Manusia dan Lingkungan, Vol. 12, No.2, Juli 2005, hal. 88-103
Pusat Studi Lingkungan Hidup
Universitas Gadjah Mada
Yogyakarta, Indonesia

PENENTUAN ZONA PERLINDUNGAN SUMBER AIR BAKU PADA SUMUR BOR MOJOSONGO, KADIPIRO DAN JEBRES KOTA SOLO PROPINSI JAWA TENGAH

(Delimination of Water Resources Protection Zone in Production Wells of Mojosongo, Kadipiro, Ngadisono and Jebres Solo City Central Java, Indonesia)

Ryllia Ekklessia*, Sukandarrumidi, dan Heru Hendrayana****
* Program Studi Teknik Geologi
** Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta

Abstrak

Penentuan zona perlindungan sumber air baku pada dasarnya dimaksudkan untuk melindungi kualitas dan kuantitas air bawah tanah secara alamiah. Penerapan zona perlindungan sumber air baku bertujuan untuk meminimasi efek polutan terhadap sumber air. Daerah penelitian adalah kota Solo, Jawa Tengah, termasuk di dalamnya Mojosongo, Kadipiro, Ngadisono, dan Jebres.

Penelitian ini berhasil menentukan zona perlindungan sumber air baku di daerah penelitian dan juga mengidentifikasi penggunaan lahan serta aktifitas manusia di wilayah tersebut.

Kata kunci: zona perlindungan air baku, kualitas air tanah, sumur

Abstract

The delimitation of the Water Resources Protection Zone is basically intended for naturally protecting groundwater quality and groundwater quantity. The application of Water Resources Protection Zone program has aimed at minimizing pollutant effects to water resources. The research area is Solo City Central Java, which includes Mojosongo, Kadipiro, Ngadisono, and Jebres production wells. The study has ditermined water resources zones of the study area as well as the land uses and human activities within the zones.

Key words: water resources protection zone, groundwater quality, well.

PENDAHULUAN

Airtanah yang dipandang sebagai salah satu sumber air bersih menjadi sangat penting artinya bagi kehidupan. Di lain pihak, terdapat kecenderungan terus menurunnya kualitas airtanah, karena meningkatnya pencemaran air oleh buangan dari daerah pemukiman, industri, pertambangan, intensifikasi pertanian serta meningkatnya kegiatan pariwisata. Oleh karenanya perlu ditentukan zona perlindungan sumber air baku pada beberapa sumur bor di PDAM Solo.

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menentukan zona perlindungan air baku pada beberapa sumber air baku di PDAM Kota Solo.

2. Mengidentifikasi tata guna lahan dan aktivitas sosial budaya yang berada dalam zona perlindungan I dan II pada sumur bor milik PDAM Solo.
3. Menggolongkan segala larangan/ pembatasan tindakan dan tindak lanjut yang perlu dilakukan berkaitan dengan zona perlindungan sumber air baku pada setiap sumur yang diteliti.

LANDASAN TEORI DAN HIPOTESIS

Perhitungan secara matematis untuk aliran air melalui media berpori dirumuskan oleh Darcy (1856). Dalam pengamatannya, Darcy mengemukakan bahwa :

$$\frac{Q}{A} = q = \frac{-K(h_1 - h_2)}{l} = \frac{-K.\delta h}{\delta l}$$

Dimana :

Q = *spesific discharge* = kecepatan aliran persatuan luas (L^3/T)
K = konduktivitas hidrolika akuifer (L/T)
H = beda tinggi/beda tekanan potensial yang terbaca pada manometer (L)
l = panjang lintasan yang dilalui air (L)

Tindakan nyata pelestarian airtanah yang berupa pengelolaan sumur (*well management*) yang berdasar pada pengelolaan cekungan (*basin managemen*) adalah zona perlindungan sumber air baku/PSAB (*water resources protection*). Program PSAB titik beratnya pada perlindungan : (Hendrayana, 1995).

1. Kualitas air tenah (secara langsung dan merupakan tujuan utamanya)
2. Kualitas airtanah (secara tidak langsung)
3. Sumber air baku berupa mata air dan sumur produksi
4. Melindungi kualitas air di sumber agar dapat dimanfaatkan sesuai dengan peruntukkannya.

Di Jerman dan negara-negara Eropa, daerah perlindungan sumber air baku dapat dibagi 3, yaitu : (Hendrayana, 1995).

1. Zona perlindungan sumber air baku I, mempunyai radius 10-15 m dari sumber air. Tujuannya untuk melindungi sumber airtanah dari semua zat pencemar yang secara langsung dapat menurunkan kualitas air.
2. Zona perlindungan sumber air baku II, mempunyai manfaat melindungi airtanah dari bahaya pencemaran bakteriologis. Dalam hal ini adalah bakteri patogen seperti: bakteri colli, virus, parasit dan zat organic lain yang dapat menyebabkan degradasi kualitas air. Daerah ini dibatasi dengan didasarkan pada kecepatan aliran airtanah. Umumnya bakteri colli tidak dapat hidup lebih dari 50 hari dalam aquifer, sehingga periode 50 hari garis aliran menentukan radius daerah ini.
3. Zona perlindungan sumber air baku III, batasnya ditentukan dengan berdasarkan luas penyebaran *catchment area* dari sumber air baku tersebut berada. Tujuannya untuk melindungi sumber air baku dari sumber pencemar kimiawi dan radioaktif yang tidak dapat mengalami degradasi dalam jarak dekat.

Proses perhitungan jarak tempuh 50 hari dapat dibagi menjadi 3 tahapan :

1. Tahap perhitungan potensial airtanah pada setiap titik nodal, muka airtanah harus diperhitungkan, sehingga didapat n-titik nodal, n-perhitungan dengan n-nilai yang tidak diketahui.
2. Tahap perhitungan kecepatan airtanah dengan menggunakan hukum Darcy dan data muka airtanah serta permeabilitas, kecepatan aliran airtanah semu dapat dihitung. Oleh karena itu area pengganti dari suatu titik nodal dibagi menjadi 4 kuadran. Pada keempat kuadran tersebut kecepatan aliran airtanah dan permeabilitas konstan. Kecepatan Darcy dihitung dengan cara dibawah ini:

Kuadran I :

$Vfx = kf \times (h2 - h0)/x \quad Vfy = kf \times (h1 - h0)/x$

Kuadran II :
Vfx = kf x (h2-h0)/x Vfy = kf x (h3 – h0)/x

Kuadran III :
Vfx = kf x (h4 – h0)/x Vfy = kf x (h3 – h0)/x

Kuadran IV :
Vfx = kf x (h4 – h0)/x Vfy = kf x (h1 – h0)/x
Vfy = Kecepatan Darcy pada sumbu y (m/det)
Vfx = kecepatan Darcy pada sumbu x (m/det)
Kf = permeabilitas (m/s)
H4 – h0 = perbedaan pucuk air di dua ujung material (m)
x,y = panjang lintasan (m)

Kecepatan aliran airtanah semu dapat dihitung dengan :
Va = Vf/nsp
Va = kecepatan aliran airtanah semu (m/det)
Vf = kecepatan Darcy (m/det)
nsp = pososity efektif (%)

3. Tahap perhitungan pengaruh dispersi. Dispersi dimodelisasi dengan pergeseran partikel secara konvektif dengan pergerakan random yang memenuhi property statistik dan berpengaruh terhadap property dari proses dispersi. Efek dispersi pada proses transportasi massa dalam airtanah dihitung dengan menggunakan nilai ganda dari kecepatan aliran airtanah semu. Posisi partikel setelah transport pada suatu jarak tertentu dapat dihitung dengan: (Lossen, 1998).

$X = 2\ V\ ao\ t + 0{,}5\ ((D\ t)t)$ (2.6)
$X = 2\ V\ ao\ t + 0.5\ ((2\ Va - 2\ Vao)t)$
$X = t\ (2\ V\ ao + (V\ at - V\ ao))$

Yaitu :
X = posisi partikel pada waktu (t) tertentu (m)
2 Va = kecepatan aliran airtanah semu ganda pada t tertentu (m/hari)
2 Vao = kecepatan aliran airtanah semu ganda awal
t = waktu (hari)
D = variabel perubahan kecepatan (m/hari)

HIPOTESIS

1. Luasan Zona perlindungan Sumber Air Baku II dipengaruhi oleh nilai permeabilitas, porositas, dan arah aliran airtanah.
2. Zona perlindungan II pada sumur bor milik PDAM Kota Solo adalah sebagai berikut : Sumur Mojosongo, Kadipiro, Ngadisono dan Jebres cenderung mengarah ke Utara.

CARA PENELITIAN

Bahan penelitian adalah: Data (tinggi muka airtanah pada sumur gali, kondisi detail lokasi sumur serta tata guna lahan setiap sumur, porositas dan permeabilitas, curah hujan dan suhu, lokasi sumur bor, pengambilan air, data pumping test, konstruksi bor, permeabilitas, porositas, jenis akuifer, kedalaman akuifer, litologi, dan karakteristik akuifer, hasil analisis kualitas airtanah sumur bor PDAM Solo), serta peta (Penggunaan Lahan, Geologi dan Peta topografi).

Alat yang digunakan, yaitu : Peta (topografi skala 1 : 25000, Geologi lembar Solo skala 1 : 25000, Hidrogeologi lembar Solo skala 1 : 25000, Rencana Struktur Tata Ruang Wilayah Solo, Tata Guna Lahan Solo skala 1 : 25000), palu geologi, kompas geologi, buku catatan lapangan, alat ukur (meteran), komputer dan program pendukungnya (*flowpath* dan program yang lain) untuk analisis data dan pembuatan laporan, kalkulator, GPS, alat tulis.

Penelitian dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Pengurusan perijinan penelitian, pengkajian pustaka dengan tujuan untuk review konsep-konsep dasar mengenai PSAB dan modeling airtanah.

2. Membuat hipotesis dengan maksud agar sasaran penelitian dapat tercapai.
3. Pengumpulan data berupa :
   a. *data prime yaitu* ; data tinggi muka airtanah pada sumur gali dan data kondisi detail lokasi sumur serta tata guna lahan setiap sumur.
   b. *Data sekunder yaitu* ; Data (curah hujan dan suhu, lokasi sumur bor, pengambilan air, pumping test, konstruksi bor, permeabilitas, porositas, jenis akuifer, kedalaman akuifer, litologi, dan karakteristik akuifer. Hasil analisa kualitas airtanah sumur bor PDAM Solo), Peta (penggunaan lahan, geologi dan Peta topografi).
4. Melakukan observasi lapangan; pembuatan peta situasi, pengukuran muka airtanah, dan observasi tata guna lahan dan segala aktivitas di sekitar daerah penelitian.
5. Melakukan analisis dan perhitungan hasil temuan lapangan dan data-data lainnya, serta penggambaran peta-peta. Dilakukan juga diskretisasi peta dan perhitungan kecepatan aliran airtanah serta perhitungan *travel time* aliran airtanah. Kegiatan dilakukan di laboratorium komputer Fakultas Teknik UGM, dengan tujuan akhir untuk membuat peta zona perlindungan sumber air baku dan muka airtanah pada tiap sumur bor.
6. Penentuan tindakan dan program tindak lanjut yang diperoleh dalam implementasi Program PSAB di lapangan.
7. Pembuatan laporan penelitian

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Sumur Mojosongo

1. Akuifer Sumur Mojosongo

Secara geologi, sumur Mojosongo terdapat pada Formasi Kabuh dan Formasi Pucangan, yang tersusun atas batuan tufa, tufa pasiran, batu pasir tufaan, konglomerat, serta lempung. Mempunyai jenis akuifer setengah tertekan. Dengan ketebalan 43 m. Nilai permeabilitas dan porositas efektif masing-masing adalah 13.088 m/hari dan 19%.

2. Zona Perlindungan Sumber Air Baku

a. Zona I : zona ini merupakan area yang mempunyai radius 10 m dari sumur.
b. Zona II : zona ini merupakan area yang mengelilingi sumur, dengan jarak kurang lebih 250 m ke arah *upstream,* jarak ke downstream 100 m dan lebar sisi-sisinya ke arah timur laut 150 m dan barat daya 200 m.

B. Sumur Kadipiro

1. Akuifer Sumur Kadipiro

Secara geologi Sumur Kadipiro terdapat pada Formasi Notopuro dan Formasi Kabuh. Dan batuan penyusun adalah : tufa breksi, rufa pasiran, batu pasir tufaan maupun konglomerat. Mempunyai jenis akuifer setengah tertekan. Dengan ketebalan 45 m. Nilai permeabilitas dan porositas efektif masing-masing adalah 7.707 m/hari dan 15%.

2. Zona Perlindungan Sumber Air Baku

a. Zona I : zona ini merupakan area yang mempunyai radius 10 m dari sumur Kadipiro.
b. Zona II : zona ini merupakan area yang mengelilingi sumur Kadipiro dengan jarak *upstream* kurang lebih 225 m, jarak ke downstream 100 m dan lebar sisi-sisinya ke arah timur 125 m dan barat 150 m.

C. Sumur Ngadisono

1. Akuifer Sumur Ngadisono

Secara geologi Sumur Ngadisono terdapat pada Formasi Notopuro dan Formasi Kabuh. Dan batuan penyusun adalah : tufa breksi, tufa pasiran, batu pasir tufaan maupun konglomerat. Mempunyai jenis akuifer setengah tertekan. Dengan ketebalan 51 m. Nilai permeabilitas dan porositas efektif masing-masing adalah 13.099 m/hari dan 20%.

Tabel 1. Implementasi Tindak Lanjut Perlindungan untuk Tiap Zona Perlindungan pada Sumur Mojosongo.

ZPA	Sumber Kontaminasi	Resiko Kontaminasi	Larangan	Tindak lanjut	Keterangan
Zona I Radius 10 m dari sumur Mojo-songo	1. Rumah Penjaga	1. Semua aktifitas yang dapat mempengaruhi kualitas airtanah.	1. Melakukan kegiatan apapun yang dapat mempengaruhi kualitas airtanah.	1. Perluasan lahan kom-plek dan pemberian pagar pembatas untuk menutup area zona I.	Prioritas I
	2. Ruang generator	2. Resiko penetrasi BB M dan minyak pelumas.	2. Infiltrasi BBM atau-pun oli dari ruang ge-nerator.	2. Pengadaan kontainer penyimpan oli pelumas dan BBM.	Prioritas I
	3. Septic tank	3. Bakteri coli	3. Pembuangan limbah kotoran manusia pada sistem sanitasi yang tidak layak	3. Perbaikan sistem sanita-si dalam lingkungan kompleks.	Prioritas I
Zona II Jarak ke arah *upstream* 250 m, ke arah *down-stream* 100 m, lebar sisi ± 150 m-200 m mulai dari sumur	4. Tempat Pem-buangan sampah.	4. Leachate	4. Pembuangan sampah	4. Pemindahan lokasi TPA keluar zona II	Prioritas I
	5. Selokan drainase jalan	5. Pencemaran air permukaan dan limbah lain nya.	5. Infiltrasi air permuka-an dari saluran irigasi dan saluran drainase jalan.	5. Perbaikan/peningkatan saluran drainase jalan.	Prioritas III
	6. Kandang hewan	6. Kotoran hewan	6. Lahan yang digunakan untuk kandang hewan	6. Pemindahan lokasi kan-dang hewan pada lokasi yang terpusat.	Prioritas II
	7. Sumur gali	7. Bakteri coli, detergen dan zat lainnya	7. Pengotoran zat ber-bahaya ke sumur gali	7. Perbaikan & pembuatan dinding sumur gali serta sistem drainase air	Prioritas III
	8. Bangunan sekolah, gudang	8. Leachate dan bakteri coli	8 Aktivitas di sekolah, gudang, yang dapat membahayakan kualitas airtanah.	8. Identifikasi lokasi dan kelayakan pembuangan sampah dan sistem sanitasi.	Prioritas I
	9. Pertanian	9. Infiltrasi pupuk (kandang, buatan), pestisida dan jenis lainnya	9. Penggunaan pupuk buatan yang berlebihan	9. Penyuluhan penggunaan pupuk buatan secukup-nya sesuai kebutuhan lahan	Prioritas II
			10. Pengembangan bangunan konstruksi baru	10. Penyuluhan & peng-awasan di lapangan	Prioritas II
				11. Implementasi satu atau dua sumur observasi	Prioritas V
				12. Pengembangan metoda bertani yang berhasil guna untuk mengatasi banyaknya dampak ne-gatif bertani di zona II.	Priorias IV

2. Zona Perlindungan Sumber Air Baku

a. Zona I : zona ini merupakan area yang mempunyai radius 10 m dari sumur Ngadisono.

b. Zona II : zona ini merupakan area yang mengelilingi sumur Ngadisono dengan jarak *upstream* kurang lebih 250 m, jarak ke *downstream* 100 m dan lebar sisi-sisinya ke arah timur 175 m dan barat 200 m.

D. Sumur Jebres

1. Akuifer Sumur Jebres

Secara geologi Sumur Jebres terdapat pada Formasi Notopuro dan Formasi Kabuh. Dan batuan penyusun adalah : tufa breksi, tufa pasiran, batu pasir tufaan maupun konglomerat. Mempunyai jenis akuifer tertekan. Dengan ketebalan 51 m. Nilai permeabilitas dan porositas efektif masing-masing adalah 18.192 m/hari dan 21%.

2. Zona Perlindungan Sumber Air Baku

a. Zona I : zona ini merupakan area yang mempunyai radius 10 m dari sumur Jebres.

b. Zona II : zona ini merupakan area yang mengelilingi sumur Jebres dengan jarak *upstream* kurang lebih 265 m, jarak ke *downstream 125* m dan lebar sisi-sisinya ke arah timur 150 m dan barat 175 m.

Tabel 2. Implementasi Tindak Lanjut Perlindungan untuk Tiap Zona Perlindungan Sumur Kadipiro.

ZPA	Sumber Kontaminasi	Resiko Kontaminasi	Larangan	Tindak lanjut	Keterangan
Zona I Radius 10 m dari sumur Kadipiro	1. Ruang penjaga	1. Semua aktifitas yg dapat mempengaruhi kualitas airtanah	1. Melakukan kegiatan apapun yg dapat mempengaruhi kualitas air tanah	1. Perluasan lahan komplek & Pemberian pagar pembatas untuk menutupi area zona I	Prioritas I
	2. Ruang generator	2. BBM dan pelumas	2. Infiltrasi BBM atau oli dari ruang generator	2. Pengadaan kontainer penyimpan oli pelumas dan BBM	Prioritas I
	3. Septic tank	3. Bakteri coli	3. Pembuangan limbah manusia pada sistem sanitasi yang tidak layak	3. Perbaikan sistem sanitasi dalam lingkungan komplek	Prioritas I
Zona II Jarak kearah *upstream* 225 m, kearah *downstream* 100 m, lebar sisi ± 125 m – 150 m mulai dari sumur	4. Bangunan ruko, perkantoran, perumahan.	4. Leachate dan bakteri coli	4. Aktifitas di toko, perkantoran dan perrumahan yang dapat membahayakan kualitas airtanah.	4. Identifikasi lokasi dan kelayakan pembuangan sampah & sistem sanitasi	Prioritas I
	5. Pertanian	5. Pupuk, persisida dan zat lainnya	5. Penggunaan pupuk (buatan, kandang) pestisida yang kelebihan	5. Penyuluhan penggunaan pupuk buatan secukupnya sesuai kebutuhan lahan.	Prioritas III
	6. Sumur gali	6. Kotoran manusia, deterjen	6. Injeksi langsung zat berbahaya ke dalam akuifer	6. Proteksi terhadap sumur dan perbaikan kondisi dinding, serta saluran pembuangan dari sumur	Prioritas III
	7. Makam	7. Zat organic sisa pembusukan, bakteri	7. Pemakaman & perluas an makam	7. Pemindahan lokasi makam keluar zona II	Prioritas III
	8. Selokan	8. Infiltrasi air permukaan	8. Ilfiltrasi air permukaan dari sistem saluran air permukaan	8. Perbaikan/peningkatan lapisan pelindung pada saluran air pinggir jalan	Prioritas III
			9. Pengembangan bangunan konstruksi baru	9. Penyuluhan & pengawasan di lapangan	Prioritas II
				10. Implementasi satu atau dua sumur observasi	Prioritas V

Tabel 3. Implementasi Tindak Lanjut Perlindungan untuk Tiap Zona Perlindungan Sumur Ngadisono.

ZPA	Sumber Kontaminasi	Resiko Kontaminasi	Larangan	Tindak lanjut	Keterangan
Zona I Radius 10 m dari sumur Kadipiro	1. Ruang penjaga	1. Semua aktifitas yg dapat mempengaruhi kualitas airtanah	1. Melakukan kegiatan apapun yg dapat mempengaruhi kualitas air tanah	1. Perluasan lahan komplek & Pemberian pagar pembatas untuk menutupi area zona I	Prioritas I
	2. Septic tank	2. Bakteri coli	2. Pembuangan limbah manusia pada sistem sanitasi yang tidak layak	2. Peningkatan/perbaikan sarana sanitasi dalam kompleks sumur.	Prioritas I
	3. Ruang generator	3. Penetrasi BBM & minyak pelumas	3. Infiltasi BBM dan minyak pelumas.	3. Pengadaan kontainer untuk menyimpan BBM	Prioritas I
Zona II Jarak kearah *upstream* 250 m, kearah *downstream* 100 m, lebar sisi ± 175 m – 200 m mulai dari sumur	4. Makam	4. Zat organik sisa pembusukan, bakteri	4. Pemakaman & perluasan makam	4. Pemindahan lokasi makam keluar zona II	Prioritas III
	5. Bangunan ruko, sekolah, pergudangan, perumahan.	5. Leachate dan bakteri coli	5. Aktifitas di toko, perpergudangan, sekolah dan perumahan yang dapat membahayakan kualitas airtanah.	5. Identifikasi lokasi dan kelayakan pembuangan sampah & sistem sanitasi	Prioritas I
	6. Sumur gali	6. Kotoran manusia, deterjen	6. Pengotoran zat berbahaya ke sumur gali	6. Perbaikan/pembuatan dinding sumur gali beserta sistem drainase air.	Prioritas III
	7. Selokan	7. Infiltrasi air permukaan	7. Ilfiltrasi air permukaan dari sistem saluran air permukaan	7. Perbaikan/peningkatan lapisan pelindung pada saluran air pinggir jalan	Prioritas III
			8. Pengembangan bangunan konstruksi baru	8. Penyuluhan & pengawasan di lapangan	Prioritas II
				9. Implementasi satu atau dua sumur observasi	Prioritas IV

Tabel 4. Implementasi Tindak Lanjut Perlindungan untuk Tiap Zona Perlindungan Sumur Jebres.

ZPA	Sumber Kontaminasi	Resiko Kontaminasi	Larangan	Tindak lanjut	Keterangan
Zona I Radius 10 m dari sumur Ngadisono	1. Ruang jaga	1. Semua aktifitas yg dapat mempengaruhi kualitas air tanah	1. Melakukan kegiatan apapun yang dapat mempengaruhi kuali tas air tanah.	1. Perluasan tanah komplek dan pemberian pagar pembatas zona I	Prioritas I
	2. Ruang generator	2. Penetrasi BBM & minyak pelumas	2. Infiltrasi BBM dan minyak pelumas	2. Simpan drum BBM dan minyak pelumas dalam wadah penyimpan.	Prioritas I
	3. Septic tank	3. Bakteri coli	3. Pembuangan limbah manusia pada sistem sanitasi yang tidak layak.	3. Perbaikan/ peningkatan sarana sanitasi dalam kompleks sumur.	Prioritas I
Zona II Jarak kearah upstream 265 m, ke arah down stream 125 m, lebar sisi ± 150 m – 175 m mulai dari sumur.	4. Pompa bensin	4. Penetrasi BBM	4. Infiltrasi BBM dari Pom Bensin.	4. Pembuatan sistem penyimpanan BBM yang memenuhi syarat.	Prioritas II
	5. Rumah sakit	5. Bahan kimiawi, bakteri coli.	5. Pembuangan limbah padat dari rumah sakit	5. Perbaikan sistem pembuangan limbah yang memenuhi syarat.	Prioritas II
	6. Lubang sampah	6. Leachate	6. Pembuangan sampah padat maupun cair ke da;lam sungai.	6. Penyuluhan & pengawasan di lapangan.	Prioritas I
	7. Bangunan sekolah, ruko, krematorium, pergudangan, rumah sakit, perumahan	7. Bakteri coli, dan zat lainnya.	7. Akifitas di sekolah, ruko, pergudangan, krematorium & industri yang dapat membahayakan kualitas airtanah	7. Identifikasi lokasi dan kelayakan pembuangan sampah, limbah industri dan sistem sanitasi.	Prioritas I
	8. Sumur gali	8. Bakteri coli, deterjen, dll	8. Pengotoran zat berbahaya ke sumur gali	8. Perbaikan/ pembuatan dinding & lantai sumur gali beserta sistem drainasi air.	Prioritas III
	9. Selokan	9. Infiltrasi air permukaan.	9. Infiltrasi air permukaan dari sistem air permukaan.	9. Perbaiki/peningkat-an lapisan pelindung pada saluran air pinggir jalan.	Prioritas III
			10. Pengembangan bangunan, konstruksi baru (rumah, dll).	10. Penyuluhan & pengawasan di lapangan.	Prioritas II
				11. Implementasi satu atau dua sumur ob-servasi.	Prioritas IV

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan :

1. Luas zona I sumur Mojosongo, Kadipiro, Ngadisono dan Jebres ditentukan 10-15 m dari sumur. Sedangkan luas zona II untuk sumur Mojosongo mempunyai jarak *upstream* 250 m, jarak *downstream* 100 m. Dengan lebar sisi-sisinya 150 m dan 200 m. Pada sumur Kadipiro jarak *upstream* 225 m, *downstream* 100 m. Dengan lebar sisi-sisinya 125 m dan 150 m. Untuk sumur Ngadisono jarak *upstream* 250 m dan 100 m jarak *downstream*, lebar sisi-sisinya 175 m dan 200 m. Sumur Jebres, jarak *upstream* 265 m dan jarak *downstream* 125 m, dengan lebar sisi-sisinya 150 m dan 175 m.
2. Hampir 50% tata guna lahan pada zona II dari sumur Kadipiro, Ngadisono dan Jebres adalah perumahan. Sedangkan sumur Mojosongo 55% berupa lahan pertanian. Sisanya dipergunakan sebagai hutan, tempat pembuangan sampah, kuburan, sekolah, pergudangan, gedung perkantoran, rumah sakit, krematorium dll.

3. Segala larangan dan tindak lanjut pelaksanaan program PSAB ditetapkan berdasarkan sumber kontaminasi dan resiko kontaminasi dari masing-masing sumur. Prioritas I pelaksanaan program PSAB terutama dilakukan pada Zona I sumber air baku. Kemudian prioritas berikutnya pada zona II yang didasarkan pada nilai program dan nilai biaya dari masing-masing larangan dan program yang harus dilaksanakan. Karena sebagian besar tata guna lahan digunakan untuk perumahan, maka sumber kontaminasi terbesar adalah septik tank dan lubang pembuangan sampah rumah tangga. Untuk mengatasi hal ini tindak lanjut yang dilakukan adalah perbaikan/peningkatan sistem sanitasi dan disediakan bak-bak sampah yang permanen.
2. Luas zona II dipengaruhi oleh nilai permeabilitas. Bila permeabilitas besar, maka kecepatan aliran airtanah menjadi besar yang berdampak pada *travel time* yang semakin besar pula, sehingga zona II akan semakin luas.
3. Arah zona II dari semua sumur cenderung menuju ke arah *upstream* (utara), hal ini disebabkan oleh aliran airtanah yang mengalir dari arah utara ke arah selatan.

II. SARAN

1. Perlunya kebijaksanaan dari Dinas Tata Kota daerah Solo untuk mengatur dan mengawasi kegiatan pembangunan fisik yang ada di wilayah zona II sumur Jebres, Kadipiro, Ngadisono dan Mojosongo.
2. Segera dilakukan penyuluhan mengenai perlindungan sumber air baku (PSAB) pada masyarakat yang ada di wilayah zona II khususnya dan masyarakat kota Solo pada umumnya, agar kualitas dan kuantitas airtanah pada sumur Jebres, Kadipiro, Ngadisono dan Mojosongo dapat terjaga.
3. Program PSAB harus didukung oleh komitmen para stake holder, pemerintah, swasta dan masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

Anonimus, 1989. *Pengembangan dan Rehabilitasi Sistem Penyediaan Air Minum.* Surakarta ; PDAM Kotamadya Surakarta.

Bemmelen, R.W.Van., 1949. *The Geology of Indonesia.* Vol IA. Government Printing Office The Haque.

Bintarto dan Surastopo Hadisumarno., 1979. *Metode Analisa Geografi.* Jakarta; LP3ES.

Cholil, M.m 1996. *Kualitas Airtanah Bebas Berdasarkan Satuan Permukiman Di Kotamadya Surakarta*; Tesis, Yogyakarta; Fakultas Geografi UGM.

Darcy, H.P., 1856. *Les fontaines publiques de la Ville de Dijon* : Paris, Victor Dalmont.

Desai, SD., 1973. Geological Exploration of Groundwater. *Journal of Maharaja Sayajiran.* India: University of Baroda.

Domenico, Patrick A and Schwartz, Franklin W., 1990. *Physical and Chemical Hydrogeology;* John Wiley & Sons, New York.

Gatot, H.P. dan Liliek, W., 1988. *Pemakaian Model Numerik dalam Hidrogeologi dan Geoteknik,* Jurusan Teknik Pertambangan ITB, Bandung.

Harvey R.W., Kinner N.E., MacDonald D., Metge, D.W., Bunn A., 1993, *Role of Physical Heterogeneity in the Interpretation of Small-Scale Laboratory and Field Observation of bacteria, Microbial-Sized Microsphere, and Bromide Transport Through Aquifer Sediments* : Water Resources Research, vol 29 No. 8, American Geophysical Union.

Hendrayana, H. dan Putra, D.P.E., 1998. *Penentuan Zona Proteksi Airtanah*

Pada Sumur Bor Bimomartani Sleman dengan Metoda Random Walk; Prosiding PIT IAGI XXVII, Yogyakarta.

Hendrayana, H., 1995. *Hidrogeologi*; Kursus Singkat Pengelolaan Airtanah 1995, Yogyakarta.

Hendrayana, H., 1995. *Karakteristik Aquife*; Kursus Singkat Pengelolaan Airtanah 1995, Yogyakarta.

Hendrayana, H., 1995. *Pengelolaan Sumber Daya Air dan Peraturan-peraturan Pengambilan Airtanah;* Kursus Singkat Pengelolaan Airtanah 1995, Yogyakarta.

Hisyam., 1987. *Pengaruh Air Limbah Terhadap Sumur Gali*; Skripsi, Yogyakarta; Sarana Fakultas Geografi UGM.

Koppen-Geiger., 1936. *Handbuch de Klimatologie Verlags-buchhandlung. Cefruder Brontalges, Berlin, as Quated in Bernhard Haurwitz, PhD and James M. Austine, Sc.D. 1944. Climatology.* McGraw Hill-Book Company.

Lossen, H, 1988. *Component of Ground Water Pollutant Trasport Particullary for Conservative Contamination*; Prosiding Seminar DAAD-PAV ITB-RWTH Aachen, Bandung.

MacDonald, M. and Partners., 1984. *Greater Yogyakarta Groundwater Resources Study*-Vol 2 : *Hydrologie*-69 S., 20 Abb., 41 Tab; *Groundwater Development Project (P2AT),* Directorate General of Water Resources Development, Ministry of Public Works, Government of Republik Indonesia.

Martopi, Sugeng., 1990. *Prinsip-prinsip Ekologi.* Yogyakarta; Kursus Penyusun AMDAL.

Pemerintah Kotamadya Daerah Tingkat II Surakarta., 1996-1997. *Rencana Detail Tata Ruang Kota Surakarta Bagian Utara.*

Pennekoek, A.J., 1949. Outline of Geomorphology of Java. *Tijdskriff Van Het Koninklijk Nederlanesch Aadikkundig Genotscaap,* Vol LXVI.

Shibasaki, T., 1995. *Environmental Management Of Groundwater Basins,* Tokai University Press.

Spitz, K and Moremo, J., 1996. *A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modelling;* A Wiley Interscience Publ. Inc., New York.

Sudarmadji., 1995. *Pencemaran dan Proteksi Lingkungan. Bahan Ajaran Program Studi Ilmu Lingkungan*, Pascasarjana UGM. Yogyakarta; Program Pascasarjana UGM.

Sudarmaji dan Suyono., 1993. Kualitas Airtanah dan Tiga Ibukota Kecamatan (Kutowinangun, Prembun, dan Kutoarjo) dan kaitannya dengan sanitasi lingkungan sekitar. *Forum Geografi* Desember Nomor 13 tahun VII. Solo; Fakultas Geografi UMS.]

Suharyadi., 1989. *Perkembangan Kualitas Airtanah Dalam Pada Batuan Vulkanik Muda di DIY.* 42 S., 8 Abb., 3 Tab.; Lembaga Penelitian UGM, Yogyakarta.

Surakarta Water Project. 1979. *Groundwater Investigation and Well Development Report.* Ministry of Pulic Work, Directorate General Cipta Karya and Directorate of Sanitary Engineering.

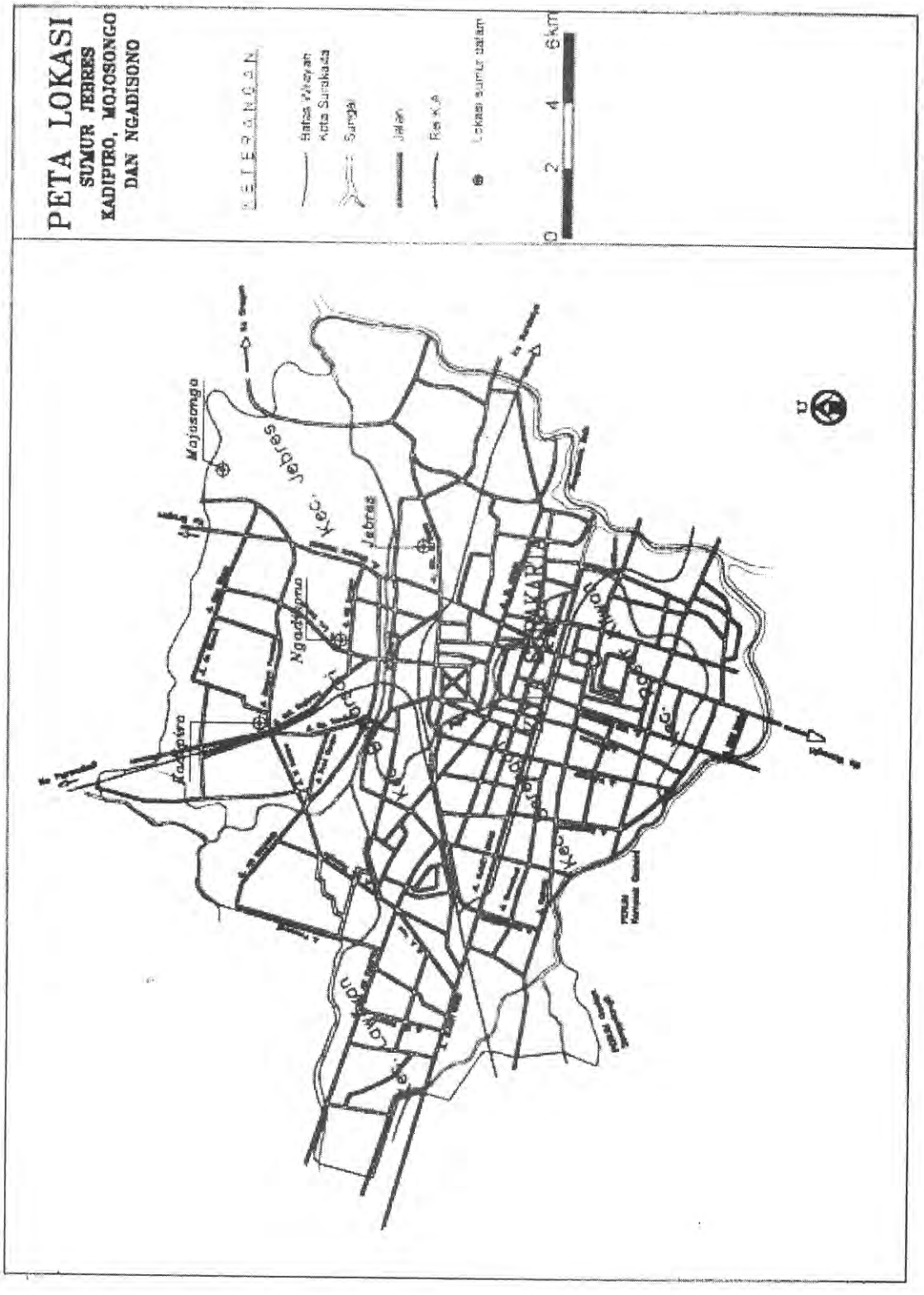
Sutikno. 1976. Land Degradation of Urban Area of Fluvio Volcanic Plain (Case Study of Yogyakarta Urban Area). *The Indonesian Journal of Geography*, December number 70th Vol. 27. Indonesia; The Fakulty of Geography Gajdah Mada University.

Todd, D.K., 1980. *Groundwater Hydrology.* New York : John Wiley and Sons. Inc.

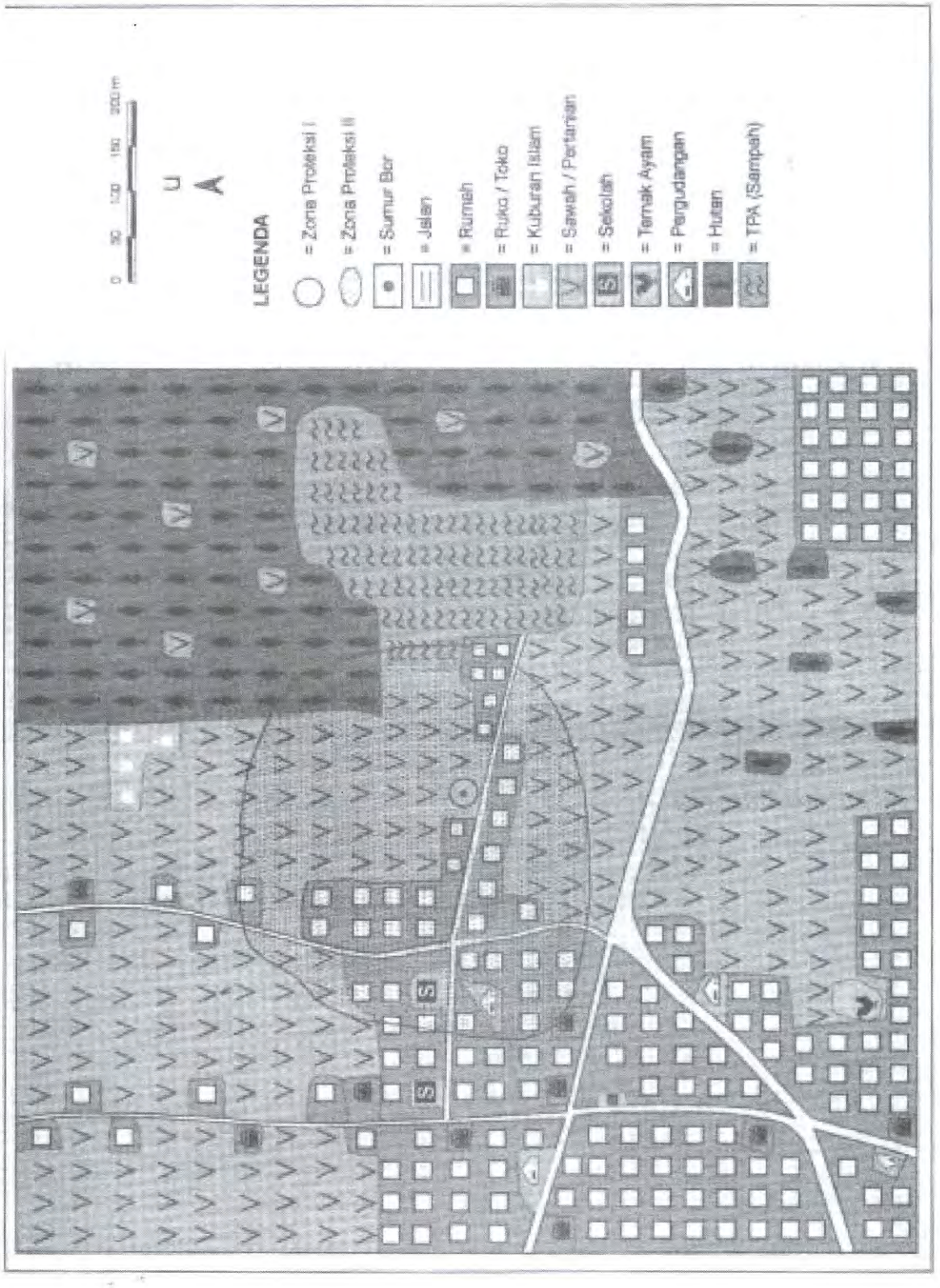
Totok Gunawan. 1992. *Pengaruh Perkembangan Fisik Kota Terhadap Perubahan Lingkungan di Kotamadya Surakarta dan Sekitarnya.* Laporan Penelitian Yogyakarta; Fakultas Geografi UGM.

Widiastuti, Wiwik., 1995. *Studi Penggunaan Air Sumur Bor Oleh PDAM Surakarta Untuk Air Minum Di Kawasan Surakarta Bagian Utara;* Skripsi, Yogyakarta. Fakultas Geografi UGM.

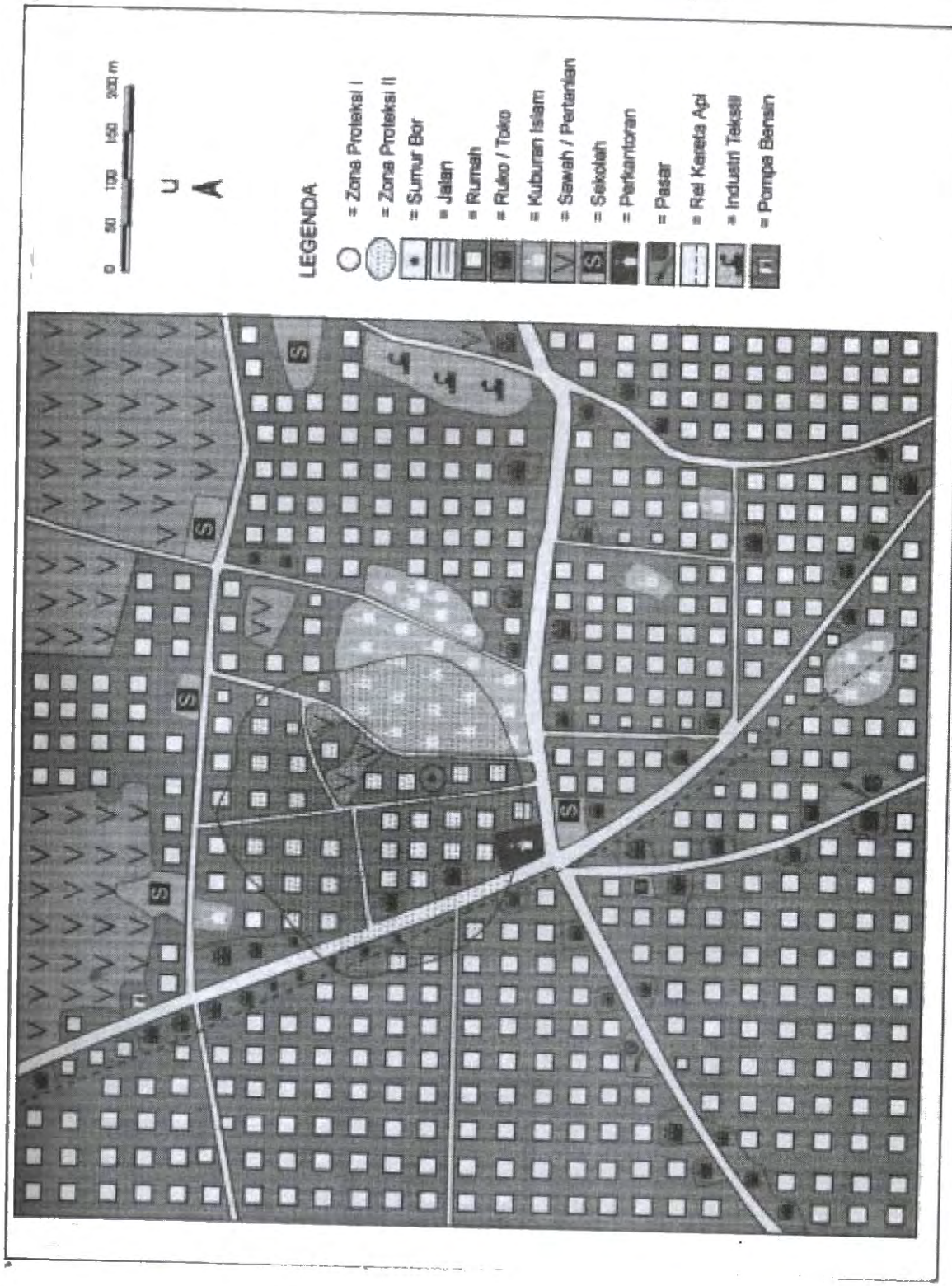
Gambar 1. Peta Lokasi Sumur Bor Jebres, Kadipiro, Mojosongo, dan Ngadisono



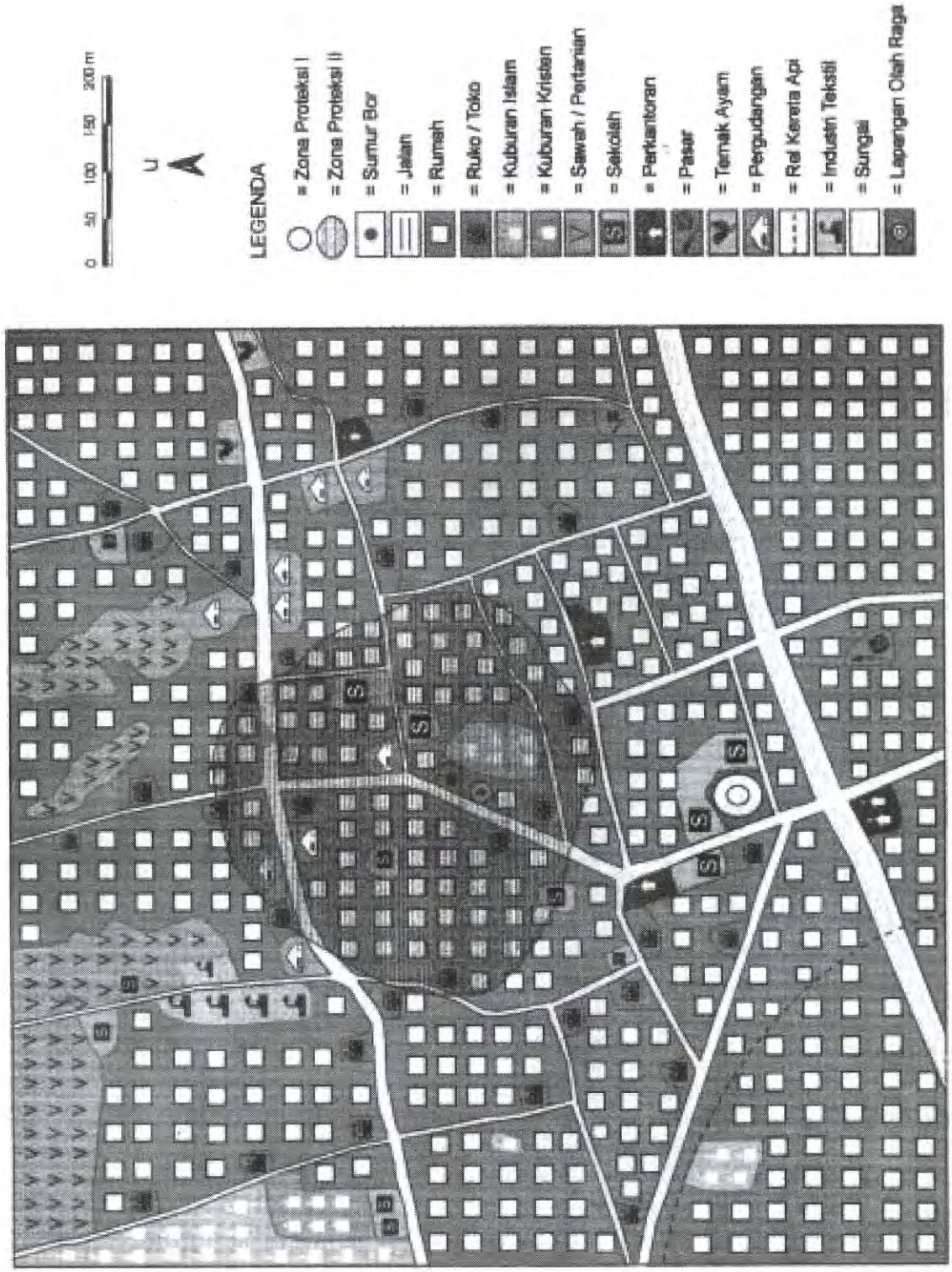
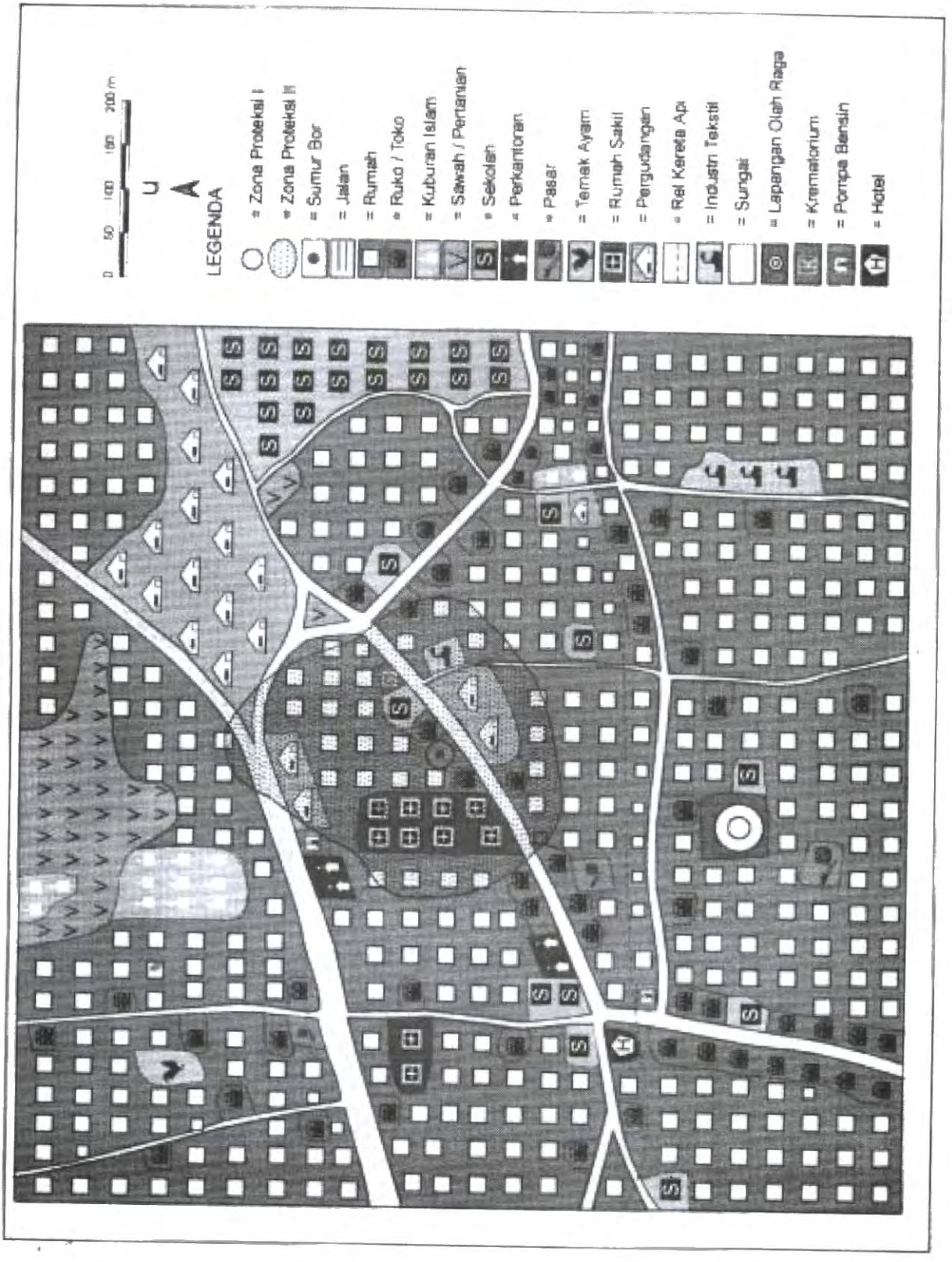
Gambar 2. Peta Zona PSBA Sumur Mojosongo



Gambar 3. Peta Zona PSBA Sumur Kadipiro



Gambar 4. Peta Zona PSBA Sumur Ngadisono



Gambar 5. Peta Zona PSBA Sumur Jebres