

ANALISIS TERHADAP PERUBAHAN SALINITAS AIR TANAH DANGKAL PADA SISTEM AKUIFER TAK TERTEKAN CEKUNGAN JAKARTA

Analysis Of Changes In Saline Shallow Ground Water Unconfine Aquifer Systems Jakarta Basin

Oleh:

Robertus Haryoto Indriatmoko
Pusat Teknologi Lingkungan, BPPT

Abstrak

Kajian terhadap perubahan salinitas air tanah dangkal pada sistem akuifer tak tertekan, adalah studi tentang kesetimbangan hidrostatis antara air tanah tawar dan air tanah asin, pada sistem akuifer tak tertekan berbatasan pantai. Tujuan utama dari aspek yang dikaji, adalah untuk mengidentifikasi tingkat intrusi air laut ke dalam sistem akuifer daratan. Metodologi penelitian dilakukan melalui 4 (empat) yaitu: (i) Pengumpulan data primer (1995-2009) dan sekunder (2010), lengkap dengan atribut data salinitas seperti: data elevasi muka air tanah, koordinat (UTM) dan kadar salinitas air tanah. (ii). Analisis regresi terhadap hubungan data antara (EC, Cl- dan TDS). (iii). Analisis peta salinitas periode 1995-2010 menggunakan software GIS dan analisis data secara grafis. (iv). Fokus kajian dilakukan di tiga zone transeksi (ZT) yaitu ZT-I barat, ZT-II tengah, dan ZT-III timur sistem pada akuifer tak tertekan cekungan Jakarta. Kesimpulan terhadap penelitian ini adalah: (i) Variabel Cl- dan TDS memiliki korelasi yang kuat untuk memprediksi EC dapat dilakukan dengan persamaan berikut $Y = 3,45 X + 517,80$ ($R^2 = 0,88$) untuk Cl- dan TDS dengan persamaan $Y = 1, 86 X + 132,86$ ($R^2 = 0,99$), (ii) berdasarkan hasil analisis tingkat intrusi air laut selama periode 1995-2010 (15 tahun), intrusi air laut telah mencapai 8 km dari pantai di ZT-III, di ZT-II mencapai 5 km dan di ZT-I mencapai 4,8 km dari pantai. Analisis terhadap perkembangan jarak dari pantai batas intrusi air asin sejak tahun 1982 selama 28 tahun dapat dihitung bahwa laju intrusi air asin pada zona transeksi I adalah 0,1 km/tahun, pada zona transeksi II adalah 0,06 km/tahun dan pada zona transeksi III adalah 0,11 km/tahun. Penyebab utama utama intrusi air laut kedalam sistem akuifer daratan adalah akibat dari jumlah pemompaan air tanah berlebihan.

Kata Kunci : intrusi Air Asin, salt water intrusion, aquifier tak tertekan, sistem aquifier, cekungan jakarta, recharge, konduktivitas elektrik.

Abstract

The study on ground water salinity changes in unconfine aquifer system, is the study of hydrostatic equilibrium between the fresh ground water and salty ground water, aquifer unconfine restricted to coastal. The main objective of the aspects examined, namely: (i) To identify the level of intrusion of sea water in the basin aquifer system takertekanan Jakarta. The purpose and methodology of the study are as follows: (i) The primary data (1995-2009) and secondary (2010), including salinity data attributes, including ground water level, coordinates (UTM) and groundwater salinity levels (ii). Regression analysis of the relationship between the data (EC, Cl- and TDS). (Iii). Analysis of the period 1995-2010 salinity map using GIS and graphic analysis. (Iv). The focus of the analysis in three zones transection (ZT), namely ZT-I west, ZT-II central and eastern ZT-III was unconfine aquifer system in the Jakarta basin. The conclusion of this study are: (i) Variable Cl- and TDS have a strong correlation to predict EC using the following equation $Y = 3.45 X + 517.80$ ($R^2 = 0.88$) for the DHL and TDS = $1, 86 X + 132.86$ ($R^2 = 0.99$), (ii) based on the results of the analysis of the level of sea water intrusion during the period 1995-2010 (15 years), the intrusion of sea water has reached 8 km from the coast in the ZT-III, in ZT-II reaches 5 km and at ZT-I at 4.8 km from the coastal. Analysis of the development of the distance from shore limit saltwater intrusion since 1982 for 28 years can be calculated that the rate of salt water intrusion in the transection zone I is 0.1 km/year, the transection zone II is 0.06 km/year and in the zone transecting III is 0.11 km/year. The main cause of major intrusion of sea water into the aquifer system of the mainland is the amount of groundwater pumping against excessive.

Keywords : salt water intrusion, unconfine aquifer, aquifer system, Jakarta basin, recharge, salinity, electrical conductivity.

1. PENDAHULUAN

Sistem akuifer pada cekungan air tanah Jakarta merupakan sumber air tanah yang penting bagi daerah wilayah Jakarta dan sekitarnya. Sistem akuifer tersebut adalah multi layer yang terdiri atas sistem akuifer tak tertekan dan tertekan dengan struktur lapisan relatif datar dengan pantai, terutama di wilayah Jakarta Utara (Sukardi, R. 1986).

Struktur lapisan akuifer yang relatif datar terhadap pantai ini memberikan pengaruh kuat terhadap kesetimbangan hidrostatik aliran air tanah tawar dan aliran air asin/laut. Oleh Essaid (1990) perubahan kesetimbangan ini dinyatakan dalam perubahan debit air tanah, perubahan kesetimbangan tersebut ditandai dengan pergerakan ke arah darat atau laut dari batas *interface* dalam lapisan akuifer.

Kesetimbangan hidrostatik antara kedua aliran air tanah tersebut berada dalam kesetimbangan hidrostatik yang dinamis, artinya jika tekanan aliran air tanah tawar yang berasal dari daratan lebih tinggi maka air tanah akan dapat mendesak air tanah asin ke arah laut demikian pula sebaliknya jika kesetimbangan aliran air tanah tawar tersebut berkurang dan tekanan aliran air laut lebih besar maka aliran air asin akan mendesak ke dalam sistem akuifer daratan.

Faktor utama yang dapat mempengaruhi terjadinya perubahan kesetimbangan hidrologis adalah terjadinya perubahan debit aliran air tanah yang berasal dari sistem akuifer daratan. Penurunan debit aliran air tanah ini dipicu oleh perubahan di daratan seperti pengambilan air tanah dan penambahan air oleh imbuhan yang berasal dari hujan.

Jika pengambilan air tanah secara berlebihan terjadi di daratan akan menyebabkan elevasi air tanah menjadi turun, selanjutnya tekanan hidrostatik air tanah tawar dari sistem akuifer daratan akan berkurang, selanjutnya aliran air tanah asin akan bergerak ke arah daratan. Pada saat tekanan hidrostatik di sistem akuifer daratan berkurang, maka air laut akan menekan ke arah aliran air tawar bagian atas terlebih dahulu sehingga lapisan *interface* akan miring ke arah daratan, setelah kesetimbangan hidrostatiknya tercapai kemudian lapisan *interface* bagian bawah mendesak maju ke arah daratan.

Pergerakan batas *interface* ini akan terlihat secara jelas pada musim kemarau, dimana pada saat musim kemarau tiba dan pengambilan air tanah banyak dilakukan maka elevasi air tanah menjadi turun sehingga tekanan hidrostatik air tanah tawar

air berkurang maka air tanah asin bergerak masuk kedalam sistem akuifer daratan.

Pengamatan terhadap intrusi di wilayah Cipinang dan Kuningan pada musim hujan karena adanya penambahan imbuhan menyebabkan elevasi muka air tanah naik dan tekanan hidrostatik meningkat sehingga intrusi akan bergerak kembali ke arah laut (Herlambang 1990). Menurut *Wetlands International Indonesia Programme* (WI-IP) dan dari Komite Evaluasi Lingkungan Kota (KELK) dalam Tempo edisi Minggu 1 Maret 2009, melaporkan bahwa intrusi air asin saat ini telah mencapai 11-15 Km dari pantai.

Dalam penelitian ini perubahan salinitas pada lapisan akuifer tak tertekan diukur dengan menggunakan TDS dan DHL meter dan dilakukan pada musim hujan dan musim kemarau. Hasil pengukuran TDS dan DHL tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran pada tahun-tahun sebelumnya pada titik koordinat dengan atribut sama atau mendekati.

Pengamatan terhadap perubahan salinitas ini dilakukan secara merata di wilayah cekungan Jakarta, namun zona pengamatan ditetapkan di tiga zona pengamatan, yaitu pada zona transeksi I (ZT-I) adalah untuk wilayah barat, zona transeksi II (ZT-II) mewakili zona transeksi tengah dan zona transeksi III (ZT-III) mewakili zona transeksi timur.

2. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dilakukannya penelitian adalah untuk mengidentifikasi laju pergeseran salinitas air laut pada sistem akuifer daratan di cekungan Jakarta.

3. METODE PENELITIAN

Satuan wilayah untuk area penelitian ini adalah wilayah cekungan Jakarta yang difokuskan pada sistem akuifer tak tertekan dengan batas pantai. Area penelitian meliputi wilayah pantai sepanjang 60 km dari barat ke timur dan ke arah selatan sejauh 75 km.

3.1. Tahap penelitian

Tahap penelitian dilakukan dengan tahap sebagai berikut:

- Mengumpulkan data sekunder (1982-2009) data salinitas primer (2010) terhadap salinitas air tanah melalui parameter DHL dan TDS yang dilengkapi dengan atribut data koordinat (UTM), kedalaman muka air dan nilai dari kadar salinitas

air tanah menggunakan parameter Cl^- , TDS dan DHL.

- Melakukan analisis hubungan data antara Cl^- , TDS dan DHL melalui analisa regresi agar dapat membandingkan perubahan data dari parameter yang akan dianalisis dan dapat mengisi data salinitas yang kosong.
- Melakukan analisis konturing peta salinitas tahunan yang menghubungkan antara titik-titik koordinat dengan kedalaman muka air tanah dan kadar salinitas. Pemetaan DHL di wilayah penelitian dilakukan dengan cara melengkapi DHL dengan atribut UTM sebagai layer kontur DHL untuk ditampilkan dengan peta dasar wilayah penelitian menggunakan ARC-GIS, hasilnya menjadi peta tematik salinitas air tanah, yang digunakan untuk mengukur laju intrusi air asin.
- Fokusing analisa terhadap salinitas di ketiga zone transeksi yaitu: zone transeksi I pada koordinat UTM (695000, 9325000) mewakili wilayah Jakarta Barat, transeksi II (706000, 93245000) mewakili wilayah Jakarta Tengah dan transeksi III (717000, 9326900) mewakili wilayah Jakarta Timur.
- Melakukan analisis secara tabulasi dan grafik terhadap perubahan salinitas diberbagai zone transeksi.

3.2. Peralatan dan Perangkat

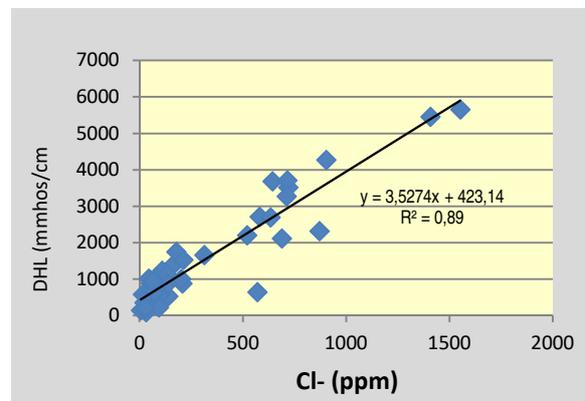
Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

- TDS dan DHL meter digital, range 0-10.000 $\mu\text{mhos/cm}$.
- GPS, merk Garmin untuk menentukan koordinat dan elevasi termasuk menentukan zone transeksi sampling data.
- Alat ukur panjang untuk mengetahui kedalaman muka air tanah.
- Perangkat lunak Arc-GIS, Map Info untuk pembuat pemetaan DHL, Statistik SPSS Versi 17 untuk analisis regresi dan korelasi, dan
- Perangkat keras komputer dengan spesifikasi pentium, RAM 4 Gb, sistem operasi *Unix* dan dilengkapi dengan fortran 77 atau *compiler Fortran to C*, dan komputer pentium, RAM 4 Gb dengan sistem operasi windows.

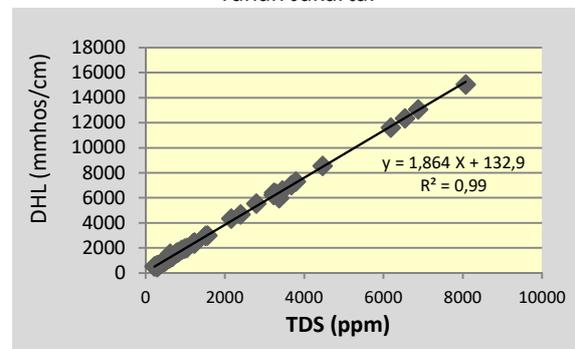
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter fisik dan kimia yang digunakan untuk menentukan klasifikasi sifat air adalah DHL, TDS dan Cl^- . Pada penelitian ini fokusing analisa hanya menggunakan parameter DHL saja, meskipun kedua parameter lainnya seperti TDS dan Cl^- juga tersedia, namun keberadaan data tersebut tidak

selengkap parameter DHL. Meskipun demikian keduanya dapat digunakan untuk memprediksi data DHL hilang atau kosong, karena *data-base* hilang atau rusak sebagai akibat dari kesalahan manusia.



Gambar 1 : Hubungan Regresi Antara DHL Dengan Cl^- Pada Sistem Akuifer Tak Tertekan Di Cekungan Air Tanah Jakarta.



Gambar 2 : Hubungan Regresi Antara DHL Dengan TDS Pada Sistem Akuifer Taktertekan Cekungan Air Tanah Jakarta.

Hubungan antara variabel DHL dengan variabel TDS atau Cl^- , secara kimiawi sangat berkaitan dengan ion-ion yang terkandung dalam air. Adanya ion-ion yang dalam air menyebabkan air bersifat sebagai larutan elektrolit. Semakin besar kandungan ion Cl^- atau total garam terlarut (TDS), semakin besar pula daya hantar listrik (DHL) air.

Hubungan kedua variabel tersebut secara matematis dapat dinyatakan sebagai hubungan regresi, dimana DHL sebagai variabel tak bebas sedangkan Cl^- atau TDS sebagai variabel bebas.

Hasil analisis regresi terhadap kedua variabel tersebut seperti ditunjukkan pada Tabel 1, dinyatakan sebagai hubungan linier, dengan koefisien regresi sebesar 0,88 (DHL dengan Cl^-) dan 0,99 (DHL dengan TDS).

Hubungan kedua variabel tersebut, sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Direktorat Geologi Tata Lingkungan (DGTL 1994) di wilayah Bekasi, Karawang dan sekitarnya.

Peningkatan kadar Cl^- dalam air tanah selalu diikuti dengan peningkatan DHL.

Contoh terhadap sampel air tanah di Stasiun 54 dan 55, menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara kadar Cl^- dengan DHL, dimana kadar Cl^- di Stasiun 54 dan 55 sebesar 628 mg/lit dan 2593 mg/lit diikuti dengan peningkatan DHL dalam air tanah sebesar 3780 $\mu\text{mhos/cm}$ dan 8120 $\mu\text{mhos/cm}$ (Gambar 1 dan Gambar 2).

4.1. Indikator Peningkatan Salinitas Air Tanah

Indikator intrusi air asin pada sistem akuifer taktertekan Jakarta dilakukan dengan menggunakan parameter DHL pada konsentrasi 1500-5000 $\mu\text{mhos/cm}$ (DGTL dan PAM). Hasil pengamatan terhadap DHL di ketiga zona transeksi pada tahun 2010 menunjukkan adanya perubahan gradasi semakin rendah mulai pantai sampai ke arah daratan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 9, Tabel 10 dan Tabel 11. DHL air tanah pada zona transeksi I pada jarak 4 km dari pantai adalah 7037 $\mu\text{mhos/cm}$ sedangkan semakin ke arah daratan hingga mencapai jarak 6,9 km, konsentrasi DHL turun menjadi 984 $\mu\text{mhos/cm}$, di zona transeksi II pada jarak 2,9 km adalah 6610 $\mu\text{mhos/cm}$, semakin ke arah daratan adalah 894 $\mu\text{mhos/cm}$ sedangkan pada zona transeksi III adalah 8569 $\mu\text{mhos/cm}$, semakin ke arah daratan yaitu pada jarak 11 km adalah 960 $\mu\text{mhos/cm}$.

Tabel 1 : Hasil Analisis Regresi Antara DHL Dengan Cl^- Dan DHL Dengan TDS Pada Sistem Akuifer Taktertekan Cekungan Air Tanah Jakarta.

Variabel	Regresi	R ²
DHL dengan Cl^-	$Y = 3,53 X + 423,1$	0,88
DHL dengan TDS	$Y = 1,86 X + 132,9$	0,99

Analisis data DHL pada periode 1995-2010 menunjukkan adanya pola yang sama yaitu semakin kearah pantai, konsentrasi DHL akan semakin tinggi demikian pula sebaliknya konsentrasinya kearah daratan semakin menurun (Gambar 14).

Atas fakta tersebut, dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa perubahan salinitas terjadi karena adanya pengaruh air laut. Ada juga yang berpendapat bahwa perubahan salinitas air tanah ini sebenarnya karena pengaruh *connate water*.

Peneliti yang berpendapat bahwa perubahan salinitas air tanah terjadi karena *connate water* adalah Hobler dan Soefner (1985), Soenarto dan Wijaya (1985). Menurut pendapat mereka perubahan salinitas air tanah Jakarta terjadi karena adanya proses yang disebut *ion exchange* atau pertukaran ion pada formasi lempung laut.

Tabel 2 : Perubahan DHL Air Tanah Pada Zone Transeksi I Tahun 2010 (Koordinat UTM Pantai 695000, 9325000).

No	Koordinat UTM Data DHL		Jarak sampel DHL (km)		DHL $\mu\text{mhos/cm}$
	X	Y	kisaran thd ZT-I	dari pantai	
1	693474	9320999	1.5	4.0	7037
2	696829	9320959	-1.8	4.0	6232
3	694273	9319770	0.7	5.2	1550
4	693845	9318604	1.2	6.4	1150
5	693538	9318078	1.5	6.9	984

Tanda – bergeser ke kanan dari ZT (zone transeksi)
+ bergeser ke kiri dari ZT (zone transeksi).

Tabel 3 : Perubahan DHL Air Tanah Pada Zona Transeksi II Tahun 2010 (Koordinat UTM Pantai 706000, 9325000).

No	Koordinat UTM Data DHL		Jarak sampel DHL (km)		DHL $\mu\text{mhos/cm}$
	X	Y	kisaran thd ZT-II	dari pantai	
1	710985	9321600	-5.0	2.9	6610
2	710980	9321597	-5.0	2.9	1953
3	705871	9319459	0.1	5.0	1540
4	707127	9317892	-1.1	6.6	1060
5	707093	9316581	-1.1	7.9	1353
6	707205	9316546	-1.2	8.0	894

Tanda – bergeser ke kanan dari ZT (zone transeksi)
+ bergeser ke kiri dari ZT (zone transeksi)

Tabel 4 : Perubahan DHL Air Tanah Pada Zona Transeksi III Tahun 2010 (Koordinat UTM Pantai 713500, 9326900).

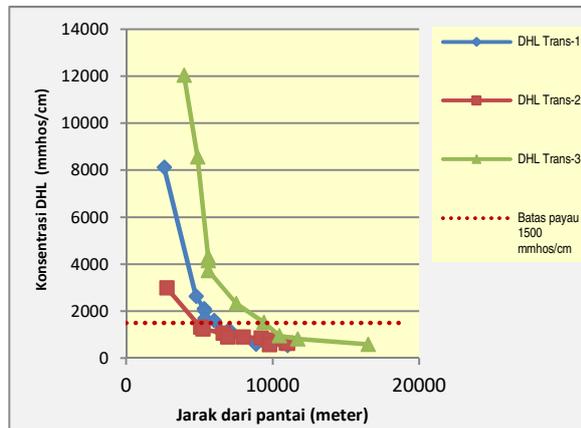
No	Koordinat UTM Data DHL		Jarak sampel DHL (km)		DHL $\mu\text{mhos/cm}$
	X	Y	kisaran thd ZT-III	dari pantai	
1	712292	9322043	1.2	4.9	8569
2	710985	9321600	2.5	5.3	6610
3	713667	9320870	-0.2	6.0	4356
4	712760	9320521	0.7	6.4	6430
5	710426	9319836	3.1	7.1	5986
6	713383	9318890	0.1	8.0	1510
7	714039	9315198	-0.5	11.7	960

Tanda – bergeser ke kanan dari ZT (zone transeksi)
+ bergeser ke kiri dari ZT (zone transeksi)

Kesimpulan yang diambil didasarkan atas hasil analisa hidrokimia TDS dari sampling air tanah yang dilakukan mulai dari wilayah Depok sampai Kota. Air tanah dengan kadar salinitas lebih dari 5000 $\mu\text{mhos/cm}$, terjadi mulai dari pantai ke arah daratan terjadi di wilayah daratan pada jarak lebih dari 5 km. Sehingga Hobler dan Soefner menyimpulkan bahwa peningkatan salinitas

tersebut terjadi karena *connate water* yang berasal dari sedimen laut tersier.

Soenarto dan Wijaya (1985) dengan menggunakan anggapan bahwa sistem akuifer Jakarta adalah akuifer preatik yang berhubungan langsung dengan Laut Jawa, memberikan kesimpulan pada hasil penelitiannya bahwa perubahan salinitas yang tinggi pada air tanah yang diambil dari sistem akuifer artesis terjadi karena *connate water*.



Gambar 3 : Grafik DHL Air Tanah Pada Akuifer Taktertekan Dengan Jarak Dari Pantai Periode 1995-2010.

Berdasarkan fakta-fakta yang diperoleh dari hasil penelitian ini, untuk menyebut bahwa perubahan salinitas terjadi karena *connate water* adalah diragukan karena tidak ada fakta yang kuat. Jika perubahan salinitas tersebut terjadi karena proses pertukaran ion-ion yang berasal dari garam-garam yang terjebak dalam lempung laut, maka pola gradasi DHL akan berbeda dengan hasil penelitian ini. Perbedaan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Pola gradasi salinitas mengikuti struktur hidrogeologi dari jebakan lempung laut. Fakta dilapangan tidak mengarah pada pola tersebut.
- Konsentrasi salinitas air tanah di titik yang sama, semakin lama akan semakin menurun, hal ini terjadi karena proses pengenceran oleh aliran air tanah yang berlangsung secara terus menerus. Fakta tersebut tidak menunjukkan atau mengarah pada *connate water*.

Pengamatan terhadap data tahun 2010 seperti yang di lihat pada Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4 menunjukkan bahwa semakin dekat dengan pantai kadar salinitas air tanah semakin meningkat, hal ini terjadi karena pengaruh air laut. Pola ini terjadi di zona transeksi I, zona transeksi II dan Zona transeksi III.

4.2. Laju Intrusi Air Asin

Analisis terhadap jarak dari pantai batas intrusi air asin dilakukan menggunakan parameter DHL pada konsentrasi 1500 $\mu\text{mhos/cm}$. Hasil analisis DHL di ketiga zone transeksi pada tahun 1982 dan pada periode 1995-2010 menunjukkan adanya perubahan jarak dari pantai batas intrusi air asin, bahwa semakin lama semakin bergeser ke arah daratan (Tabel 5, Tabel 6 dan Tabel 7).

Jarak dari pantai terhadap batas intrusi air asin pada zone transeksi III selalu menunjukkan jarak yang paling jauh jika dibandingkan dengan di zone transeksi I, maupun di zone transeksi II. Jarak dari pantai batas intrusi air asin di zone transeksi I pada tahun 1982 adalah 2 km, sedangkan pada tahun 2010 berubah menjadi 5,2 km, pada zona transeksi II dari 3 km menjadi 4,85 km, sedangkan pada zona transeksi III dari 4,8 km menjadi 8 km.

Analisis terhadap perkembangan jarak dari pantai batas intrusi air asin selama 28 tahun dapat dihitung bahwa laju intrusi air asin pada zona transeksi I adalah 0,1 km/tahun, pada zona transeksi II adalah 0,06 km/tahun dan pada zona transeksi III adalah 0,11 km/tahun.

Kecepatan laju intrusi air asin di ketiga zone transeksi tidak sama, dimana zone transeksi III mempunyai laju intrusi air asin paling cepat jika dibandingkan dengan kedua zone transeksi lainnya.

Alasan mengapa ketiga zone transeksi tersebut dapat dibandingkan adalah karena ketiga zone transeksi tersebut bila ditinjau secara hidrogeologi, berada dalam sistem hidrologi yang sama dimana:

- Ketiga zona transeksi merupakan sistem akuifer tak tertekan.
- Ketiganya merupakan wilayah zona akuifer produktif dengan aliran air tanah antar butir.
- Sifat batuan penyusun sama yaitu batuan kuarter aluvial, terdiri dari bongkahan, kerikil, pasir, lanau dan lempung.
- Wilayah dengan kemiringan lereng relatif sama, antara 0% - 0,5% atau datar.

Tabel 5 : Perkembangan Jarak Dari Pantai Batas Intrusi Air Asin Pada Zona Transeksi I Tahun 1982-2010 (Koordinat Pantai 695000, 9325000).

Tahun	Koordinat DHL		Jarak dari pantai (km)		DHL $\mu\text{mhos/cm}$
	X	Y	ZT-1	DHL	
*)1982	695000	9323000	0.0	2.0	1500
1995	694350	9321500	0.7	3.5	1570
1996	695420	9321377	-0.4	3.6	1532
1997	695945	9321158	-0.9	3.8	1570
1998	694125	9321347	0.9	3.7	1565
1999	694018	9320760	1.0	4.2	1598

2000	693977	9320688	1.0	4.3	1500
2003	695820	9321880	-0.8	3.1	1537
2004	694280	9320569	0.7	4.4	1568
2009	695521	9320150	-0.5	4.9	1565
2010	694273	9319770	0.7	5.2	1550

X dan Y adalah koordinat UTM

*) dari Peta sebaran zona air tanah payau/asin tahun 1982 (DGTL, 1982)

Tabel 6. Perkembangan Jarak Batas Intrusi Air Asin Pada Zona Transeksi II Tahun 1982-2010 (Koordinat Pantai 706000, 9324500).

Tahun	Koordinat DHL		Jarak dari pantai (Km)		DHL μ mhos /cm
	X	Y	ZT-2	DHL	
*)1982	706000	9321500	0.0	3.00	1500
1995	706420	9321400	-0.4	3.10	1530
1996	706730	9321250	-0.7	3.25	1558
1997	705170	9321188	0.8	3.31	1572
1998	705573	9321035	0.4	3.47	1546
1999	706530	9319670	-0.5	4.83	1533
2000	705348	9320090	0.7	4.41	1580
2003	706610	9320000	-0.6	4.50	1564
2004	705168	9319660	0.8	4.84	1525
2009	706265	9319600	-0.3	4.90	1580
2010	705871	9319650	0.1	4.85	1540

X dan Y adalah koordinat UTM

*) dari Peta sebaran zona air tanah payau/asin tahun 1982 (DGTL, 1982)

Tabel 7. Perkembangan Jarak Batas Intrusi Air Asin Pada Zona Transeksi III Tahun 1982-2010 (Koordinat Pantai 713500, 9326900).

Tahun	Koordinat DHL		Jarak dari pantai (Km)		DHL μ mhos/cm
	X	Y	ZT-III	DHL	
*)1982	713500	9322100	0.0	4.8	1500
1995	712858	9321975	0.6	4.9	1578
1996	713156	9321975	0.3	4.9	1529
1997	714342	9321800	-0.8	5.1	1535
1998	714250	9321888	-0.8	5.0	1570
1999	713080	9322250	0.4	4.7	1534
2000	712518	9321500	1.0	5.4	1577
2003	-	-	-	-	-
2004	714321	9320390	-0.8	6.5	1495
2009	714250	9319360	-0.8	7.5	1550
2010	713383	9318890	0.1	8.0	1510

X dan Y adalah koordinat UTM

*) dari Peta sebaran zona air tanah payau/asin tahun 1982 (DGTL, 1982)

Ketiga wilayah zone transeksi berada dalam sistem dengan formasi geologi yang sama, daerah aluvial, kondisi ini seharusnya tidak menyebabkan terjadinya perbedaan jarak terhadap pantai batas intrusi air asin.

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa dalam sistem akuifer berbatasan dengan pantai, aliran air tanah tawar dan aliran air tanah asin berada dalam kesetimbangan hidrostatik. Perubahan lapisan *interface* dapat terjadi ketika kesetimbangan hidrostatik dari aliran air tanah tawar dan aliran air tanah asin berkurang atau bertambah karena pemakaian air atau mendapat tambahan dari masiknya air hujan atau sumber lainnya yang masuk kedalam sistem akuifer.

Jika mengacu pada pendapat Essaid (1990) bahwa perubahan *interface* terjadi karena adanya perubahan tekanan hidrostatik maka terjadinya perbedaan jarak dari pantai batas intrusi air asin yang terjadi karena adanya perbedaan tekanan hidrostatik di ketiga wilayah zone transeksi. Jika pada zone transeksi III terjadi pergeseran jarak yang paling jauh, maka tekanan hidrostatik pada wilayah ini merupakan yang paling kecil jika dibandingkan dengan kedua zone transeksi lainnya.

Jika ditinjau dari jumlah penduduk, maka terdapat perbedaan dalam hal jumlah penduduk di ketiga wilayah zone transeksi. Jumlah penduduk yang berada di wilayah zone transeksi III atau mewakili wilayah timur adalah 2,6 juta jiwa, di zone transeksi I mewakili wilayah barat, adalah 1,6 juta jiwa sedangkan pada zone II, mewakili wilayah pusat atau tengah adalah 0,9 juta jiwa. Jika ditinjau dari sisi industri maka terdapat perbedaan dalam jenis industri dan bidang usahanya. Industri yang berada di wilayah timur ini pada umumnya industri besar, tersebar secara meluas mulai dari kawasan Tanjung Priok, Cilincing, Marunda, Cakung, Rorotan dan Pulo Gadung. Jenis dan jumlah industri di wilayah Jakarta dan Jakarta Barat tidak sebesar dan seluas yang ada di wilayah Jakarta Timur.

Adanya perbedaan dalam hal jumlah penduduk dan industri antara wilayah timur dengan wilayah pusat dan barat ini berkaitan dengan jumlah pemakaian air tanah yang lebih besar berada di wilayah timur sehingga tekanan hidrostatik di wilayah ini merupakan yang paling kecil. Itulah sebabnya mengapa laju intrusi air asin pada zone transeksi III terjadi secara lebih cepat jika dibandingkan dengan zone transeksi I dan zone transeksi II.

Secara umum dapat dijelaskan bahwa berdasarkan hasil evaluasi terhadap salinitas air tanah pada sistem akuifer tak tertekan cekungan air tanah Jakarta sampai dengan tahun 2010, bahwa pada sistem akuifer tak tertekan tersebut telah terjadi intrusi air asin yang semakin lama semakin memasuki sistem akuifer Jakarta yang dipicu oleh penggunaan air tanah yang besar. Wilayah Jakarta Timur merupakan wilayah yang mengalami laju intrusi air asin paling cepat, kemudian disusul oleh wilayah barat dan tengah atau pusat.

4.3. Pengaruh Tinggi Muka Air Tawar Terhadap Intrusi

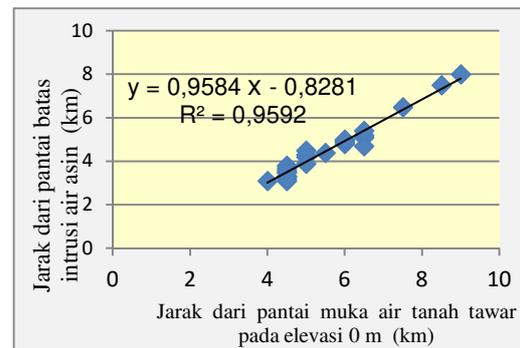
Hubungan regresi antara variabel jarak dari pantai batas intrusi air asin dengan variabel jarak dari pantai muka air tanah tawar pada elevasi 0 m dpal (*freshwater heads*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15, menunjukkan adanya hubungan yang kuat dan signifikan dari kedua variabel. Berdasarkan hubungan tersebut dapat dinyatakan bahwa, semakin dekat jarak dari pantai muka air tanah tawar pada elevasi 0 m maka akan semakin dekat juga jarak dari pantai batas intrusi air asin dan semakin jauh jarak dari pantai muka air tanah tawar pada elevasi 0 m, akan semakin jauh pula jarak dari pantai batas intrusi air.

Variabel jarak dari pantai muka air tanah pada elevasi 0 m ini menggambarkan besar kecilnya tekanan air tanah tawar (debit) atau aliran air tanah tawar pada sistem akuifer. Semakin dekat jarak dari pantai muka air tanah pada elevasi 0 m menunjukkan adanya aliran air tanah yang besar dengan tekanan yang besar sedan makin jauh jarak dari pantai muka air tanah tawar pada elevasi 0 m maka semakin kecil pula aliran air tanah dengan tekanan yang juga semakin kecil dalam sistem akuifer tersebut.

Hubungan kedua variabel antara jarak muka air tanah tawar pada elevasi 0 m dan jarak dari pantai batas intrusi air asin ini menyiratkan akan pentingnya mempertahankan tinggi tekan air tanah tawar untuk menjaga agar jarak dari pantai batas intrusi air asin tidak semakin ke arah sistem akuifer daratan. Untuk dapat mempertahankan tinggi tekan air tanah tawar dapat dilakukan dengan melakukan pembatasan penggunaan air tanah dan mempertahankan atau meningkatkan resapan air hujan.

Jarak dari pantai batas intrusi terjauh yang paling memungkinkan pada sistem akuifer Jakarta adalah di wilayah Pasar Minggu. Hasil analisis ini didasarkan atas struktur lapisan akuifer datar jika dilihat dari Potongan Melintang Sistem Akuifer Jakarta. Jarak batas intrusi air asin dapat bergeser sampai ke wilayah Pasar Minggu sejauh 25 km. Jarak sejauh ini diperoleh dengan cara menarik garis sama dengan muka air laut memotong dasar akuifer di wilayah Pasar Minggu sampai sejauh sejauh 25 km. Jarak batas intrusi air asin sejauh 25 km tersebut merupakan jarak paling jauh yang memungkinkan di wilayah Jakarta. Berdasarkan rumus regresi dalam Gambar 4 maka jika jarak dari pantai batas intrusi air asin sejauh 25 km, maka hal tersebut dapat terjadi jika jarak dari pantai muka air tanah tawar (*fresh water head*) pada level 0 m, bergeser sejauh 26,9 km dari pantai.

Kondisi jarak terhadap pantai batas intrusi air asin secara ekstrim ini akan terjadi jika tidak dilakukan pembatasan penggunaan air tanah dan semakin berkurangnya wilayah resapan air hujan.



Gambar 4. Hubungan Regresi Antara Variabel Jarak Dari Pantai Batas Intrusi Air Asin Dengan Variabel Jarak Dari Pantai Muka Air Tanah Pada Elevasi 0 M Periode 1995-2010.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan atas hasil analisis dan pembahasan terhadap laju intrusi air asin dan perencanaan peningkatan resapan air hujan untuk memperlambat laju intrusi air asin pada sistem akuifer cekungan air tanah Jakarta, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Variabel Cl- dan TDS mempunyai relasi yang kuat untuk digunakan dalam memprediksi DHL dengan menggunakan persamaan regresi $Y = 3,45 X + 517,80$ ($R^2=0,88$) untuk Cl- dan $Y = 1,86 X + 132,86$ ($R^2=0,99$) untuk TDS.
- Besarnya laju intrusi berdasarkan hasil analisis intrusi air asin selama 28 tahun adalah: pada zona transeksi I adalah 0,1 km/tahun, pada zona transeksi II adalah 0,06 km/tahun dan pada zona transeksi III adalah 0,11 km/tahun.
- Mempertahankan level 0 m di wilayah batas pantai untuk menjaga agar intrusi dapat dikendalikan adalah penting ini dapat dilakukan melalui sebuah perencanaan atau pengaturan pemakaian air tanah di Jakarta

6. SARAN

Berdasarkan pada hasil simpulan, maka agar hasilnya bermanfaat untuk kepentingan pembangunan sumberdaya air di wilayah Jakarta, maka disarankan sebagai berikut:

- Monitoring kualitas dan kuantitas air tanah perlu dilakukan secara berkala dan terus menerus sebagai antisipasi dini untuk

- mengetahui penurunan kualitas dan kuantitas air tanah.
- Kebijakan pemerintah harus tegas dan konsisten dalam mempertahankan wilayah resapan air bersamaan dengan itu setiap perubahan penggunaan lahan yang menyebabkan zona wilayah resapan berkurang harus dikompensasikan dengan pembuatan sumur resapan atau waduk penampung air sesuai dengan SK. Gubernur DKI No. 68/2005. Penerapan peraturan harus ditegakkan secara konsisten oleh pemerintah untuk mencegah terjadinya intrusi air asin lebih jauh lagi.
 - Pemerintah dalam menyusun kebijakan terkait penerapan imbuhan agar menetapkan wilayah Jakarta Utara sebagai prioritas utama.
 - Keterlibatan masyarakat luas dalam pembuatan sumur resapan sangat dibutuhkan untuk membantu memperluas wilayah resapan air tanah.

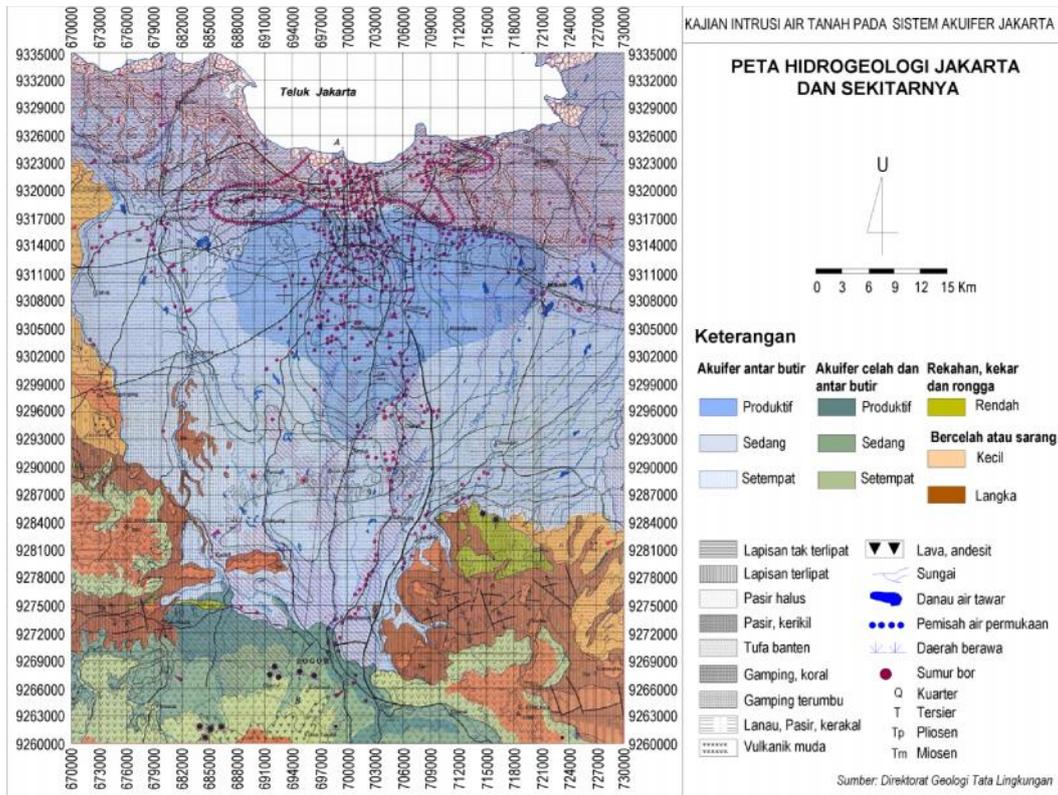
UCAPAN TERIMA KASIH

Ditujukan kepada Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, yang telah berkenan memberikan bantuan pendidikan untuk Penelitian ini. Badan Geologi Pusat Penelitian Geologi Bandung, Badan Pengelola Lingkungan Hidup daerah Jakarta, Badan Perencana Pembangunan Daerah Jakarta, UPT Hujan Buatan BPPT untuk suport data.

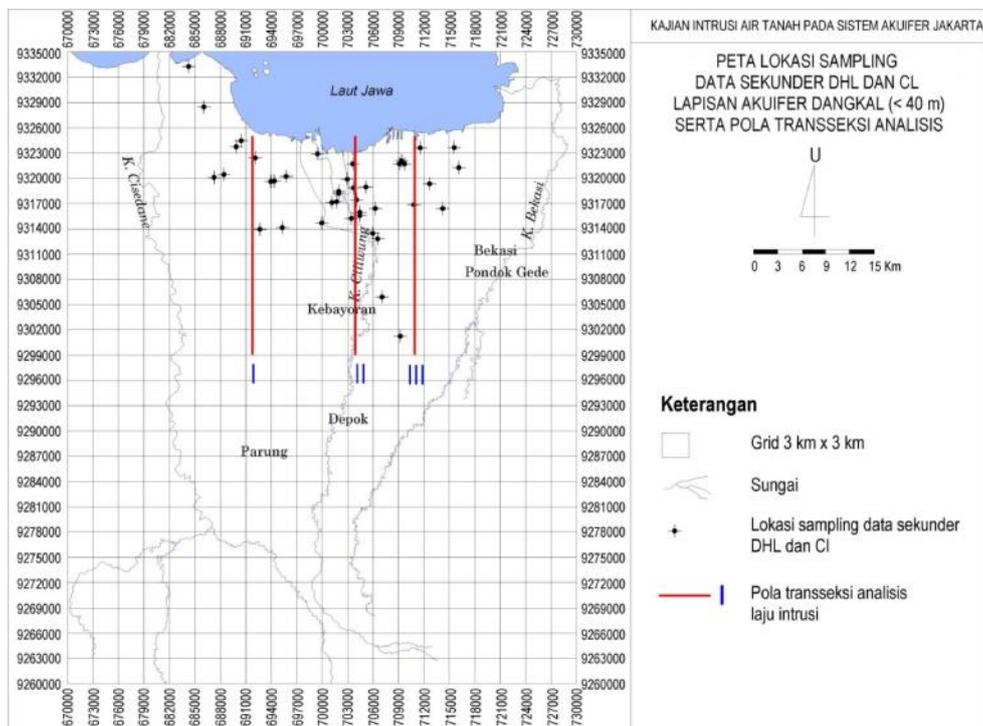
DAFTAR PUSTAKA

- Bambang, S. 1988. Penyusupan Air Asin Dalam Cekungan Air Tanah Jakarta. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pengairan* No. 8. Bandung.
- CRBR, 1987. *Cisadane River Basin Development Feasibility Study*, Directorate General of Water Resources Development. Vol.1-12. Jakarta.
- Badan Geologi Pusat Lingkungan Geologi, 2003. *Penyelidikan Konservasi Air Tanah di Cekungan Jakarta*. Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral. Jakarta
- Badan Geologi Pusat Lingkungan Geologi, 2005. *Penyelidikan Konservasi Air Tanah di Cekungan Jakarta*. Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral. Jakarta
- Badan Geologi Pusat Lingkungan Geologi, 2009. *Penyelidikan Konservasi Air Tanah di Cekungan Jakarta*. Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral. Jakarta
- Blöschl, G., and R, Grayson. 2000, "Spatial observation and interpolation." In : R.Grayson and G. Blöschl,(eds.), *SpatialPattern in Catchment Hydrology :Observation and modelling*, CambridgeUniversity Press, Cambridge, pp : 17-50.
- Direktorat Geologi Tata Lingkungan. 1988. *Studi Intrusi/Penyusupan Air Laut di Wilayah DKI Jakarta*. DGTL dan PAM Jaya. Bandung.
- Direktorat Geologi Tata Lingkungan dan PAM Jaya.1991. *Penyelidikan Zona Air Asin di Wilayah DKI Jakarta*. DGTL Bandung.
- Direktorat Geologi Tata Lingkungan. 1995. *Studi Intrusi/Penyusupan Air Laut di Wilayah DKI Jakarta*. DGTL dan PAM Jaya. Bandung.
- Direktorat Geologi Tata Lingkungan. 2000. *Peta Pengendalian Air Tanah*. Direktorat Geologi Tata Lingkungan. Bandung
- Essaid, Hedef I. 1990. *The Computer Model Sharp, A Quasi-Three-Dimensional Finite Difference Model to Simulate Freshwater and Saltwater Flow in Layered Coastal Aquifer Systems*. Water-Resources Investigations Report 90-4130. Menlo Park. California.
- Floyd, C. 1987. "Outline of a Paradigma Change inSoftware Engineering". In Bjerknes, G., Eha, P. and Kyng, M (Eds) *Computers and De-mocracy*. Avebury, Aldershort. UK, andBrookfield. USA.
- Gunawan,Totok. 1991. *Penerapan Teknik Pengindraan Jauh Untuk Menduga Debit Puncak Menggunakan Karakteristik Lingkungan Fisik DAS*. Disertasi Doktor Fakultas Pascasarjana IPB. Bogor.
- Haryoto, I.R., dan E. Myra, 2005. *Evaluasi Kandungan Klorida (Cl-) dan Daya Hantar Listrik (DHL) Air Tanah Pada Sistem Akuifer Jakarta*. *Jurnal Air Indonesia*, Vol 1, No.1, hal 88-98. Pusat Teknologi Lingkungan (PTL), BPPT
- Haryoto, I.R. 2012. *Kajian Intrusi Air Asin di Cekungan Jakarta*, Thesis S2 Fakultas Pasca Sarjana IPB. Bogor
- Herlambang, Arie. 1990. *Studi Model Optimasi Pengelolaan Air Tanah Jakarta (Database)*. Direktorat Pengkajian Sistem Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Jakarta.
- Refsgaard, J. S. 2000. "Towards a Formal Approach to Calibration and Validation of ModelsUsing Spatial Dat". In : R. Grayson and G.Blöschl, (eds.), *Spatial Patterns in CatchmentHydrology*. Cambridge University Press.Cambridge, pp : 397 + index.
- Samsuhadi. 2005. *Pemanfaatan Air Tanah Jakarta*. Disertasi Doktor Ilmu Lingkungan. Program Pascasarjana Universitas Indonesia. Jakarta
- Soekardi. R. 1986. *Hydrogeological Map of Indonesia*. Lembar Jakarta. Direktorat Geologi Tata Lingkungan. Departemen Pertambangan dan Energi. Bandung.
- Warsito, Djoko. 1984. *Studi Air Tanah Jakarta*. Vol-4. Topografi dan Geologi daerah Jakarta-Bogor. GHAG-CTA 40, HAG 76, DEG. Bandung.

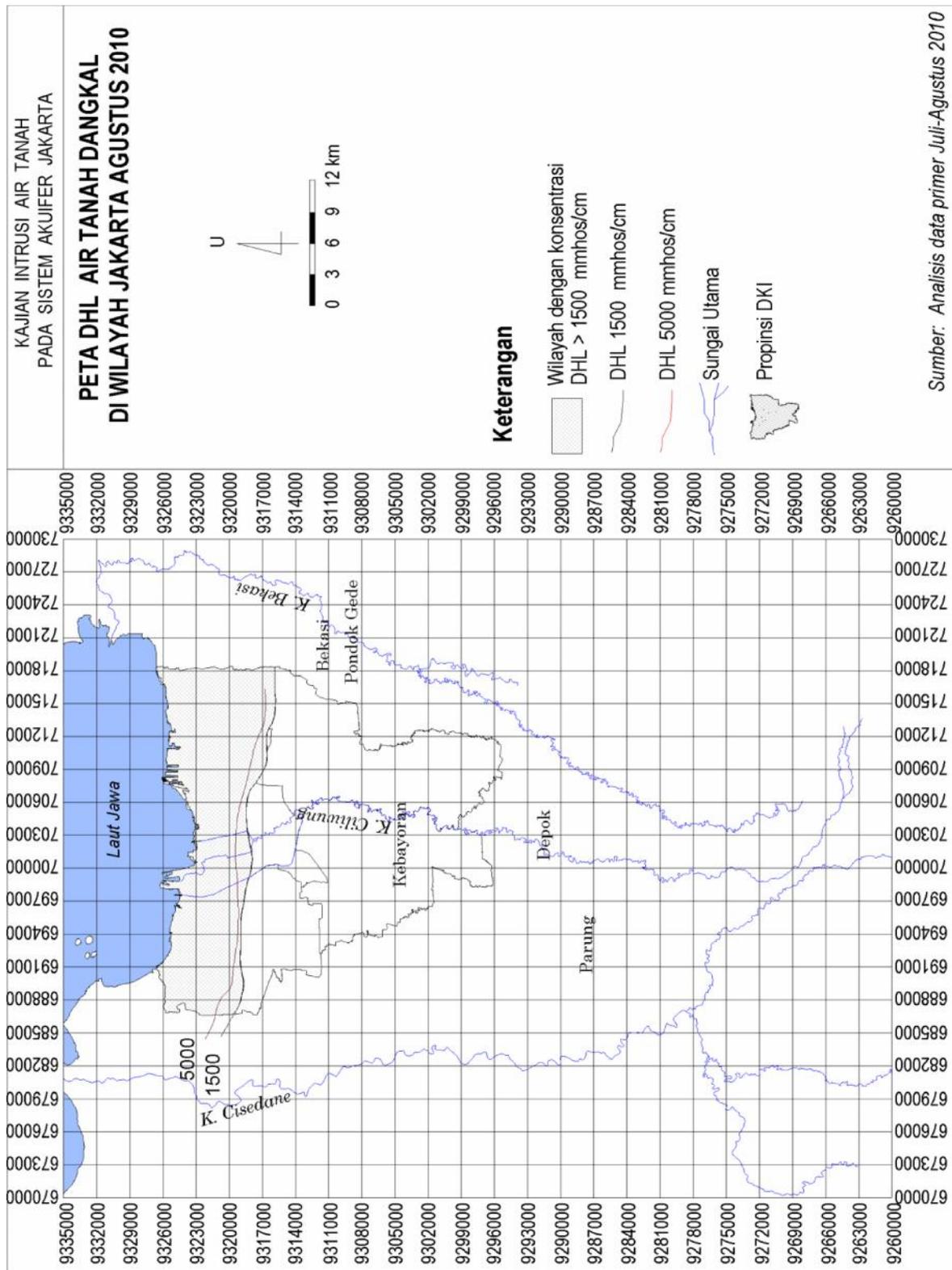
LAMPIRAN



Gambar 5 : Peta Hidrologi Jakarta dan Sekitarnya.



Gambar 6 : Peta Lokasi Sampling Data Sekunder DHL dan CL Lapisan Akuifer Dangkal (<40m) Serta Pola Transeksi Analisis.



Gambar 7 : Peta DHL Air Tanah Dangkal Di Wilayah Jakarta Agustus 2010