

# ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT (Fe, Cd, Cu, Zn, Pb, dan Mn) PADA AIRTANAH DAN POTENSI RISIKO LINGKUNGAN DI KECAMATAN ASEMBAGUS SITUBONDO

Taufiqur Rahman Pristiyanto  
15513210

## ABSTRACT

*Groundwater sources in Asembagus District are contaminated with effluent from the hyperacid Ijen Crater Lake that flows along the Banyupahit-Banyuputih River. The river carries very high load of heavy metals Fe, Cd, Cu, Zn, Pb, and Mn (Fe=1997 mg/L; Cu=0,19 mg/l; Zn=4,8 mg/L; Pb=4,9 mg/L). Until now, there are still many people who use groundwater as drinking water and irrigation. The purpose of this study is to analyze the concentrations of heavy metals Fe, Cd, Cu, Zn, and Pb in groundwater in the Asembagus District, then compare them with the latest research, estimate the distribution of contaminants and the potential impact, and provide technical solutions that can be used to decrease the impact of heavy metal contamination. The method for water sampling and laboratory testing based on SNI (Indonesian National Standard) using the AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer) instrument. The test results showed the concentrations of Fe, Cu, Zn, and Mn were still below the regulatory limit, while the concentration of metal Cd and Pb exceeded the regulatory limit. The distribution of heavy metals in each zone is different and tends to increase at the lower zone. Concentrations heavy metals that exceed these regulatory limit cause an increase in the number of people with hypertension from previous years. The unsafe level risk of metal Fe (24% adults), Pb (65% children; 100% adults), and Cd (53% adults). Due to the nature of bioaccumulation and biomagnification of these metals in the environment, it is necessary to conduct water treatment to be safe for consumption. It could be using the adsorption, electrochemical process, coagulation-flocculation method combined with multimedia filter, reverse osmosis, etc.*

**Keywords:** *Asembagus District, Groundwater, Hypertension, Metal.*

## ABSTRAK

Sumber airtanah di Kecamatan Asembagus terkontaminasi *effluent* dari Kawah Ijen yang mengalir bersama aliran Sungai Banyupahit-Banyuputih. Sungai tersebut kaya akan kandungan logam berat Fe, Cd, Cu, Zn, Pb, serta Mn (Fe=1997 mg/L; Cu=0,19 mg/l; Zn=4,8 mg/L; Pb=4,9 mg/L). Hingga saat ini, sebagian besar masyarakat Asembagus masih menggunakan airtanah

sebagai air minum dan irigasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis konsentrasi dari logam berat Fe, Cd, Cu, Zn, dan Pb pada airtanah Kecamatan Asembagus, kemudian membandingkannya dengan penelitian terdahulu, memperkirakan distribusi kontaminan serta potensi dampaknya terhadap kesehatan masyarakat, dan memberikan solusi teknis yang tepat untuk mengurangi dampak kontaminasi logam berat. Metode pengambilan sampel air dan pengujian laboratorium mengacu kepada SNI (Standar Nasional Indonesia) menggunakan instrumen AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*). Hasil pengujian menunjukkan konsentrasi Fe, Cu, Zn, dan Mn masih berada di bawah baku mutu, sedangkan konsentrasi logam Cd dan Pb melebihi baku mutu. Persebaran logam berat pada tiap zona berbeda-beda dan cenderung meningkat pada zona bawah. Konsentrasi yang melebihi baku mutu ini menyebabkan naiknya angka penderita hipertensi dari tahun-tahun sebelumnya. Tingkat risiko tidak aman logam Fe (24% dewasa), Pb (65% anak-anak; 100% dewasa), dan Cd (53% dewasa). Dikarenakan sifat bioakumulasi dan biomagnifikasi logam-logam ini di lingkungan, maka perlu dilakukan pengolahan air agar aman untuk dikonsumsi, salah satunya dengan menggunakan metode koagulasi-flokulasi dan filter multimedia.

**Kata kunci:** Airtanah, Hipertensi, Kecamatan Asembagus, Logam

## 1. PENDAHULUAN

Pencemaran logam berat pada air sungai dan airtanah penduduk Kecamatan Asembagus diakibatkan oleh peristiwa alami akibat dari air asam dari Kawah Ijen. Bermula dari bocornya bendungan di tepi barat kawah yang dibangun pada tahun 1921. Yang semula pembangunan bendungan ditujukan untuk mengendalikan ketinggian air kawah dan memblokir masuknya air asam ke daerah hilir, menjadi tidak maksimal karena air asam kawah yang kaya akan sulfur dan klorin, merembes melalui ruang bawah tanah bebatuan di beberapa lokasi di bawah bendungan dengan debit total sekitar 50 L/detik (Delmelle dan Bernard, 2000).

Air Kawah Ijen memiliki nilai pH yang sangat rendah dengan kisaran 0,5-0,8 pada musim hujan dan tidak jarang nilainya menjadi dibawah nol pada musim kemarau (Aminuddin dan Andiani, 2015). Di dalamnya juga terkandung berbagai senyawa logam berbahaya, meliputi Fe, Cu, Pb, Zn, Cd, Mn, Al, Co, dan Ni, tentu dengan konsentrasi yang sangat tinggi. Air asam ini mengalir dari Sungai Banyupahit ke arah barat menuruni lereng batuan basaltik-andesitik sejauh 15 km dan melewati pemukiman Paltuding dan Watucapil. Setelahnya, aliran air yang cukup asam melewati batuan kapur dan melarutkan senyawa Ca yang menyebabkan batuan air sungai berwarna putih, sehingga disebut sebagai Sungai Banyuputih sejauh 22 km. Hilir sungai berada

pada wilayah administrasi Kecamatan Asembagus yang mayoritas masyarakatnya menggunakan air sungai ini untuk irigasi dan kebutuhan sehari-hari (Lohr *et al.*, 2005).

Mayoritas masyarakat Kecamatan Asembagus mengkonsumsi air minum yang berasal dari air sumur (BPS Situbondo, 2010). Akibatnya banyak masyarakat Asembagus (terutama di bagian selatan) mengalami gangguan kesehatan berupa gigi yang menjadi kuning kemerahan dan kekurangan gizi karena seringnya mengkonsumsi air tanah. Bahkan kasus anemia di daerah ini relatif tinggi (Iswara *et al.*, 2015). Selain itu, menurut profil kesehatan Kabupaten Situbondo, penderita hipertensi serta diare pada balita di Kecamatan Asembagus meningkat dan penanganannya masih belum sesuai dengan target dari dinas terkait. Dari sini, kemungkinan adanya akumulasi logam berat baik Fe, Cd, Cu, Zn, Pb, maupun Mn, semakin tinggi dan berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan. Selain itu, curah hujan yang relatif rendah, yang hanya berkisar 994 - 1503 mm/tahun juga dapat menambah pekat konsentrasi logam berat karena tidak adanya pengenceran alami air sungai maupun airtanah oleh air hujan. Logam berat tersebut apabila terakumulasi dalam tubuh manusia, dapat menyebabkan muntah-muntah, denyut nadi dan pernafasan menjadi cepat, mudah lelah, mudah lemas, penghambatan pada pembulu darah, hipertensi, hingga penyakit hati (Rajni dan Keshav, 2010).

Pada penelitian sebelumnya, Lohr *et al.*, (2005) mengatakan bahwa Air sungai yang digunakan di daerah irigasi Asembagus, 25 km ke hilir, melebihi baku mutu kualitas untuk air irigasi. Petani lokal melaporkan kerugian gagal panen dalam beberapa tahun terakhir dapat dikaitkan dengan peningkatan keasaman air irigasi, yang terkait dengan total curah hujan di dataran tinggi Ijen yang secara signifikan lebih rendah selama sepuluh tahun terakhir. Sementara Heikens *et al.*, (2005) menyimpulkan bahwa asupan rata-rata elemen dalam Asembagus tidak seimbang dan defisiensi Fe mungkin merupakan masalah kesehatan yang paling serius. Efek toksik tidak dapat sepenuhnya dikecualikan mengingat efek defisiensi elemen-elemen penting seperti Ca, Fe dan Zn pada penyerapan dan retensi yang lain seperti Cd dan Mn. Oleh karena itu, meningkatkan status gizi di Asembagus (khususnya suplementasi Fe) layak untuk mendapatkan prioritas pertama dalam meningkatkan status kesehatan dan mengurangi risiko efek racun dari unsur-unsur lainnya.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kandungan logam berat (Fe, Cd, Cu, Zn, Pb dan Mn) pada air sungai dan airtanah di Kecamatan Asembagus, menganalisis sebaran logamnya, menganalisis risiko dampaknya terhadap kesehatan, serta memberikan solusi teknis terkait pengelolaan risikonya. Konsentrasi yang didapatkan dari penelitian ini akan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, untuk melihat tren data kenaikan maupun penurunan konsentrasi logam beratnya.

## **2. METODE PENELITIAN**

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian dalam bidang analisis risiko lingkungan. Pada penelitian ini, akan dilakukan analisis terhadap kandungan logam berat (Fe, Cd, Cu, Zn, Pb dan Mn) serta persebarannya, kemudian akan dilakukan analisis risiko terhadap kesehatan masyarakat akibat dari konsentrasi logam berat. Analisis data dilakukan dengan mengumpulkan data primer maupun sekunder.

### **2.1. Alat dan Bahan**

#### **A. Observasi Lapangan**

##### a). Alat

1. Botol PE untuk pewadahan sampel
2. pH meter untuk pengukuran pH air
3. Pipet tetes, untuk memasukkan larutan pengawet ke dalam sampel air
4. Marker untuk pelabelan wadah sampel.

##### b). Bahan

Larutan  $\text{HNO}_3$  yang telah diencerkan dengan perbandingan 1:1, diteteskan hingga pH sampel berada <2 dan disimpan pada suhu ruangan.

#### **B. Uji Laboratorium**

##### a). Alat

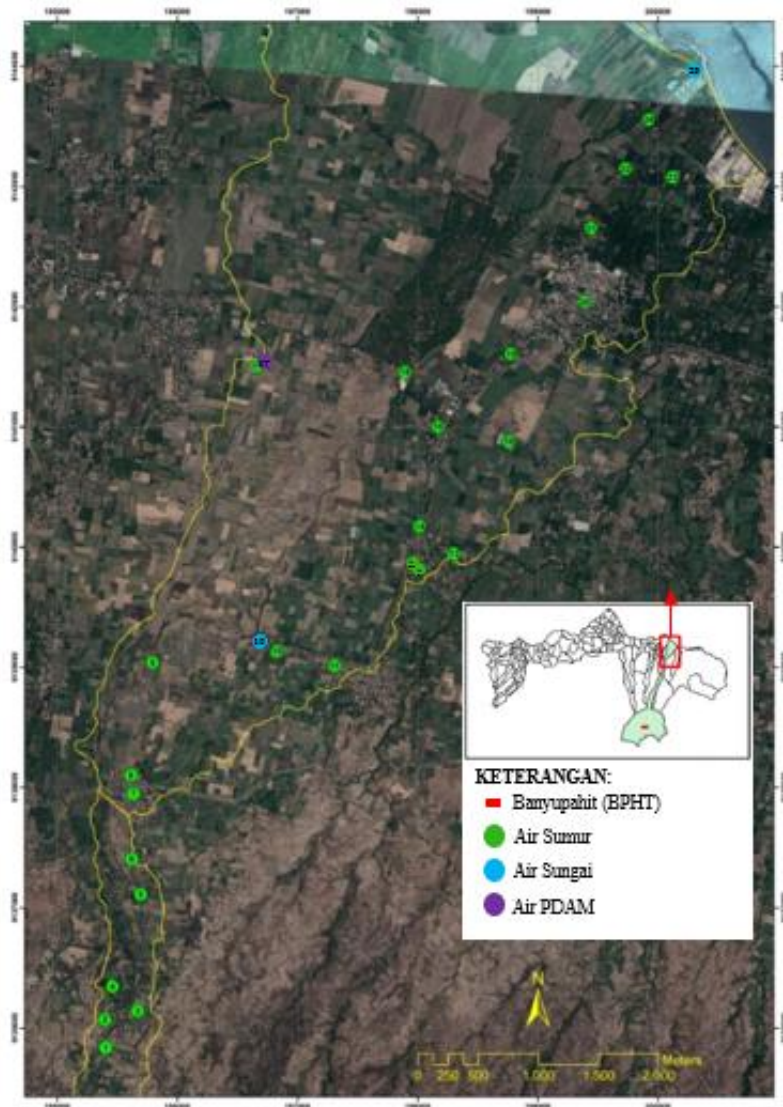
1. Erlenmeyer 250 mL
2. Gelas ukur 25 dan 100 mL
3. Corong kaca
4. Pipet volumetric
5. Karet hisap
6. Kertas saring
7. Botol vial 25 mL
8. Kompor listrik
9. Instrumen Spektrofotometer Serapan Atom

##### b). Bahan

1.  $\text{HNO}_3$  pekat
2. Aquades

## 2.2. Pengambilan Data

### A. Area Penelitian



**Gambar 1.** Titik pengambilan sampel air

Sebaran titik-titik pengambilan sampel air didasarkan pada blok-blok pemukiman yang ditentukan dengan pertimbangan jarak antar blok pemukiman, kepadatan penduduk, serta potensi terdampaknya. Jumlah total titik sampel adalah 23 yang meliputi 19 sampel air sumur, 1 sampel air PDAM, dan 3 sampel air sungai. Titik pengambilan air sungai terdapat pada titik 10 dan 25 serta Air Terjun Banyuwahit (*Upper Zone*). Titik pengambilan air PDAM terdapat pada titik 17 dan sisanya adalah titik pengambilan air sumur. Pengecualian pada titik 12,

warga menggunakan dua jenis sumur yaitu sumur dangkal dan sumur dalam, sehingga sampel diambil dua kali, satu untuk sumur dangkal dan satu untuk sumur dalam.

## B. Pengambilan Sampel dan Uji Laboratorium

Pengambilan sampel air mengacu kepada Standar Nasional Indonesia (SNI) 6989.57:2008 untuk sampel air sungai dan SNI 6989.58:2008 untuk airtanah. Uji laboratorium juga mengacu kepada SNI yang dijelaskan pada tabel di bawah.

**Tabel 1.** Metode Uji Laboratorium

No.	Parameter	Metode
1	Besi (Fe)	SNI 6989.4:2009
2	Kadmium (Cd)	SNI 6989.16:2009
3	Tembaga (Cu)	SNI 6989.6:2009
4	Seng (Zn)	SNI 6989.7:2009
5	Timbal (Pb)	SNI 6989.8:2009
6	Mangan (Mn)	SNI 6989.5:2009

## C. Pemetaan Sebaran Logam Berat

Analisis spasial dilakukan untuk melihat karakteristik wilayah yang meliputi jarak, jenis aliran, kemiringan aliran air, serta debit air di DAS Banyupahit-Banyuputih, Kecamatan Asembagus. Analisis spasial ini berupa pemetaan sebaran logam berat dengan menggunakan *software* pendukung *Geographic Information System (GIS)*, yaitu "ArcGis". Hasil dari analisis kandungan logam berat yang diuji di laboratorium adalah data-data yang akan dimasukkan dan disusun ke dalam Microsoft Excel, disimpan dalam format Microsoft Excel tahun 1997 dan diinput ke *software* ArcGIS. Di dalam data Microsoft Excel ini terdapat titik koordinat masing-masing sampel air yang akan diolah lebih lanjut dalam ArcGIS. Data hasil pemetaan ini berupa peta Kecamatan Asembagus beserta titik-titik sampel air sungai dan airtanah, serta perkiraan persebaran logam beratnya.

## D. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)

Pelaksanaan ARKL menurut Pedoman ARKL Kementerian Kesehatan (2012) meliputi empat langkah yaitu:

### 1. Identifikasi bahaya (*Hazard Identification*)

Identifikasi bahaya merupakan langkah pertama dalam ARKL yang digunakan untuk mengetahui secara spesifik agen risiko apa yang berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan bila tubuh terpajan. Sebagai pelengkap dalam identifikasi bahaya dapat ditambahkan gejala–gejala gangguan kesehatan apa yang terkait erat dengan agen risiko yang akan dianalisis.

**2. Analisis dosis-respon (*Dose-response Assesment*)**

Analisis dosis-respon bertujuan untuk mencari nilai RfD, dan/atau RfC, dan/atau SF dari agen risiko yang menjadi fokus ARKL, serta memahami efek apa saja yang mungkin ditimbulkan oleh agen risiko tersebut pada tubuh manusia. Analisis dosis-respon cukup dengan merujuk pada literatur yang tersedia (EPA: *Iris Assessment*).

**3. Analisis pajanan (*Exposure Assessment*)**

Analisis pajanan dilakukan dengan mengukur atau menghitung intake/asupan dari agen risiko. Data yang digunakan untuk melakukan perhitungan dapat berupa data atau data sekunder dan asumsi yang didasarkan pertimbangan yang logis atau menggunakan nilai *default* yang tersedia. Rumus perhitungan yang digunakan adalah sebagai berikut:

Intake karsiogenik pada jalur pemajanan ingesti (tertelan):

$$I_{nk} = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

**Ink** (*intake*): Jumlah konsentrasi agen risiko (mg) yang masuk ke dalam tubuh manusia dengan berat badan tertentu (kg) setiap harinya. (mg/kg hari)

**C** (konsentrasi): Konsentrasi agen risiko pada air bersih (mg/L)

**R** (*rate*): Laju konsumsi atau banyaknya volume air (Liter/hari)

- Dewasa (pemukiman)= 2 Liter/hari
- Anak-anak (pemukiman)= 1 Liter/hari

**F<sub>E</sub>** (*frekuensi of exposure*): Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya. (Hari/tahun)

- Pajanan pada pemukiman= 350 Hari/tahun

**D<sub>t</sub>** (*duration time*): Lamanya atau jumlah tahun terjadinya pajanan

- Pemukiman (dewasa)= 30 Tahun
- Pemukiman (Anak-anak)= 6 Tahun

**W<sub>b</sub>** (*weight of body*): Berat badan manusia (Kg)

- Dewasa Indonesia= 55 kg
- Anak-anak Indonesia= 15 kg

**t<sub>avg</sub>** (*time average*): Periode waktu rata-rata untuk efek non karsinogenik. (Hari)

- 30 tahun x 365 hari/tahun

#### 4. Karakterisasi risiko (*Risk characterization*)

Karakterisasi risiko dilakukan untuk menetapkan tingkat risiko atau dengan kata lain menentukan apakah agen risiko pada konsentrasi tertentu yang dianalisis pada ARKL berisiko menimbulkan gangguan kesehatan pada masyarakat atau tidak. Tingkat risiko untuk efek non karsinogenik dinyatakan dalam notasi Risk Quotien (RQ), dengan rumus sebagai berikut:

$$\frac{I}{RfC}$$

**I** (*intake*): Intake pada perhitungan pajanan (mg/kg hari)

**RfC** (*reference concentration*): referensi agen risiko pada pemajanan ingesti  
(EPA: *Iris Assessment*)

- **Fe** (0,006 mg/kg/hari); **Cd** (0,0005 mg/kg/hari); **Cu** (0,04 mg/kg/hari); **Zn** (0,3 mg/kg/hari); **Pb** (0,00049 mg/kg/hari); **Mn** (0,14 mg/kg/hari)

RQ ≤ 1 dapat dinyatakan “AMAN”, sedangkan tingkat risiko dikatakan TIDAK AMAN bilamana RQ > 1.

Setelah melakukan keempat langkah ARKL di atas maka dapat diketahui apakah suatu agen risiko aman/dapat diterima atau tidak. Pengelolaan risiko bukan termasuk langkah ARKL melainkan tindak lanjut yang harus dilakukan bilamana hasil karakterisasi risiko menunjukkan tingkat risiko yang tidak aman. Dalam melakukan pengelolaan risiko perlu dibedakan antara strategi pengelolaan risiko dengan cara pengelolaan risiko. Strategi pengelolaan risiko meliputi penentuan batas aman yaitu:

- a. Penentuan konsentrasi aman (C; (mg/liter))

$$C_{nk(aman)} = \frac{RfD \times W_b \times t_{avg}}{R \times f_E \times D_t}$$

- b. Penentuan jumlah konsumsi aman (R; (gram/liter))



$$R_{nk(aman)} = \frac{RfD \times W_b \times t_{avg}}{C \times f_E \times D_t}$$

\*) Keterangan variabel seperti pada persamaan (1)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Kondisi Eksisting

Kecamatan Asembagus terletak di sisi paling timur dari Kabupaten Situbondo berdekatan dengan Kecamatan Banyuputih yang bersebrangan langsung dengan Selat Bali. Secara geografis, Kecamatan Asembagus merupakan dataran rendah di bagian utara (pantai utara) serta dataran tinggi di bagian selatan, temperatur daerah ini lebih kurang diantara 25.8° – 29.8°C dengan rata-rata curah hujan sebesar 994 mm – 1503 mm per tahunnya, sehingga daerah ini tergolong daerah kering (Situbondo Dalam Angka Tahun 2015).

Pada umumnya, masyarakat Asembagus menggunakan tiga macam sumber air untuk aktivitas sehari-hari yaitu airtanah atau air sumur, air sungai, dan air PDAM. Air sumur dan air PDAM digunakan untuk minum dan memasak, sedangkan air sungai yang telah dibendung di Liwung digunakan untuk mengairi lahan perkebunan dan keperluan MCK (mandi, cuci, kakus). Di bagian selatan yang berupa dataran tinggi, sumber air tidak dipengaruhi oleh kegiatan domestik. Sebaliknya pada bagian utara, ada kemungkinan sumber air terpengaruh oleh kegiatan domestik karena bersinggungan langsung dengan aktivitas manusia.

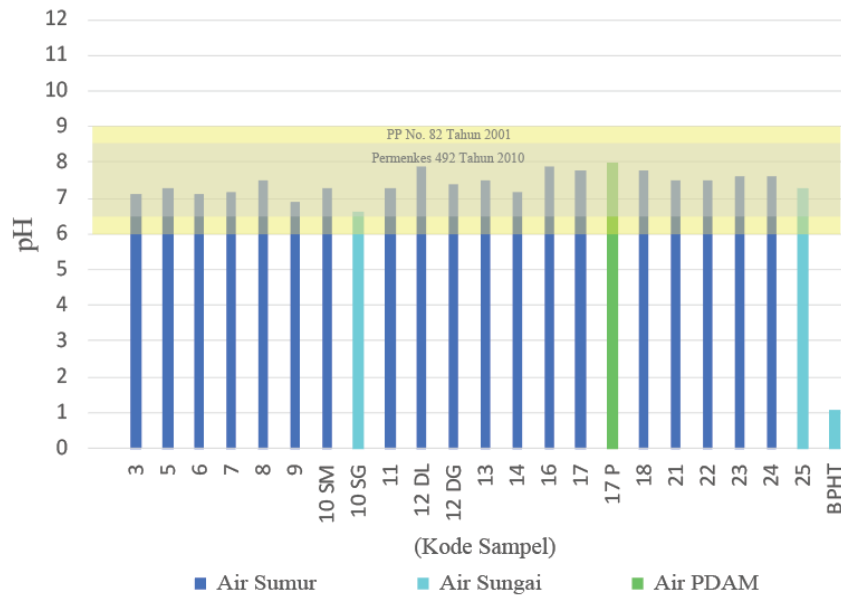


**Gambar 2.** (a) Air Sungai untuk irigasi; (b) Air sumur untuk minum; (c) Air PDAM

#### 3.2. Derajat Keasaman Air

Derajat keasamannya (pH) penting diukur dalam analisis kualitas air, terutama untuk parameter logam berat yang berpengaruh terhadap proses-proses biologis maupun kimia di dalamnya. Pengukuran pH dilakukan menggunakan pH meter dan hasilnya dibandingkan

menggunakan regulasi Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 82 Tahun 2001 untuk kualitas air Kelas I serta Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes) Nomor 492 Tahun 2010 tentang persyaratan kualitas air minum.



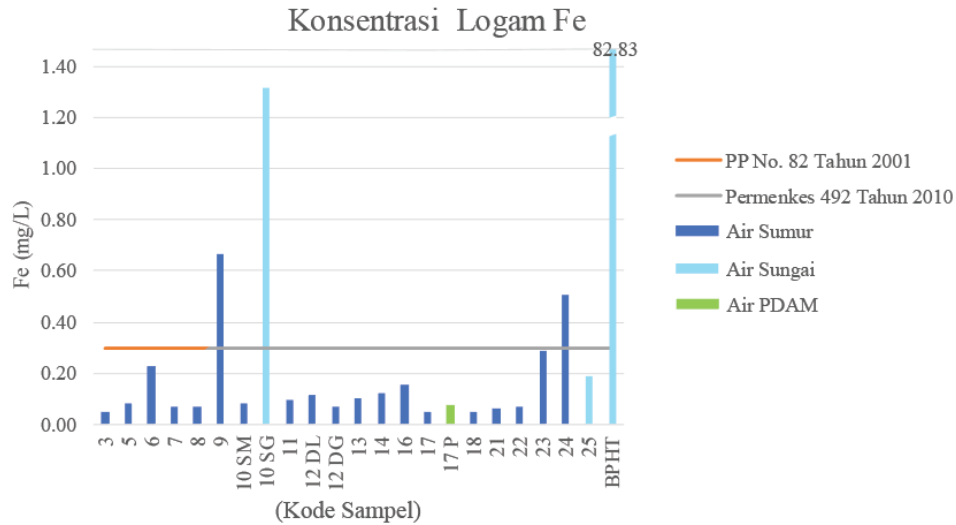
**Gambar 3.** Grafik pH sampel air

Grafik yang telah ditampilkan pada gambar 3 menunjukkan bahwa semua sumber air masyarakat Asembagus berada pada *range* baku mutu yang telah ditetapkan dalam PP Nomor 82 Tahun 2001 dan Permenkes Nomor 492 Tahun 2010. Namun, titik sampel BPHT (Banyupahit) memiliki pH yang rendah, dikarenakan letaknya yang berdekatan dengan Kawah Ijen sehingga air kawah yang bocor langsung masuk ke aliran air dan menyebabkan pH yang sangat rendah (asam) dan tidak sesuai baku mutu.

### 3.3. Analisis Kandungan Logam Berat

#### 3.3.1 Logam Berat Fe

Hasil analisis konsentrasi logam besi (Fe) menunjukkan bahwa Fe dalam kadar yang berlebih hanya terdeteksi pada air sungai dan beberapa sumur saja, sedangkan untuk kebanyakan air sumur dan PDAM masih berada di bawah baku mutu yang ditetapkan menurut PP Nomor 82 Tahun 2001 dan Permenkes Nomor 492 Tahun 2010, yaitu sebesar 0,3 mg/L.



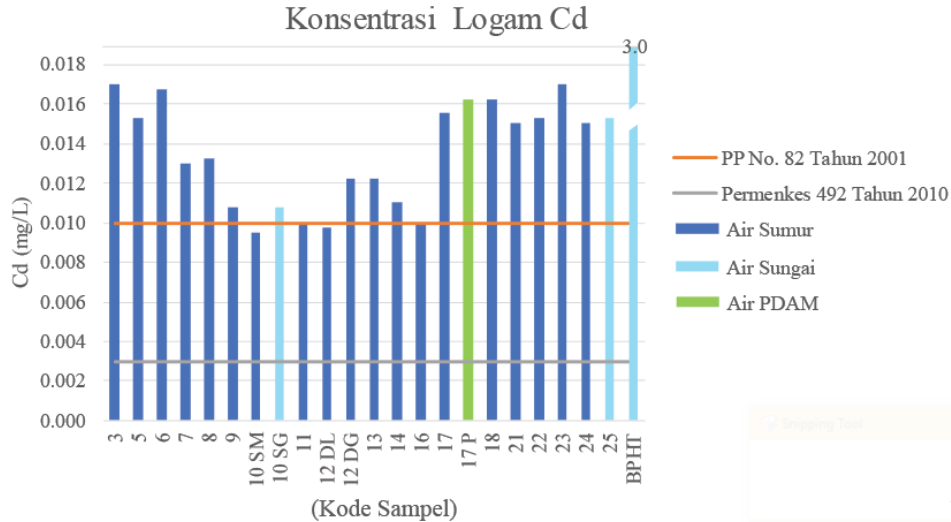
**Gambar 4.** Grafik konsentrasi Fe dalam sampel air

Konsentrasi Fe yang tinggi pada air sungai disebabkan karena faktor alami yaitu aktivitas gunung berapi, yang menyebabkan kandungan Fe di tanah meningkat dan juga air Kawah Ijen yang terbawa aliran sungai semakin pekat karena musim kemarau. Selain itu limbah domestik dari kegiatan MCK dan kegiatan pertanian juga menjadi penyumbang tingginya konsentrasi Fe pada air sungai dan air sumur. Pada titik 9 dan 24, konsentrasi Fe pada air sumur melebihi baku mutu dikarenakan lokasi tersebut adalah lahan perkebunan yang memungkinkan adanya penggunaan pupuk kimia.

### 3.3.2 Logam Berat Cd

Kadmium tergolong kedalam logam berat dengan tingkat toksisitas tinggi, apabila terakumulasi dalam tubuh manusia dapat menyebabkan gangguan metabolisme, kanker, penurunan sel darah merah, bahkan mutase genetik (Rajni dan Kesnav, 2010). Berdasarkan penelitian Lohr *et al.*, (2005) kadmium ditemukan pada hasil panen masyarakat dengan konsentrasi yang masih dibawah baku mutu. Namun hal ini tetap tidak bisa diterima, karena tingginya toksisitas dari kadmium apabila terakumulasi dalam tubuh.

Hasil analisis konsentrasi logam kadmium (Cd) di semua titik sampel menunjukkan kadar yang melebihi baku mutu pada semua sumber air, baik air sumur, PDAM, serta air sungai. Menurut PP Nomor 82 Tahun 2001 kadar Cd yang diperbolehkan yaitu 0,01 dan Permenkes Nomor 492 Tahun 2010 sebesar 0,003 mg/L. Ada perbedaan baku mutu menurut dua regulasi tersebut, namun perbandingan diambil dari nilai baku mutu terendah.

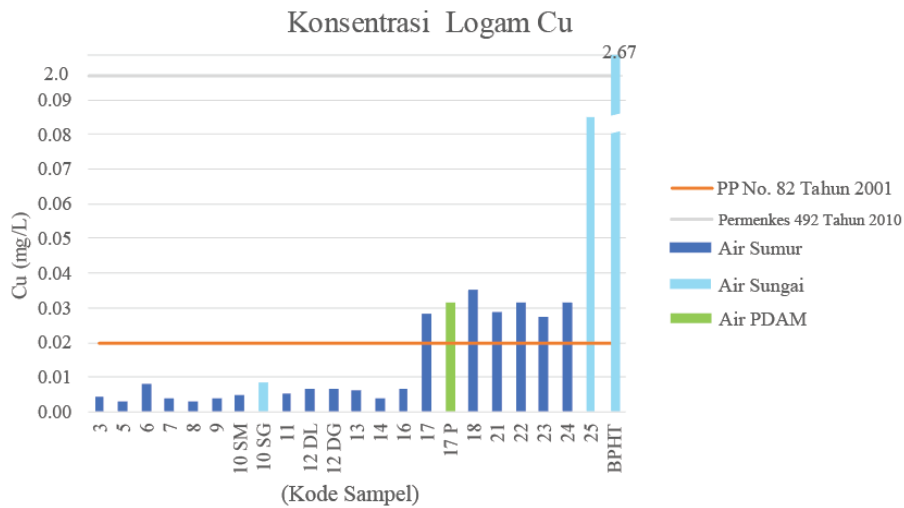


**Gambar 5.** Grafik konsentrasi Cd dalam sampel air

Selain dikarenakan oleh aktivitas alami Kawah Ijen, tingginya konsentrasi logam Cd juga dipengaruhi oleh aktivitas manusia lainnya seperti aktivitas industri, pembuangan limbah padat, effluen dari saluran air, maupun aktivitas agrikultur.

### 3.3.3 Logam Berat Cu

Hasil analisis konsentrasi logam tembaga (Cu) rata-rata jauh di bawah baku mutu, namun di beberapa titik sampel air sumur, PDAM, dan sungai menunjukkan kadar yang melebihi baku mutu menurut PP Nomor 82 Tahun 2001 namun tidak dengan Permenkes Nomor 492 Tahun 2010. Kadar Cu yang diperbolehkan berturut-turut yaitu sebesar 0,02 mg/L dan 2 mg/L. Hasil pengujian konsentrasi logam Cu dapat dilihat pada gambar 6 di bawah ini.

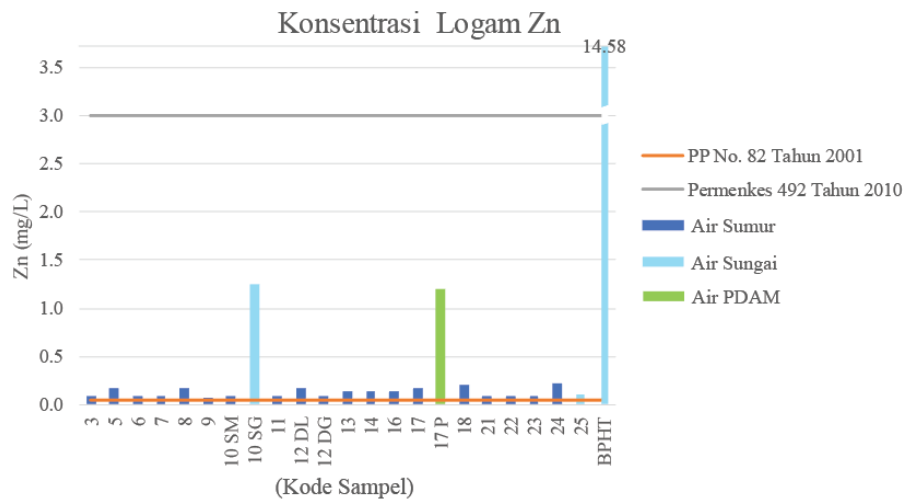


**Gambar 6.** Grafik konsentrasi Cu dalam sampel air

Konsentrasi yang lebih tinggi pada titik 17 – 25 disebabkan oleh aktivitas masyarakat yang lebih tinggi di *lower zone*. Aktivitas domestik seperti kegiatan pasar, penimbunan sampah, sanitasi, serta MCK turut menyumbang naiknya konsentrasi Cu tersebut.

### 3.3.4 Logam Berat Zn

Hasil analisis konsentrasi logam seng (Zn) di semua titik sampel menunjukkan kadar yang melebihi baku mutu pada semua sumber air, baik air sumur, PDAM, maupun air sungai menurut PP Nomor 82 Tahun 2001, dengan baku mutu 0,05 mg/L. Namun, menurut Permenkes Nomor 492 Tahun 2010, kadar Zn dalam semua sampel air jauh dibawah baku mutu yaitu 3 mg/L. Hasil pengujian konsentrasi logam Zn dapat dilihat pada gambar 7 di bawah.



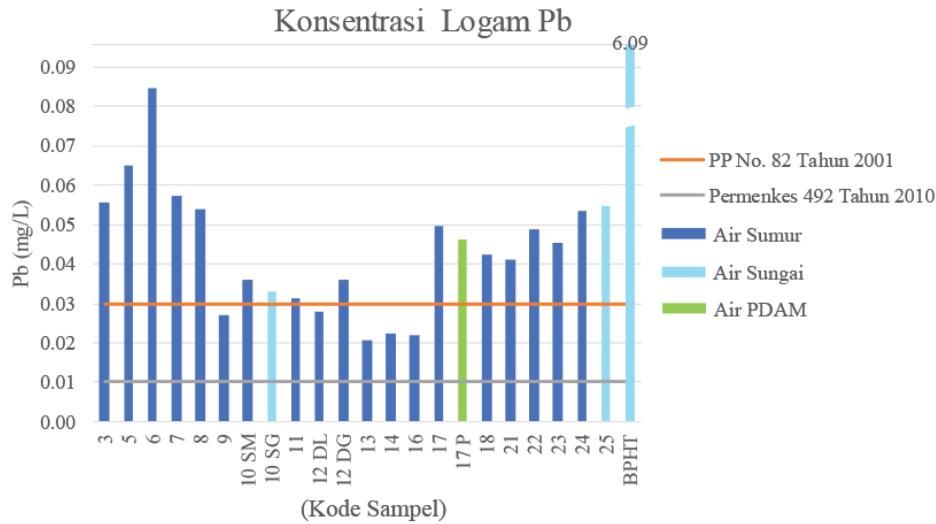
**Gambar 7.** Grafik konsentrasi Zn dalam sampel air

Konsentrasi yang melebihi baku mutu menurut PP No. 82 Tahun 2001 disebabkan oleh aktivitas kompleks manusia, Chen *et al.*, (2016) menyebutkan logam Zn paling dipengaruhi oleh aktivitas kompleks manusia seperti agrikultur, effluent saluran pembuangan rumah tangga, penumpukan limbah padat (*landfill* dan sampah), dan kegiatan urban lainnya. Namun, dalam peraturan juga disisipkan keterangan bahwa untuk pengolahan air minum secara konvensional konsentrasi Zn < 5 mg/L (lampiran II). Sehingga konsentrasi tersebut tidak berisiko pada kesehatan masyarakat.

### 3.3.5 Logam Berat Pb

Hasil analisis konsentrasi logam timbal (Pb) di semua titik sampel menunjukkan kadar yang melebihi baku mutu pada semua sumber air, baik air sumur, PDAM, serta air sungai. Menurut PP Nomor 82 Tahun 2001 dan Permenkes Nomor 492 Tahun 2010, kadar Pb

yang diperbolehkan berturut-turut yaitu sebesar 0,03 mg/L dan 0,01 mg/L. Hasil pengujian konsentrasi logam Pb dapat dilihat pada tabel 4.6 di bawah.

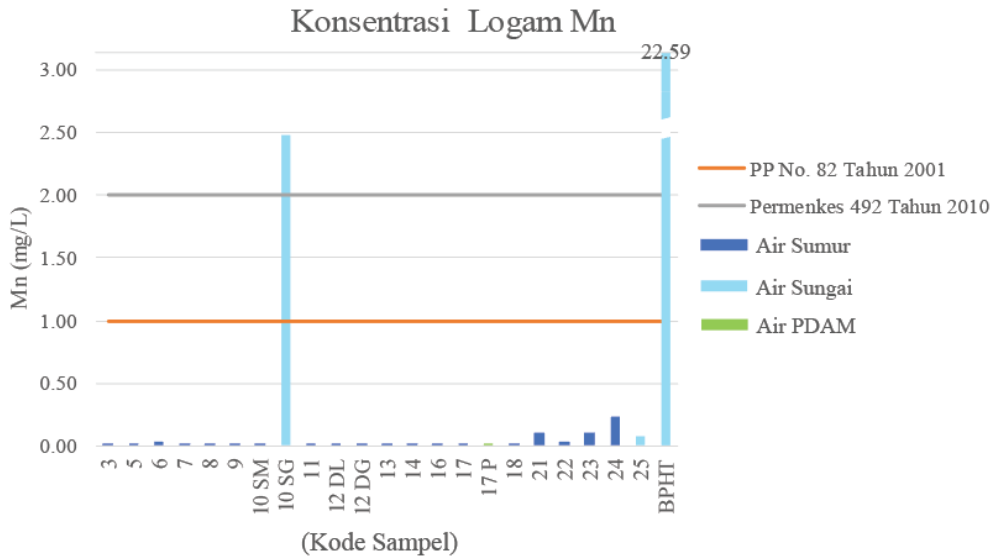


**Gambar 8.** Grafik konsentrasi Pb dalam sampel air

Logam Pb yang tinggi ini disebabkan oleh aktivitas alami dan antropogenik. Selain dari kandungan Pb dalam tanah dan batuan yang tinggi, Chen *et al.*, (2016) menyebutkan penyebab tingginya konsentrasi Pb adalah karena aktivitas manusia, terutama di bidang agrikultur serta *waste disposal*, penumpukan sampah dan penggunaan pupuk akan menghasilkan lindi yang terinfiltasi ke dalam akuifer airtanah. Pada musim kering, kegiatan irigasi dilakukan dengan air sungai yang juga memiliki kandungan Pb tinggi. Ketidakefektifan proses pengolahan air pada PDAM juga menjadi salah satu faktor tingginya kadar Pb pada air PDAM tersebut.

### 3.3.6 Logam Berat Mn

Hasil analisis konsentrasi logam mangan (Mn) di semua titik sampel menunjukkan kadar yang tidak melebihi baku mutu pada semua sumber air, baik air sumur, PDAM, terkecuali air sungai pada titik 10. Menurut PP Nomor 82 Tahun 2001 dan Permenkes Nomor 492 Tahun 2010, kadar Pb yang diperbolehkan yaitu sebesar 0,3 mg/L. Hasil pengujian konsentrasi logam Pb dapat dilihat pada gambar 9 di bawah.



**Gambar 9.** Grafik konsentrasi Mn dalam sampel air

Konsentrasi Mn yang tinggi pada air sungai ini mungkin disebabkan karena faktor alami yaitu aktivitas gunung berapi, yang menyebabkan kandungan Mn di tanah dan batuan meningkat dan juga air Kawah Ijen yang terbawa aliran sungai semakin pekat karena musim kemarau. Selain itu limbah domestik dari kegiatan MCK dan kegiatan pertanian juga menjadi penyumbang tingginya konsentrasi Mn pada air sungai dan air sumur.

### 3.3.7 Analisis Perbedaan Konsentrasi Logam Berat

Besar konsentrasi logam berat pada sumber air Kecamatan Asembagus berbeda-beda sesuai dengan parameter logam berat. Pada air sungai, logam Fe, Zn, dan Mn memiliki konsentrasi paling tinggi, hal ini disebabkan oleh sumber pencemar dari effluen Kawah Ijen yang langsung masuk menuju air sungai dan mengalir hingga ke daerah pemukiman Asembagus. Proses ini sudah berlangsung bertahun-tahun dimulai dari temuan bocornya bendungan Kawah Ijen pada tahun 1921 hingga sekarang. Menurut Sutamihardja (2006), sifat logam berat sulit didegradasi secara alami dan cenderung terakumulasi di lingkungan. Logam berat juga bersifat bioakumulasi dan biomagnifikasi, yaitu dapat terakumulasi dalam tubuh organisme, sehingga konsentrasi semakin tinggi.

Konsentrasi logam berat di air sungai semakin rendah pada daerah utara, hal ini disebabkan karena Sungai Banyupahit telah tercampur dengan dua aliran sungai netral yaitu Kali Sat dan Kali Sengon (gambar 4.1). Selain itu logam berat juga mudah terakumulasi pada sedimen, sehingga konsentrasi logam berat dalam air berkurang dan

konsentrasi logam berat pada sedimen meningkat (Sutamihardja, 2006). Sedangkan pada air tanah, konsentrasi logam berat yang paling tinggi adalah Pb dan Cd. Konsentrasi Pb dan Cd pada air sumur ini tidak jauh berbeda dengan air sungai. Pada gambar 4.5 dan 4.8 terlihat bahwa grafik konsentrasi Pb dan Cd menurun pada titik 11-16 dan meningkat kembali pada titik 17-24. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi yang tidak terjadi secara alami.

Selain dari kandungan Pb dalam tanah dan batuan yang tinggi, Chen *et al.*, (2016) menyebutkan penyebab tingginya konsentrasi Pb adalah karena aktivitas manusia, terutama di bidang agrikultur serta *waste disposal*, penumpukan sampah dan penggunaan pupuk akan menghasilkan lindi yang terinfiltasi ke dalam akuifer airtanah. Pada musim kering, kegiatan irigasi dilakukan dengan air sungai yang juga memiliki kandungan Pb tinggi. Kajian lebih lanjut juga diperlukan untuk mengetahui apakah aliran air sungai juga mempengaruhi akuifer air tanah di Kecamatan Asembagus.

### 3.4. Analisis Perbandingan Data

Titik pengambilan sampel penelitian sebelumnya seperti yang ditampilkan pada **gambar 1**, dibandingkan dengan daerah yang sama yaitu watucapil, serta sumur penduduk Asembagus. Watucapil dibandingkan dengan Air terjun banyupahit (BPHT) dengan pertimbangan kondisi air yang serupa dan jarak yang berdekatan. Perbandingan data dirangkum dalam tabel 2 di bawah.

**Tabel 2.** Perbandingan parameter dengan penelitian sebelumnya

Lokasi	pH	Fe (mg/L)	Cd (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)	Mn (mg/L)
Watucapil (2000) <sup>c</sup>	0,65	1516	-	0,88	4,5	2,7	-
Air Terjun Banyupahit (2019)	1,1	82,86	3,0	2,67	14,58	6,1	22,6
Sumur warga (2000) <sup>c</sup>	-	< 0,01	-	0,002	0,004	< 0,01	-



Sumur warga (2019)	7 – 8	0,051 – 0,667	0,01 – 0,017	0,01 – 0,017	0,09 – 0,23	0,022 – 0,085	0,002 – 0,23
--------------------	-------	---------------	--------------	--------------	-------------	---------------	--------------

Sumber: °Lohr *et al.*, (2005). *Natural Pollution Caused by the Extremely Acidic Crater Lake Kawah Ijen, East Java, Indonesia.*

Perbedaan pH di Watucapil pada tabel 4.8 di atas mungkin disebabkan karena fluktuasi pH air yang bergantung pada cuaca, suhu, dan kuantitas air asam kawah yang berubah-ubah. Selain itu konsentrasi Fe yang berberda jauh, dengan konsentrasi yang lebih tinggi pada tahun 2000 bisa disebabkan karena perbedaan lokasi titik sampel, perbedaan musim, serta kuantitas dari effluen. Musim kering menyebabkan effluen yang dihasilkan semakin sedikit. Untuk parameter logam berat lainnya, konsentrasi pada tahun 2019 lebih tinggi dibanding dengan tahun 2000 baik di Watucapil maupun sumur warga Asembagus.

Konsentrasi logam berat yang bertambah menunjukkan bahwa adanya akumulasi dari tahun ke tahun. Logam berat merupakan senyawa *non-degradable* atau tidak dapat terurai dan memiliki massa jenis yang lebih tinggi dari air, sehingga logam berat yang berasal dari air Kawah Ijen terbawa aliran sungai dan terakumulasi di sumber air warga Asembagus, baik air sungai maupun air sumur. Akumulasi terhadap jenis sumber air juga berbeda, sehingga menimbulkan konsentrasi yang berbeda juga untuk setiap jenis sumber air. Perbandingan konsentrasi logam untuk setiap sumber air akan dirangkum pada tabel 3 di bawah.

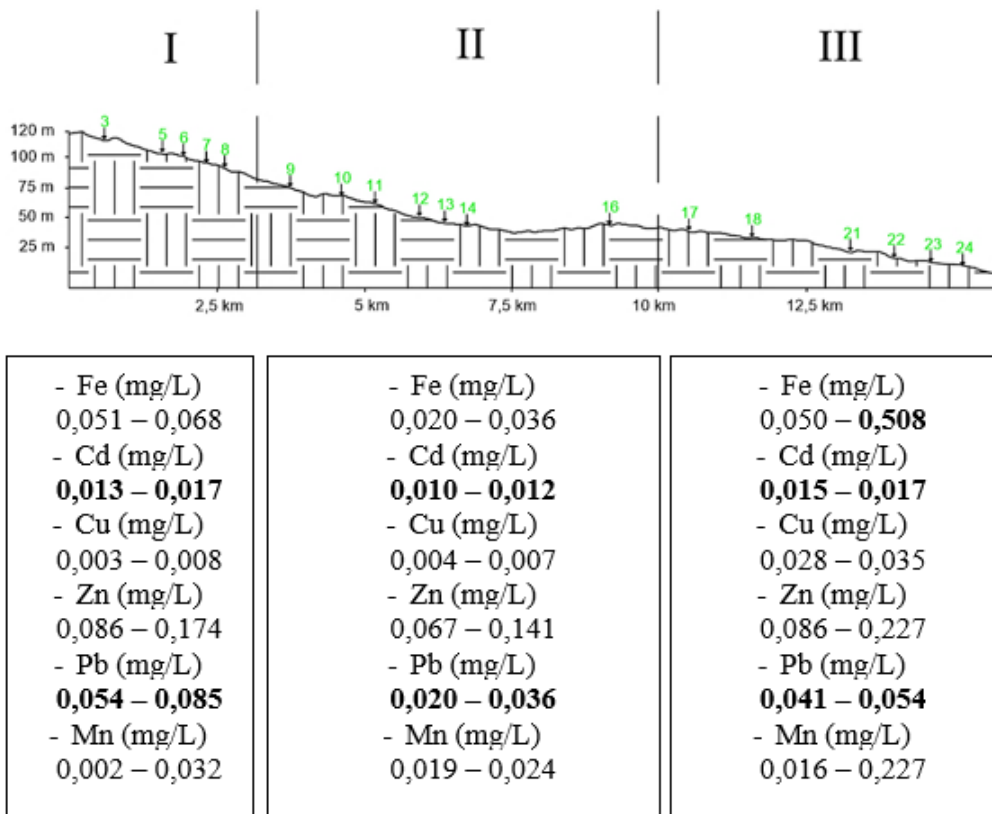
**Tabel 3.** Perbandingan Parameter untuk Sumber Air

Sumber air	pH	Fe (mg/L)	Cd (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)	Mn (mg/L)
Air Sungai	6 - 7	0,187 – 1,312	0,011 – 0,015	0,003 – 0,035	0,1 – 1,25	0,033 – 0,055	0,078 – 2,48

Air Sumur	6 - 8	0,051 – 0,667	0,01 – 0,017	0,01 – 0,017	0,09 – 0,23	0,022 – 0,085	0,002 – 0,23
Air PDAM	8	0,074	0,016	0,032	1,2	0,046	0,017

Dari tabel 3 di atas dapat dilihat bahwa pH untuk semua sumber air normal dan masih sesuai dengan baku mutu. Sedangkan untuk logam berat, air sungai mengandung kadar logam paling tinggi daripada air sumur dan PDAM. Walaupun tidak dipergunakan sebagai air minum, air sungai tetap dimanfaatkan untuk irigasi pertanian serta minum dan mandi hewan ternak, sehingga tetap berisiko bagi lingkungan maupun kesehatan masyarakat itu sendiri karena logam berat dapat terakumulasi dalam hasil panen dan daging ternak.

### 3.5. Analisis Sebaran Logam Berat



**Gambar 10.** Profil Elevasi Titik Pengambilan Air Sumur

Dari gambar 10 di atas dapat dilihat bahwa kandungan logam berat (Fe, Cd, Cu, Zn, Pb, dan Mn) pada tiap-tiap zona bervariasi, namun tren konsentrasi logam berat dari zona I menuju zona II adalah menurun dan kemudian meningkat pada Zona III, bahkan konsentrasinya melebihi Zona I. Hal tersebut menandakan bahwa adanya pencemar lain yang masuk ke badan air. Penyebab dan jumlahnya berbeda-beda tergantung pada penggunaan lahan di tiap-tiap zona.

Pada zona I, yang meliputi titik 3-8, penggunaan lahan selain untuk pemukiman adalah untuk bertani dan berkebun. Sehingga banyak sekali dijumpai ladang-ladang, yang ditanami jagung, tebu, maupun singkong. pada saat observasi lapangan. Mayoritas masyarakat Asembagus yang tinggal di zona ini menggunakan air sungai dan air sumur bor untuk irigasi, dan air sumur gali untuk konsumsi sehari-hari. Distribusi air PDAM belum mencakup sebagian besar wilayah pemukiman pada zona I, dan mayoritas masyarakat pun menganggap bahwa air sumur yang dikonsumsi memiliki kualitas yang lebih baik dibanding dengan PDAM.

Pada zona II, yang meliputi titik 9-16, penggunaan lahan sebagian besar untuk pertanian dan sisanya sebagai pemukiman, pondok pesantren, serta tempat rekreasi air "Sami Rafting". Ladang-ladang yang ditemui jauh lebih luas dibandingkan dengan zona I, Rata-rata masyarakat di zona II ini menggunakan air sumur untuk irigasi dan air PDAM untuk konsumsi sehari-hari. Air sungai hanya digunakan untuk memandikan hewan ternak. Tidak ditemukan industri di zona ini.

Sedangkan pada zona III, yang meliputi titik 17-24, mayoritas lahan masih digunakan untuk pertanian, namun di zona ini telah banyak berdiri industri-industri kecil maupun besar dan dilewati oleh jalan lintas provinsi. Industri besar seperti pabrik gula (PG. Asembagus) dan aktivitas domestik lainnya. Chen *et al.*, (2016) menyebutkan penyebab tingginya konsentrasi Fe, Cd, Cu, Zn, Pb dan Mn adalah karena aktivitas kompleks manusia, terutama di bidang agrikultur serta *waste disposal*, penumpukan sampah dan penggunaan pupuk yang menghasilkan infiltrasi lindi ke dalam akuifer airtanah. Luasnya lahan perkebunan juga yang menggunakan pupuk kimiawi, serta penumpukan sampah di tanah maupun sungai menguatkan kemungkinan bertambahnya konsentrasi logam berat di airtanah. Mayoritas masyarakat di zona III telah menggunakan air dari PDAM dan hanya menggunakan air sumur untuk mengairi ladang.



**Gambar 11.** Kondisi pada zona III

Gambar 11 menunjukkan kondisi pada zona III yang menunjukkan adanya *waste disposal*, kegiatan agrikultur yang juga berdampak pada tingginya konsentrasi beberapa parameter logam berat. Kerak yang ditemukan pada panci dan kran air juga mengindikasikan bahwa adanya efek dari logam berat terhadap benda-benda. Kerak pada panci muncul setelah berulang-ulang digunakan untuk memasak air yang diambil dari air sumur maupun PDAM.

### **3.6. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan**

Menurut profil dinas kesehatan kabupaten situbondo 2018, cakupan akses air minum pada kecamatan Asembagus masuk dalam kecamatan dengan akses air minum berkualitas 4 terendah, yaitu 64,99%. Kendalanya adalah tingkat kepedulian masyarakat terkait pemelihara (Sarana Air Bersih) SAB yang masih rendah, pengetahuan tentang pentingnya penyehatan air dan penyehatan lingkungan pemukiman yang kurang, Rendahnya stimulasi perbaikan SAB di masyarakat, serta adanya program lintas sektor yang terkait dengan peningkatan akses air bersih di masyarakat seperti PAMSIMAS (Penyediaan Air Minum Berbasis Masyarakat), PAM STBM, dan PnPM (Pemberdayaan Masyarakat) khususnya di pedesaan.

Pada sub bab 3.3 telah dijelaskan bahwa konsentrasi beberapa logam (Pb, Cd) berada di atas baku mutu yang telah ditetapkan. Gejala penyakit yang dialami akibat logam Cd adalah sakit pinggang, hipertensi, hingga kerusakan ginjal, sedangkan Pb dapat mengakibatkan gangguan pencernaan, gangguan kepribadian, bahkan kelumpuhan. Ambarwanto et al., (2015) mengatakan ada hubungan antara paparan Pb terhadap kejadian hipertensi, dengan jangka waktu paparan yang terus-menerus. Timbal dapat menyebabkan meningkatnya produksi reactive oxygen species (ROS). ROS merupakan bentuk turunan dari Oksigen yang terjadi saat bereaksi dengan elektron. Angka penderita hipertensi di kecamatan Asembagus pada profil dinas kesehatan kabupaten situbondo 2018 adalah 27% orang dari total 12218 orang yang diukur tekanan darahnya. Jumlah ini terus bertambah dari tahun sebelumnya, dan bukan merupakan persentase yang kecil.

Oleh karenanya dilakukan perhitungan terkait analisis terkait risiko kesehatan lingkungan. Mengacu kepada Pedoman ARKL Kementerian Kesehatan 2012. Perhitungan untuk rata-rata konsentrasi tiap parameter logam berat (Fe, Cd, Cu, Zn, Pb, dan Mn) dapat dilihat pada tabel 4 di bawah.

Berikut contoh perhitungannya:

#### 1. Intake Pemajanan

##### **Besi (Fe)**

- Anak

$$\begin{aligned}
 Ink &= \frac{C \times R \times fE \times Dt}{Wb \times t \text{ avg}} \\
 &= \frac{0,205 \frac{mg}{L} \times 1 \frac{L}{hari} \times 350 \frac{hari}{tahun} \times 6 \text{ tahun}}{15 \text{ kg} \times 10950 \text{ hari}} \\
 &= 0,0026 \text{ mg/kg.hari}
 \end{aligned}$$

- Dewasa

$$\begin{aligned}
 Ink &= \frac{C \times R \times fE \times Dt}{Wb \times t \text{ avg}} \\
 &= \frac{0,205 \frac{mg}{L} \times 2 \frac{L}{hari} \times 350 \frac{hari}{tahun} \times 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \times 10950 \text{ hari}} \\
 &= 0,0071 \text{ mg/kg.hari}
 \end{aligned}$$

## 2. Karakteristik Risiko

### Besi (Fe)

-Anak

$$\begin{aligned} RQ &= \frac{I}{Rfc} \\ &= \frac{0,0026}{0,006} \\ &= 0,44 \end{aligned}$$

- Dewasa

$$\begin{aligned} RQ &= \frac{I}{Rfc} \\ &= \frac{0,0071}{0,006} \\ &= 1,19 \end{aligned}$$

## 3. Pengelolaan Risiko

- Konsentrasi aman

Besi (Fe) - Dewasa

$$\begin{aligned} Cnk (aman) &= \frac{Rfd \times Wb \times t \text{ avg}}{R \times fE \times Dt} \\ &= \frac{0,006 \frac{\text{mg}}{\text{kg hari}} \times 55 \text{ kg} \times 10950 \text{ hari}}{2 \text{ liter/hari} \times 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 30 \text{ tahun}} \\ &= 0,17 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

- Jumlah konsumsi aman

Besi (Fe) - Dewasa

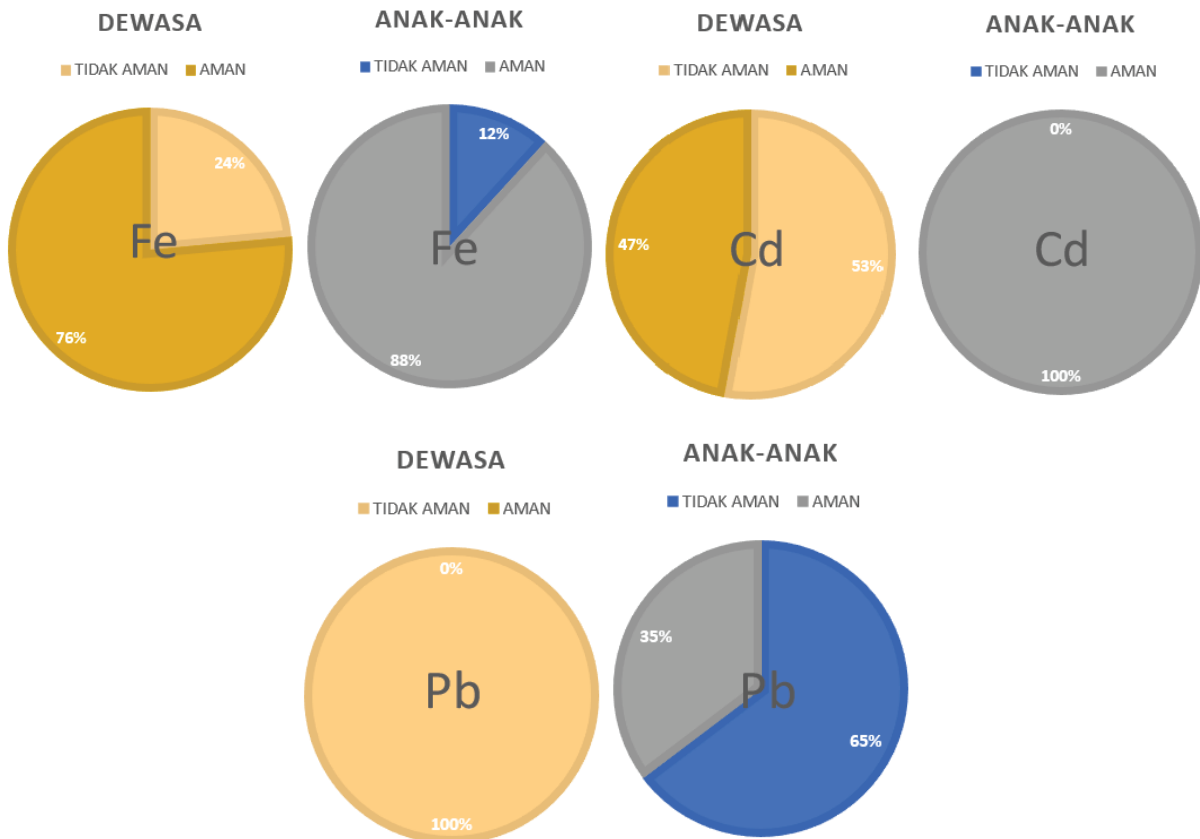
$$\begin{aligned} Rnk (aman) &= \frac{Rfd \times Wb \times t \text{ avg}}{C \times fE \times Dt} \\ &= \frac{0,006 \frac{\text{mg}}{\text{kg. hari}} \times 55 \text{ kg} \times 10950 \text{ hari}}{0,205 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 30 \text{ tahun}} \\ &= 1,68 \text{ liter} \end{aligned}$$

**Tabel 4.** Perhitungan Rata-rata Risiko Kesehatan Lingkungan

	Konsentrasi rata-rata (mg/l)	Usia <sup>d</sup>	R <sup>d</sup> (liter)	F <sub>E</sub> <sup>d</sup> (hari/tahun)	D <sub>t</sub> <sup>d</sup> (tahun)	W <sub>b</sub> <sup>d</sup> (kg)	t avg <sup>d</sup> (hari)	R <sub>fd</sub> <sup>d</sup> (mg/kg.hari)	Intake Pemaianan (mg/kg.hari)	Karakterisasi risiko	Status	Konsentrasi aman (mg/l)	Jumlah konsumsi aman (liter)
Fe	0,205	Anak	1	350	6	15	10950	0,006	0,0026	0,44	AMAN	-	-
	0,205	Dewasa	2	350	30	55	10950	0,006	0,0071	1,19	TIDAK AMAN	0,172	1,68
Cd	0,013	Anak	1	350	6	15	10950	0,0005	0,0002	0,33	AMAN	-	-
	0,013	Dewasa	2	350	30	55	10950	0,0005	0,0005	0,91	AMAN	-	-
Cu	0,014	Anak	1	350	6	15	10950	0,040	0,0002	0,00	AMAN	-	-
	0,014	Dewasa	2	350	30	55	10950	0,040	0,0005	0,01	AMAN	-	-
Zn	0,232	Anak	1	350	6	15	10950	0,300	0,0030	0,01	AMAN	-	-
	0,232	Dewasa	2	350	30	55	10950	0,300	0,0081	0,03	AMAN	-	-
Pb	0,043	Anak	1	350	6	15	10950	0,00049	0,0005	1,12	TIDAK AMAN	0,038	0,89
	0,043	Dewasa	2	350	30	55	10950	0,00049	0,0015	3,06	TIDAK AMAN	0,014	0,65
Mn	0,154	Anak	1	350	6	15	10950	0,140	0,0020	0,01	AMAN	-	-
	0,154	Dewasa	2	350	30	55	10950	0,140	0,0054	0,04	AMAN	-	-

Sumber: <sup>d</sup> Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan, Kementerian Kesehatan 2012.

Perhitungan risiko juga dilakukan untuk setiap titik sampel pada gambar 1, guna menggambarkan tingkat risiko area pemukiman yang diwakilkan oleh titik sampel. Kemudian diambil persentase aman dan tidak aman dari setiap parameter logam berat. Untuk logam Cu, Zn, dan Mn memiliki tingkat risiko yang aman pada seluruh titik sampel. Sedangkan logam Fe, Cd, dan Pb memiliki tingkat risiko tidak aman pada beberapa titik sampel yang memiliki konsentrasi diatas baku mutu. Persentase logam Fe, Cd, dan Pb dapat dilihat pada gambar 12 di bawah ini.



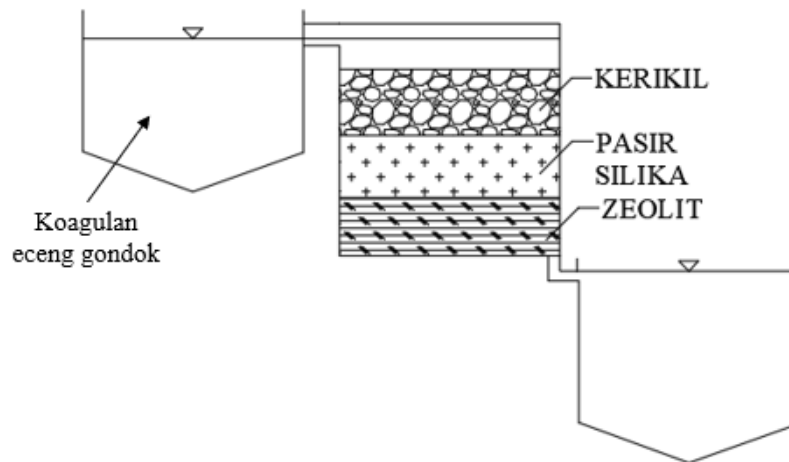
**Gambar 12.** Persentase tingkat risiko

### 3.7. Solusi Teknis untuk Mereduksi Kandungan Logam Berat

Menurut Said (2010), Ada beberapa metode untuk menghilangkan atau mengeluarkan logam berat di dalam air yaitu dengan proses oksidasi kimia, proses pertukaran ion, proses adsorpsi, proses elektrokimia, proses *reverse osmosis* serta alternatif lain dengan metoda biosorpsi. Pemilihan suatu metode penghilangan logam berat bergantung dari kondisi pencemarnya. Untuk mengolah air limbah yang mengandung beberapa jenis logam berat, diperlukan kombinasi beberapa proses untuk mendapatkan air olahan dengan kualitas yang diharapkan.



Diantara beberapa metode tersebut, dipilih kombinasi antara penggunaan koagulan dengan multi-media filter dengan mempertimbangkan removal logam berat selain Pb dan Cd yang terkandung dalam air. Kriteria filter multi-media yang akan direkomendasikan adalah filter sederhana dari *Polyvinil Chloride (PVC)* yang tersusun dari kerikil, pasir silika, dan mangan zeolit. Sistem pembersihannya menggunakan *Semi-Automatic Backwash* (Said, 2010). Alur pengolahannya terlebih dahulu ditampung dalam bak sedimentasi, dicampurkan dengan koagulan, kemudian diteruskan melalui filter multi-media, seperti pada gambar 13 dibawah ini.



**Gambar 13.** Unit pengolahan air

#### 4. KESIMPULAN

Konsentrasi logam berat (Fe, Mn, Cu, dan Zn) di airtanah berada di bawah baku mutu, namun Pb dan Cd melebihi baku mutu. Konsentrasi tersebut meningkat dibandingkan penelitian sebelumnya. Semakin menuju bagian rendah, konsentrasi logam berat semakin tinggi. Tingkat risiko untuk logam Cu, Zn, dan Mn berada pada tingkat aman, Fe pada tingkat yang aman namun beberapa area tidak aman, sedangkan Pb dan Cd berisiko terhadap kesehatan masyarakat. Beberapa solusi untuk mengolah air baku sebelum dikonsumsi adalah menggunakan proses oksidasi kimia, elektrokimia, *reverse osmosis*, ataupun kombinasi antara koagulasi dan multi-media filter.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

Ambarwanto S, Nurjazuli, Raharjo M. 2015. *Hubungan Paparan Timbal Dalam Darah dengan Kejadian Hipertensi Pada Pekerja Industri Pengecoran Logam di Ceper Klaten Tahun 2015*. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia Vol 14, No 2: 35-39.

Aminuddin, Andiani. 2015. *Ancaman Air Asam Kawah Ijen*. Geomagz: Majalah Geologi Popular. Badan Geologi-Kementerian ESDM.

Anies. 2015. *Penyakit Berbasis Lingkungan*. Yogyakarta: Ar-ruz Media.

Badan Geologi, Kementerian ESDM. 2014. *Data Dasar Gunungapi Indonesia*.

Badan Pusat Statistik Situbondo. 2010. *Kecamatan Asembagus dalam Angka 2010*. Situbondo: BadanPusat Statistik.

Bloom, A.L. 1979. *Geomorphology. A Systematic Analisis of Late Cenozoic Landforms*. Prentice Hall of India. New Delhi.

Chen M, Qin X, Zeng G, Li J. 2016. *Impact on Human Activity Modes and Climate on Heavy Metal "Spread" in Groundwater are Biased*. Chemosphere 152: 439-455.

Dasuqi G. 2018. Ribuan Warga Situbondo Kesulitan Air Bersih, BPBD Situbondo Kekurangan Tangki. [internet]. [diakses pada 4 Maret 2019]. Tersedia pada: <https://news.detik.com/berita-jawa-timur/d-4263803/ribuan-warga-kesulitan-air-bersih-bpbd-situbondo-kekurangan-tangki.html>

Darmono. 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Universitas Indonesia Press: Jakarta.

Delmelle P, Bernard A. 2000. *Downstream composition changes of acidic volcanic waters discharged into the Banyupahit stream, Ijen caldera, Indonesia*. Journal Volcanol Geotherm Res 97: 55–75.

Heikens A, Widianarko B, Dewi I, De Boer J, Seinen W, Seinen, W, Van Leeuwen K. 2005. *The impact of the hyperacid Ijen Crater Lake. Part II: a total diet study*. Environmental Geochemistry and Health 27: 475–483.

Iswara I, Oktafiani L, Desiree A, Alfian A, Amalia D. 2015. *Peningkatan Kesejahteraan Keluarga Desa Awar-Awar Kecamatan Asembagus Kabupaten Situbondo melalui Kegiatan Kuliah Kerja Nyata Tematik Posdaya*. [Laporan KKN]. Universitas Jember.

Kusdarini E. 2016. *Kajian Metode Koagulasi pada Pengolahan Air Sumur Mengandung Timbal Bervalensi II Di Kota Pasuruan*. Jurnal IPTEK Vol. 20 No.1: 43-54.

Lohr A, Boogard T, Heikens A, Hendriks M, Sumarti S, Van Bergen M, Van Gestel C, Van Straalen N, Vroon P, Widianarko B. 2005. *Natural Pollution Caused by the Extremely Acidic Crater Lake Kawah Ijen, East Java, Indonesia*. ESPR-Environ Sci & Pollut Res 12(2): 89-95.

Moore, J. W. dan S. Ramamoorthy. 1984. *Heavy Metals in Natural Water*. Springer Verlag: New York.

Pedoman Analisis Risiko Lingkungan. 2012. Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan.

Profil Kesehatan Kabupaten Situbondo. 2018. Situbondo: Dinas Kesehatan Kabupaten Situbondo.

Prahasta, E. 2002. *Sistem Informasi Geografis: Konsep-Konsep Dasar Informasi Geografis*. Bandung: Informatika Bandung.

Republik Indonesia. 2001. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*. Jakarta.

Republik Indonesia. 2010. *Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum*. Jakarta.

Rajni K, Keshav K. 2010. *Water pollution: management, control and treatment*. New Age International. New Delhi

Rangkuti, A. M. 2009. *Analisis Kandungan Logam Berat Hg, Cd, dan Pb pada Air dan Sedimen di Perairan Pulau Panggang-Pramuka Kepulauan Seribu, Jakarta*. [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Said, N. 2010. *Metoda Penghilangan Logam Berat (As, Cd, Cr, Ag, Cu, Pb, Ni dan Zn) didalam Air Limbah Industri*. JAI Vol 6. No. 2: 17-29.

Sartohadi J, Sianturi R, Rahmadana A, Maritimo F, Wacano D, Munawaroh, Suryani T, Pratiwi E. 2014. *Bentang Sumberdaya Lahan Kawasan Gunungapi Ijen dan sekitarnya*. Yogyakarta (ID): Pustaka Pelajar.

Sheets P.D., Grayson D.K. 1979. *Volcanic Activity and Human Ecology*. Academic Press. New York.

Sudarmiji et al. 2006. Toksikologi Logam Berat B3 dan Dampaknya Terhadap Kesehatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, Vol.2 No.2: 129-142.

Sugiyarto K.H., dan Suyanti R.D. 2010. *Kimia Anorganik Logam*. Yogyakarta: Graha Ilmu

Sumarti S. 1998. *Volcanogenic Pollutants in Hyperacid River Discharge from Ijen Crater Lake, East Java, Indonesia. Thesis of Doctorandus-Degree in Geochemistry.* Faculty of Earth Sciences, Utrecht University.

Sumarti, S. et al. 2006. *Pemantauan Jangka Panjang Kawah Ijen (1922 – 2002) Parameter Fisis: Level Dan Temperatur.* Pusat Vulkanologi Dan Mitigasi Bencana Geologi, Bandung

Sundoro H. 1990. *A Study of The Stratigraphy, Volcanology and Geochemistry of Pyroclastic Rocks from The Ijen Caldera Complex East Java Indonesia.* [Thesis]. Victoria University of Wellington. New Zealand.

Sutamihardja, 2006. *Toksikologi Lingkungan.* Buku Ajar Program Studi ilmu Lingkungan Universitas Indonesia. Jakarta.

Wittiri SR., Agusta R. 2015. *Ijen Menyesap Pesona Mewaspadaai Bahaya.* Geomagz: Majalah Geologi Popular. Badan Geologi-Kementerian ESDM.

Yakub. 2012. *Pengantar Sistem Informasi.* Yogyakarta: Graha Ilmu.

Yudo, S. 2006. *Kondisi Pencemaran Logam Berat di Perairan Sungai DKI Jakarta.* Jurnal Air Indonesia. Vol. 2. No. 1: 1-15.