

---

## PENYELIDIKAN AIR TANAH DI KABUPATEN PASURUAN DENGAN TEKNIK ISOTOP ALAM

Wandowo, Zainal Abidin, dan Djijono  
Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi - Batan

### ABSTRAK

**PENYELIDIKAN AIR TANAH DI KABUPATEN PASURUAN DENGAN TEKNIK ISOTOP ALAM.** Telah dilakukan survei untuk mengetahui proses salinisasi air tanah di kota Pasuruan dengan metode isotop alam dan hidrokimia. Penelitian dilakukan dengan mengkaji korelasi parameter isotop stabil dan unsur kimia utama dalam contoh air hujan, air tanah dangkal, air tanah-dalam dan air laut. Pengkajian ini dilakukan berdasarkan kaidah-kaidah sifat isotop stabil oksigen-18 dan deuterium dalam fenomena siklus hidrologi serta berdasarkan terjadinya perubahan kimia yang menyertai mekanisme proses hidrogeologi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar klorida yang menjadi indikator air payau di wilayah pantai kota Pasuruan bukan akibat dari intrusi air laut tetapi disebabkan oleh pelarutan aerosol garam yang meresap bersama air hujan lokal sebagai air tanah dangkal. Sedang air payau pada akuifer tertekan (air tanah-dalam) disebabkan terjadinya pelindian formasi akuifer yang berupa batuan sedimen pantai.

### ABSTRACT

**GROUNDWATER INVESTIGATION IN THE PASURUAN DISTRICT USING NATURAL ISOTOPE TECHNIQUES.** Investigation on groundwater salinization has been carried out in the city of Pasuruan using environmental isotopes and hydrochemistry methods. Assessment on correlation of stable isotopes and major chemical elements of samples from precipitation, shallow groundwater, deep groundwater and sea water was performed. This was done based on the properties of stable isotopes oxygen-18 and deuterium within the phenomena of hydrology cycle and also based on the chemical exchange taken place during the passage of groundwater through the rock formation. The result of the investigation showed that the increase of chloride content in groundwater at coastal area of Pasuruan was not due to sea water intrusion but due to the salt containing air born desolved precipitation. While salinization of the deep groundwater was due to aquifer leaching of coastal sediment formation.

### PENDAHULUAN

Air tawar yang bersih merupakan kebutuhan mutlak bagi manusia untuk menjaga kelangsungan hidupnya. Ketersediaan dan terjadinya air tawar di bumi ini tidak lepas dari fenomena alam yang disebut siklus hidrologi, di mana uap air dari hasil penguapan air laut mengembun sebagai air hujan yang sebagian meresap kedalam tanah sebagai air tanah. Karena adanya perbedaan tekanan hidrostatik, air tanah ini kemudian mengalir melalui pori-pori lapisan batuan ke suatu daerah yang lebih rendah tekanan hidrostatiknya. Selama mengalir melalui matriks formasi geologi ini maka air tanah dapat melarutkan unsur-unsur atau mineral-mineral komponen formasi bersangkutan. Apabila jenis batuan yang dilalui berbeda maka akan terjadi evolusi kandungan unsur-unsur terlarut sesuai dengan jenis batuan yang dilalui. Selain oleh proses alamiah

tersebut komposisi kimia air tanah juga dipengaruhi oleh lingkungan budidaya manusia yang menyebabkan terjadinya perubahan pola dinamika alirannya, dimana pada kondisi lingkungan tertentu dapat mengakibatkan terjadinya pencemaran yang berasal dari sumber lain (1).

Kabupaten Pasuruan merupakan salah satu wilayah di mana sektor industrinya berkembang dengan cepat. Perkembangan industri yang tentunya diikuti dengan perkembangan penduduk dan sarana lainnya memerlukan ketersediaan air bersih yang cukup. Hal ini mengakibatkan tingkat pengambilan air tanah cukup tinggi baik dari air tanah dangkal dan air tanah dalam pada akuifer tertekan (*confined aquifer*). Dari latar belakang hidrogeologi, daerah akuifer tertekan terletak pada cekungan air tanah Pasuruan yang meliputi wilayah-wilayah Kabupaten Pasuruan, Kota Pasuruan dan Kabupaten Mojokerto (bagian timur). Pengambilan air tanah (utamanya air tanah tertekan) dari tahun ke tahun senantiasa mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Di beberapa wilayah kecamatan di sekitar kota Pasuruan masih banyak terdapat sumber-sumber air atau sumur-sumur artesis dengan debit yang besar misalnya sumber air yang terletak di Gondang Wetan, Umbulan, Banteng Kejayan dan sekitarnya. Air yang keluar dari sumber-sumber tersebut sebagian disalurkan dan didistribusikan sebagai air minum untuk kota Pasuruan. Beberapa pabrik air mineral berada di kabupaten Pasuruan dimana bahan dasarnya diambil dari sumber-sumber yang ada di wilayah tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa kualitas air tanah, terutama air tanah tertekan, pada umumnya cukup baik. Namun di beberapa wilayah terutama wilayah pantai, terdapat air tanah dengan kualitas payau. Tidak diperoleh data dan informasi tentang riwayat dari gejala dan proses terjadinya salinisasi di wilayah tersebut. Oleh karena itu Pemerintah Daerah Propinsi Jawa Timur, dalam hal ini Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral, ingin memperoleh informasi tentang terjadinya salinisasi air tanah di daerah pantai Pasuruan. Informasi yang diinginkan diharapkan dapat dipenuhi oleh survei yang dilaksanakan Batan.

## **BAHAN DAN METODE**

Survei dilakukan di kabupaten Pasuruan di sekitar kota Pasuruan. Bahan yang diteliti adalah contoh air yang diambil dari air laut, dari air tanah dangkal, dari air tanah-dalam yang berasal dari sumur bor, sumur artesis atau sumber-sumber air lainnya. Contoh air ini diambil secara acak di wilayah dalam lingkup survei. Air hujan diperoleh dari penampungan air hujan di

empat lokasi yang berbeda elevasinya, yaitu pada elevasi 30 m, 640 m, 890 m dan 1640 m, yang diambil setiap bulan sekali.

Contoh air hujan dan air laut dianalisis kandungan isotop stabil oksigen-18 dan deuterium dengan menggunakan alat spektrometer massa ISOGAS, dimana konsentrasi kandungan isotop stabilnya diukur relatif terhadap standard SMOW. Terhadap contoh air dari air tanah dangkal, air laut dan air tanah-dalam, selain dilakukan analisis kandungan isotop stabil juga dilakukan analisis kandungan unsur kimia utama, yaitu unsur  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ , dan  $HCO_3^-$ . Untuk mengetahui pola dinamika aliran air tanah-dalam maka dilakukan analisis kadar Carbon-14, dengan mengendapkan karbonat yang terlarut dengan larutan  $BaCl_2$  untuk mendapatkan endapan  $BaCO_3$  (2). Endapan  $BaCO_3$  diubah menjadi senyawa benzena dengan metode sintesa benzena dan kadar carbon-14 kemudian diukur dengan pencacah sintilasi cair. Data kandungan isotop stabil dan unsur kimia terlarut dari contoh masing-masing kelompok (kelompok air laut, kelompok air tanah-dalam kelompok air tanah dangkal dan kelompok air hujan) dikaji korelasinya dan kecenderungan asal-usulnya berdasarkan proses dan fenomena yang terjadi selama mengikuti siklus hidrologi.

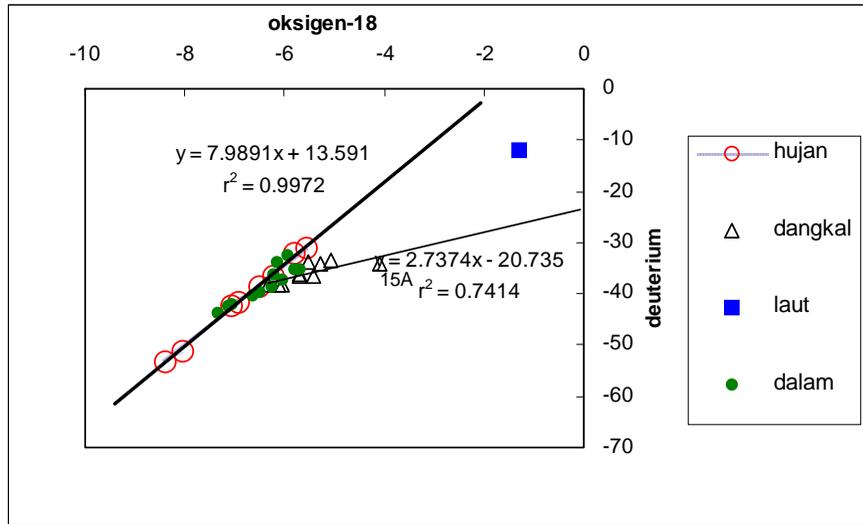
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Air tanah yang ada di dalam lapisan akuifer berasal dari air hujan pada daerah resapannya. Komposisi isotop stabil oksigen-18 dan deuterium air hujan dipengaruhi oleh *altitude* dimana hujan tersebut berlangsung. Komposisi isotop stabil dari air hujan yang berlangsung pada *altitude* lebih tinggi akan lebih *depleted* dibandingkan dengan komposisi isotop stabil hujan di lokasi lebih rendah. Oleh karena itu komposisi isotop stabil dalam air hujan merupakan indeks yang menunjukkan lokasi daerah resapannya. Hubungan antara isotop stabil oksigen-18 dan deuterium merupakan garis lurus dan dinamakan garis meteorik lokal. Data isotop stabil air hujan yang ditampung di lokasi yang berbeda *altitude*-nya tertera pada lampiran Tabel 1, dimana dari data ini diperoleh suatu garis lurus dengan persamaan garis:  $D = 7,9891 \text{ }^{18}\text{O} + 13,591$ , merupakan garis meteorik lokal dimana penelitian ini dilakukan, yaitu garis meteorik lokal wilayah kabupaten Pasuruan

Untuk mengetahui status asal dari air tanah, baik air tanah-dalam maupun air tanah dangkal, maka komposisi isotop contoh air tanah diplot pada koordinat garis meteorik lokal.

Hasil dari *plotting* menunjukkan bahwa semua contoh air tanah-dalam komposisinya terletak sangat berdekatan sepanjang garis meteorik lokal. Hal ini mengindikasikan bahwa komposisi isotop air tanah-dalam adalah sesuai dengan komposisi isotop air hujan dan sangat berbeda jauh

bila dibandingkan dengan komposisi isotop air laut yang terletak jauh menyimpang dari garis meteorik lokal, seperti terlihat pada Gambar 1. Hal ini menunjukkan bahwa air tanah-dalam berasal dari air hujan yang meresap pada daerah resapannya dan tidak menunjukkan indikasi adanya pencampuran dengan air laut.



Gambar 1. Posisi kandungan isotop stabil air tanah terhadap garis meteorik lokal

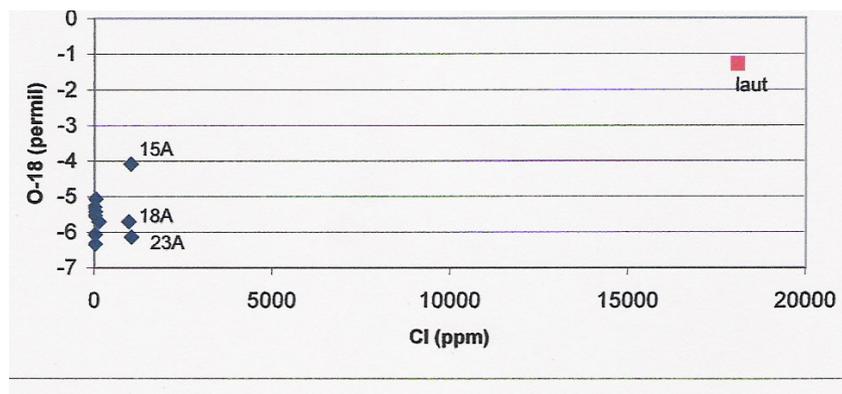
Sedangkan pada kelompok air tanah dangkal terdapat beberapa contoh dimana komposisi isotopnya terletak agak menyimpang dari garis meteorik lokal, yaitu terletak pada garis penguapan (*evaporation line*) yang mempunyai persamaan garis  $D = 2.7374^{18}O - 20.735$ . Menurut GEYH (3), komposisi isotop stabil air tanah akan menyimpang dari komposisi isotop air hujan yang meresap karena terjadi pencampuran (*mixing*) dengan air dari sumber lain yang komposisi isotopnya berbeda, atau karena terjadinya fraksinasi isotop akibat dari proses penguapan. Fenomena ini menyebabkan penyimpangan garis korelasi hubungan antara oksigen-18 dan deuterium dari contoh air tanah bersangkutan. Apabila nilai kemiringan (*slope*) dari garis meteorik adalah 8 (1), maka nilai kemiringan garis korelasi oksigen-18 dan deuterium air tanah tersebut adalah kurang dari 8. Air tanah yang telah mengalami penguapan mempunyai kemiringan garis korelasi dengan nilai antara 4 sampai 2. Komposisi isotop air tanah dangkal dalam survei ini memberikan persamaan garis dengan kemiringan 2.7374. Penyimpangan dari garis meteorik lokal dari air tanah dangkal dapat terjadi karena air tanah dangkal pada umumnya berasal dari hujan lokal, pada saat meresap melalui lapisan tak jenuh (*unsaturated zone*) mengalami fraksinasi lebih intensif sehingga beberapa contoh dari kelompok ini menunjukkan harga isotop stabil yang lebih diperkaya (*enrich*)

dibandingkan dengan komposisi isotop air hujan lokal, seperti contoh nomer 5A, 8A dan 15A yang tertera pada Tabel 2. Contoh-contoh tersebut berasal dari sumur dangkal penduduk yang terletak di daerah pantai pada medan yang terbuka dengan vegetasi sangat minimal. Berdasarkan fakta yang diuraikan di atas, dari aspek isotop stabil dapat disimpulkan bahwa air tanah-dalam dan air tanah dangkal tidak menunjukkan kecenderungan tercampur dengan air laut walaupun ada beberapa contoh yang mempunyai kadar klorida yang agak tinggi pada air tanah dangkal (contoh nomer 15A, 18A, 23A) dan air tanah-dalam (contoh nomer, 2B, 6B, 22B).

Menurut Herczeg (4) zat terlarut dalam air tanah dapat terjadi karena 2 kemungkinan proses yaitu:

- dari masukan presipitasi atmosfer yang membawa aerosol garam yang berasal dari pecahan dan deburan ombak laut. Peristiwa ini umumnya terjadi pada presipitasi di lautan atau wilayah pantai.
- karena interaksi antara air tanah dengan formasi matriks batuan akuifer selama air mengalir dari daerah resapannya sehingga terjadi evolusi pelarutan unsur-unsur atau mineral penyusun batuan. Oleh karena itu komposisi kimia air tanah dapat menjadi indikator matriks formasi geologinya, atau sebaliknya bahwa jenis batuan akuifer dapat mempengaruhi komposisi zat terlarut dalam air tanah.

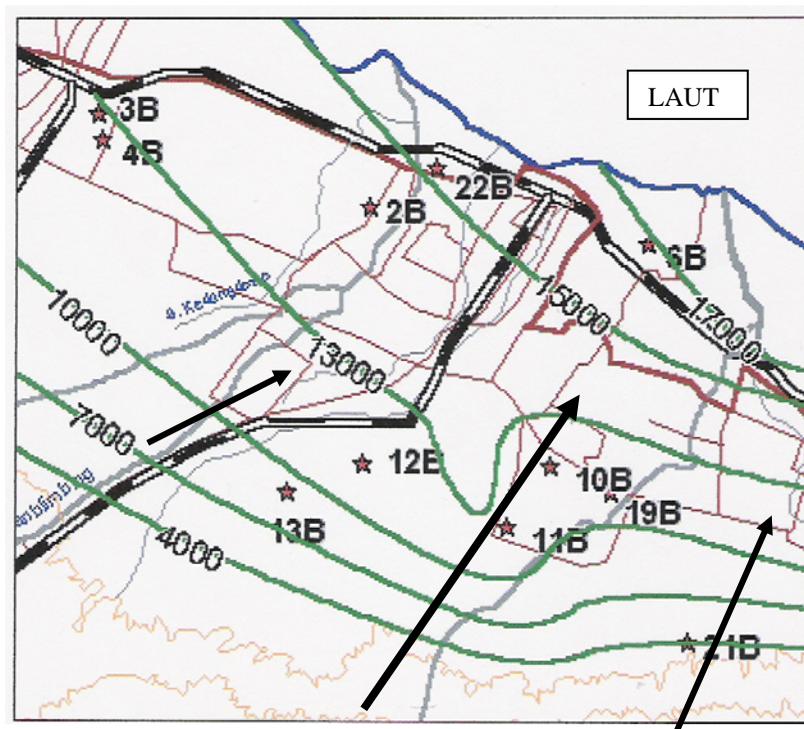
Hujan lokal yang terjadi di dataran rendah wilayah pantai setelah meresap melalui lapisan tak jenuh alluvial, akan mencapai lapisan jenuh air, yaitu air tanah dangkal yang statis. Kadar klorida yang agak tinggi dalam air tanah dangkal contoh nomer 15A, 18A dan 23A tersebut, terjadi oleh karena aerosol yang mengandung garam di atmosfer wilayah pantai terbawa oleh presipitasi lokal, bukan dari intrusi air laut. Hubungan antara kadar klorida dan oksigen-18 terlihat pada Gambar 2, dimana antara air tanah dan air laut tidak mengindikasikan adanya korelasi.



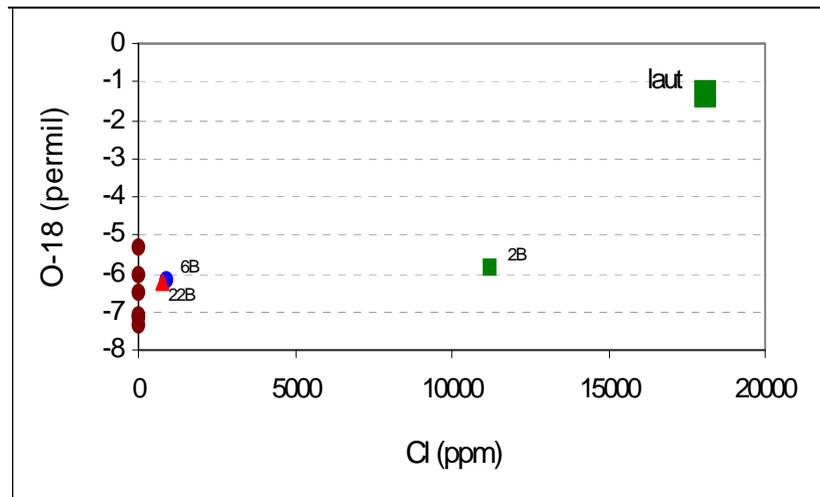
Gambar 2. Kadar klorida terhadap isotop stabil oksigen-18 air tanah dangkal

Sedangkan kadar klorida yang agak tinggi pada air tanah-dalam contoh nomer 2B, 6B dan 22B disebabkan oleh interaksi air tanah dengan matriks batuan akuifernya, karena air tanah-dalam bergerak lateral dari daerah resapan melalui formasi batuan wilayah pantai yang pada umumnya terdiri dari endapan sedimen laut. Pola gerakan lateral dari air tanah-dalam dapat dibuktikan dari pola kontur umur air tanah, dimana makin ke arah utara (pantai) umur air tanah-dalam makin meningkat (5). Fenomena ini menunjukkan bahwa air tanah bergerak dari daerah resapan yang terletak di selatan menuju ke pantai seperti terlihat pada Gambar 3.

Hubungan antara kadar klorida dan kandungan isotop stabil oksigen-18 tampak pada Gambar 4. Disini juga terlihat bahwa antara air tanah-dalam dan air laut tidak ada korelasi. Hal ini menunjukkan bahwa tingginya kadar klorida pada contoh 2B, 6B dan 22B bukan berasal dari air laut tetapi berasal dari proses pelindian batuan sedimen pantai.



Gambar 3. Pola gerakan air tanah-dalam berdasarkan gradasi umur air tanah ke arah pantai



Gambar 4. Kadar klorida terhadap isotop stabil oksigen-18 air tanah-dalam

## KESIMPULAN

Penelitian salinisasi air tanah di kabupaten Pasuruan dengan pendekatan teknik isotop dan hidrokimia menunjukkan bahwa tidak terjadi intrusi air laut ke arah daratan. Rasa payau dari air tanah disebabkan oleh meningkatnya kadar klorida yang berasal dari aerosol dan akibat dari proses pelindian batuan sedimen pantai. Kemungkinan terjadinya intrusi juga dapat dibantah dari fakta gerakan air tanah dari daerah resapan yang terletak di wilayah selatan bergerak menuju ke pantai. Observasi lapangan menunjukkan bahwa di beberapa wilayah kecamatan di sekitar kota Pasuruan masih banyak terdapat sumber-sumber air atau sumur-sumur artesis dengan debit yang besar misalnya sumber air yang terletak di Gondang Wetan, Umbulan, Banteng Kejayan dan sekitarnya. Fakta ini menunjukkan bahwa tekanan hidrostatik air tanah cukup tinggi yang tidak memungkinkan air laut menerobos ke akuifer.

## DAFTAR PUSTAKA

1. MORRIS B.L, A.R.L. LAWRENCE, P.J.C. CHILTON, B. ADAM, R.C. CALOW, B.A. CLINK, Groundwater and its Susceptibility to Degradation: A Global Assessment of the Problem and Options for Management, RS. 03-3, United Nation Environmental Programme, Nairobi, Kenya (2003)
2. GAT J.R., "Atmospheric Water", Environmental Isotopes in the Hydrological Cycles, Principles and Application (W.G. Mook, editor), IHP-V Technical Documents in Hydrology, No. 39 Vol II (2000).

3. GEYH M., "Groundwater, Saturated and Unsaturated Zone", Environmental Isotopes in the Hydrological Cycles, Principles and Application (W.G. Mook, editor), IHP-V Technical Documents in Hydrology, No. 39 Vol IV (2000).
4. HERCZEG A.L., W.M. EDMUND, Groundwater Chemistry.
5. WANDOWO, Teknologi Isotop Alam untuk Evaluasi Dinamika Aliran Air Tanah: *Studi Daerah Resapan dan Intrusi Air Laut Akuifer Jakarta dan Sekitarnya*, Laporan Akhir RUT-V, Kantor Menteri Negara Riset dan Teknologi, Dewan Riset Nasional (2000).

---

LAMPIRAN

Tabel 1. Isotop oksigen-18 dan deuterium air hujan

Elevasi	Oksigen-18 (‰)		Deuterium (‰)	
	1	2	1	2
30 meter	-5.79	-5.56	-32.1	-31.2
640 meter	-6.51	-6.22	-38.5	-36.6
890 meter	-7.05	-6.94	-42.2	-41.8
1640 meter	-8.39	-8.03	-53.2	51.1

Tabel 2. Isotop oksigen-18 dan deuterium air tanah

No	Kode	Lokasi	O-18 (‰)	D(‰)
1	1A	Tambakrejo	-5,70	-35,7
2	2B	Tambakrejo	-5,81	-37,9
3	3B	Sumbersono	-6,04	-37,2
4	4B	PT. Meiji	-7,33	-43,6
5	5A	Blandongan	-5,06	-33,6
6	6B	PT. Boma Bisma Indra	-6,17	-33,9
7	7A	Tambakrejo	-6,06	-38,2
8	8A	Klampok	-5,29	-34,1
9	9A	Gondang Wetan	-5,52	-33,9
10	10B	Gondang Wetan	-6,51	-39,7
11	11B	Tropong Kejayan	-7,13	-42,4
12	12B	PT. Nestle	-7,08	-41,9
13	13B	Banteng Kejayan	-5,34	-32,6
14	14A	Kantor BPSDA	-5,42	-36,7
15	15A	Pandakan	-4,08	-30,5
16	16L	Pandakan Lor (Laut)	-1,28	-12,1
17	17A	Hotel Nasional	-6,33	-38,2
18	18A	Tambakan	-6,13	-38,1
19	19B	Gondang Wetan-1	-5,71	-35,2
20	20B	Aqua Pandaan-Pabrik	-6,22	-36,1
21	21B	Umbulan-1	-5,63	-31,5
22	22B	Pandakan Lor	-6,26	-37,6
23	23A	Pandakan Lor	-5,70	-36,2

Tabe 3. Data Parameter Kimia

No.	Kode	Lokasi	Con d ( $\mu$ S)	pH	T ( $^{\circ}$ C)	Unsur Kimia Utama						
						Na (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Cl (ppm)	SO <sub>4</sub> (ppm)	HCO <sub>3</sub> (ppm)
1	1A	Tambakrejo	1400	6.63	28	83.98	79.93	84.03	109.25	122.27	51.99	738.93
2	2B	Tambakrejo	26500	6.59	30	399.45	26.93	1886.32	267.18	11223.0	1.75	29.43
3	3B	Sumbersono	362	7.19	25	8.5	5.17	22.46	32.84	2.57	6.37	225.6
4	4B	PT. MEIJI	756	7.57	29	84.37	11.17	14.94	13.36	26.91	3.80	304.07
5	5A	Blandongan	1350	7.43	28	86.32	19.12	42.49	44.18	30.26	31.78	680.07
6	6B	PT. Boma Bisma Indra	4250	8.09	29	249.42	32.08	13.59	76.43	873.45	61.33	497.71
7	7A	Tambakrejo	1500	7.15	28	10.56	7.33	48.69	48.26	12.84	13.15	461.01
8	8A	Klampok	30.5	7.68	31	55.14	16.61	57.96	101.94	3.43	62.47	637.57
9	9A	Gondang Wetan	459	7.61	26	21.92	6.76	19.63	30.57	6.62	5.66	238.68
10	10B	Gondang Wetan	412	7.25	25	8.89	8.86	18.37	28.99	9.18	5.37	209.25
11	11B	Tropong Kejayan	370	7.18	23	7.91	6.85	13.06	28.76	5.26	11.27	170.02
12	12B	PT. NESTLE	414	7.46	28	8.44	8.94	16.76	29.44	4.65	7.59	212.52
13	13B	Banteng Kejayan	374	7.05	25	8.22	6.92	15.40	24.45	5.87	6.19	176.56
14	14A	Kantor BPSDA	854	8.14	29	138.83	26.98	4.17	3.83	16.25	6.66	467.55
15	15A	Pandakan	4440	7.88	29	258.67	49.49	6.56	13.42	1019.73	48.95	614.68
16	16-L	Pandakan Lor (laut)	46700	8.24	33	499910.3 7	488.44	131.31	1766.69	18078.51	2757.0	94.82
17	17A	Hotel Nasional	762	7.10	29	52.12	12.54	41.06	52.62	15.03	12.44	428.32
18	18A	Tambakan	5570	7.98	27	280.11	48.21	5.64	28.25	1038.5	98.13	742.2
19	19B	Aqua Gondang Wetan-1										
20	20B	Aqua Pandaan Pabrik										
21	21B	Umbulan-1										
22	22B	Tambakan Lor	3240	7,70	29	230,35	29,25	15,68	80,65	796,55	45,33	456,87
23	23A	Tambakan Lor	4680	7,65	30	255,33	30,10	20,44	40,25	965,78	64,65	367,45