2. sampai dengan Tabel 5.4.

Tahapan perancangan model selanjutnya adalah melakukan kompilasi data masukan kedalam bahasa setandar ASCII, dengan menggunakan sub menu program *Transfer Model Data*. Kegagalan proses kompilasi ditunjukkan dengan pernyataan : "File data yang digunakan untuk menghitung tinggi tekanan masih kosong, atau file data tidak dapat diubah kedalam bahasa standar ASCII". Dalam keadaan ini, telah terjadi kesalahan saat memberikan data masukan yang dapat berupa, salah menggunakan satuan, nilai ataupun karakteristik tidak terdefinisi, besaran nominal terlalu kecil, kesalahan dalam mempersiapkan jumlah iterasi, maupun kesalahan yang lainnya.

Kegagalan pada proses kompilasi ini diatasi dengan melakukan pemeriksaan terhadap pemberian data masukan, baik berupa difinisi, estimasi jumlah iterasi, penggunaan satuan, maupun pemberian besaran nominal yang sesuai. Pemeriksaan dan perbaikan yang dilakukan ini diulang-ulang hingga proses kompilasi berhasil.

Proses kompilasi yang berhasil, ditandai dengan tidak munculnya pernyataan-pernyataan kegagalan dan proses berikutnya dapat dilaksanakan dengan benar. Pada saat proses kompilasi berhasil, program melanjutkan proses berikutnya, yaitu melakukan proses komputasi.

Tabel 5.2. Data Masukan Simulasi MAT TH. 1997 - 1998

No	Nama Sumur	Satuan Waktu	Koord. X, Y (Km)	Lebar Cell X & Y (m)	Tebal Lapisan (m)	Jenis Lapisan	Kond.Batas Aktif = 1 Non aktif = 0	Porositas (n)	Konduk. Hidrolik (m/hari)	Initial Head (m.aaml)	Debit Sumur (m <sup>3</sup> /hari)	Kedudukan Terakhir (m.aaml)	Beda Tekan (m)
1	Tongkol Utara	Hari	18,05	1000	165 (-80 & -245)	Tertekan	1 & 0	0,10	0,003	28,94	12,29	24,5	-4,44
2	Sunter Utara	Hari	18,10	1000	115 (-70 & -185)	Tertekan	1 & 0	0,10	0,055	21,45	12,29	21,10	-0,35
3	Walang Baru Utara	Hari	21,04	1000	115 (-125 & -240)	Tertekan	1 & 0	0,45	0,490	22,54	12,29	22,50	-0,04
4	Cakung Utara	Hari	25,03	1000	125 (-125 & -250)	Tertekan	1 & 0	0,10	1,790	22,01	12,29	22,00	-0,01
5	Duren Sawit Timur	Hari	23,19	1000	110 (-65 & -175)	Tertekan	1 & 0	0,10	0,790	21,15	23,83	21,10	-0,05
6	Pasar Minggu Selatan	Hari	17,21	1000	140 (-110 & -250)	Tertekan	1 & 0	0,36	2,730	22,01	20,86	22,00	-0,01
7	Tambun Utara	Hari	20,11	1000	140 (-60 & -200)	Tertekan	1 & 0	0,10	0,321	20,05	12,29	20,00	-0,05
8	Jeambar Barat	Hari	10,08	1000	110 (-190 & -300)	Tertekan	1 & 0	0,10	1,239	25,02	14,89	25,00	-0,02
9	Parkir Jaya Barat	Hari	15,16	1000	75 (-75 & -150)	Tertekan	1 & 0	0,10	0,302	20,12	14,89	20,00	-0,12
10	Jakarta Laud Pusat	Hari	14,18	1000	150 (-50 & -200)	Tertekan	1 & 0	0,20	0,049	21,44	13,93	21,10	-0,34
11	Astra Motor Barat	Hari	15,06	1000	125 (-90 & -215)	Tertekan	1 & 0	0,20	0,022	25,00	14,89	24,00	-1,00
12	DPR Kebon Sirih Pusat	Hari	16,12	1000	120 (-85 & -205)	Tertekan	1 & 0	0,10	1,062	20,02	13,93	20,00	-0,02
13	PT. Centex Timur	Hari	19,24	1000	65 (-50 & -115)	Tertekan	1 & 0	0,15	0,021	26,23	23,83	23,10	-3,13
14	Dharmawangsa Selatan	Hari	12,20	1000	140 (-75 & -215)	Tertekan	1 & 0	0,50	0,011	23,41	20,86	21,00	-2,41

Tabel 5.3. Data Masukan Simulasi MAT TH. 1998 - 1999

No	Nama Sumur	Satuan Waktu	Koord. X, Y (Km)	Lebar Cell X & Y (m)	Tebal Lapisan (m)	Jenis Lapisan	Kond.Batas Aktif = 1 Non aktif = 0	Porositas (n)	Kondukt. Hidrolik (m/hari)	Initial Head (m.aml)	Debit Sumur (m <sup>3</sup> /hari)	Kedudukan Terakhir (m.aml)	Beda Tekan (m)
1	Tongkol Utara	Hari	18,05	1000	165 (-80 & -245)	Tertekan	1 & 0	0,10	0,007	13,99	9,752	12,50	-1,49
2	Sunter Utara	Hari	18,10	1000	115 (-70 & -185)	Tertekan	1 & 0	0,55	0,030	11,01	9,752	10,50	-0,51
3	Walang Baru Utara	Hari	21,04	1000	115 (-125 & -240)	Tertekan	1 & 0	0,10	0,006	14,40	9,752	12,00	-2,40
4	Cakung Utara	Hari	25,03	1000	125 (-125 & -250)	Tertekan	1 & 0	0,10	0,065	11,22	9,752	11,00	-0,22
5	Duren Sawit Timur	Hari	23,19	1000	110 (-65 & -175)	Tertekan	1 & 0	0,15	0,011	16,07	16,044	13,75	-2,32
6	Pasar Minggu Selatan	Hari	17,21	1000	140 (-110 & -250)	Tertekan	1 & 0	0,15	0,350	13,11	21,430	13,03	-0,08
7	Tambun Utara	Hari	20,11	1000	140 (-60 & -200)	Tertekan	1 & 0	0,55	0,030	10,52	9,752	10,10	-0,42
8	Jelambar Barat	Hari	10,08	1000	110 (-190 & -300)	Tertekan	1 & 0	0,30	0,079	14,47	17,720	14,10	-0,37
9	Parkir Jaya Barat	Hari	15,16	1000	75 (-75 & -150)	Tertekan	1 & 0	0,15	0,053	12,01	17,720	11,20	-0,81
10	Jakarta Laud Pusat	Hari	14,18	1000	150 (-50 & -200)	Tertekan	1 & 0	0,10	0,006	14,39	11,600	12,20	-2,19
11	Astra Motor Barat	Hari	15,06	1000	125 (-90 & -215)	Tertekan	1 & 0	0,40	0,108	13,34	17,720	13,10	-0,24
12	DPR Kebon Sirih Pusat	Hari	16,12	1000	120 (-85 & -205)	Tertekan	1 & 0	0,35	0,093	10,23	11,600	10,04	-0,19
13	PT. Centex Timur	Hari	19,24	1000	65 (-50 & -115)	Tertekan	1 & 0	0,10	0,016	16,77	16,044	14,06	-2,71
14	Dharmawangsa Selatan	Hari	12,20	1000	140 (-75 & -215)	Tertekan	1 & 0	0,10	2,802	11,99	21,430	11,98	-0,01

Tabel 5.4. Data Masukan Simulasi MAT TH. 1999 – 2000

No	Nama Sumur	Satuan Waktu	Koord. X, Y ( Km )	Lebar Cell X & Y ( m )	Tebal Lapisan ( m )	Jenis Lapisan	Kond.Batas Aktif = 1 Non aktif = 0	Porositas (n)	Konduk. Hidrolik (m/hari)	Initial Head (m.aaml)	Debit Sumur (m3/hari)	Kedudukan Terakhir (m.aaml)	Beda Tekan (m)
1	Tongkol Utara	Hari	18,05	1000	165 (-80 & -245)	Tertekan	1 & 0	0,10	0,007	17,38	8,019	16,10	-1,28
2	Sunter Utara	Hari	18,10	1000	115 (-70 & -185)	Tertekan	1 & 0	0,15	0,030	15,05	8,019	14,75	-0,30
3	Walang Baru Utara	Hari	21,04	1000	115(-125 & -240)	Tertekan	1 & 0	0,15	1,276	17,11	8,019	17,10	-0,01
4	Cakung Utara	Hari	25,03	1000	125(-125 & -250)	Tertekan	1 & 0	0,10	0,069	18,96	8,019	18,10	-0,86
5	Duren Savit Timur	Hari	23,19	1000	110 (-65 & -175)	Tertekan	1 & 0	0,55	0,168	16,07	17,170	15,90	-0,17
6	Pasar Minggu Selatan	Hari	17,21	1000	140(-110 & -250)	Tertekan	1 & 0	0,10	2,230	14,91	17,063	14,90	-0,01
7	Tambun Utara	Hari	20,11	1000	140(-60 & -200)	Tertekan	1 & 0	0,10	1,120	15,92	8,019	15,90	-0,02
8	Jelambar Barat	Hari	10,08	1000	110(-190 & -300)	Tertekan	1 & 0	0,15	0,014	18,19	11,016	16,90	-1,29
9	Parkir Jaya Barat	Hari	15,16	1000	75 ( -75 & -150)	Tertekan	1 & 0	0,15	0,020	15,81	11,016	14,50	-1,31
10	Jakarta Land Pusat	Hari	14,18	1000	150 (-50 & -200)	Tertekan	1 & 0	0,15	0,019	14,71	11,378	14,00	-0,71
11	Astra Motor Barat	Hari	15,06	1000	125 (-90 & -215)	Tertekan	1 & 0	0,10	0,006	18,76	17,170	16,02	-2,74
12	DPR Kebon Sirih Pusat	Hari	16,12	1000	120 (-85 & -205)	Tertekan	1 & 0	0,15	0,067	14,86	17,063	14,60	-0,26
13	PT. Centex Timur	Hari	19,24	1000	65 (-50 & -115 )	Tertekan	1 & 0	0,30	0,127	16,41	17,170	16,03	-0,38
14	Dharmawangsa Selatan	Hari	12,20	1000	140(-75 & -215)	Tertekan	1 & 0	0,60	0,057	13,36	17,063	12,97	-0,39

#### 5.2.4. Komputasi Model

Komputasi yang dimaksud adalah menjalankan rancangan program yang pada dasarnya komputer akan melakukan perhitungan dengan sejumlah iterasi hingga dicapai keadaan yang konvergen. Apabila belum mencapai keadaan konvergen dapat diartikan proses komputasi yang dilakukan belum selesai.

Tahapan komputasi dilakukan berulang kali (dengan coba-coba), dengan melakukan evaluasi dan perbaikan terhadap rancangan model hingga didapatkan hasil yang sama atau mendekati kesamaan dengan data pengukuran.

Berikut adalah serangkaian proses komputasi yang dilakukan terhadap rancangan model tahun 1997-1998, dengan tahapan sebagai berikut:

- **Simulasi A.**

Batas daerah model disesuaikan dengan batas fisik daerah penelitian, yaitu :

Batas utara: ketinggian yang diketahui, batas timur: lapis kedap air, batas selatan: aliran yang diketahui, batas barat: lapis kedap air. Data masukan pada setiap sel dimana terdapat sumur, sesuai dengan karakteristik sumur masing-masing, lihat Tabel 5.2, sementara *initial head* pada setiap sel yang tidak terdapat sumur, dicoba dengan *initial head* terbesar, yaitu 28,94 m.

#### **Hasil komputasi :**

- a. Keadaan konvergen tercapai setelah melakukan enam kali iterasi
- b. Konfigurasi kontur permukaan tekanan piezometris dapat dilihat pada Gambar 5.2. sedangkan kalibrasinya pada Tabel 5.5.
- c. Permukaan tekanan piezometris maximum = 28,94 m.aml, dan minimumnya adalah = 25,63 m.aml.
- d. Nilai kesalahan model: kesalahan rata-rata ME = - 5,8 m; kesalahan mutlak rata-rata MAE = 5,8 m; dan kesalahan akar kuadrat rata-rata RMS = 6,16 m.

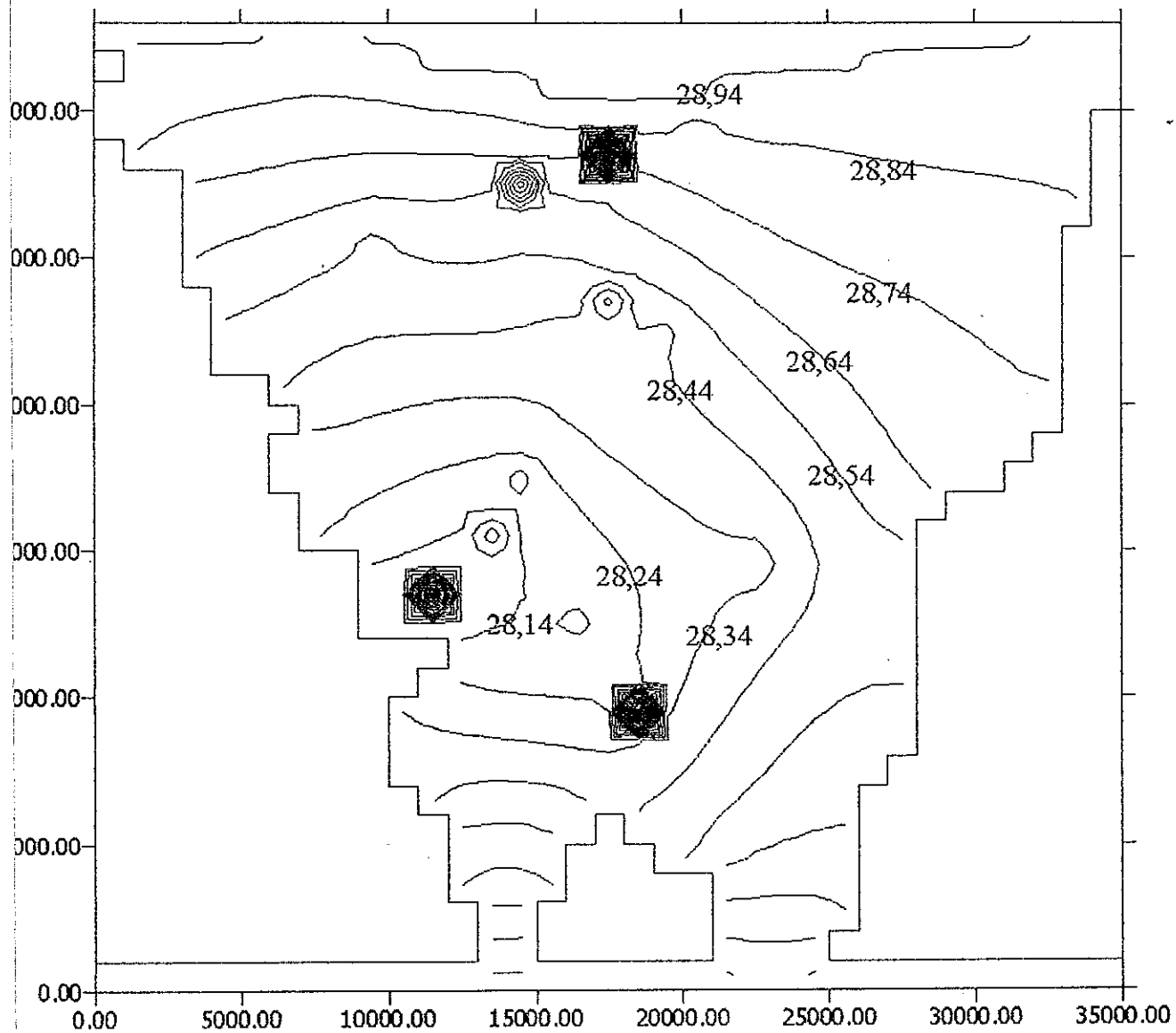
Tabel 5.5. Kalibrasi Model Tahun 1997-1998 Simulasi A

No	Nama Sumur	Koord. X,Y (Km)	HP (m)	HK (m)	(HP-HK) (m)
1	Tongkol Utara	18,05	24,50	25,63	-1,13
2	Sunter Utara	18,10	21,10	28,20	-7,10
3	Walang Baru Utara	21,04	22,50	28,81	-6,31
4	Cakung Utara	25,03	22,00	28,86	-6,86
5	Duren Sawit Timur	23,19	21,10	28,26	-7,16
6	Pasar Minggu Selatan	17,21	22,00	28,11	-6,11
7	Tambun Utara	10,11	20,00	28,41	-8,41
8	Jelambar Barat	10,08	25,00	28,51	-3,51
9	Parkir Jaya Barat	15,16	20,00	27,23	-7,23
10	Jakarta Land Pusat	14,18	21,00	27,84	-6,84
11	Astra Motor Barat	15,06	24,00	27,95	-3,95
12	DPR Kebon Sirih	16,12	20,00	28,34	-8,34
13	PT Centex Timur	19,24	23,10	26,06	-2,96
14	Dharmawangsa Selatan	12,20	21,00	26,34	-5,34

KONTUR PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS HASIL KOMPUTASI  
 MODEL TAHUN 1997-1998, INTERVAL = 0,10 M.  
 PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS MAXIMUM = 28,94 M.AML  
 PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS MINIMUM = 25,63 M.AML.

BATAS DAERAH MODEL :

Utara: Ketinggian yang diketahui, Timur: Lapis kedap air  
 Selatan: Aliran yang diketahui, Barat: Lapis kedap air



METER

Keterangan:

Lokasi sumur dapat dilihat pada Gambar: 5.1.

Gambar : 5.2.

Konfigurasi Kontur Hasil Komputasi Model Tahun 1997-1998 Simulasi A

- **Simulasi B.**

Batas daerah model dirubah menjadi :

Batas utara: lapis kedap air, batas timur lapis kedap air, batas selatan: lapis kedap air dan batas barat : lapis kedap air. Data masukan setiap sel dimana terdapat sumur, sesuai dengan karakteristik sumur, lihat Tabel 5.2, sementara *initial head* pada setiap sel dimana tidak terdapat sumur dicoba dengan *intial head* terbesar, yaitu 28,94 meter.

**Hasil komputasi :**

- Keadaan konvergen tercapai setelah melakukan tujuh kali iterasi
- Konfigurasi kontur permukaan tekanan piezometris dapat dilihat pada Gambar 5.3. sedangkan kalibrasinya pada Tabel 5.6.
- Permukaan tekanan piezometris maximum = 28,54 m.aml, dan minimumnya adalah = 24,74 m.aml.
- Nilai kesalahan model: kesalahan rata-rata ME = -5,5 m; kesalahan mutlak rata-rata MAE = 5,5 m; kesalahan akar kuadrat rata-rata RMS = 5,98 m.

Tabel 5.6. Kalibrasi Model Tahun 1997-1998 Simulasi B

No	Nama Sumur	Koord. X,Y (Km)	HP (m)	HK (m)	(HP-HK) (m)
1	Tongkol Utara	18,05	24,50	24,74	-0,24
2	Sunter Utara	18,10	21,10	27,59	-6,49
3	Walang Baru Utara	21,04	22,50	27,93	-5,43
4	Cakung Utara	25,03	22,00	28,14	-6,14
5	Duren Sawit Timur	23,19	21,10	27,94	-6,84
6	Pasar Minggu Selatan	17,21	22,00	27,75	-5,75
7	Tambun Utara	20,11	20,00	27,89	-7,89
8	Jelambar Barat	10,08	25,00	27,78	-2,78
9	Parkir Jaya Barat	15,16	20,00	28,45	-8,45
10	Jakarta Land Pusat	14,18	21,00	27,42	-6,42
11	Astra Motor Barat	15,06	24,00	27,12	-3,12
12	DPR Kebon Sirih	16,12	20,00	28,47	-8,47
13	PT Centex Timur	19,24	23,10	27,93	-4,83
14	Dharmawangsa Selatan	12,20	21,00	25,91	-4,91

KONTUR PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS HASIL KOMPUTASI  
 MODEL TAHUN 1997-1998, INTERVAL = 0,10 M.

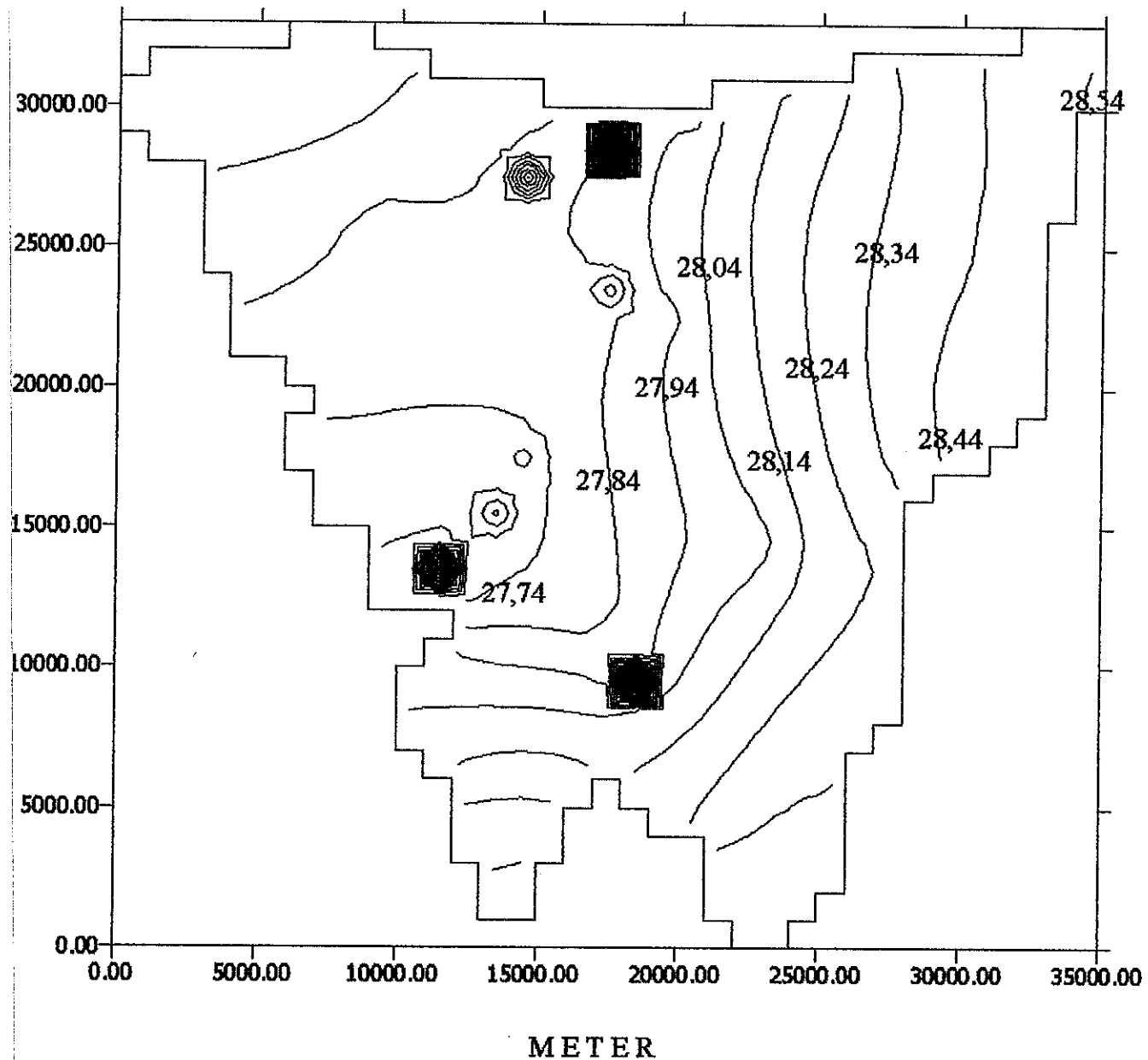
PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS MAXIMUM = 28,54 M.AML

PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS MINIMUM = 24,74 M.AML.

BATAS DAERAH MODEL :

Utara: Lapis kedap air, Timur: Lapis kedap air

Selatan: Lapis kedap air, Barat: Lapis kedap air.



Gambar : 5.3.

Konfigurasi Kontur Hasil Komputasi Model Tahun 1997-1998 Simulasi B

- **Simulasi C.**

Batas daerah model sesuai dengan batas phisik daerah penelitian.

Batas utara : ketinggian yang diketahui, timur lapis kedap air, selatan : aliran yang diketahui dan barat : lapis kedap air. Data masukan setiap sel dimana terdapat sumur, sesuai dengan karakteristik sumur, lihat Tabel 5.2. sementara *initial head* pada setiap sel dimana tidak terdapat sumur dicoba dengan intial head rata-rata, yaitu 22,81 m.

**Hasil komputasi :**

- Keadaan konvergen tercapai setelah melakukan tujuh kali iterasi
- Konfigurasi kontur permukaan tekanan piezometris dapat dilihat pada gambar 5.4. sedangkan kalibrasinya pada Tabel 5.7.
- Permukaan tekanan piezometris maximum = 22,81 m.aml, dan minimumnya adalah = 19,59 m.aml.
- Nilai kesalahan model : kesalahan rata-rata ME = - 0,81 m; kesalahan mutlak rata-rata MAE = 1,91 m; kesalahan akar kuadrat rata-rata RMS = 2,27 m.

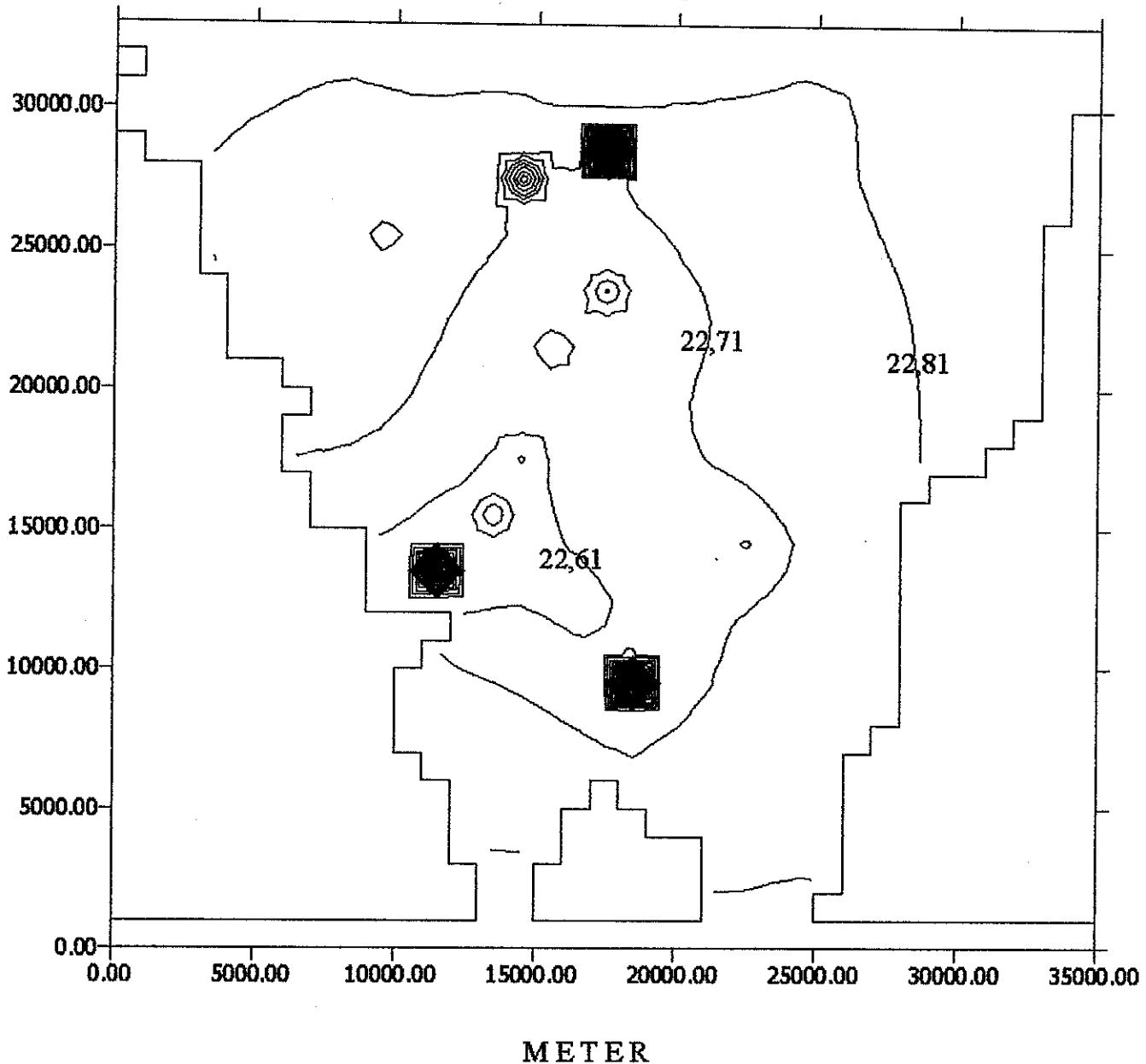
Tabel 5.7. Kalibrasi Model Tahun 1997-1998 Simulasi C .

No	Nama Sumur	Koord. X,Y (Km)	HP (m)	HK (m)	(HP-HK) (m)
1	Tongkol Utara	18,05	24,50	19,59	4,91
2	Sunter Utara	18,10	21,10	22,80	-1,70
3	Walang Baru Utara	21,04	22,50	22,72	-0,22
4	Cakung Utara	25,03	22,00	22,76	-0,76
5	Duren Sawit Timur	23,19	21,10	22,58	-1,48
6	Pasar Minggu Selatan	17,21	22,00	22,53	-0,53
7	Tambun Utara	20,11	20,00	22,60	-2,60
8	Jelambar Barat	10,08	25,00	22,67	2,33
9	Parkir Jaya Barat	15,16	20,00	22,48	-2,48
10	Jakarta Land Pusat	14,18	21,00	23,30	-2,30
11	Astra Motor Barat	15,06	24,00	22,00	2,00
12	DPR Kebon Sirih	16,12	20,00	22,56	-2,56
13	PT Centex Timur	19,24	23,10	20,39	2,71
14	Dharmawangsa Selatan	12,20	21,00	20,81	0,19

KONTUR PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS HASIL KOMPUTASI  
MODEL TAHUN 1997-1998, INTERVAL = 0,10 M.  
PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS MAXIMUM = 22,81 M.AML.  
PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS MINIMUM = 19,59 M.AML.

BATAS DAERAH MODEL:

Utara: Ketinggian yang diketahui, Timur: Lapis kedap air  
Selatan: Aliran yang diketahui, Barat: Lapis kedap air.



Gambar : 5.4.

Konfigurasi Kontur Hasil Komputasi Model Tahun 1997-1998 Simulasi C

- **Simulasi D.**

Batas daerah model dirubah dengan :

Batas utara : lapis kedap air, timur: lapis kedap air, selatan : lapis kedap air dan batas barat : lapis kedap air. Data masukan setiap sel dimana terdapat sumur, sesuai dengan karakteristik sumur, lihat Tabel 5.2, sedangkan *initial head* pada setiap sel dimana tidak terdapat sumur dicoba dengan *intial head* rata-rata, yaitu 22,81 m.

**Hasil komputasi :**

- Keadaan konvergen tercapai setelah melakukan tiga kali iterasi
- Konfigurasi kontur permukaan tekanan piezometris dapat dilihat pada gambar 5.5. sedangkan kalibrasinya pada Tabel 5.8.
- Permukaan tekanan piezometris maximum = 22,81 m.aml. dan minimumnya adalah = 19,46 m.aml.
- Nilai kesalahan model : kesalahan rata-rata ME = - 0,2 m; kesalahan mutlak rata-rata MAE = 1,63 m; kesalahan akar kuadrat rata-rata RMS = 2,04 m.

Tabel 5.8. Kalibrasi Model Tahun 1997-1998 Simulasi D

No	Nama Sumur	Koord. X,Y (Km)	HP (m)	HK (m)	(HP-HK) (m)
1	Tongkol Utara	18,05	24,50	19,46	5,04
2	Sunter Utara	18,10	21,10	22,36	-1,26
3	Walang Baru Utara	21,04	22,50	22,53	-0,03
4	Cakung Utara	25,03	22,00	-22,65	-0,65
5	Duren Sawit Timur	23,19	21,10	22,58	-1,48
6	Pasar Minggu Selatan	17,21	22,00	22,53	-0,53
7	Tambun Utara	20,11	20,00	22,58	-2,58
8	Jelambar Barat	10,08	25,00	22,69	2,31
9	Parkir Jaya Barat	15,16	20,00	22,48	-2,48
10	Jakarta Land Pusat	14,18	21,00	22,30	-1,30
11	Astra Motor Barat	15,06	24,00	21,94	2,06
12	DPR Kebon Sirih	16,12	20,00	22,55	-2,55
13	PT Centex Timur	19,24	23,10	22,74	0,36
14	Dharmawangsa Selatan	12,20	21,00	20,81	0,19

KONTUR PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS HASIL KOMPUTASI  
MODEL TAHUN 1997-1998, INTERVAL = 0,10 M.

PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS MAXIMUM = 22,81 M.AML

PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS MINIMUM = 19,46 M.AML

BATAS DAERAH MODEL :

Utara: Lapis Kedap Air, Timur: Lapis Kedap Air

Selatan: Lapis Kedap Air, Barat: Lapis Kedap Air

The figure is a contour plot showing the piezometric pressure surface. The horizontal axis (X-axis) and vertical axis (Y-axis) both range from 0.00 to 35000.00 meters, with major tick marks every 5000.00 meters. The plot area is bounded by a stepped line representing the model's extent. Inside this boundary, several contour lines are drawn, representing pressure levels. Three specific values are labeled on the plot: 22.61, 22.71, and 22.81. The value 22.61 is located near the center-left, 22.71 is near the center, and 22.81 is near the center-right. Three black squares are placed on the plot at approximately (12000, 13000), (18000, 28000), and (18000, 9000) in meter coordinates.

Gambar : 5.5.

Konfigurasi Kontur Hasil Komputasi Model Tahun 1997-1998 Simulasi D

- **Simulasi E.**

Batas daerah model dirubah dengan :

Batas utara : lapis kedap air, timur: lapis kedap air, selatan : lapis kedap air dan barat : lapis kedap air. Data masukan setiap sel dimana terdapat sumur, sesuai dengan karakteristik sumur, lihat Tabel 5.2, sedangkan *initial head* pada setiap sel dimana tidak terdapat sumur dicoba dengan *intial head* sebesar 23,65 m.

**Hasil komputasi:**

- Keadaan konvergen tercapai setelah melakukan tujuh kali iterasi.
- Konfigurasi kontur permukaan tekanan piezometris dapat dilihat pada gambar 5.6. sedangkan kalibrasinya pada Tabel 5.9.
- Pwermukaan tekanan piezometris maximum = 23,30 m.aml dan minimumnya adalah = 19.48 m.aml.
- Nilai kesalahan model: kesalahan rata-rata ME = - 0,462 m; kesalahan mutlak rata-rata MAE = 1,445 m; kesalahan akar kuadrat rata-rata RMS = 1,608 m.

Tabel 5.9. Kalibrasi Model Tahun 1997-1998 Simulasi E

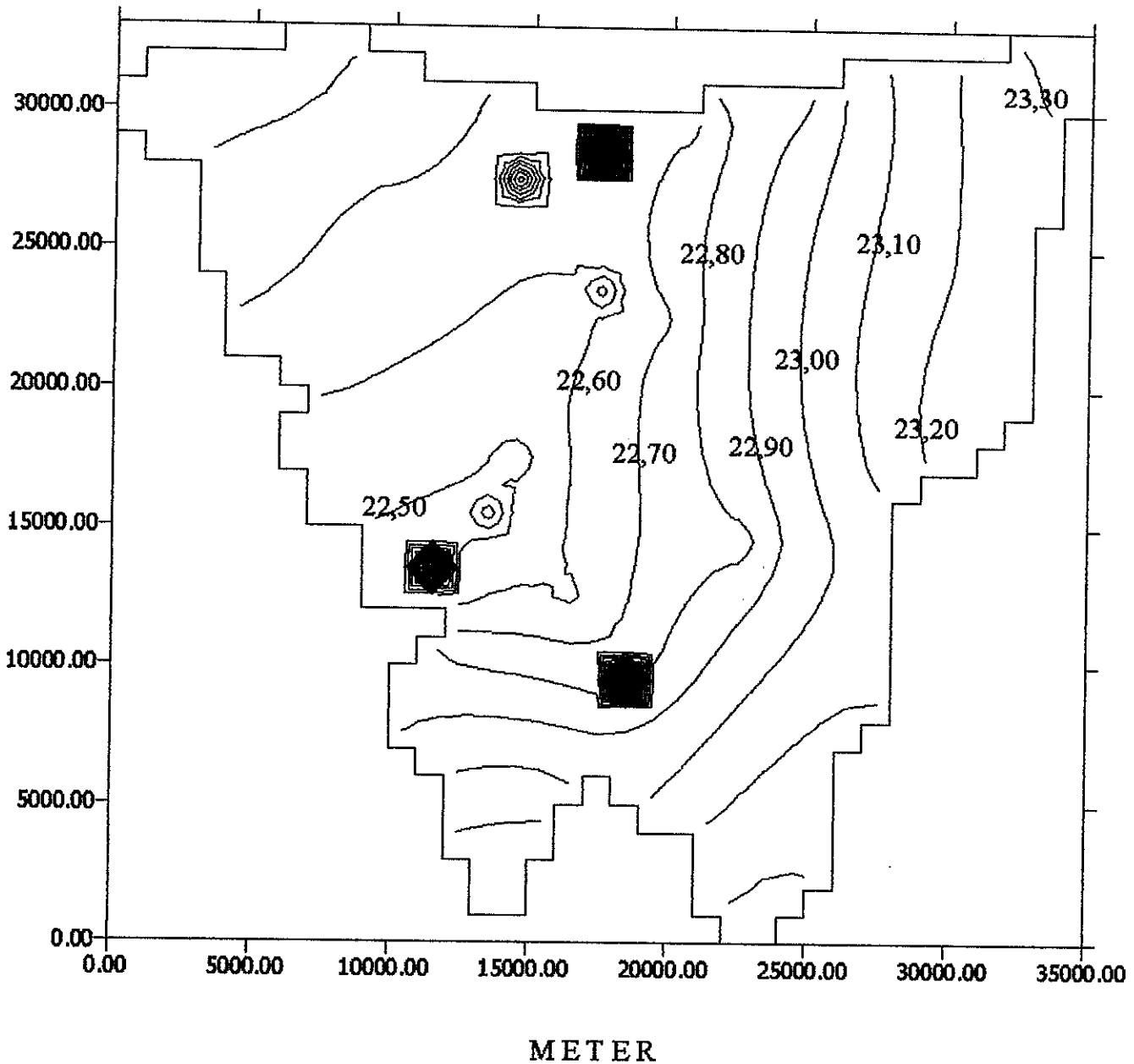
No	Nama Sumur	Koord. X,Y (Km)	HP (m)	HK (m)	(HP-HK) (m)
1	Tongkol Utara	18,05	24,50	22,58	1,92
2	Sunter Utara	18,10	21,10	23,22	-2,12
3	Walang Baru Utara	21,04	22,50	22,63	-0,13
4	Cakung Utara	25,03	22,00	22,84	-0,84
5	Duren Sawit Timur	23,19	21,10	22,72	-1,62
6	Pasar Minggu Selatan	17,21	22,00	22,56	-0,56
7	Tambun Utara	20,11	20,00	22,63	-2,63
8	Jelambar Barat	10,08	25,00	22,60	2,40
9	Parkir Jaya Barat	15,16	20,00	22,40	-2,40
10	Jakarta Land Pusat	14,18	21,00	22,22	-1,22
11	Astra Motor Barat	15,06	24,00	21,90	2,10
12	DPR Kebon Sirih	16,12	20,00	22,51	-2,51
13	PT Centex Timur	19,24	23,10	20,54	2,56
14	Dharmawangsa Selatan	12,20	21,00	22,42	-1,42

KONTUR PERMUKAAN TEKanan PIEZOMETRIS HASIL KOMPUTASI  
 MODEL TAHUN 1997-1998, INTERVAL = 0,10 M.  
 PERMUKAAN TEKanan PIEZOMETRIS MAXIMUM = 23,30 M.AML.  
 PERMUKAAN TEKanan PIEZOMETRIS MINIMUM = 19,48 M.AML.

BATAS DAERAH MODEL:

Utara: Lapis Kedap Air, Timur: Lapis Kedap Air

Selatan: Lapis Kedap Air, Barat : Lapis Kedap Air



Gambar: 5.6.

Konfigurasi Kontur Hasil Komputasi Model Tahun 1997-1998 Simulasi E

Dari lima kali simulasi yang telah dilakukan, hasil komputasi yang mendekati kesamaan dengan data pengukuran (dengan nilai kesalahan terkecil) adalah pada simulasi E, sehingga pemodelan pada simulasi E dianggap hasil pemodelan yang sudah benar. Dengan kata lain kedudukan permukaan tekanan piezometris pada daerah penelitian pada tahun 1997-1998 adalah nilai kedudukan permukaan tekanan piezometris yang dihasilkan dari pemodelan aliran airtanah tahun 1997-1998 pada simulasi E.

Dengan cara yang sama, proses komputasi dilakukan terhadap model tahun 1998-1999 maupun pada model tahun 1999-2000, masing-masing hasil komputasi dalam bentuk konfigurasi kontur dapat dilihat pada Gambar 5.7 dan pada Gambar 5.8, adapun hasil komputasi dalam bentuk angka (laporan numerik) dapat dilihat pada lampiran F-1, F-2, maupun F-3.

KONTUR PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS HASIL KOMPUTASI  
MODEL TAHUN 1998-1999, INTERVAL = 0,20 M.

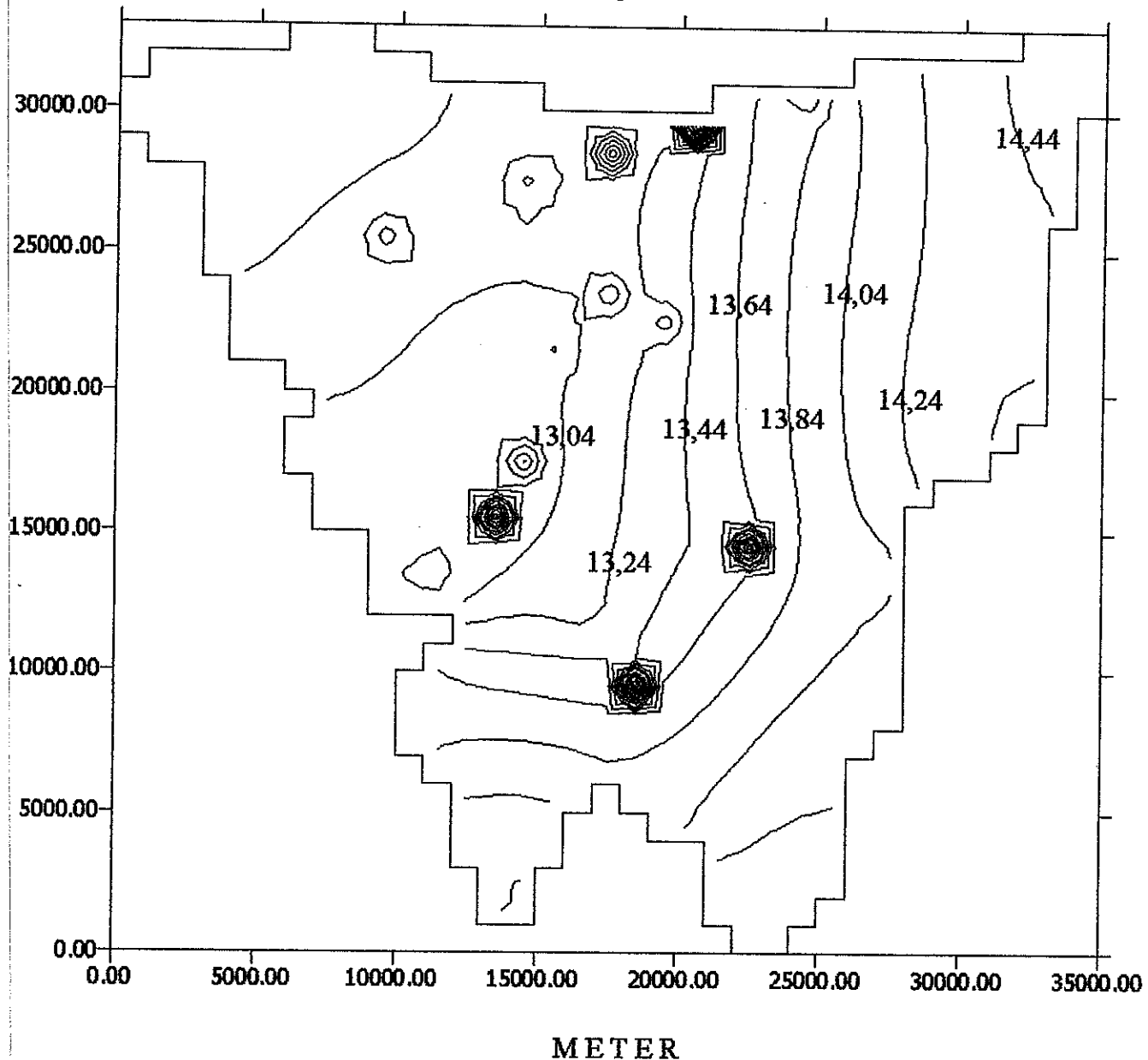
PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS MAXIMUM = 14,44 M.AML

PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS MINIMUM = 11,00 M.AML.

BATAS DAERAH MODEL :

Utara: Lapis kedap air, Timur: Lapis kedap air

Selatan: Lapis kedap air, Barat: Lapis kedap air.



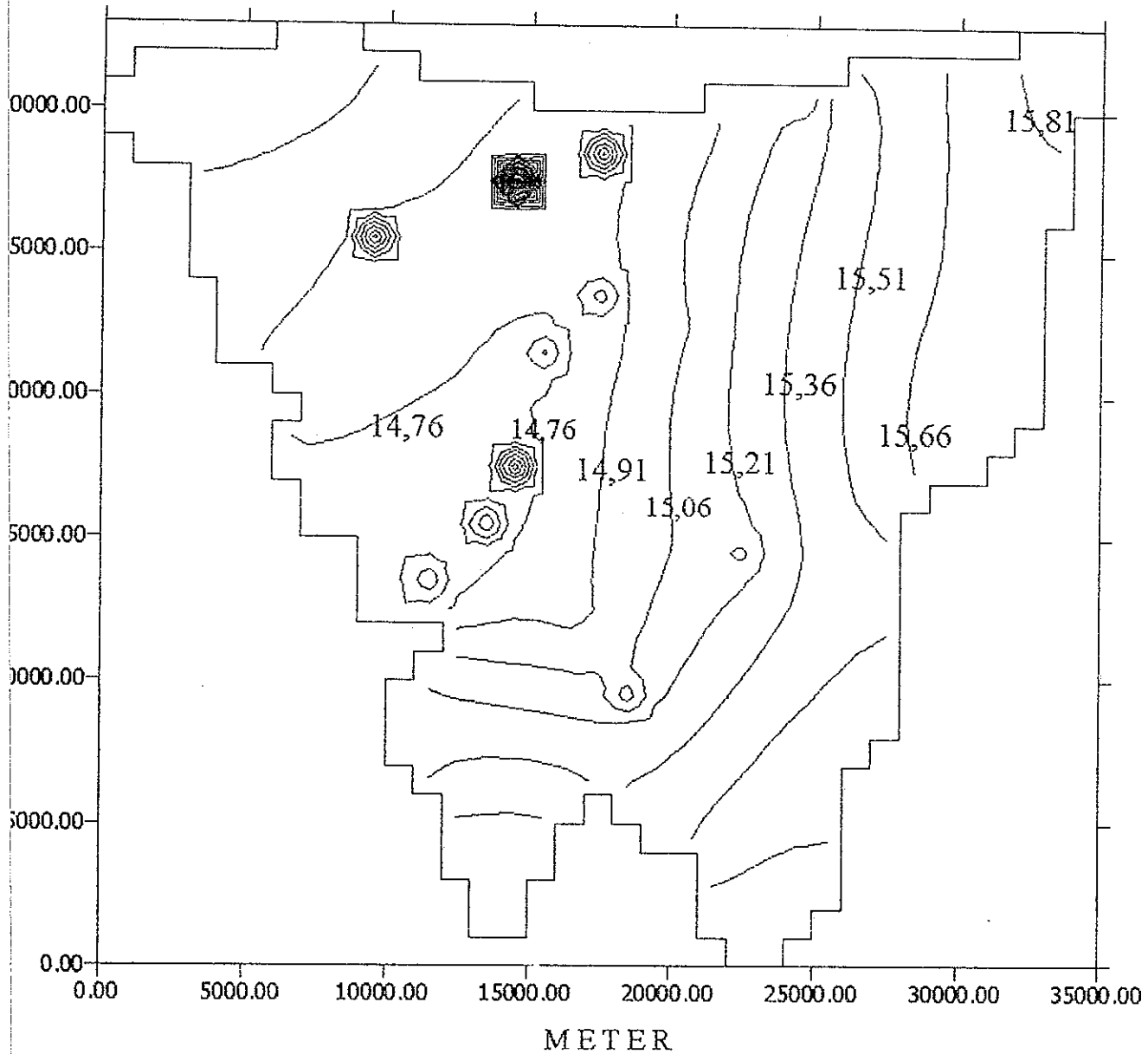
Gambar: 5.7.

Konfigurasi Kontur Hasil Komputasi Model Tahun 1998-1999

KONTUR PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS HASIL KOMPUTASI  
 MODEL TAHUN 1999-2000, INTERVAL = 0,15 M.  
 PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS MAXIMUM = 15,81 M.AML  
 PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS MINIMUM = 11,84 M.AML.

BATAS DAERAH MODEL:

Utara: Lapis kedap air, Timur: Lapis kedap air  
 Selatan: Lapis kedap air, Barat: Lapis kedap air



Keterangan:  
 Lokasi sumur dapat dilihat pada Gambar: 5.1.

Gambar: 5.8.  
 Konfigurasi Kontur Hasil Komputasi Model Tahun 1999-2000

### 5.3. Kalibrasi

Didalam melakukan pengujian benar tidaknya proses komputasi, dilakukan pekerjaan memperbandingkan antara hasil pengukuran (HP) dengan hasil komputasi (HK). Apabila hasil komputasi sudah sesuai dengan data hasil pengukuran, maka model yang dimaksud dinyatakan benar. Sedangkan apabila antara hasil komputasi dan hasil pengukuran terdapat perbedaan, maka perlu dilakukan perubahan dan perbaikan parameter-parameter data masukan. Selanjutnya dilakukan simulasi dan iterasi hingga diperoleh nilai kedudukan muka airtanah yang sama, atau yang mengandung nilai kesalahan terkecil. Proses kalibrasi model tahun 1999-2000 dilakukan sebagai berikut:

- **Kalibrasi I.**

Batas daerah model sesuai dengan batas phisik daerah penelitian :

Batas utara: ketinggian yang diketahui, timur: lapis kedap air, selatan: aliran yang diketahui dan barat: lapis kedap air. Data masukan pada setiap sel dimana terdapat sumur, sesuai dengan karakteristik sumur, sedangkan data pada setiap sel yang tidak terdapat sumur diambil harga rata-rata.

#### **Hasil Komputasi :**

- a. Konvergen setelah melakukan iterasi tujuh kali
- b. Kontur permukaan tekanan piezometris dapat dilihat pada Gambar 5.9.
- c. Permukaan tekanan piezometris maximum = 16,25 m.aml dan minimumnya adalah = 13,24 m.aml.

Kedudukan muka airtanah seperti tersebut diatas, relatif dekat dengan data lapangannya. Permasalahannya, konfigurasi konturnya mengelompok dan tidak menyebar keseluruh daerah model. Sebagai akibatnya, kedudukan muka airtanah proses kalibrasi I kurang komunikatif dan kurang berdaya guna, untuk itu perlu dilakukan perubahan dan perbaikan ulang terhadap rancangan model, dengan kalibrasi II.

KONTUR PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS HASIL  
KOMPUTASI MODEL TAHUN 1999-2000, INTERVAL = 0,20 M

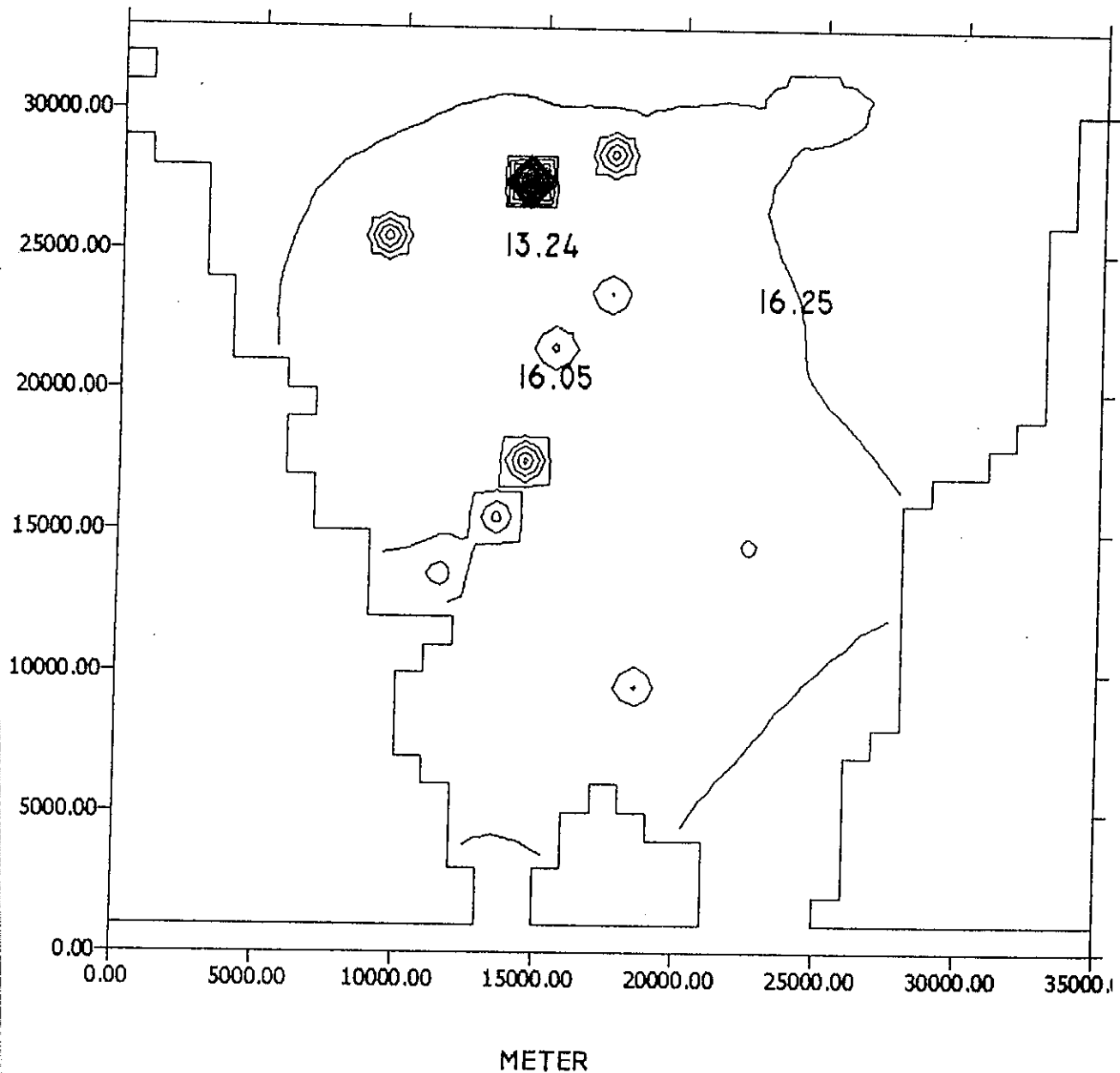
PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS MAXIMUM = 16,25 M.AML

PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS MINIMUM = 13,24 M.AML

BATAS DAERAH MODEL:

Utara: Ketinggian yang diketahui, Timur: Lapis kedap air

Selatan: Ketinggian yang diketahui, Barat: Lapis kedap air



Gambar: 5.9.

Konfigurasi Kontur Model Tahun 1999-2000 Kalibrasi I

- **Kalibrasi II.**

**Kondisi batas daerah model dirubah menjadi :**

Batas utara: lapis kedap air, batas timur: lapis kedap air, batas selatan: lapis kedap air dan batas barat: lapis kedap air. Data masukan pada setiap sel dimana terdapat sumur, sesuai dengan karakteristik sumur masing-masing, sedangkan data pada setiap sel yang tidak terdapat sumur diambil nilai rata-rata.

**Hasil komputasi:**

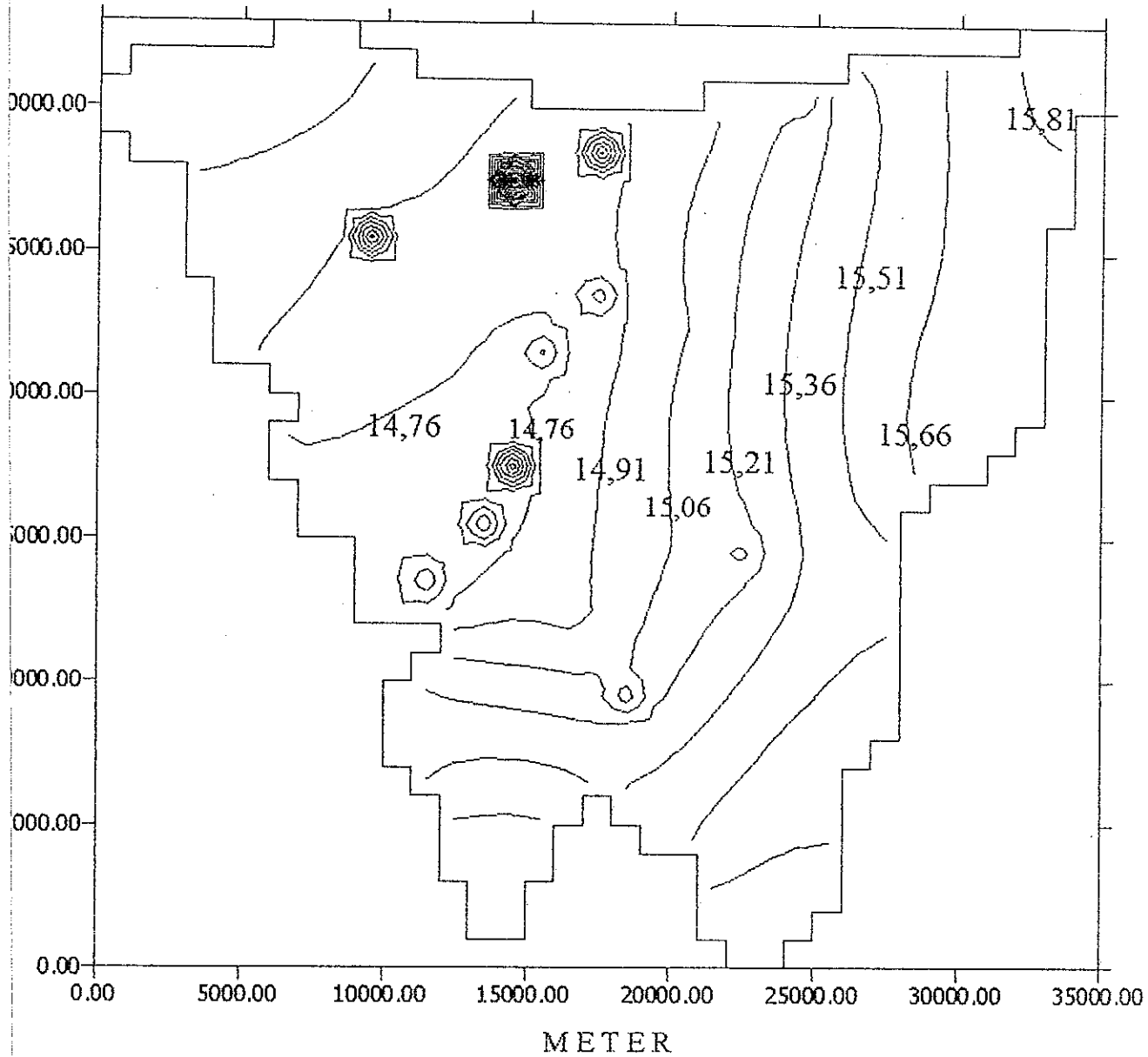
- a. Konvergen setelah melakukan iterasi tujuh kali
- b. Kontur permukaan tekanan piezometris dapat dilihat pada Gambar 5.10.
- c. Permukaan tekanan piezometris maximum = 15,81 m.aml dan minimumnya adalah = 11,84 m.aml.

Kedudukan permukaan tekanan piezometris tersebut diatas sedikit lebih jauh dari data lapangan, tetapi konfigurasi konturnya tidak mengelompok dan menyebar keseluruh daerah model. Hasil ini lebih komunikatif dan berdaya guna dalam menginterpretasikan keadaan permukaan tekanan piezometris di daerah model. Dalam upaya mendapatkan hasil pemodelan yang sempurna, dicoba lagi dengan proses kalibrasi III, dengan merubah dan memperbaiki parameter yang lain.

KONTUR PERMUKAAN TEKanan PIEZOMETRIS HASIL KOMPUTASI  
 MODEL TAHUN 1999-2000, INTERVAL = 0,15 M.  
 PERMUKAAN TEKanan PIEZOMETRIS MAXIMUM = 15,81 M.AML  
 PERMUKAAN TEKanan PIEZOMETRIS MINIMUM = 11,84 M.AML.

BATAS DAERAH MODEL:

Utara: Lapis kedap air, Timur: Lapis kedap air  
 Selatan: Lapis kedap air, Barat: Lapis kedap air



Keterangan:

Lokasi sumur dapat dilihat pada Gambar. 5.1.

Gambar. 5.10.  
 Konfigurasi Kontur Model Tahun 1999-2000 Kalibrasi II

- **Kalibrasi III.**

Merubah nilai konduktivitas hidraulik.

Nilai konduktivitas hidraulik pada setiap sel dimana terdapat sumur, sesuai dengan karakteristik sumur masing-masing, sedangkan nilai konduktivitas hidraulik pada setiap sel yang tidak ada sumurnya, dirancang dengan memberikan nilai konduktivitas hidraulik terbesar diantara 14 sumur, yaitu senilai 2,230 m/hari.

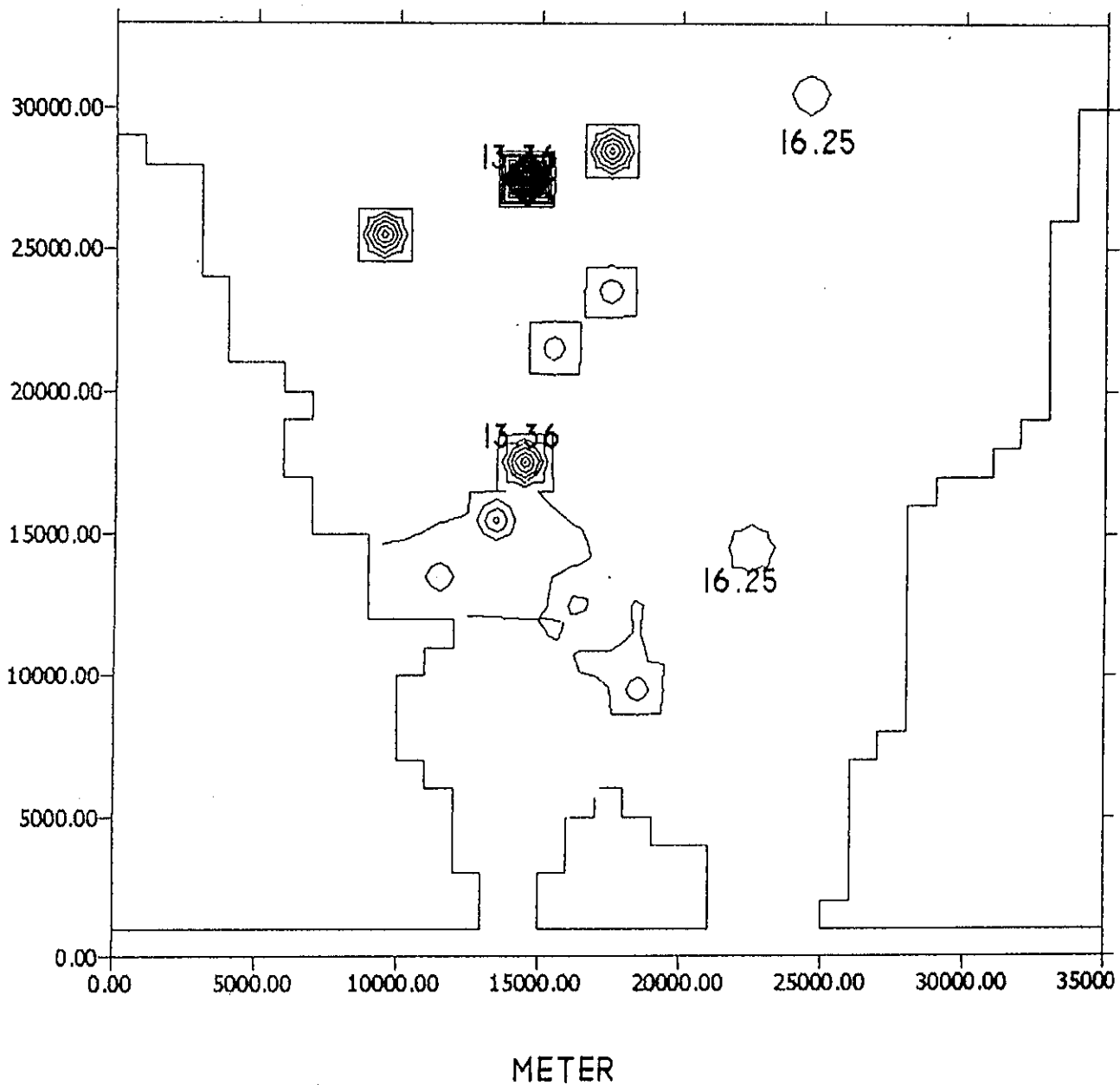
**Hasil Komputasi :**

- a. Konvergen setelah melakukan iterasi tujuh kali
- b. Kontur permukaan tekanan piezometris dapat dilihat pada Gambar 5.11.
- c. Permukaan tekanan piezometris maximum = 16,25 m.aml dan minimumnya adalah = 13,36 m.aml

Kedudukan permukaan tekanan piezometris seperti tersebut diatas lebih jauh dari data lapangan, dan konfigurasi konturnya mengelompok dan tidak menyebar keseluruh daerah model, lihat Gambar 5.11, untuk itu perlu dilakukan perubahan dan perbaikan ulang dengan proses kalibrasi IV.

KONTUR PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS HASIL  
 KOMPUTASI MODEL TAHUN 1999-2000, INTERVAL = 0,20 M  
 PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS MAXIMUM = 16,25M.AML  
 PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS MINIMUM = 13,36 M.AML  
 BATAS DAERAH MODEL:

Utara : Ketinggian yang diketahui, Timur : Lapis Kedap Air  
 Selatan : Aliran yang diketahui, Barat : Lapis Kedap Air



Gambar: 5.11.  
 Konfigurasi Kontur Model Tahun 1999-2000 Kalibrasi III

- **Kalibrasi IV.**

Merubah nilai konduktivitas hidraulik.

Nilai konduktivitas hidraulik pada setiap sel dimana terdapat sumur, sesuai dengan karakteristik sumur masing-masing, sedangkan nilai konduktivitas hidraulik pada setiap sel yang tidak ada sumurnya, dirancang dengan memberikan nilai konduktivitas hidraulik terkecil diantara 14 sumur, yaitu senilai 0,006 m/hari.

**Hasil Komputasi :**

- a. Konvergen setelah melakukan tujuh kali iterasi
- b. Kontur permukaan tekanan piezometris dapat dilihat pada Gambar 5.12.
- c. Permukaan tekanan piezometris maximum = 16,25 m.aml dan minimumnya adalah = - 65,06 m.bml.

Kedudukan permukaan tekanan piezometris hasil komputasi seperti tersebut diatas, menunjukkan keadaan yang makin jauh dari data lapangan, lihat Gambar 5.12. Untuk itu perlu perubahan dan perbaikan ulang dengan proses kalibrasi V.

KONTUR PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS HASIL  
KOMPUTASI MODEL TAHUN 1999-2000, INTERVAL = 5 M.

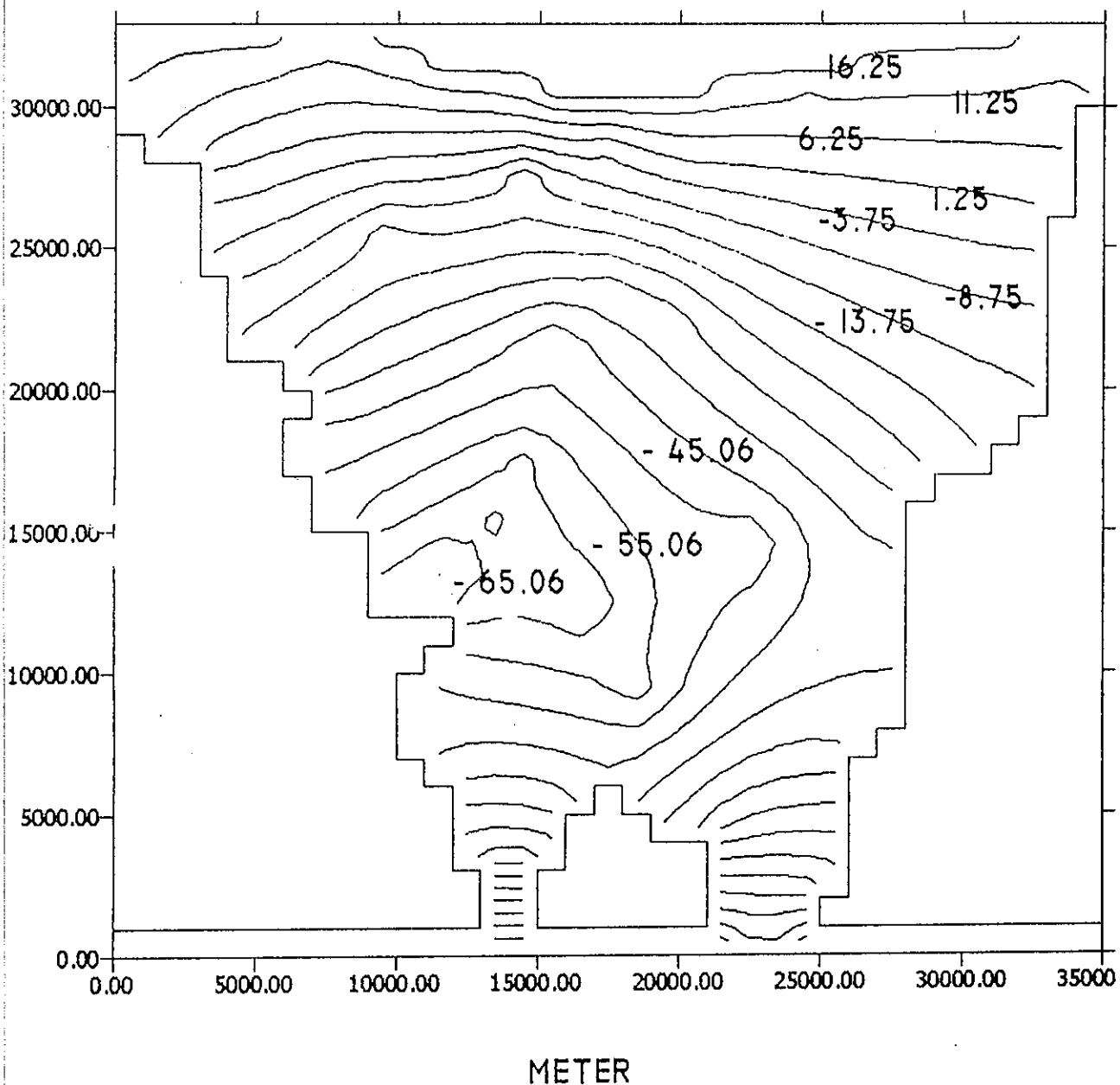
PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS MAXIMUM = 16,25M.AML

MUKA AIRTAHAN MINIMUM = - 65,06 M.BML.

BATAS DAERAH MODEL :

Utara : Ketinggian yang diketahui, Timur : Lapis Kedap Air

Selatan: Aliran yang diketahui; Barat : Lapis Kedap Air



Gambar: 5.12  
Konfigurasi Kontur Model Tahun 1999-2000 Kalibrasi IV

- **Kalibrasi V.**

Nilai konduktivitas hidraulik pada setiap sel dimana terdapat sumur, sesuai dengan karakteristik sumur masing-masing, sedangkan nilai konduktivitas hidraulik pada setiap sel yang tidak ada sumurnya, dirancang dengan memberikan nilai konduktivitas hidraulik rata-rata dari 14 sumur yang ada, yaitu sebesar 0,372 m/hari.

**Hasil Komputasi :**

- Konvergen setelah melakukan tujuh kali iterasi
- Kontur permukaan tekanan piezometris dapat dilihat pada Gambar 5.13, sedangkan kalibrasinya pada Tabel 5.10.
- Permukaan tekanan piezometris maximum = 15,81 m.aml dan minimumnya adalah = 11,84 m.aml.
- Nilai kesalahan model : kesalahan rata-rata ME = 0,932; kesalahan mutlak rata-rata MAE = 1,025 m; kesalahan akar kuadrat rata-rata RMS = 1,434 m

Tabel 5.10. Hasil Kalibrasi V Model Tahun 1999-2000.

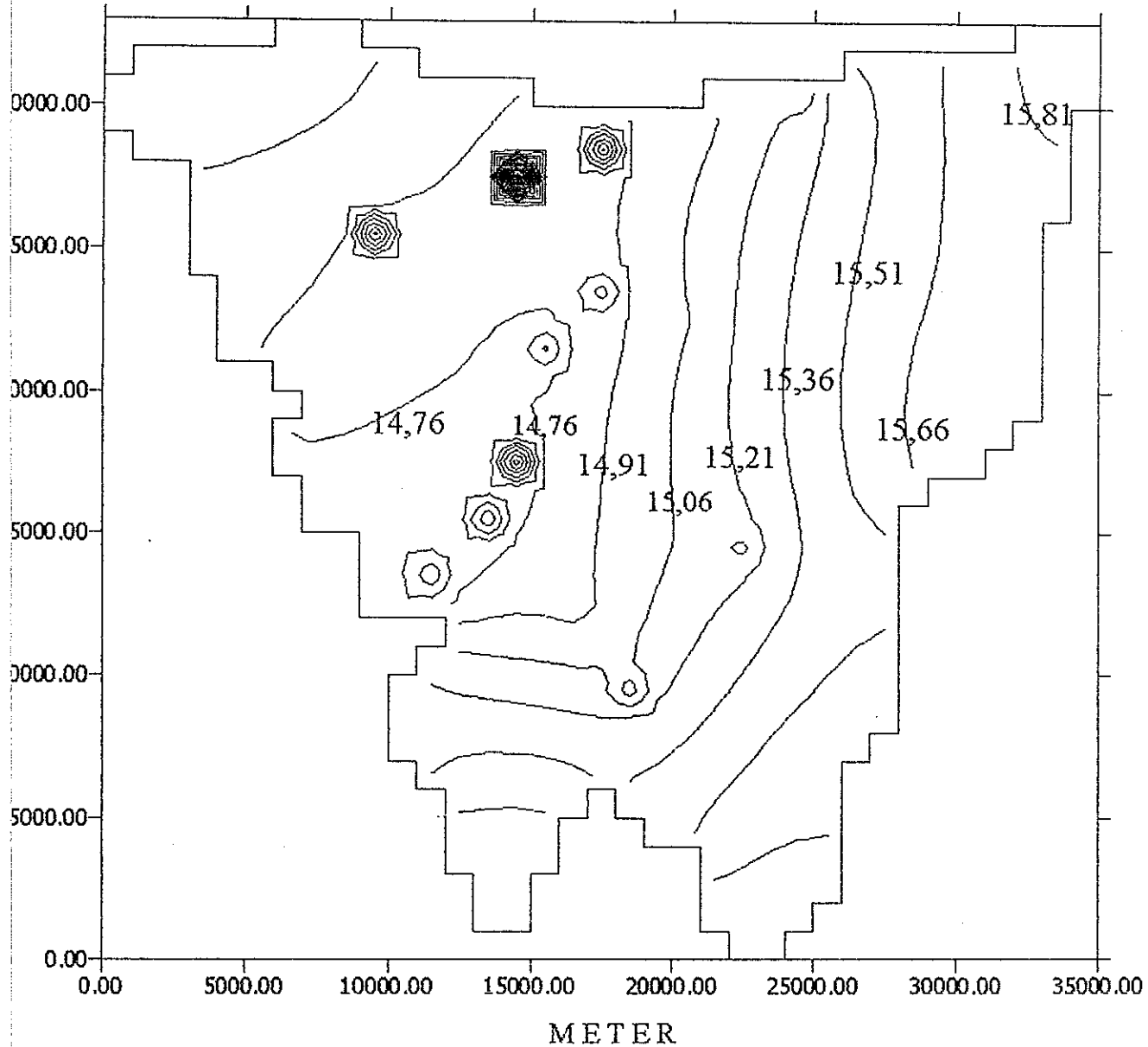
No	Nama Sumur	Koord. X,Y (Km)	HP (m)	HK (m)	(HP-HK) (m)
1	Tongkol Utara	18,05	16,10	13,91	2,19
2	Sunter Utara	18,10	14,75	14,47	0,28
3	Walang Baru Utara	21,04	17,10	14,90	2,20
4	Cakung Utara	25,03	18,10	15,01	3,09
5	Duren Sawit Timur	23,19	15,90	14,95	0,95
6	Pasar Minggu Selatan	17,21	14,90	14,75	0,15
7	Tambun Utara	20,11	15,90	14,78	1,12
8	Jelambar Barat	10,08	16,90	14,98	1,92
9	Parkir Jaya Barat	15,16	14,10	13,89	0,21
10	Jakarta Land Pusat	14,18	14,00	13,70	0,30
11	Astra Motor Barat	15,06	16,02	15,59	0,43
12	DPR Kebon Sirih	16,12	14,60	14,36	0,24
13	PT Centex Timur	19,24	16,03	14,76	1,27
14	Dharmawangsa Selatan	12,20	12,97	14,27	-1,30

KONTUR PERMUKAAN TEKanan PIEZOMETRIS HASIL KOMPUTASI  
 MODEL TAHUN 1999-2000, INTERVAL = 0,15 M.  
 PERMUKAAN TEKanan PIEZOMETRIS MAXIMUM = 15,81 M.AML  
 PERMUKAAN TEKanan PIEZOMETRIS MINIMUM = 11,84 M.AML.

BATAS DAERAH MODEL:

Utara: Lapis kedap air, Timur: Lapis kedap air

Selatan: Lapis kedap air, Barat: Lapis kedap air



Keterangan:

Lokasi sumur dapat dilihat pada Gambar : 5.1.

Gambar : 5.13  
 Konfigurasi Kontur Model Tahun 1999-2000 Kalibrasi V

Penentuan nilai rata-rata kesalahan dilakukan dengan menggunakan Persamaan (4.3), (4.4) dan (4.5), adapun hasilnya adalah sebagai berikut:

- Kesalahan rata-rata ME = 0,932 meter
- Kesalahan mutlak rata-rata MAE = 1,025 meter
- Kesalahan akar kuadrat rata-rata RMS = 1,434 meter

Dengan cara yang sama dilakukan proses kalibrasi terhadap model tahun 1998-1999 dan terhadap model tahun 1997-1998. Adapun hasil kalibrasi modelnya dapat dilihat pada Tabel 5.11 dan 5.12. berikut ini :

Tabel 5.11. Hasil Kalibrasi Model Tahun 1998 – 1999.

No	Nama Sumur	Koord. X,Y (Km)	HP (m)	HK (m)	(HP-HK) (m)
1	Tongkol Utara	18,05	12,50	12,08	0,42
2	Sunter Utara	18,10	10,50	12,79	-2,29
3	Walang Baru Utara	21,04	12,00	11,00	1,00
4	Cakung Utara	25,03	11,00	13,53	-2,53
5	Duren Sawit Timur	23,19	13,75	11,91	1,84
6	Pasar Minggu Selatan	17,21	13,03	13,13	-0,10
7	Tambun Utara	20,11	10,10	13,21	-3,11
8	Jelambar Barat	10,08	14,10	12,84	1,26
9	Parkir Jaya Barat	15,16	11,20	12,39	-1,19
10	Jakarta Land Pusat	14,18	12,20	11,34	0,86
11	Astra Motor Barat	15,06	13,10	12,89	0,21
12	DPR Kebon Sirih	16,12	10,04	12,91	-2,87
13	PT Centex Timur	19,24	14,06	11,06	3,00
14	Dharmawangsa Selatan	12,20	11,98	12,88	-0,90

Kesalahan rata-rata ME = 0,314 meter.

Kesalahan rata-rata mutlak MAE = 1,341 meter

Kesalahan akar kuadrat rata-rata RMS = 1,541 meter

Tabel 5.12. Hasil Kalibrasi Model Tahun 1997 – 1998.

No	Nama Sumur	Koord. X,Y (Km)	HP (m)	HK (m)	(HP-HK) (m)
1	Tongkol Utara	18,05	24,50	22,58	1,92
2	Sunter Utara	18,10	21,10	23,22	-2,12
3	Walang Baru Utara	21,04	22,50	22,63	-0,13
4	Cakung Utara	25,03	22,00	22,84	-0,84
5	Duren Sawit Timur	23,19	21,10	22,72	-1,62
6	Pasar Minggu Selatan	17,21	22,00	22,56	-0,56
7	Tambun Utara	20,11	20,00	22,63	-2,63
8	Jelambar Barat	10,08	25,00	22,60	2,40
9	Parkir Jaya Barat	15,16	20,00	22,40	-2,40
10	Jakarta Land Pusat	14,18	21,00	22,22	-1,22
11	Astra Motor Barat	15,06	24,00	21,90	2,10
12	DPR Kebon Sirih	16,12	20,00	22,51	-2,51
13	PT Centex Timur	19,24	23,10	20,54	2,56
14	Dharmawangsa Selatan	12,20	21,00	22,42	-1,42

Kesalahan rata-rata ME = 0,462 meter

Kesalahan mutlak rata-rata MAE = 1,445 meter

Kesalahan akar kuadrat rata-rata RMS = 1,608 meter

Rangkuman hasil perhitungan nilai rata-rata kesalahan pemodelan aliran airtanah, dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13. Rangkuman Hasil Perhitungan Nilai Rata-rata Kesalahan Model.

No.	Jenis Kesalahan	Model 1997 – 1998 ( m )	Model 1998 – 1999 ( m )	Model 1999 – 2000 ( m )
1	ME	0,462	0,314	0,932
2	MAE	1,445	1,341	1,025
3	RMS	1,608	1,541	1,434

## Evaluasi Model

Dari simulasi dan kalibrasi yang dilakukan terhadap model tahun 1997-1998 model tahun 1998-1999 dan terhadap model tahun 1999-2000, dapat disimpulkan,

1. Nilai kesalahan rata-rata (ME) terkecil, terdapat pada model tahun 1997-1998, tetapi karena nilai rata-rata ini merupakan nilai yang relatif (saling meniadakan), maka kurang sah untuk dipergunakan dalam menilai ketelitian model.
2. Nilai kesalahan rata-rata mutlak (MAE) terkecil, terdapat pada model tahun 1999-2000, yaitu sebesar 1,025 m.
3. Nilai kesalahan akar kuadrat rata-rata (RMS) terkecil, terdapat pada model tahun 1999-2000, yaitu sebesar 1,434 m.
4. Berdasar pada nilai MAE dan RMS seperti tersebut diatas, model aliran airtanah tahun 1999-2000 merupakan model aliran airtanah dengan kesalahan terkecil, sehingga dapat dinyatakan sebagai model yang sudah benar.
5. Untuk memprediksi kedudukan muka airtanah pada tahun 2004 model yang dipergunakan adalah model tahun 1999-2000.

#### 5.4. Prediksi Kedudukan Muka Airtanah Pada Tahun 2004

Model aliran airtanah yang telah terkalibrasi (model tahun 1999-2000 Kalibrasi V) hasilnya dapat dinyatakan benar dan salah satu kegunaannya adalah untuk memprediksi keadaan aliran airtanah pada masa yang akan datang. Dalam memprediksi kedudukan muka airtanah pada tahun 2004, sebagai parameter peubahnya adalah debit pengambilan airtanah.

Debit pengambilan airtanah, diperkirakan meningkat 5% per tahun (Tirtomihardjo dan Maimun, 1994), dihitung sejak tahun 2000, sehingga pada tahun 2004 akan terjadi peningkatan debit pengambilan sebesar 20%.

Pemodelan aliran airtanah tahun 2004 (untuk menentukan kedudukan muka airtanah pada tahun 2004) dilakukan dengan membuat rancangan model yang sama dengan rancangan model tahun 1999-2000, satu-satunya parameter yang diubah adalah parameter debit pengambilan airtanah, yaitu meningkat sebesar 20% dari debit pengambilan airtanah tahun 1999-2000.

Dengan rancangan model tahun 2004, selanjutnya dilakukan komputasi dan hasilnya adalah :

- .Permukaan tekanan piezometris maximum = 12,56 m.aml
- Permukaan tekanan piezometris minimum = 9,26 m.aml.

Adapun konfigurasi kontur permukaan tekanan piezometris hasil komputasi model prediksi tahun 2004, dapat dilihat pada gambar 5.14. berikut ini.

KONTUR PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS HASIL  
PREDIKSI TAHUN 2004, INTERVAL = 0,20 M

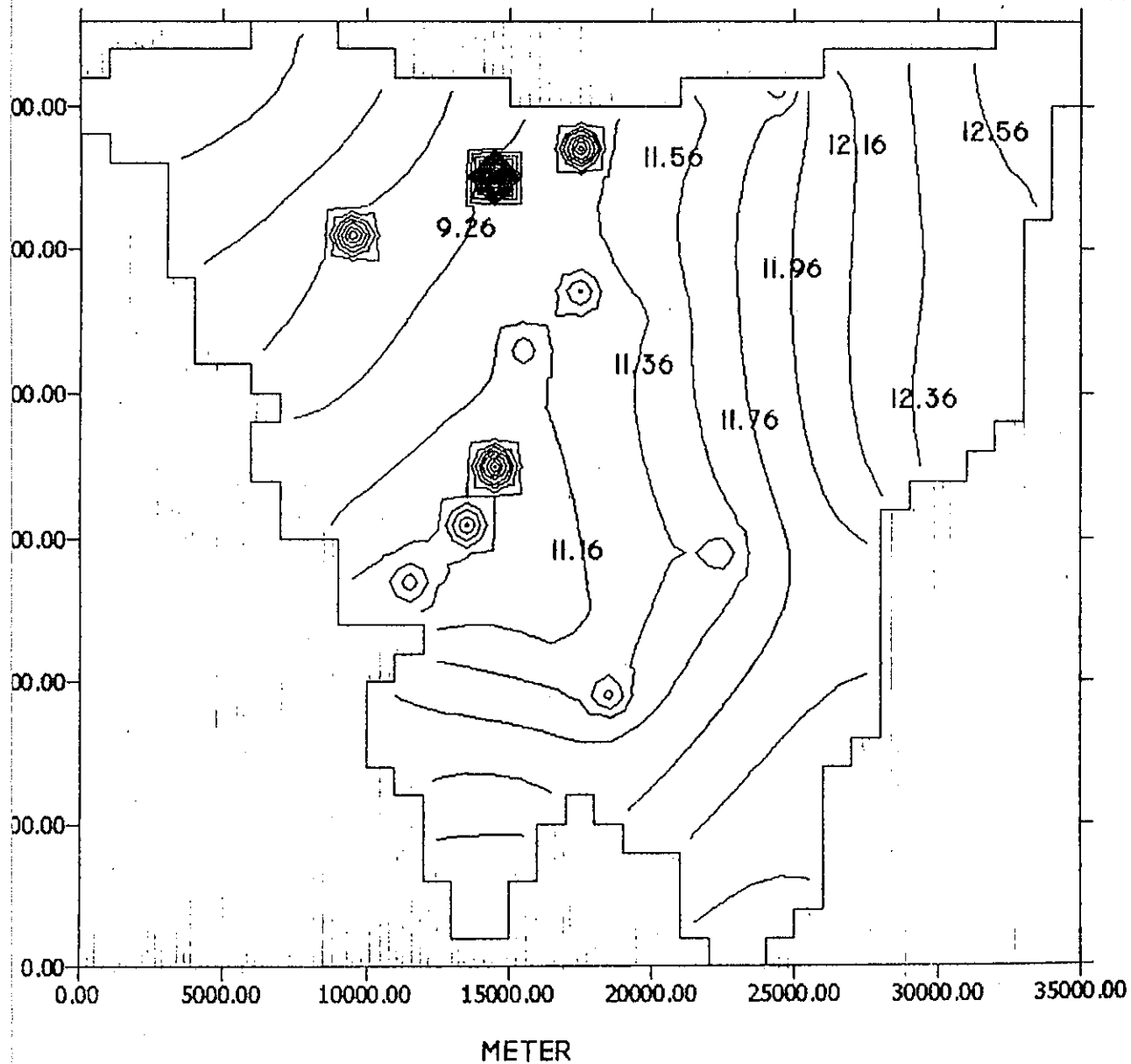
PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS MAXIMUM = 12,56M.AML

PERMUKAAN TEKANAN PIEZOMETRIS MINIMUM = 9,26 M.AML

BATAS DAERAH MODEL :

Utara: Lapis kedap air, Timur: Lapis kedap air

Selatan: Lapis kedap air, Barat : Lapis kedap air



Gambar: 5.14.  
Konfigurasi Kontur Prediksi Tahun 2004

## VI. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 6.1. Geometri, Karakteristik dan Sistem Akuifer

Daerah penelitian dengan batas geografis  $106^{\circ}.30'$  –  $107^{\circ}.00'$  bujur timur dan  $6^{\circ}.00'$  –  $6^{\circ}.30'$  lintang selatan, termasuk daerah datar dengan kelandaian 1,2%, terdapat curah hujan 1500 mm – 2000 mm/thn.

Dengan jumlah sumur bor produksi lebih dari 3.200 buah yang tersebar di lima wilayah, masing-masing 956 buah di Jakarta Selatan, 759 buah di Jakarta Timur, 625 di Jakarta Barat, 625 di Jakarta Selatan, 464 di Jakarta Pusat dan 431 di Jakarta Utara. Sumur-sumur tersebut dengan kedalaman antara 115 hingga 300 m. Adapun debit pengambilannya mulai dari  $8.010 \text{ m}^3/\text{hari}$  hingga  $23,83 \text{ m}^3/\text{hari}$  sementara kedudukan muka airtanah maksimumnya 28,94 m.aml dan kedudukan muka airtanah minimumnya 10,52 m.aml. Kedudukan muka airtanah ini diperoleh dari pengukuran yang dilakukan terhadap 14 sumur pantau yang ada di daerah penelitian.

Dari logging pemboran dan serbuk bornya, jenis lapisan bawah tanahnya bervariasi mulai dari tanah penutup, breksi, batu gamping, batuan lempung, pasir, pasir lempungan dan lempung hingga batuan beku. Adapun dari korelasi penampang vertikalnya terlihat bahwa jenis akuifernya tertekan (ditutup dan dialasi lapis kedap air) dan berada pada kedalaman rata-rata 90 meter bawah muka laut. Ketebalan lapis akuifernya berkisar antara 65 meter hingga 165 meter.

Dari debit pengambilan airtanah dan penurunan kedudukan muka airtanah, dapat ditentukan nilai Transmisivitas, yang dalam hal ini nilainya berkisar antara  $312,2 \text{ m}^2/\text{hari}$  hingga  $0.75 \text{ m}^2/\text{hari}$ . Dengan nilai Transmisivitas yang besar, berarti potensi debitnya besar dan dengan potensi debit yang besar, maka potensi penurunan muka

airtanahnya kecil. Hal ini dapat terlihat di sumur-sumur Pasar Minggu, Tambun Timur maupun di Walang Baru Utara .

Variasi nilai Transmisivitas dengan perbedaan yang mencolok ini akibat dari pengukuran kedudukan muka airtanah kurang akurat (penyebaran dan perbandingan antara sumur pantau dan sumur bor produksi tidak seimbang) dan pengukuran debitnya dari meter penggunaan air (bukan dari Sumur Uji).

Akibat variatifnya Transmisivitas baik dari segi nilai maupun penyebarannya, mengakibatkan perbedaan konfigurasi kontur muka airtanah menjadi mencolok. Dengan tambahan data dari penampang vertikal, terlihat jelas bahwa diskripsi lapis bawah tanahnya bervariasi, baik dari jenis maupun ketebalannya. Dengan keadaan sistim yang demikian, lebih cocok jika daerah penelitian ini dinyatakan sebagai berlapisan banyak dan tidak seragam (*Multi Layer*).

## **6.2. Penentuan Kedudukan Muka Airtanah**

Pada pembuatan model konsep, dijumpai kendala yang disebabkan oleh karena konfigurasi hidrogeologinya kurang lengkap, seperti halnya sumber airtanahnya, arah aliran maupun sistim alirannya. Dalam pelaksanaannya dianggap mengalir dari arah selatan ke arah utara dan mengalir sebagai akibat dari perbedaan tinggi tekan besar ke tinggi tekan yang lebih kecil, tidak ada debit imbuhan buatan, debit yang keluar sama dengan debit yang masuk .

Kesulitan yang dijumpai pada saat melakukan diskritisasi karena daerah penelitiannya cukup besar, sehingga masing-masing sel berdimensi 1000m x 1000 m dengan jumlah  $35 \times 35 = 1150$  sel. Dengan dimensi sel yang besar, hasil yang diperoleh kasar, karena kurang teliti dalam menangkap perbedaan-perbedaan karakteristik yang ada di daerah model.

Dari tiga rangkaian data yang dijadikan data masukan dalam pemodelan aliran airtanah, setelah melalui proses kalibrasi masih terdapat perbedaan nilai, secara rinci dapat dilihat pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Rangkuman Hasil Proses Kalibrasi Model

No.	Jenis Kesalahan	Model 1997 – 1998 ( m )	Model 1998 – 1999 ( m )	Model 1999 – 2000 ( m )
1	ME	0,462	0,314	0,932
2	MAE	1,445	1,341	1,025
3	RMS	1,608	1,541	1,434

Dari proses kalibrasi yang hasilnya disajikan pada tabel 6.1, terlihat bahwa masih terdapat nilai kesalahan yang cukup besar. Hal ini menunjukkan bahwa proses pemodelan aliran airtanah yang telah dilakukan masih belum sempurna.

Akan tetapi, karena hasil tersebut merupakan proses kalibrasi dengan nilai kesalahan yang terkecil, maka proses kalibrasi dianggap cukup dan model yang dihasilkan dinyatakan sudah benar.

Kurang telitinya hasil proses pemodelan aliran airtanah ini, disebabkan oleh :

1. Kuantitas data yang sangat minim, dari 1150 sel hanya terdapat data 14 sel.
2. Kualitas data yang kurang baik, dimana penentuan debit pengambilan air hanya dari pencatatan meter penggunaan air, bukan dari sumur uji.
3. Diskritisasi yang terlalu besar.
4. Banyak memasukkan asumsi atau anggapan seperti, aliran steady, akuifer seragam dan tunggal.
5. Penentuan nilai perbedaan tekanan untuk dapat konvergen pada saat perancangan model terlalu besar

### 6.3. Prediksi Kedudukan Muka Airtanah Tahun 2004.

Dari hasil prediksi kedudukan muka airtanah tahun 2004 terdapat beberapa hal yang sangat menarik untuk dijadikan bahan pembahasan, yaitu :

1. Konfigurasi kontur permukaan tekanan piezometris prediksi 2004 sama dengan konfigurasi kontur permukaan tekanan piezometris tahun 2000. Hal ini dapat diartikan, bahwa penetapan kondisi batas, kondisi awal maupun nilai-nilai karakteristik yang dipergunakan dalam pemodelan sudah sesuai dengan keadaan lapangan, dengan kata lain, bahwa pekerjaan pemodelan aliran airtanah yang dilakukan selama ini berarti sudah benar.
2. Kedudukan permukaan tekanan piezometris tahun 2000, jika dibandingkan terhadap kedudukan prediksi tahun 2004 terdapat selisih :
  - Permukaan maximum di daerah model  $15,81 \text{ m} - 12,56 \text{ m} = 3,25 \text{ m}$
  - Permukaan minimum di daerah model  $11,84 \text{ m} - 9,26 \text{ m} = 2,58 \text{ m}$

Sehubungan model aliran airtanah tahun 2000, masih mengandung nilai rata-rata kesalahan sebesar 1,434 meter, maka penurunan yang terjadi pada kedudukan muka airtanah prediksi tahun 2004 perlu dikoreksi, yaitu :

- Penurunan permukaan maximum  $3,25 + 1,434 = 4,68 \text{ m}$  atau  $3,25 - 1,434 = 1,82 \text{ m}$
- Penurunan permukaan minimum  $2,58 + 1,434 = 4,014 \text{ m}$  atau  $2,58 - 1,434 = 1,15 \text{ m}$

Karena terdapat dua nilai akibat adanya kesalahan rata-rata, untuk lebih amannya diambil nilai yang paling membahayakan, yaitu terjadi penurunan 4,68 m pada permukaan maximum dan terjadi penurunan 4,041 m pada permukaan minimum.

Sehingga keadaan terakhir kedudukan permukaan tekanan piezometris prediksi pada tahun 2004 adalah :

- Permukaan maximum tahun 2004 adalah  $15,81 \text{ m} - 4,68 \text{ m} = 11,13 \text{ m.aml}$
- Permukaan minimum tahun 2004 adalah  $11,84 \text{ m} - 4,041 \text{ m} = 7,83 \text{ m.aml}$

Dengan adanya prediksi penurunan permukaan tekanan piezometris sebesar 4,68 meter, dapat diambil langkah-langkah untuk mengantisipasinya, dengan tujuan dampak negatif adanya peningkatan debit pengambilan airtanah dapat dihindari.

## VII. KESIMPULAN DAN SARAN

### 7.1. Kesimpulan

Dari analisis sistim akuifer dan pemodelan aliran airtanah yang telah dilakukan, dapat disimpulkan :

1. Akuifer daerah penelitian adalah tertekan dengan jenis tanah pasir dan pasir lanauan, bagian atas tertutup lempung kedap air, demikian juga bagian bawahnya, terletak pada kedalaman antara 50 meter sampai dengan 300 meter dengan ketebalan rata-rata 120 meter.
2. Nilai Transmisivitasnya bervariasi, dari 0,75 m<sup>2</sup>/hari hingga 312,2 m<sup>2</sup>/hari, adapun konduktivitas hidrauliknya berkisar antara 0.006 m/hari sampai dengan 2,23 m/hari, dengan penyebaran yang acak tidak teratur.
3. Dari tiga buah model , model aliran airtanah tahun 1999-2000 merupakan model yang terbaik dan digunakan sebagai model untuk memprediksi keadaan airtanah pada tahun 2004.
4. Perubahan konfigurasi kontur permukaan tekanan piezometris yang besar dan tajam, terjadi pada sel-sel model yang mana pada sel tersebut terdapat sumur dan dengan debit pengambilan yang melebihi kapasitas yang diijinkan.
5. Untuk debit pengambilan airtanah sebesar 17,170 m<sup>3</sup>/hari, kedudukan muka airtanah pada tahun 2000 adalah 11,84 meter dari atas muka laut.
6. Dengan prediksi peningkatan debit sebesar 20% pada tahun 2004, terjadi variasi penurunan permukaan tekanan piezometris, maximum sebesar 4,68 meter sedangkan kedudukan permukaan tekanan piezometrisnya adalah 7,83 meter dari atas muka laut.

## 7.2.Saran

1. Untuk menghindari pemusatan penurunan permukaan tekanan piezometris di satu lokasi, perlu pengaturan letak penyebaran sumur bor produksi
2. Dari konfigurasi kontur permukaan tekanan piezometris hasil pemodelan, dapat dimanfaatkan untuk membuat zona wilayah yang kritis dan aman terhadap intrusi maupun *land subsidence*.
3. Perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut, khususnya dalam hal metoda pengukuran debit pengambilan airtanah.
4. Perlunya dilakukan penelitian tentang karakteristik dan potensi airtanah yang ada didaerah penelitian, dengan sasaran untuk mendapatkan kepastian tentang cadangan kuantitas airtanah dan untuk menentukan pola kebijakan pemanfaatan airtanah.
5. Untuk menjaga ketersediaan dan keberadaan airtanah, perlu dilakukan upaya-upaya pengawasan dalam pengambilan airtanah dengan menambah jumlah sumur pantau dan melakukan penilikan debit secara periodik pada sumur-sumur yang ditetapkan sebagai sumur pantau.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Anderson,MP and Woessner (1992), *Applied Groundwater Modeling*, Academic Press, New-York, 341p.
2. Assegaf Abdurachman (1998), *Hidrodinamika Airtanah Alamiah Cekungan Jakarta*, Tesis, Program Studi Teknik Geologi, Program Pasca Sarjana ITB, Bandung.
3. Aziz Ismail Kazef, Abdel (1987), *Ground Water Engineering*, McGraw-Hill Book Company, New-York.
4. Bear, Yacob (1979), *Hydraulics of Groundwater*, McGraw-Hill Inc, New-York, 450p.
5. Bowless, Y.E (1979), *Physical and Geotechnical Properties of Soils*, McGraw-Hill Book Company, New-York.
6. Budi WS (1986), *Hidrolika Numerik*, Laboratoium Hidrolika dan Hidrologi, PAU-IT,UGM, Yogyakarta.
7. Chiang, WH dan Kenzelbach (1993), *Processing Modflow Version 3.0*, McDonald Prodic, New York.
8. Harvey O. Bank (1981). " *Management of Interstate Aquifer Systems* " . In :Journal of Water Recources Planning and Management Division, Vol. 108, No. WR 2, pp. 563-577.
9. Juanda, D (1994), *Studi Daya Dukung Air Nasional, Studi Kasus Kawasan Jabotabek*, LPM-ITB dan Distam DKI ( Tidak Dipublikasikan ).
10. Kodoatie (1996), *Pengantar Hidrogeologi* , Andi, Yogyakarta.
11. Luknanto, Djoko (1992), *Hitungan Aliran Tak Permanen 1-D Untuk Saluran Tunggal*, Yayasan AREINA, Yogyakarta.
12. McDonald dan Harbaugh (1984), *A Modular Three-Dimensional Finite Difference Groundwater Flow Model*, Scientific Publication CO, Washington.
13. Mihardja, Danang (1984), *Model Numerik Dinamika Fluida GM-458*, Laboratorium Oseanografi, ITB, Bandung.
14. Morton W. Britner (1980). " *Ground - Water Surface- Water Conflict* " In : Journal of The Water Recources Planning And Management Division, Vol. 106, No. WR 2, pp 467-475.

15. Punmia, BC (1970), *Water Supply Engineering*, Standard Book House, New Delhi.
16. Purnomo, Wahyu (1993), *Manual Pengoperasian PREMOD*, ITB, Bandung.
17. Suryadi (1980), *Pendahuluan Teori Kemungkinan dan Statistika*, Intitut Teknologi Bandung, Bandung. 196 hal.
18. Tirtomihardjo,H dan Maimun (1994), *Survey Konservasi Airtanah di Wilayah Jabotabek*, DGTL, Dirjen Geologi dan Sumber Daya Mineral Dep. P & E, Bandung.
19. Triatmodjo Bambang (1990), *Finite Difference Method*, Kursus Singkat Hidrologi DAS, PAU-IT UGM, Yogyakarta.
20. Valvac Halek and Jan Svec (1979), *Groundwater Hydraulics*, Elsevier, New-York.
21. Ven Te Chow (1959), *Open Channel Hydraulics*, McGraw-Hill, Inc. New-York.
22. Verruijt,A (1970), *Theory of Groundwater Flow*, MacMilland and Co LTD, New Delhi.
23. Yuwono, Nur (1994), *Hydraulic Modeling*, Laboratorium Hidrolika dan Hidrologi, PAU-IT UGM, Yogyakarta.
24. Zainuddin Tamim, Rizal (1981). " *Keseimbangan Tata Air Permukaan Sebagai Faktor Penentu Pengembangan dan Pengaturan Ruang Wilayah Inti Bandung Raya Bagian Utara*". Dalam : Jurnal Teknik Sipil, Vol. 5 No. 3 Juli 1998, hal. 141-143.
25. -----, 1994, Laporan Akhir : *Penyelidikan Potensi Airtanah Cekungan Jakarta*, Direktorat Geologi Tata Lingkungan – DGTL, Bandung (Tidak Dipublikasikan).
26. -----, 1997, Laporan Akhir : *Proyek Pengembangan dan Pengendalian Bahan Galian Golongan C*, LPM-ITB dan Distam. DKI Jakarta .
27. -----, 1999, Laporan Akhir : *Studi Optimasi Penggunaan Airtanah Dalam di Wilayah DKI Jakarta*, LPM-ITB dan Distam DKI Jakarta (Tidak Di Publikasikan).
28. -----, 2000, Laporan Akhir : *Studi Pengaruh Pemompaan Air Bawah Tanah Terhadap Land Subsidence Dan Intrusi Air Laut*, LPM-ITB dan Distam.DKI Jakarta (Tidak Dipublikasikan).