

HIDROGEOLOGI DAN PROGRAM KONSERVASI AIRTANAH DAERAH LERENG GUNUNG ARJUNO, KABUPATEN PASURUAN, JAWA TIMUR

Sari BAHAGIARTI K.¹, Puji PRATIKNYO¹, Herry RISWANDI¹, Ani MURYANI²

¹Program Studi Teknik Geologi, ²Program Studi Teknik Lingkungan,
Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta

Abstrak

Daerah penelitian terletak di lereng Timurlaut Gunung Arjuno, termasuk wilayah Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Secara fisiografi berada di perbatasan Zona Kendeng bagian Timur dan Subzona Solo. Berdasarkan bentuk lahannya, geomorfologi daerah penelitian dapat dibagi menjadi satuan-satuan geomorfik puncak gunungapi, lereng gunungapi, dataran fluvial, dan bukit antiklin. Litologi didominasi oleh batupasir, breksi dan andesit, yang merupakan produk vulkanik gunungapi Arjuno dan Welirang. Struktur geologi yang berkembang di bagian Timurlaut adalah antiklin, sedangkan di Baratdaya adalah sesar normal, dan sesar mendatar.

Di daerah penelitian terdapat 3 daerah aliran sungai (DAS), yaitu DAS Lumbangrejo, DAS Ketanireng, dan DAS Prigen. Jenis akuifer termasuk akuifer bebas dengan porositas celah dan antar butir, serta akuifer tertekan dengan porositas antar butir. Daerah imbuhan berada di ketinggian lebih dari 500 meter, sedangkan daerah luahan berada di ketinggian kurang dari 500 meter sampai 10 meter dari permukaan laut.

Penggunaan lahan yang terdiri dari pemukiman, industri, dan pertanian merupakan sumber pencemar yang paling besar terhadap kualitas airtanah. Data pemakaian airtanah di daerah penelitian menunjukkan bahwa ketersediaan airtanah tidak seimbang dengan jumlah pengambilannya. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian resiko terhadap kuantitas, kualitas, keberadaan, dan kesinambungan airtanah, untuk menentukan perencanaan dan langkah-langkah program konservasi air di daerah penelitian.

Kata Kunci: Sistem Hidrogeologi, Ketersediaan Airtanah, Konservasi.

1. Pendahuluan

Daerah lereng timurlaut Gunung Arjuno, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur (Gambar 1) memiliki sistem hidrogeologi yang potensial sebagai penyedia sumber airtanah, baik secara kuantitas maupun kualitas. Potensi yang besar ini mengakibatkan banyaknya industri yang menggunakan airtanah dari daerah ini, antara lain untuk produksi air minum dalam kemasan. Pengambilan airtanah tidak boleh melebihi kapasitas daerah tersebut untuk menyediakannya. Oleh karena itu program konservasi mutlak diperlukan guna menjaga kesinambungan dan kelestarian sumber air di daerah penelitian.

Penelitian ini dilaksanakan pada tahun 2011/2012 dengan pendekatan analitik, mengacu pada metodologi hidrogeologi lapangan menurut Moore (2002). Data yang dikaji terdiri atas data sekunder dan data primer yang diperoleh dari survei lapangan, pemetaan hidrogeologi, serta uji laboratorium, baik terhadap tanah, batuan, maupun sampel air baik airtanah maupun air permukaan. Adapun lokasi daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



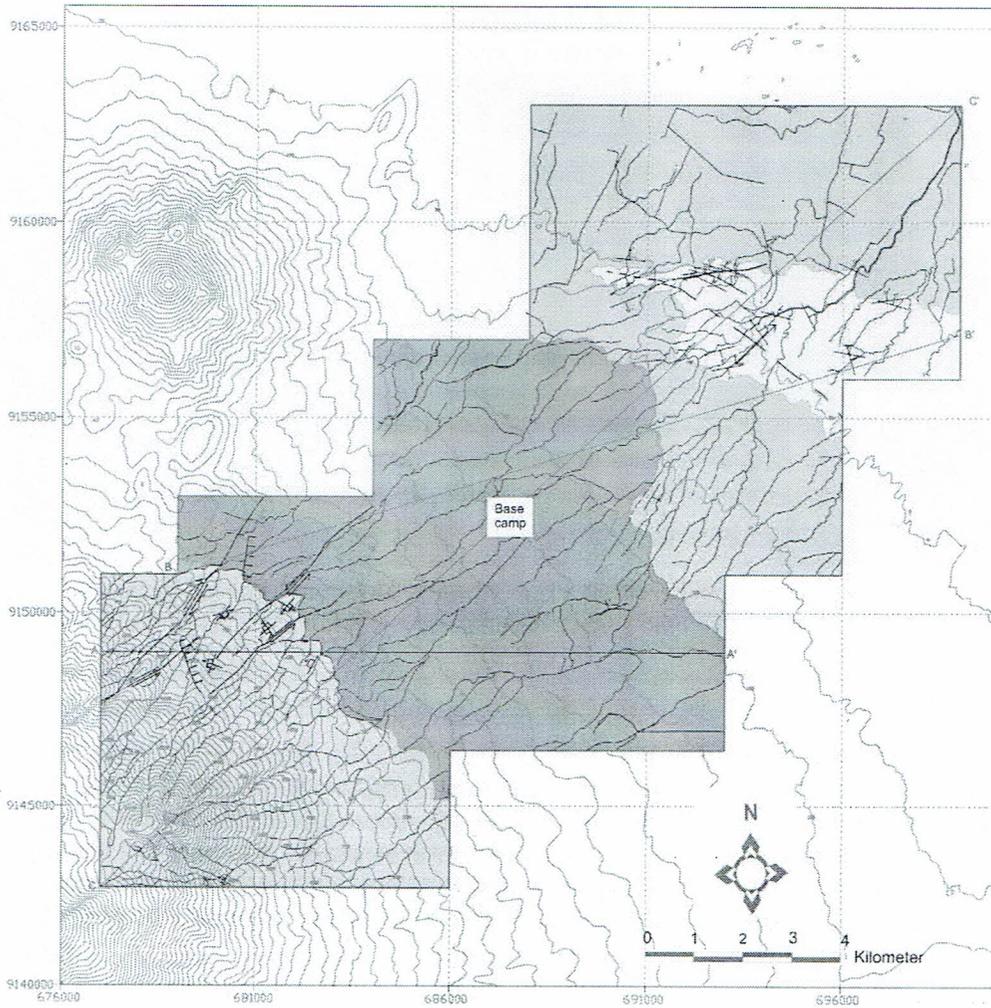


Gambar 1. Citra Google Earth menunjukkan lokasi daerah penelitian

2. Geologi

Daerah penelitian secara fisiografis berada di perbatasan Zona Kendeng bagian Timur dan Subzona Solo (Van Bemmelen, 1949). Berdasarkan klasifikasi Van Zuidam (1983), bentang alam daerah penelitian dapat dibagi menjadi 4 (empat) satuan geomorfologi, yaitu Satuan Puncak Gunungapi, Satuan Lereng Gunungapi, Satuan Dataran Fluvial, dan Satuan Bukit Antiklin. Satuan Puncak Gunungapi meliputi bagian puncak Gunung Arjuno, luasnya sekitar 1% dari daerah penelitian. Pola pengalirannya adalah radial, litologi penyusun terdiri dari batuan beku andesit dan basalt. Satuan Lereng Gunungapi meliputi bagian tubuh vulkanik Gunung Arjuno, menempati sekitar 24% dari luas daerah penelitian. Pola pengaliran adalah radial di bagian atas, dan parallel di bagian bawah, litologi penyusun terdiri dari lava andesit dan breksi vulkanik. Satuan Dataran Fluvial meliputi 71% dari daerah penelitian, pola pengaliran pada satuan ini berupa pola subdendritik, litologi penyusun pada umumnya merupakan hasil pelapukan dari lava andesit, breksi vulkanik, dan batupasir tufan. Satuan Bukit Antiklin meliputi 4 % dari daerah penelitian yang dikontrol oleh struktur geologi antiklin, pola aliran adalah pola subdendritik, litologi penyusun berupa batupasir tuf, breksi vulkanik dan konglomerat.

Stratigrafi daerah penelitian dari yang paling tua ke paling muda tersusun oleh Formasi Kabuh, Formasi Jombang, Satuan Batuan Gunungapi Kuarter. Formasi Kabuh terdiri atas batupasir tuf, batulempung tuf, batupasir karbonat, breksi dan konglomerat. Formasi ini berumur Pleistosen Tengah (Santoso, dkk, 1992). Formasi Jombang terdiri dari breksi pasiran, breksi, dan batupasir tuf, yang berumur Pleistosen Tengah, diendapkan secara selaras di atas Formasi Kabuh (Santoso, dkk, 1992). Satuan Batuan Gunungapi Kuarter terdiri dari Lava, breksi gunungapi, breksi lahar, breksi tuf, dan batupasir tuf, yang memiliki umur Pleistosen Tengah hingga Pleistosen Akhir. Satuan ini bersumber dari Gunung Arjuno dan Gunung Welirang. Peta geologi daerah penelitian adalah sebagaimana tersajikan di dalam gambar berikut ini.



LEGEND :

AGE		SYMBOL	UNIT	DESCRIPTION
Pleistocene	Late		Quaternary Volcanic Andesite Breccia	Consist of volcanic breccia, agglomerates, and lava. The deposits are dominated by breccia
			Quaternary Volcanic Andesite Lava	Consist of volcanic breccia, lava, Tuffaceous breccias, and dominated by lava andesite.
	Middle		Jombang Formation Sandy Breccia	Consists of breccia and tuffaceous sandstone. The deposits are dominated by sandy breccia.
			Kabuh Formation Tuf Sandstone	Consist of tuffaceous sandstone, tuffaceous mudstone, calcareous sandstones, conglomerate and clay. The deposits are dominated by tuffaceous sandstone

Gambar 2. Peta geologi daerah penelitian

Struktur geologi yang dijumpai di daerah penelitian adalah antiklin di bagian Timurlaut, dan sesar normal serta sesar mendatar di bagian Baratdaya daerah penelitian.

3. Sistem Hidrogeologi

Daerah Aliran Sungai (DAS)

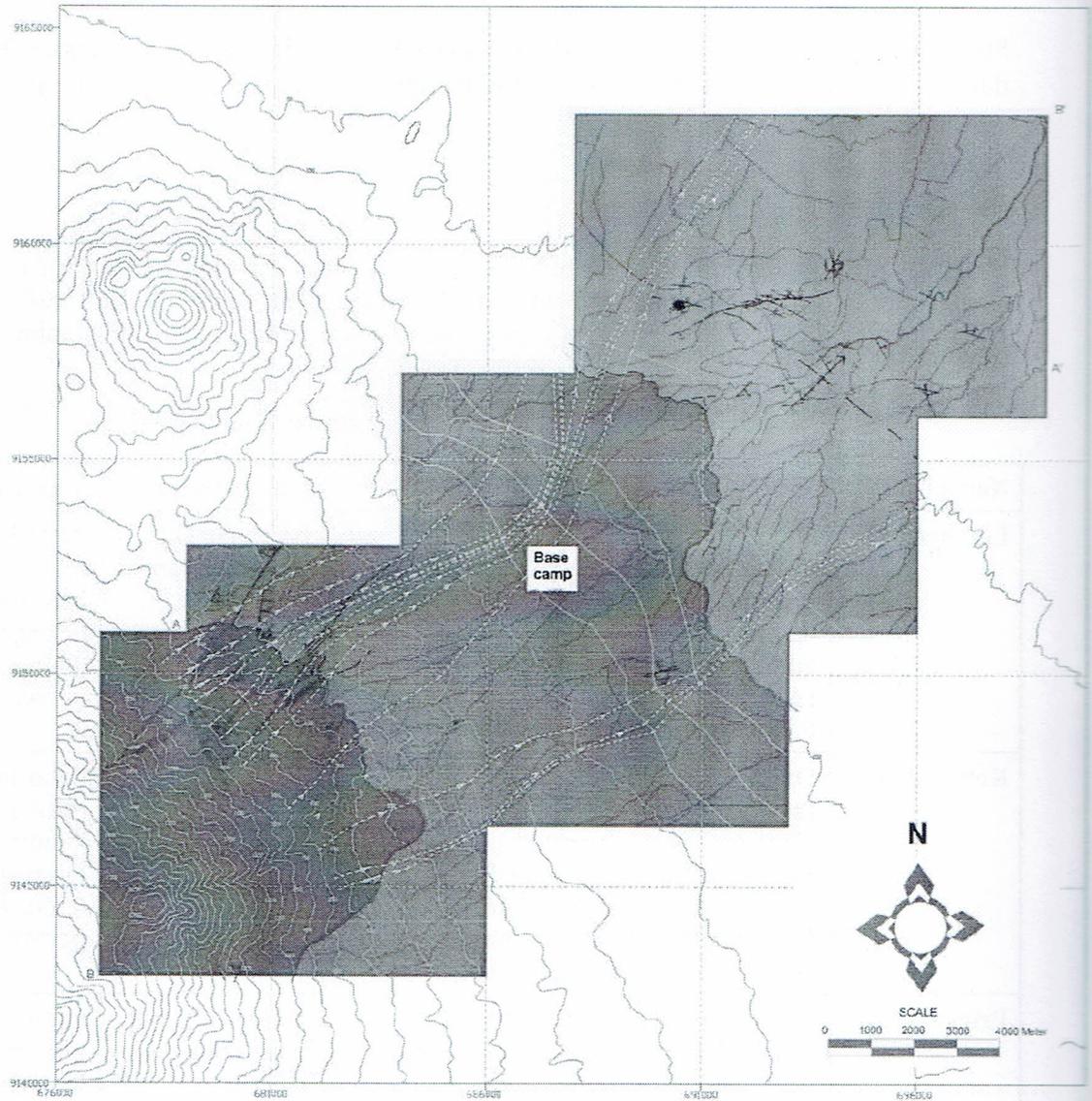
Mengkaji peta topografi dan peta hidrogeologi yang disusun oleh Arifin (2001), Burhanul (2002), serta pemodelan cekungan airtanah Pasuruan oleh Taufiq & Agus (2002), daerah penelitian dapat dibagi menjadi tiga Daerah Aliran Sungai (DAS) yaitu DAS Lumbangrejo, DAS Ketanireng, dan DAS Prigen, dengan diskripsi sebagai berikut:

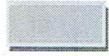
Tabel 1. Pembagian DAS di Lereng Timurlaut Gunung Arjuno

Nama DAS	Sungai Utama	Batuan Dasar	Topografi
Lumbangrejo	Sungai Lumbangrejo debit 0.2233 m ³ /detik hingga 0,2478 m ³ /detik (periodik), Sungai Pogar, debit 0,34m ³ /detik (permanen), Sungai Sumbersuko, debit 0,4 m ³ /detik (periodik), dan sungai Karangrejo, debit 0,02m ³ /detik (periodik)	batuan pasir, breksi vulkanik, breksi laharik, dan lava andesit	datar hingga miring, dengan kemiringan lereng mulai dari 0 hingga 20 persen.
Ketanireng	Sungai Baujeng, debit 0.10m ³ /detik (periodik), Sungai Karangjati, debit 1,1162 m ³ /detik (periodik), Sungai Sukolilo, debit 0.259 m ³ /detik (periodik), Sungai Pintahan, debit 0,34674 m ³ /detik (permanen), dan Sungai Tunggulwulung, debit 0,28 m ³ /detik (permanen)	batuan pasir, breksi vulkanik, breksi laharik, dan lava andesit	datar hingga miring, dengan kemiringan lereng mulai dari 0 hingga 55 persen.
Prigen	Sungai Curahrejo, debit 0,33925 m ³ /detik (periodik), Sungai Dayurejo, debit 0,3022 m ³ /detik (periodik), dan Sungai Sukolilo debit 0.07056 m ³ /detik (periodik)	breksi vulkanik dan breksi laharik	datar hingga miring dengan kemiringan lereng mulai dari 0 - 140 persen.

Akuifer

Mengacu Todd (1980), berdasarkan posisi stratigrafis dan jenis porositasnya, sistem akuifer di wilayah penelitian terdiri dari akuifer bebas dengan porositas celah, akuifer bebas dengan porositas antar butir, dan akuifer bebas dengan porositas antar butir (Lihat Gambar 3). Hasil pengukuran lapangan menunjukkan bahwa pada sistem akuifer tertekan dengan porositas celah dan porositas antar butir, ketinggian muka airtanah berkisar 2400-900 m. Pada akuifer tertekan dengan porositas antar butir, ketinggian muka airtanah berkisar 900-150 m, sedangkan pada akuifer bebas dengan porositas antar butir, ketinggian muka airtanah adalah 30 - 150 m.



SISTEM AKUIFER			
SIMBOL	POROSITAS	POSISI STRATIGRAFI	KETERANGAN
	CELAH	BEBAS	MAT 2400-900 m
	ANTAR BUTIR	TERTEKAN	MAT 900-150 m
	ANTAR BUTIR	BEBAS	MAT 30-150 m

Gambar 3. Peta distribusi akuifer daerah Lereng Gunung Arjuno

Dengan kompilasi data dari berbagai sumber (Tim Pemerintah Kabupaten Pasuruan, 2008, Dharmayanti, dkk, 2001, Purnomo dan Joko, 2007, Warsito, 1996), diketahui karakteristik akuifer di daerah penelitian dicirikan oleh ketinggian muka airtanah tertekan antara <72.5 m sampai >1.34 m, debit jenis (Qs) berkisar 0.28 sampai 5.88 lt/dt/m, transmisivitas / keterusan (T) berkisar 29.7 sampai 620 m²/hari.

Penyebaran dan Kuantitas Airtanah

Daerah resapan air pada umumnya bertopografi tinggi dengan kemiringan lahan relatif besar, sedangkan daerah luahan biasanya merupakan rendahan dengan muka airtanah dangkal, dan pelepasan airtanah adalah dominan. Kawasan resapan mempunyai ciri-ciri antara lain berupa perbukitan atau pegunungan, kandungan kimia airtanah relatif rendah dan umur airtanah relatif muda (Kusumayudha & Sutejo, 2008). Berdasarkan ciri - ciri di atas, daerah *recharge* berada pada topografi > 500 m, sedangkan daerah *discharge* menempati elevasi < 500 m di atas permukaan laut. Daerah resapan meliputi Sukoreno, Lumbangrejo, Prigen, Pecalukan, Leduk, Sukolilo, Dayurejo, Jatirejo, dan Watuagung. Daerah luahan meliputi Sekarjoho, Ketanireng, Bulukandang, Gambiran, Kedungringin, Cangkringmalang, Tambakan, Kalityar, dan Winong. Aliran airtanah secara umum dari arah Baratdaya ke Timurlaut.

Menurut Tim Pemerintah Kabupaten Pasuruan (2008), pemakaian air industri pada daerah penelitian adalah 405.299 m³/bulan = atau 4.063.588 m³/tahun, sedangkan berdasarkan hasil penghitungan, pemakaian air untuk domestik diperkirakan 1.296.942.500 l/bulan. Jadi, estimasi kebutuhan air daerah penelitian = pemakaian domestik + pemakaian industri = 20.426.898.000 l/tahun. Di sisi lain *total run off* pada tahun 2009 adalah 2.638.955,67 m³ per hari atau 2.638.955.670 l/hari, atau 963.218.819.550 l/tahun. Berdasarkan data volume curah hujan dan runoff pada tahun 2009 maka perkiraan jumlah airtanah dengan mengabaikan aspek evapotranspirasi adalah = 2.445.766.632.500 l - 963.218.819.550 l = 1.482.547.812.950 l. Berikut adalah grafik ketersediaan dan kebutuhan air daerah penelitian tahun 2009:



Gambar 4. Ketersediaan dan kebutuhan airtanah

Jumlah airtanah yang tersedia dari data penelitian sebesar 1,482,548 juta liter, dan kebutuhan akan airtanah sebesar 1,652,058 juta l/tahun.

Kualitas Airtanah

Parameter yang digunakan dalam penentuan kualitas airtanah di daerah penelitian meliputi parameter fisika, yaitu warna, bau, rasa, kekeruhan dan temperatur, kimia-fisika, yaitu Konduktivitas Elektrik (*Electric Conductivity* = EC), *Total Dissolved Solids* (TDS), dan pH., dan parameter kimia. Secara umum kualitas fisika dan kimia-fisika airtanah termasuk kategori layak

Dengan kompilasi data dari berbagai sumber (Tim Pemerintah Kabupaten Pasuruan, 2008, Dharmayanti, dkk, 2001, Purnomo dan Joko, 2007, Warsito, 1996), diketahui karakteristik akuifer di daerah penelitian dicirikan oleh ketinggian muka airtanah tertekan antara <72.5 m sampai >1.34 m, debit jenis (Qs) berkisar 0.28 sampai 5.88 lt/dt/m, transmisivitas / keterusan (T) berkisar 29.7 sampai 620 m²/hari.

Penyebaran dan Kuantitas Airtanah

Daerah resapan air pada umumnya bertopografi tinggi dengan kemiringan lahan relatif besar, sedangkan daerah luahan biasanya merupakan rendahan dengan muka airtanah dangkal, dan pelepasan airtanah adalah dominan. Kawasan resapan mempunyai ciri-ciri antara lain berupa perbukitan atau pegunungan, kandungan kimia airtanah relatif rendah dan umur airtanah relatif muda (Kusumayudha & Sutejo, 2008). Berdasarkan ciri - ciri di atas, daerah *recharge* berada pada topografi > 500 m, sedangkan daerah *discharge* menempati elevasi < 500 m di atas permukaan laut. Daerah resapan meliputi Sukoreno, Lumbangrejo, Prigen, Pecalukan, Leduk, Sukolilo, Dayurejo, Jatirejo, dan Watuagung. Daerah luahan meliputi Sekarjoho, Ketanireng, Bulukandang, Gambiran, Kedungringin, Cangkringmalang, Tambakan, Kalityar, dan Winong. Aliran airtanah secara umum dari arah Baratdaya ke Timurlaut.

Menurut Tim Pemerintah Kabupaten Pasuruan (2008), pemakaian air industri pada daerah penelitian adalah 405.299 m³/bulan = atau 4.063.588 m³/tahun, sedangkan berdasarkan hasil penghitungan, pemakaian air untuk domestik diperkirakan 1.296.942.500 l/bulan. Jadi, estimasi kebutuhan air daerah penelitian = pemakaian domestik + pemakaian industri = 20.426.898.000 l/tahun. Di sisi lain *total run off* pada tahun 2009 adalah 2.638.955,67 m³ per hari atau 2.638.955.670 l/hari, atau 963.218.819.550 l/tahun. Berdasarkan data volume curah hujan dan runoff pada tahun 2009 maka perkiraan jumlah airtanah dengan mengabaikan aspek evapotranspirasi adalah = 2.445.766.632.500 l - 963.218.819.550 l = 1.482.547.812.950 l. Berikut adalah grafik ketersediaan dan kebutuhan air daerah penelitian tahun 2009:



Gambar 4. Ketersediaan dan kebutuhan airtanah

Jumlah airtanah yang tersedia dari data penelitian sebesar 1,482,548 juta liter, dan kebutuhan akan airtanah sebesar 1,652,058 juta l/tahun.

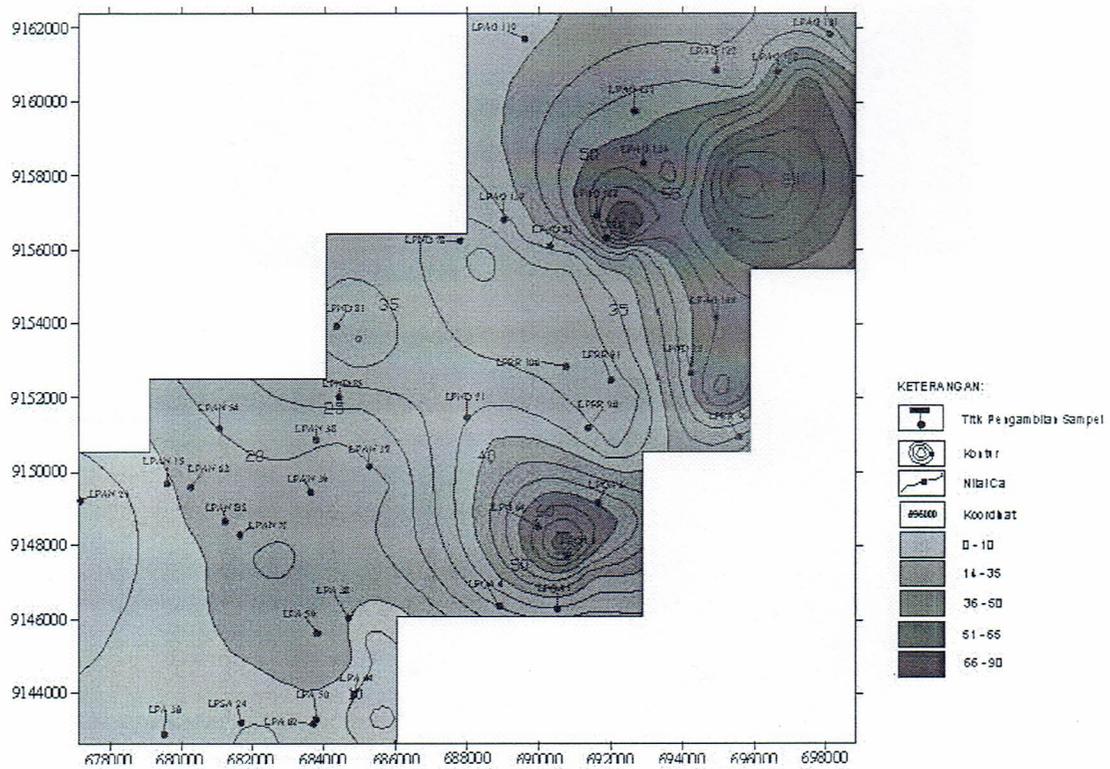
Kualitas Airtanah

Parameter yang digunakan dalam penentuan kualitas airtanah di daerah penelitian meliputi parameter fisika, yaitu warna, bau, rasa, kekeruhan dan temperatur, kimia-fisika, yaitu Konduktivitas Elektrik (*Electric Conductivity* = EC), *Total Dissolved Solids* (TDS), dan pH., dan parameter kimia. Secara umum kualitas fisika dan kimia-fisika airtanah termasuk kategori layak

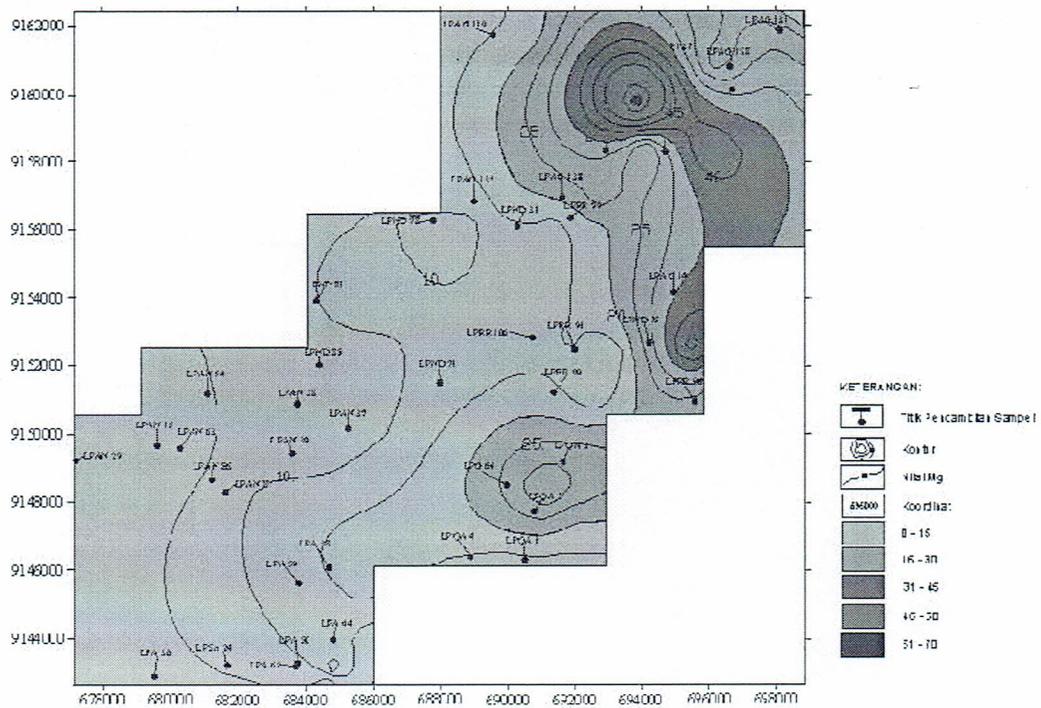
sebagai air bersih. Sementara itu parameter kimia yang diuji adalah: Na, Ca, Cl, Mg, SO₄, NO₃, NO₂, HCO₃, Fe, Mn, dengan data sebagaimana tercantum dalam Tabel 2. Adapun distribusi unsur-unsur kimia airtanah daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 5. Sampai dengan Gambar 14.

Tabel 2. Distribusi Unsur Kimia Airtanah di Daerah Penelitian

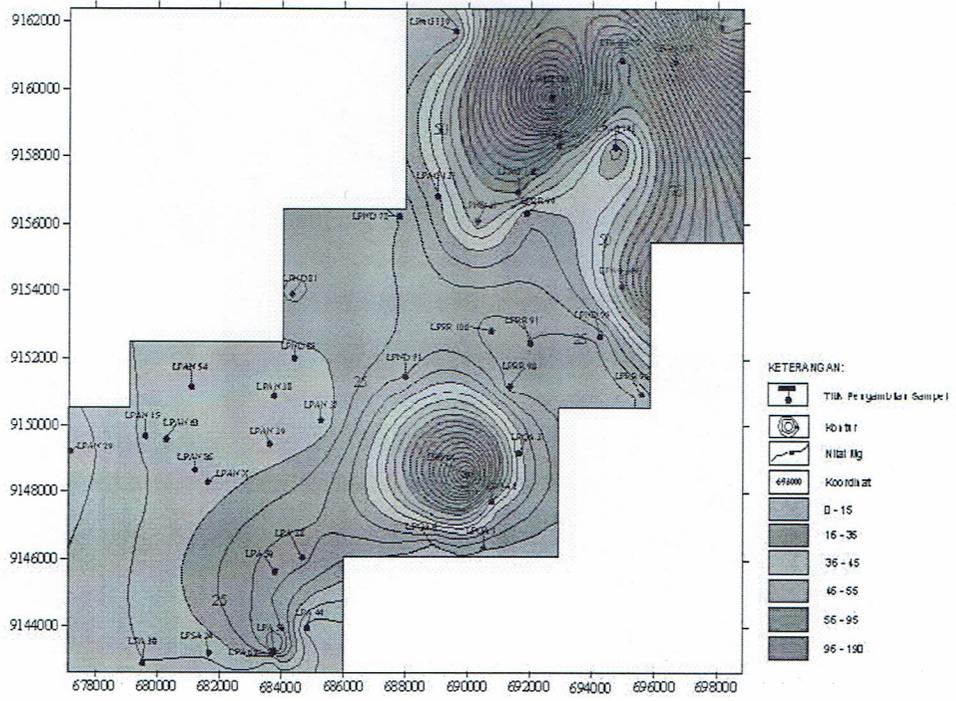
Unsur Kimia	Konsentrasi Tertinggi	Lokasi Daerah/Desa	Keterangan
Ca	66 - 90 mg/l.	Olomobokurin, Kolusari, Kiduldalem, Baujeng, dan Lecasari	-
Mg	61 - 70 mg/l.	Kecamatan Pandaan dan sekitarnya, Kecamatan Prigen,	-
Na	95 - 190 mg/l	Kalianyar, Kalirejo, Tambakan dan Ngadimilio,	-
Fe	0,28 - 0,32 mg/l	Wonokerto, Kenduran, dan Candibinangun.	Sedikit di atas baku mutu (Maksimum 0,3 mg/l)
Mn	0.6 - 1.45 mg/l.	Glanggang, Pagak, Kedungboto, dan Kalirejo	Melebihi baku mutu (Maksimum 0,4 mg/l.)
HCO ₃	401 - 460 mg/l	Kecamatan Beji	-
SO ₄	81 - 105 mg/l	Wonokoyo, Gunung Sari, dan Gununggangsir	Tidak melebihi baku mutu (Maksimum 250 mg/l)
Cl	75 mg/l	Kecamatan Beji	Tidak melebihi baku mutu (Maksimum 250 mg/l)
NO ₃	40 - 49 mg/l	Cangkringmalang	Tidak melebihi baku mutu (Maksimum 50 mg/l)
NO ₂	6 - 7 mg/l	Kalirejo, Glanggang, Pagak, dan Kauman	Melebihi baku mutu (Maksimum 3 mg/l)



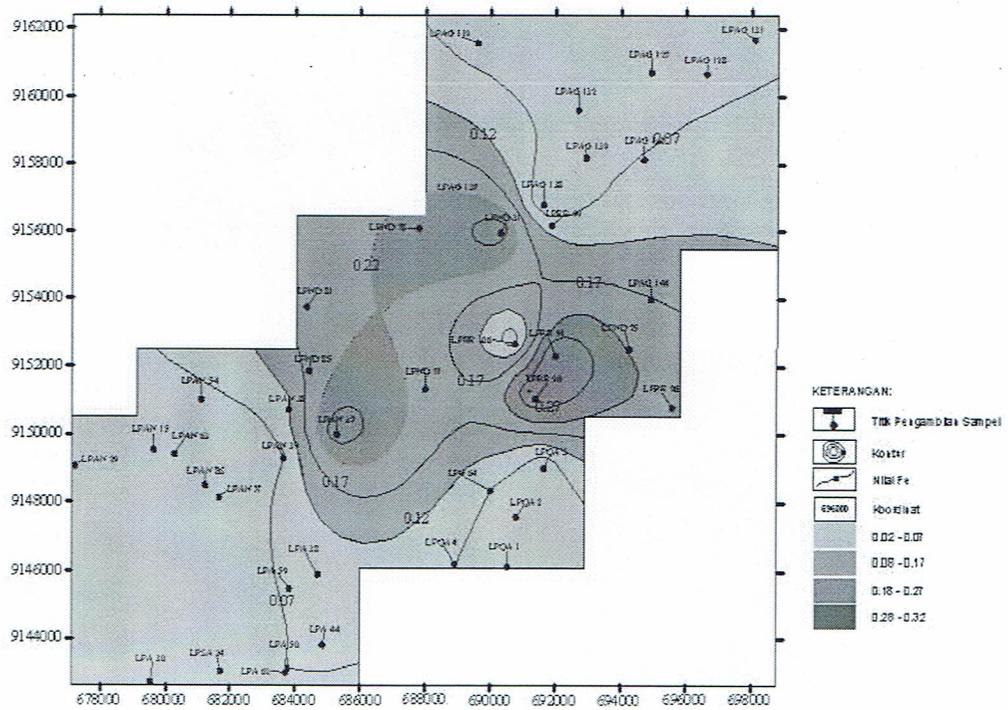
Gambar 5. Peta konsentrasi Ca daerah penelitian



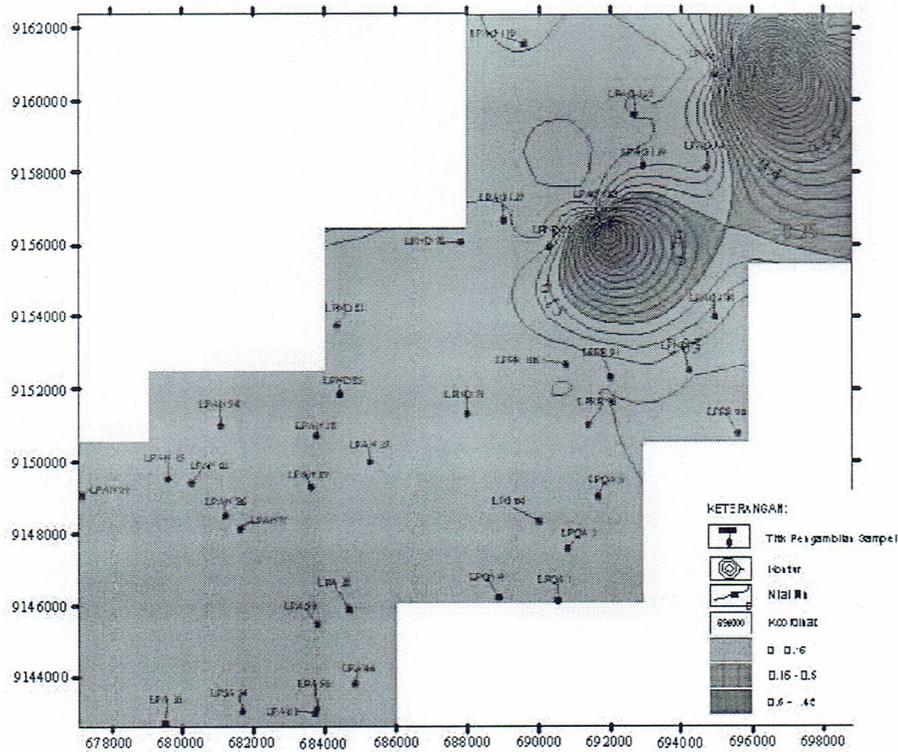
Gambar 6. Peta konsentrasi Mg daerah penelitian



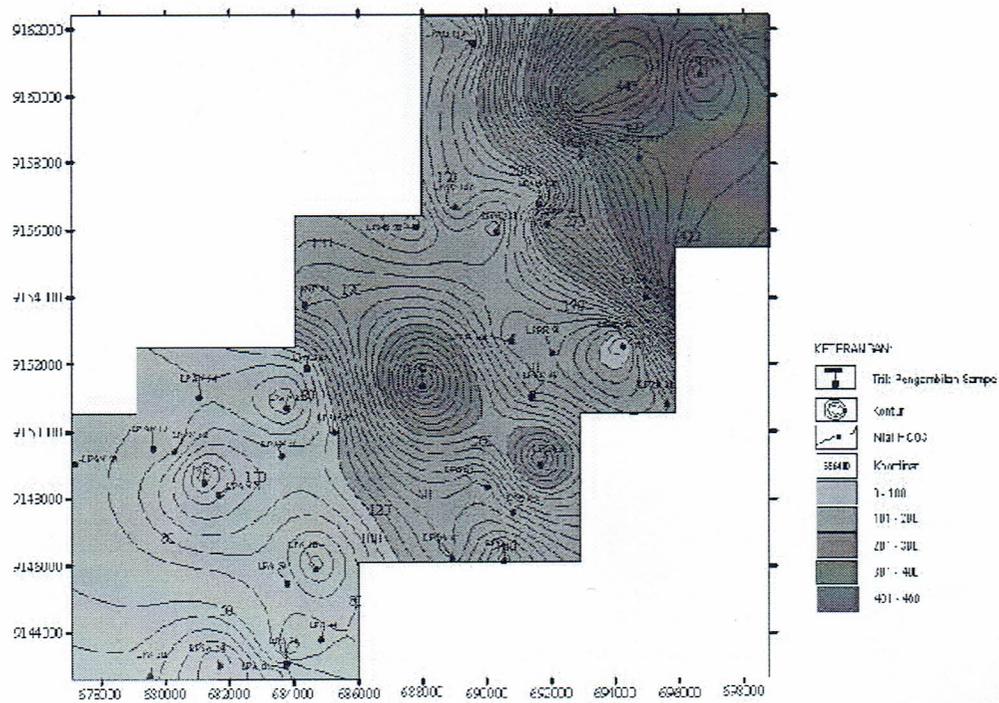
Gambar 7. Peta konsentrasi Na daerah penelitian



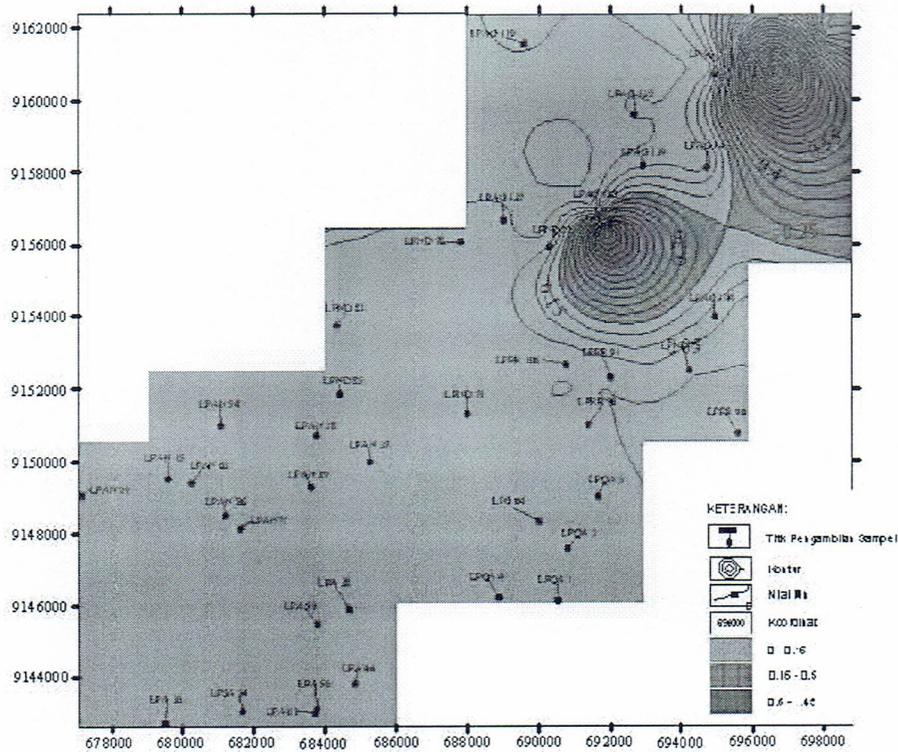
Gambar 8. Peta konsentrasi Fe daerah penelitian



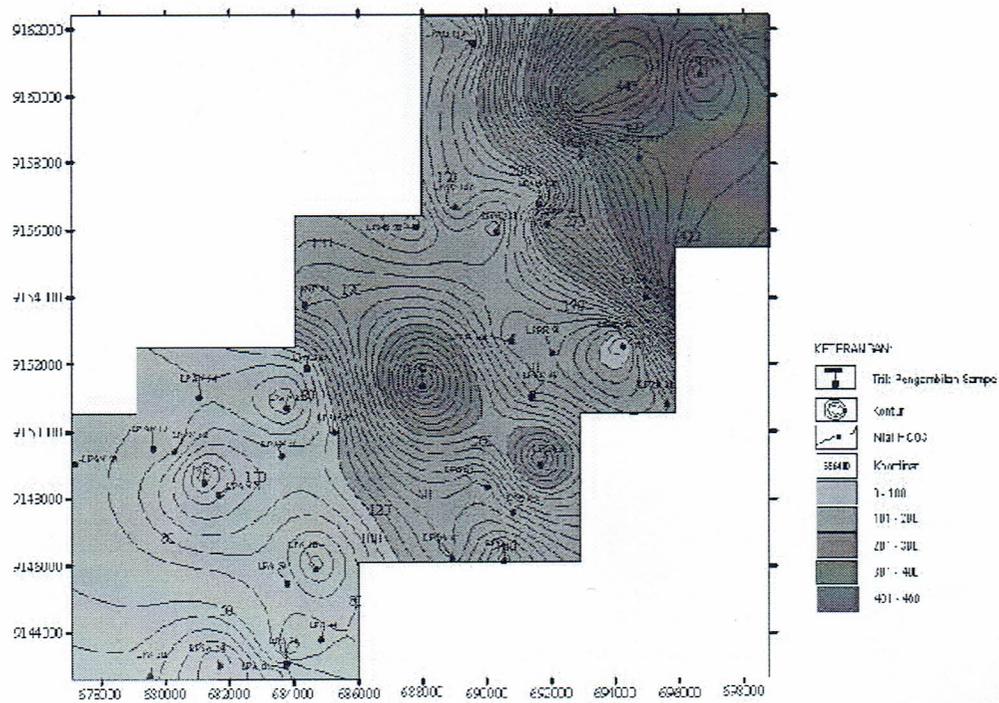
Gambar 9. Peta konsentrasi Mn daerah penelitian



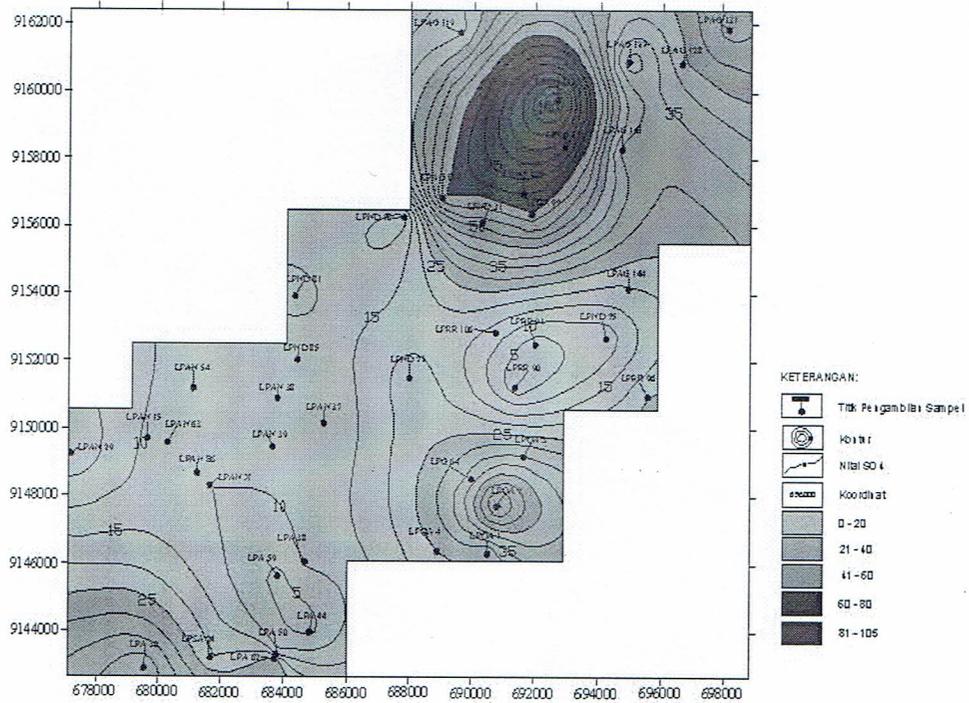
Gambar 10. Peta konsentrasi HCO_3 daerah penelitian



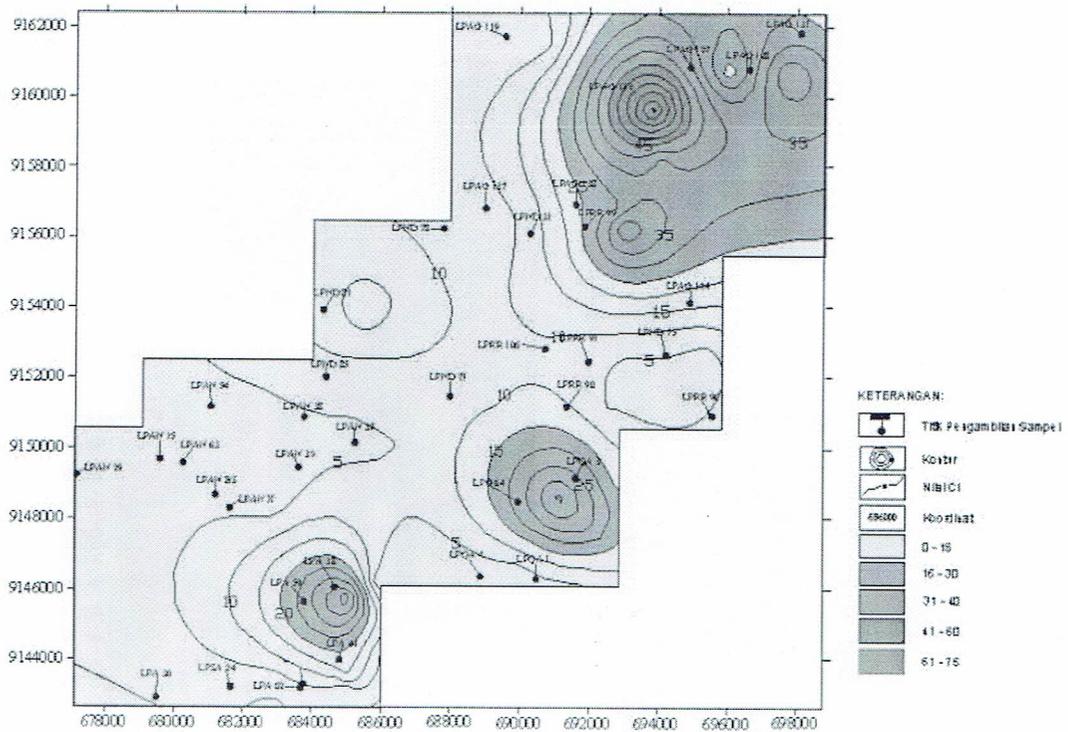
Gambar 9. Peta konsentrasi Mn daerah penelitian



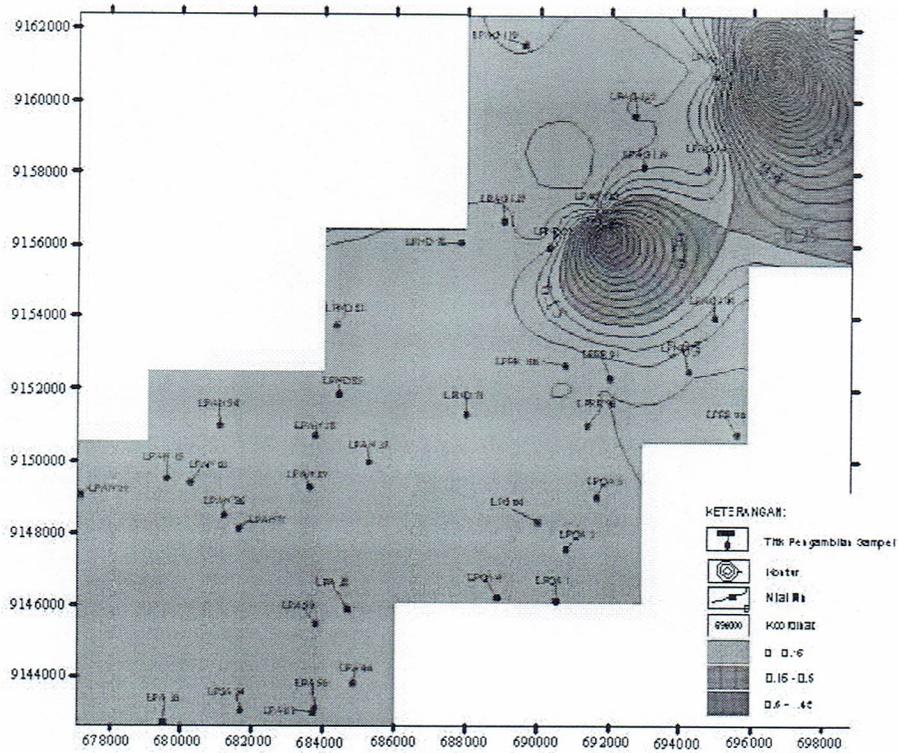
Gambar 10. Peta konsentrasi HCO_3 daerah penelitian



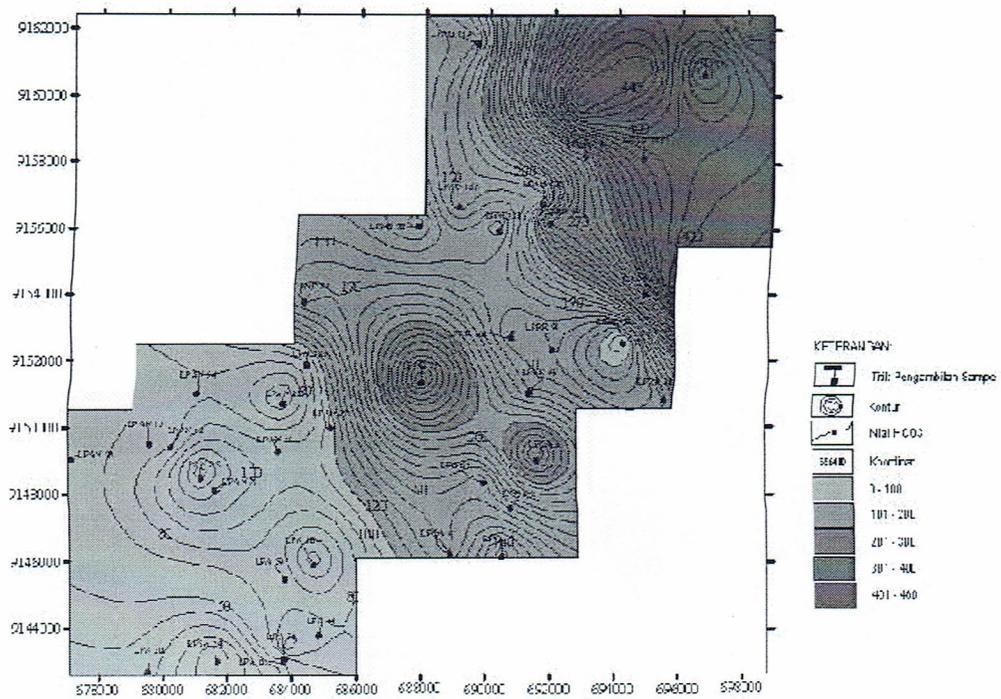
Gambar 11. Peta distribusi konsentrasi SO₄ pada airtanah.



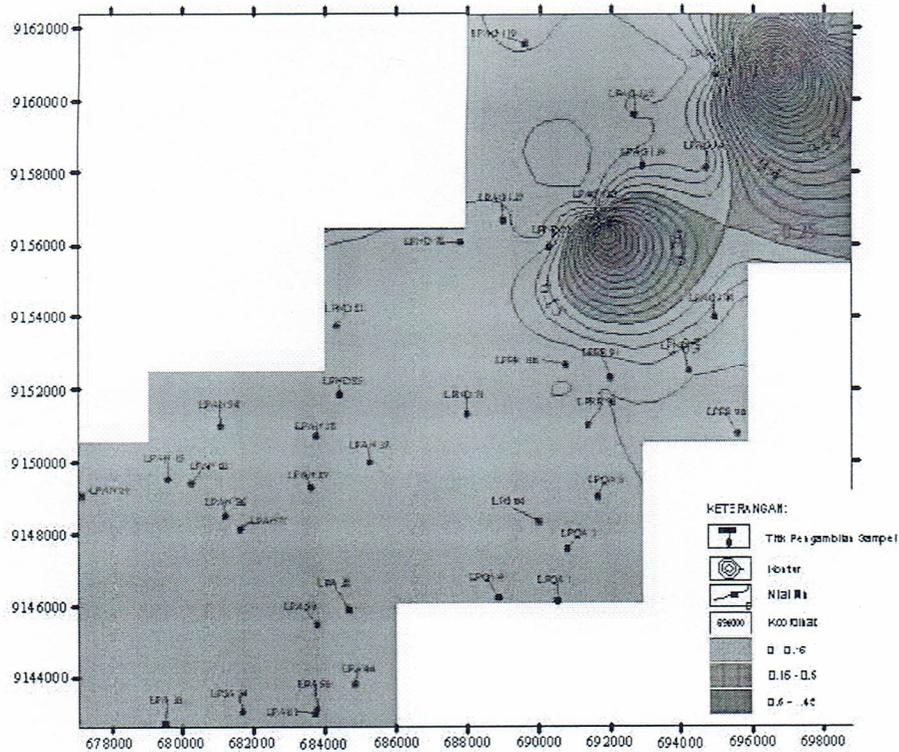
Gambar 12. Peta konsentrasi Cl daerah penelitian



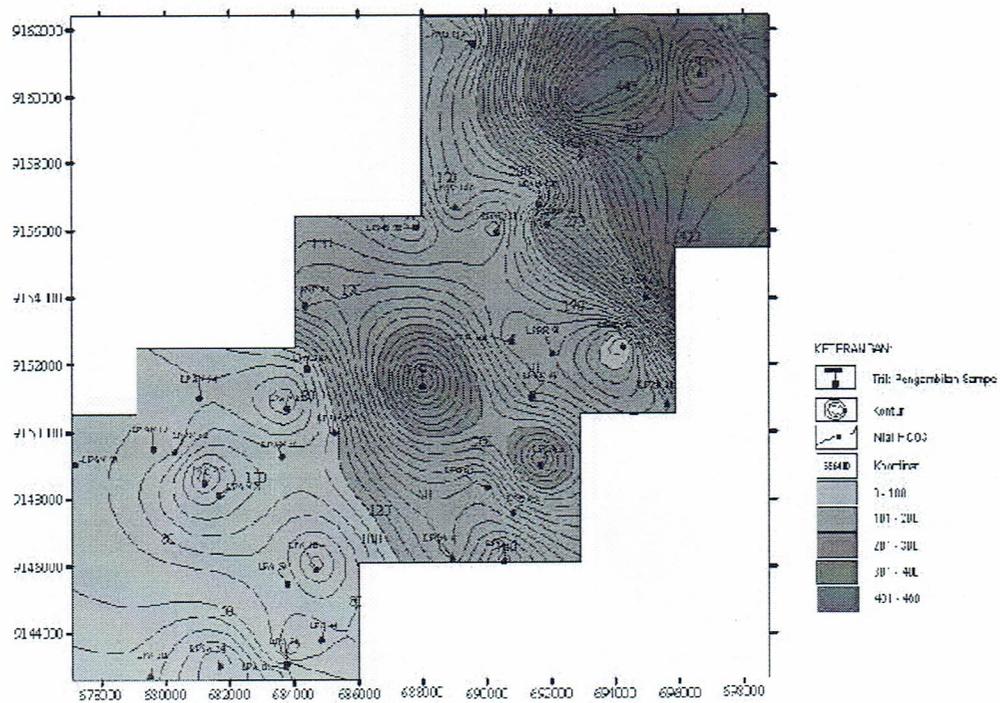
Gambar 9. Peta konsentrasi Mn daerah penelitian



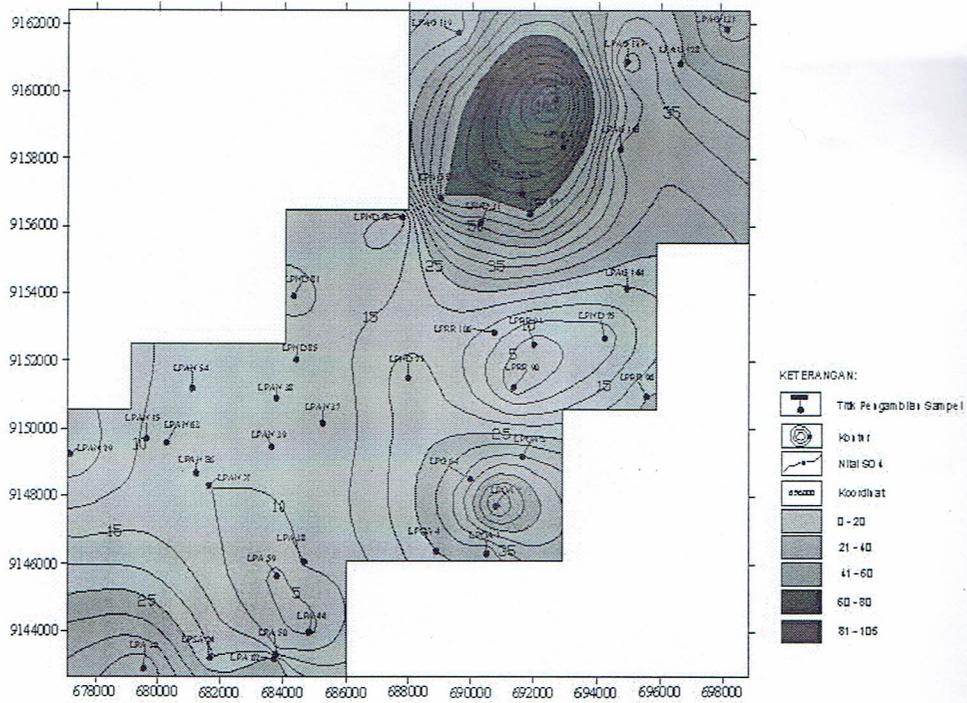
Gambar 10. Peta konsentrasi HCO_3 daerah penelitian



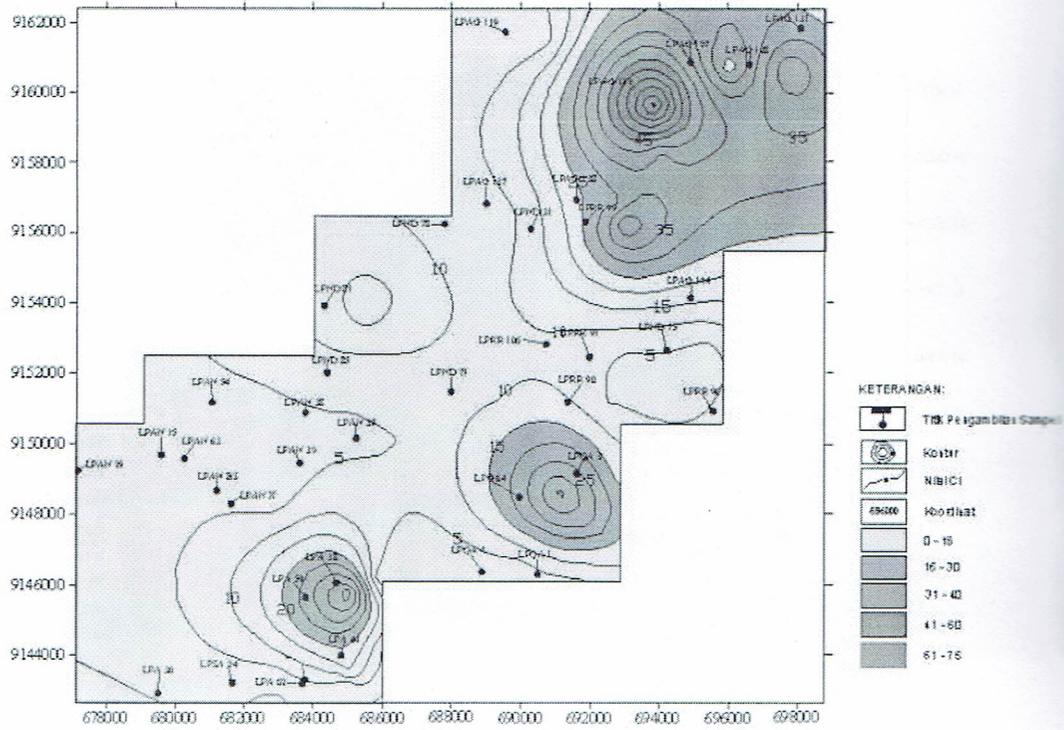
Gambar 9. Peta konsentrasi Mn daerah penelitian



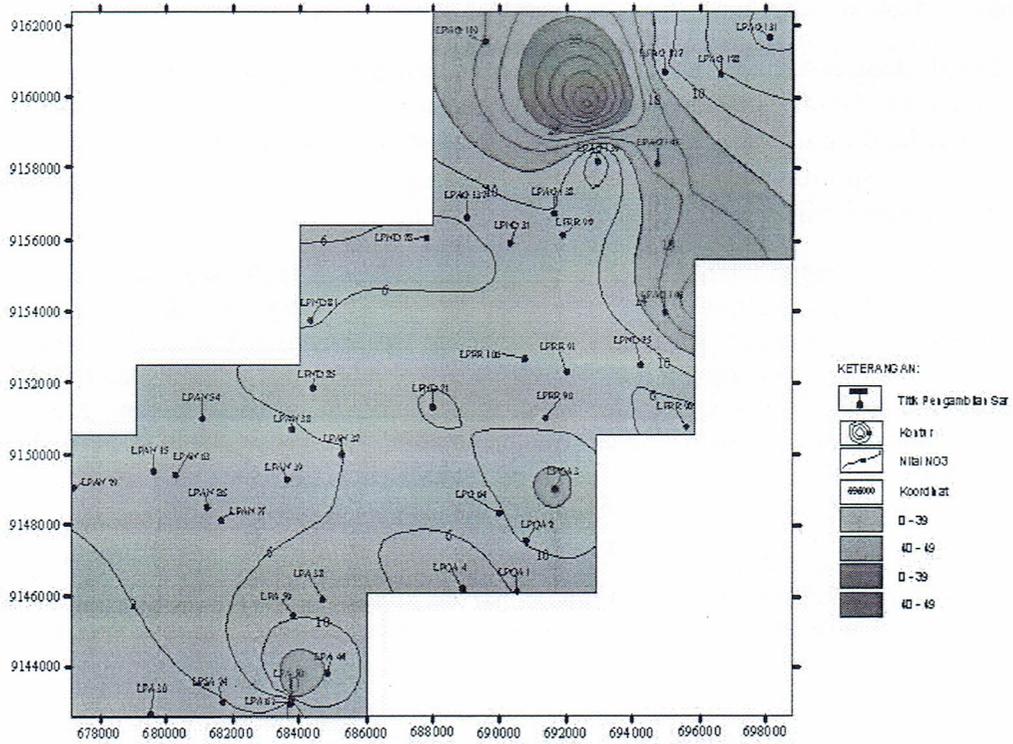
Gambar 10. Peta konsentrasi HCO₃ daerah penelitian



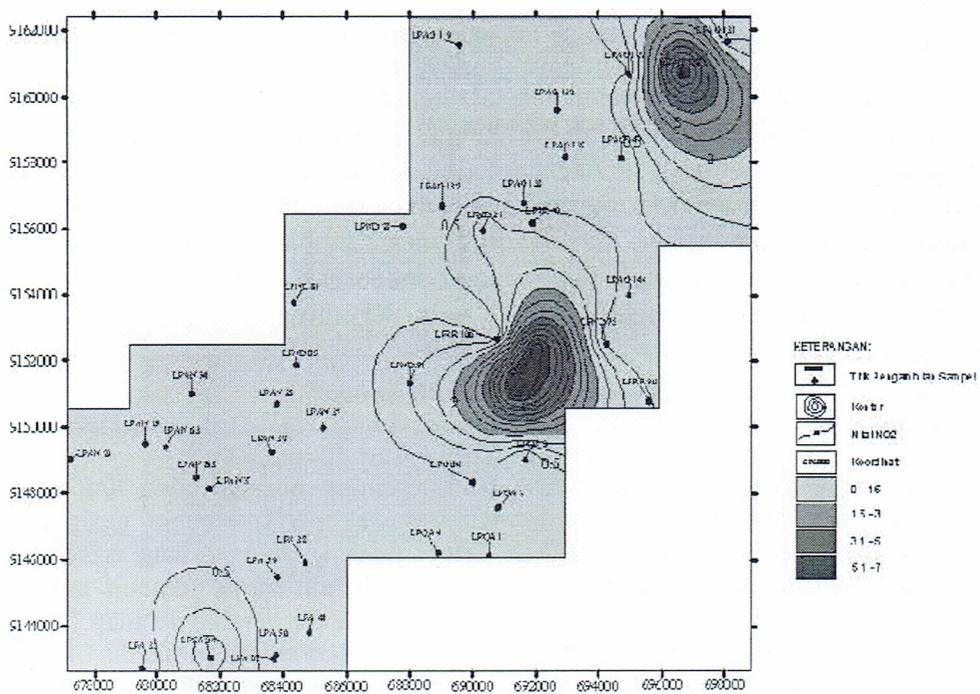
Gambar 11. Peta distribusi konsentrasi SO₄ pada airtanah.



Gambar 12. Peta konsentrasi Cl daerah penelitian



Gambar 13. Peta konsentrasi NO₃ daerah penelitian



Gambar 14. Peta konsentrasi NO₂ daerah penelitian

4. Konservasi Airtanah

Eksplorasi airtanah yang dilakukan di daerah lereng Gunung Arjuno dan sekitarnya, sebagian besar digunakan untuk menunjang industri. Selain itu, airtanah juga dimanfaatkan untuk dijual sebagai air kemasan (Dharmayanti, dkk, 2001, Purnomo, dkk, 2007). Eksplorasi airtanah yang berlebihan akan mengancam keberlangsungan airtanah itu sendiri, oleh karena itu, program konservasi mutlak perlu dilakukan.

Perubahan tataguna lahan yang berimplikasi terhadap berkurangnya jumlah air hujan yang masuk ke dalam tanah ternyata berkesinambungan dengan ketersediaan airtanah yang semakin berkurang. Fenomena ini perlu diantisipasi dengan tindakan yang tepat melalui upaya konservasi airtanah, yang pada prinsipnya mengelola penggunaan airtanah seefisien mungkin dan meningkatkan resapan air yang masuk dalam tanah. Sebelum program konservasi dilaksanakan, maka kajian resiko terhadap air alami khususnya airtanah, perlu dilaksanakan.

Kajian Risiko

Kajian risiko digunakan untuk mendeteksi kecenderungan bahaya yang terjadi pada suatu wilayah penelitian yang dapat mempengaruhi kondisi airtanah. Kajian risiko didasarkan atas dua faktor yaitu faktor alam dan faktor manusia, sebagaimana diuraikan berikut ini.

Faktor Alam

Faktor alam yang dapat memicu resiko terhadap kondisi airtanah dan lingkungan di daerah penelitian adalah: banjir, tanah longsor, kekeringan, letusan gunungapi, dan erosi. Banjir mampu mengancam kondisi airtanah dan lingkungan, karena air luapan banjir pada umumnya mempunyai kekeruhan tinggi, mengangkut sedimen, dan mengandung bahan-bahan lain yang kemungkinan beracun. Kejadian tanah longsor juga dapat mempengaruhi kualitas air karena.

ketika sedimen yang di transfer setelah kejadian longsor oleh aliran air, akan dapat meningkatkan kekeruhan air alami. Erupsi gunungapi dapat menghasilkan material piroklastik, awan panas, gas beracun, dan lahar. Endapan piroklastik dari berbagai ukuran butir yang mengandung berbagai unsur dan mineral, ketika dilarutkan oleh air permukaan atau air hujan, dan kemudian menyusup ke bawah permukaan, akan mengganggu kualitas airtanah. Pengayaan konsentrasi dari beberapa elemen, seperti Ca, Mg, Na, Fe, dan SO₄ mungkin terjadi pula. Kandungan gas seperti CO₂ juga dapat meningkat.

Faktor Manusia

Faktor manusia yang dapat memicu resiko terhadap airtanah dan lingkungan di daerah penelitian, yaitu limbah domestik, limbah industri, pertambangan pasir dan batu, serta penebangan hutan. Pembuangan limbah domestik yang mengandung unsur berbahaya bagi kesehatan manusia akan menurunkan kualitas baik air alami. Limbah industri yang pada umumnya beracun juga dapat mencemari airtanah. Pada area pertanian, airtanah biasanya terkontaminasi oleh nitrat (NO₃) dan nitrit (NO₂) dari pupuk dan pestisida. Di daerah penelitian ada beberapa lokasi pertambangan pasir dan kerikil yang mengakibatkan terganggunya sistem aliran dan infiltrasi airtanah. Penebangan hutan yang tidak terkendali juga dapat memicu erosi, dan meningkatkan aliran permukaan. Ketika intensitas limpasan meningkat, berarti volume air hujan yang menginfiltrasi akan berkurang. Oleh karena itu, ketersediaan airtanah terancam, dan keberlanjutan pasokan airtanah untuk sumur atau mata air akan terganggu.

Berdasarkan intensitas dampaknya terhadap keberadaan, keberlanjutan, jumlah, dan kualitas airtanah, faktor resiko dapat diklasifikasikan ke dalam risiko sangat tinggi, tinggi, sedang, rendah, dan tidak beresiko, sebagaimana Tabel 3 (periksa pula Tabel 4 dan Tabel 5).

Tabel 3. Klasifikasi Intensitas Faktor Risiko

Jumlah Parameter yang Terpengaruh Intensitas Risiko	Klasifikasi Faktor Risiko
Semua parameter terpengaruh	Risiko sangat tinggi
3 dari 4 parameter terpengaruh	Risiko tinggi
2 dari 4 parameter terpengaruh	Risiko sedang
1 dari 4 parameter terpengaruh	Risiko rendah
Tidak ada parameter yang terpengaruh	Tidak ada risiko

Tabel 4. Analisis Intensitas Risiko Keberadaan Airtanah

Faktor		Klasifikasi Intensitas Risiko
Faktor Alam	Banjir	Risiko sangat tinggi
	Tanah longsor	Risiko tinggi
	Erosi	Risiko tinggi
	Erupsi Gunungapi	Risiko tinggi
Faktor Manusia	Limbah Industri	Risiko sangat tinggi
	Limbah Domestik	Risiko sangat tinggi
	Penebangan Hutan	Risiko tinggi
	Polusi	Risiko tinggi
	Penambangan Pasir dan Batu	Risiko tinggi
	Pestisida	Risiko tinggi
	Peningkatan penggunaan Airtanah	Risiko rendah
	Aktivitas Pertanian	Risiko rendah

Tabel 5. Zonasi Sumber Resiko pada DAS di Daerah Penelitian

DAS	Zonasi Sumber Resiko	Lokasi
Lumbangrejo	1. Zona limbah pestisida & domestik, banjir	1. Karangrejo
	2. Zona limbah domestik	2. Ngerong
	3. Zona limbah pestisida, domestik & pabrik	3. Sukoreno
	4. Zona limbah domestik, pestisida, penebangan hutan, longsor, polusi, penambangan sirtu	4. Lumbangrejo
Ketanireng	1. Zona limbah pestisida, limbah domestik, dan banjir	1. Kedungringin
	2. Zona limbah domestik, pabrik, & longsor	2. Kepulungan
	3. Zona limbah domestik, pabrik, & longsor	3. Gunungsari
	4. Zona limbah pestisida, domestik, penebangan hutan, longsor, polusi, penambangan sirtu	4. Pecalukan
Prigen	1. Zona limbah domestik	1. Gempeng

DAS	Zonasi Sumber Resiko	Lokasi
	2. Zona limbah domestik dan sulit air	2. Oroombo wetan
	3. Limbah domestik, pabrik, dan longsor	3. Kalisat
	4. Limbah domestik	4. Dukusari

Berdasarkan penilaian pada kondisi geologi, hidrogeologi, dan lingkungan, dan juga faktor risiko baik faktor alam dan faktor manusia, rekomendasi dari konservasi air adalah sebagaimana Tabel 6, sedangkan rincian teknik konservasi airtanah, dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 6. Rekomendasi konservasi berdasarkan penilaian risiko

Faktor Alam		Faktor Manusia	
Ancaman	Arahan Konservasi	Ancaman	Arahan Konservasi
Banjir	Perbaiki drainase, (pembuatan dan perluasan parit, pembuatan saluran resapan (sumur resapan dan biopori), jika daerah bantaran sungai perbanyak tanaman bambu, dan pembuatan tanggul.	Pemakaian Air Berlebihan	Hemat air, hubungannya dengan perilaku penggunaan air, contoh : a. Hotel menggunakan <i>Shower</i>
Tanah Longsor	Pembuatan rorak, pembuatan sumur resapan, pemberian mulsa vertikal. Tanaman penutup.	Limbah Domestik	Mempunyai saluran drainase sendiri ke IPAL, Mempunyai <i>saptic tank</i> , memperhatikan konstruksi dan jarak sumur dengan <i>saptic tank</i> .
Erosi	Tanaman penutup, pembuatan teras (secara fisik dan vegetatif),	Limbah Industri	Membuat IPAL
Erupsi Gunungapi	Pembuatan beton untuk melindungi bahan-bahan berbahaya yang disimpan di dalam tanah.	Penebangan Hutan	Reboisasi dan pencarian Alternatif mata pencaharian lain.
Kekeringan	Pemanenan air dengan cara membuat embung, bak penampung air dan saluran air	Penambangan Pasir dan Batu	Alternatif mata pencaharian)
		Polusi Udara	Penanaman Trembesi (Pohon yang mempunyai daya serap Polusi)
		Penggunaan Airtanah Berlebihan	Pengendalian pemakaian airtanah (hemat air)
		Pestisida dan Pupuk Kimia	Pertanian organik, kontrol penggunaan pupuk pestisida sesuai dosis dan aturan

5. Kesimpulan

Berdasarkan kajian hidrogeologi yang telah dilakukan di daerah penelitian, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Daerah penelitian merupakan sistem hidrogeologi vulkanik yang berada di lereng timurlaut Gunung Arjuno, secara geomorfologi dapat dikelompokkan menjadi satuan-satuan geomorfik puncak gunungapi, lereng gunungapi, dataran fluvial, dan bukit antiklin. Litologi didominasi oleh batupasir, breksi dan lava andesit, yang merupakan produk vulkanik gunungapi Arjuno dan Welirang. Struktur geologi yang berkembang di bagian Timurlaut adalah antiklin, sedangkan di Baratdaya adalah sesar normal, dan sesar mendatar.
2. Daerah Aliran Sungai dapat dibagi 3 (tiga), yaitu DAS Lumbangrejo, DAS Ketanireng, dan DAS Prigen. Daerah imbuhan berada di ketinggian 500 meter sampai puncak Gunung Arjuno, sedangkan daerah luhan berada di ketinggian kurang dari 500 meter sampai dataran rendah ketinggian 10 meter dari permukaan laut. Terdapat 3 jenis akuifer, yaitu akuifer bebas dengan porositas celah, akuifer bebas dengan porositas antar butir, dan akuifer tertekan dengan porositas celah dan antar butir. Kualitas airtanah baik secara fisika maupun kimia secara umum masih memenuhi baku mutu air bersih.
3. Ketersediaan airtanah tidak berimbang dengan jumlah airtanah yang diambil untuk keperluan domestik, pertanian, dan industri, oleh karena itu perlu dilakukan konservasi yang didasari atas kajian resiko yang ditinjau dari faktor alam, misalnya banjir, erosi, kekeringan, letusan gunungapi, dan faktor manusia antara lain industri, pertanian, serta permukiman.

Tabel 7. Teknik Konservasi Airtanah, Disusun dengan Mengacu Beberapa Referensi: Warsito & Sukrisno (2001), Ward & Timbre (2004)

NO	TEKNIK KONSERVASI AIR	PERSYARATAN	KEGUNAAN	KENDALA PENERAPAN
1.	Saluran peresapan	<ul style="list-style-type: none"> a. Tanah bertekstur berat sehingga infiltrasi dan permeabilitasnya lambat. b. Tersedia tenaga kerja dan biaya untuk pembuatan dan pemeliharaan 	<ul style="list-style-type: none"> a. Memberikan kesempatan kepada air untuk meresap lebih lama b. Mengendalikan kecepatan aliran permukaan agar melaju dengan kecepatan yang tidak merusak c. Mengarahkan aliran permukaan agar tidak merusak bagian yang tidak diinginkan. 	<ul style="list-style-type: none"> a. Mengurangi lahan yang yang biasa dipakai petani, apabila lahan sempit b. Menambah tenaga kerja dan biaya
2	Sumur resapan, rorak, dan embung	<ul style="list-style-type: none"> a. Tersedia tenaga kerja dan biaya untuk pembuatan dan pemeliharaan b. Bahan yang digunakan cukup tersedia c. Sumur resapan baiknya di permukiman, tidak baik untuk daerah pegunungan, kedalam airtanah minimum 1,50 m pada musun hujan, struktur tanah yang dapat digunakan harus mempunyai nilai permeabilitas tanah $\geq 2,0$ cm/jam. 	<ul style="list-style-type: none"> a. Menurunkan kecepatan dan volume air aliran permukaan, menekan laju erosi, dan sedimentasi b. Meningkatkan simpanan airtanah sehingga fluktuasi debit maksimum dan minimum menurun c. Mengurangi kekeringan, karena airtanah tersedia lebih lama 	<ul style="list-style-type: none"> a. Biaya pembuatan tinggi sehingga tidak terjangkau b. Mengurangi luas lahan untuk embung c. Perlu disertai dengan teknik efisiensi penggunaan air
3	Pemberian mulsa	<ul style="list-style-type: none"> a. Bahan mulsa cukup tersedia dilokasi misalnya dari tanaman legume yang digilirkan dengan tanaman pangan atau yang ditanampada strip sejajar kontur atau sisa panen 	<ul style="list-style-type: none"> a. Memperbaiki struktur tanah b. Meningkatkan produksi tanaman c. Meningkatkan pertumbuhan gulma d. Mengurangi penguapan (evaporasi) 	<ul style="list-style-type: none"> a. Jika bahan mulsa tidak cukup, sehingga penutupannya kurang, dapat merangsang pertumbuhan gulma. b. Kadang dapat menjadi sarang hama/penyakit tanaman c. Petani lebih suka melihat lahannya bersih.
4	Teknik pemanenan air	<ul style="list-style-type: none"> a. Kawasan beriklim sedang dan semi kering (3-4 bulan tanpa hujan sama sekali) b. Kawasan dimana produksi tanaman pangan terbatas karena rendahnya ketersediaan air didalam tanah c. Semua lahan berlereng dengan kondisi fisik tanah yang sangat buruk sehingga tidak dapat menyimpan dan menahan air dalam waktu lama d. Daerah beriklim basah yang mempunyai periode kritis (stress air) 	<ul style="list-style-type: none"> a. Untuk pengairan pertanian, tanaman sewaktu-waktu dibutuhkan pada saat krisis air b. Menyediakan sumber air irigasi c. Mengurangi banjir dan sedimentasi. 	<p>Pemerintah perlu turun tangan dalam menangani rencana dan biaya</p>

6. Daftar Pustaka

- Arifin, M.B., 2001, *Peta Cekungan Air Tanah Pasuruan Propinsi Jawa Timur*, Direktorat Sumber Daya Geologi, Geologi Tata Lingkungan, Bandung.
- Burhanul, M., 2002, *Peta Hidrogeologi Kabupaten Pasuruan*, Direktorat Sumber Daya Geologi, Geologi Tata Lingkungan, Bandung.
- Dharmayanti, Budhy, dan Sihwanto, 2001, *Sosialisasi Pedoman Teknis Pengelolaan Air Bawah Tanah di Kabupaten Pasuruan, Propinsi Jawa Timur*, Direktorat Tata Lingkungan Geologi dan Kawasan Pertambangan, Bandung.
- Kusumayudha, S.B. & Sutejo B., 2008, *Proses - Proses Hidrogeologi*, Wimaya Press. Yogyakarta.
- Moore, J.E., 2002, *Field Hydrogeology*, Lewis Publishers by CRC Press LLC, U.S.
- Purnomo, Budi Joko, 2007, *Penyelidikan Hidrogeologi di Daerah Sulit Air atau Desa Tertinggal Penentuan Titik Lokasi Pengeboran Air Tanah Kabupaten Pasuruan, Propinsi Jawa Timur*, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Badan Geologi, Pusat Lingkungan Geologi, Bandung.
- Santosa, S., dan Suwarti, T., 1992, *Peta Geologi Lembar Malang, Jawa*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Santosa, S., dan Suwarti, 1992, *Peta Geologi Kabupaten Pasuruan*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Taufiq Nz, Agus., 2008, *Kuantifikasi dan Pemodelan Cekungan Air Tanah Pasuruan, Jawa Timur*, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Badan Geologi, Pusat Lingkungan Geologi, Bandung.
- Tim Pemerintah Kabupaten Pasuruan, 2008, *Peta Potensi Air Tanah Kabupaten Pasuruan*, Pemerintah Kabupaten Pasuruan dan Badan Perencanaan Pembangunan Daerah.
- Todd, D.K, 1980, *Groundwater Hydrology*, University of California, Berkeley and David Keith Todd Consulting Engineers, Inc.
- Van Bemmelen, 1949, *The Geology of Indonesia, Vol IA*, Martinus Nijhoff, The Hague
- Ward, A.D, Trimble, S.W., 2004, *Environmental Hydrology*, 2nd ed, Lewis Publishers.
- Warsito, D., dan Sukrisno, 2001, *Konservasi Airtanah Daerah Surabaya - Pasuruan Dan Sekitarnya*, Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Bandung.