

ANALISIS KELAYAKAN *SAFE DRIP* SEBAGAI TEKNOLOGI PENGOLAHAN AIR PADA BENCANA BANJIR

FEASIBILITY ANALYSIS OF SAFE DRIP AS WATER TREATMENT TECHNOLOGY IN FLOOD DISASTER

Anita Megawati¹⁾, Oekan S. Abdoellah²⁾, Chay Asdak³⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Magister Ilmu Lingkungan - Universitas Padjadjaran, Bandung

^{2,3)}Dosen Program Studi Magister Ilmu Lingkungan - Universitas Padjadjaran, Bandung
email: anitamegawati89@gmail.com

Diterima: 13 November 2013; Disetujui: 03 Maret 2014

ABSTRAK

Kelangkaan air bersih merupakan permasalahan yang sering terjadi pada waktu banjir padahal air bersih merupakan kebutuhan yang paling penting dalam menjamin kelangsungan hidup masyarakat yang terkena dampak bencana banjir. *Safe drip* merupakan teknologi pengolahan air di tempat pada level rumah tangga yang dapat diterapkan pada bencana banjir. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kelayakan *safe drip* sebagai teknologi pengolahan air pada saat bencana banjir dari aspek teknis, ekonomi, sosial, dan lingkungan. Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif. Metode ini dilakukan melalui survei yang berpedoman pada kriteria kelayakan teknologi pengolahan air pada keadaan darurat yang telah ditetapkan dan didukung oleh demonstrasi *safe drip* pada lokasi penelitian. Melalui penelitian ini, diketahui bahwa *safe drip* dapat dikategorikan sebagai teknologi pengolahan air yang layak digunakan pada bencana banjir ditinjau dari aspek teknis, ekonomi, sosial, dan lingkungan. Adapun kriteria kelayakan yang digunakan, antara lain adalah kemudahan dalam distribusi, jumlah air yang dihasilkan, kualitas air yang dihasilkan, keterjangkauan biaya, ketersediaan sumber daya, partisipasi masyarakat lokal, keterlibatan tokoh masyarakat, kemudahan dalam penggunaan dan pemeliharaan, serta prakiraan dampak lingkungan.

Kata Kunci: Air bersih, bencana banjir, analisis kelayakan, teknologi pengolahan air, bencana banjir, *safe drip*

ABSTRACT

Fresh water scarcity is a problem that often occurs in flood disaster although the water is the most important need for ensuring the sustainability of communities having flood disaster. *Safe drip* is an on-site water treatment technology in household level which can be applied in flood disaster. The purpose of the research is to find out the feasibility of *safe drip* as a water treatment technology in flood disaster in terms of technical, economic, social, and environment aspect. This research applied quantitative methods. This method was done through survey which based on feasibility criteria for water treatment technologies in emergencies that have been established and supported by demonstration of *safe drip* at research location. The results of the research show that *safe drip* can be categorized as a feasible water treatment technology used in the flood disaster in terms of technical, economic, social, and environmental aspect. The feasibility criteria used consists of ease of distribution, amount of produced water, quality of produced water, affordability, availability of resources, local community participation, involvement of community leaders, ease of use and maintenance, and environmental impact prediction.

Keywords: Clean water, flood, feasibility analysis, water treatment technology, flood disaster, *safe drip*

PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan yang sering ditemui ketika bencana adalah pasokan air bersih yang tidak memadai. Akses terhadap air bersih merupakan hak asasi setiap manusia baik pada waktu keadaan damai ataupun keadaan darurat seperti, situasi bencana (The Johns Hopkins and IFRC, 2008). Akses terhadap air bersih yang layak

merupakan salah satu faktor penting dalam mendukung kelangsungan hidup manusia.

Pengadaan teknologi pengolahan air di tempat merupakan upaya yang lebih praktis dan berkelanjutan dalam memenuhi kebutuhan air bersih masyarakat yang terkena dampak bencana daripada melalui pemberian bantuan air minum dalam kemasan atau tangki air (Loo *et al.*, 2012). Pada saat ini telah banyak dikembangkan teknologi

pengolahan air untuk keadaan bencana. Menurut IFRC (2008), pengolahan air pada keadaan darurat dapat berupa pengolahan air pada level rumah tangga yang meliputi, desinfeksi (dengan perebusan, sinar matahari, atau bahan kimia), sedimentasi (dengan menggunakan metode tiga pot atau dengan pencampuran bahan kimia), serta filtrasi dengan lilin, pasir, *bio sand filter*. Pada kenyataannya teknologi pengolahan air pada level rumah tangga bisa tidak tepat guna pada situasi bencana. Hal ini dikarenakan terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi penerapan teknologi pada keadaan darurat diantaranya, kualitas air yang dihasilkan tidak sesuai, teknologi sulit atau tidak nyaman untuk digunakan, serta biaya yang tidak sesuai dengan kemampuan masyarakat (Global Wash Cluster, 2009). Hal ini juga didukung oleh Loo *et al.* (2012) yang menyatakan pengolahan air pada keadaan darurat merupakan sebuah tantangan terkait dengan penurunan kualitas sumber air serta keterbatasan akses terhadap infrastruktur dan sumber daya.

Adanya evaluasi terhadap teknologi pengolahan air pada keadaan darurat menunjukkan bahwa suatu teknologi pengolahan air pada keadaan darurat membutuhkan analisis kelayakan terlebih dahulu sebelum diterapkan agar teknologi tersebut tepat guna. Hal ini juga didukung oleh Munaf dkk., (2008) yang menyatakan bahwa teknologi tepat guna adalah teknologi yang sesuai dengan kondisi sosial-budaya, ekonomi dan lingkungan setempat. Selain teknologi pengolahan air pada keadaan darurat seperti yang telah disebutkan di atas juga terdapat berbagai jenis teknologi pengolahan air pada keadaan darurat lainnya, seperti *Safe Drip*. *Safe Drip* merupakan teknologi pengolahan air di tempat pada level rumah tangga dengan proses pengolahan yang sederhana yang terdiri dari prasedimentasi, koagulasi-flokulasi, sedimentasi, serta filtrasi yang secara umum mampu menghasilkan air yang memenuhi parameter kekeruhan, *Total Dissolved Solids* (TDS), pH, sisa klorin, E.Coli, bau, dan warna sesuai yang tercantum dalam Peraturan Menteri Kesehatan (PERMENKES) RI No. 492 Tahun 2010. Agar *Safe Drip* mampu membantu penyediaan air pada keadaan darurat secara optimal, *Safe Drip* memerlukan analisis kelayakan terlebih dahulu dari aspek teknis, ekonomi, sosial, dan lingkungan.

Pada saat ini, beberapa peneliti yang telah mengevaluasi teknologi-teknologi pengolahan air pada keadaan darurat yang telah diterapkan diantaranya, Quinn (1997) yang mengevaluasi kelayakan *Reverse Osmosis* dan Luff (2004) yang mengevaluasi *Mobile Package Water Treatment Systems* (MPWTS). Seiring dengan evaluasi teknologi pada keadaan darurat yang mulai banyak

dilakukan, Steele *and* Clarke (2008), Clarke *and* Steele (2009), Loo *et al.*, (2012) menetapkan kriteria-kriteria yang harus dimiliki oleh teknologi-teknologi pengolahan air pada keadaan darurat agar tepat guna.

Penelitian mengenai analisis kelayakan *Safe Drip* ini difokuskan pada kelayakan *Safe Drip* sebagai teknologi pengolahan air pada waktu bencana banjir ditinjau dari aspek teknis, ekonomi, sosial, dan lingkungan. Hal tersebut didukung oleh data dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) tahun 2010 yang menyatakan banjir merupakan jenis bencana yang paling sering terjadi di Indonesia dengan rata-rata kejadian 297 kejadian/tahun pada kurun waktu 2002 – 2009. Selain itu, secara global bencana hidrologi termasuk banjir mengalami peningkatan pada tahun 2011. Bencana hidrologi tersebut menyebabkan 139.800.000 jiwa penduduk menjadi korban (Guha-Sapir *et al.*, 2012). Berdasarkan pada latar belakang di atas, maka tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kelayakan *Safe Drip* dari aspek teknis, ekonomi, sosial, dan lingkungan sebagai teknologi pengolahan air pada saat bencana banjir.

KAJIAN PUSTAKA

Sumber air baku pada keadaan darurat

Sumber air baku yang paling banyak dimanfaatkan oleh manusia adalah air permukaan dan air tanah. Hal tersebut dikarenakan air permukaan dan air tanah memiliki TDS yang rendah (Tchobanoglous *et al.*, 1985). Menurut Wisner *and* Adams (2002) sumber air baku tersebut terkadang harus disertai dengan pengolahan air tertentu agar memiliki kualitas yang sesuai dengan standar air minum yang ada.

Pada keadaan darurat, jika sumber air yang biasa digunakan terkontaminasi dimana hal tersebut bisa terjadi selama banjir, maka harus dicari sumber air alternatif atau dilakukan pengolahan air Wisner *and* Adams, (2002). Menurut Colinder *et al.* (2004), selama banjir sumber air yang berasal dari sumur yang tidak terlindungi dan sumber air permukaan memiliki potensi terkontaminasi oleh limbah industri, kotoran manusia, dan hewan yang lebih besar daripada sumber air lainnya. Oleh karena itu, kondisi sumber air yang ada menjadi tantangan tersendiri pada penyediaan air pada keadaan darurat terutama banjir.

Kelayakan teknologi pengolahan air pada keadaan darurat

Pada saat ini telah dikembangkan berbagai kriteria yang telah digunakan oleh para peneliti dalam mengevaluasi kelayakan teknologi

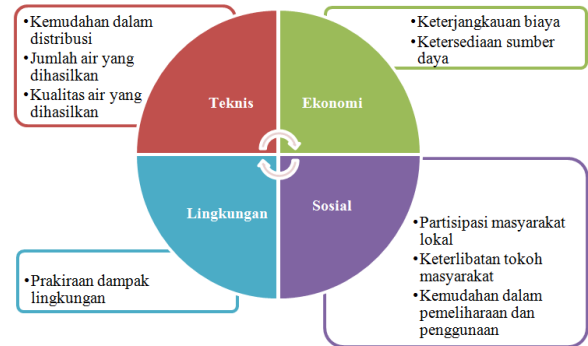
pengolahan air pada keadaan darurat (Quinn, 1997; Steele and Clarke, 2008; Loo *et al.*, 2012). Menurut Quinn (1997), faktor-faktor yang harus dijadikan prioritas dalam produksi air pada keadaan darurat adalah kecepatan, kuantitas dan kualitas air yang dihasilkan, serta biaya yang dibutuhkan.

Selanjutnya Loo *et al.* (2012) mengkombinasikan sepuluh kriteria dalam evaluasi kelayakan teknologi pengolahan air pada keadaan darurat yang disesuaikan dengan kondisi lokal. Menurut Loo *et al.* (2012) kriteria yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kelayakan teknologi pengolahan air pada keadaan darurat, adalah biaya, kemudahan dalam distribusi, kemudahan dalam penggunaan, dampak lingkungan, pemeliharaan, *performance* (kualitas air olahan yang dihasilkan), potensi penerimaan, kebutuhan energi, kebutuhan terhadap rantai pasokan suku cadang dan bahan baku, dan jumlah air yang dihasilkan.

Kriteria-kriteria analisis kelayakan teknologi pengolahan air pada keadaan darurat tersebut perlu dikelompokkan ke dalam aspek teknis, ekonomi, sosial, dan lingkungan dalam rangka mempermudah analisis kelayakan yang dilakukan. Pengelompokan dilakukan berdasarkan kesamaan dari kriteria yang ditetapkan pada referensi-referensi yang ada dengan didukung oleh teori yang berkaitan.

Teori yang digunakan untuk mendukung pengelompokan dan pemilihan kriteria-kriteria dalam analisis kelayakan teknologi pengolahan air pada keadaan darurat adalah teori tentang *Environmentally Sound Technologies* (EST) yang tertera pada Agenda 21. EST mendefinisikan bahwa suatu teknologi harus mampu melindungi lingkungan, tidak menimbulkan pencemaran atau memiliki potensi pencemaran yang kecil, menggunakan sumber daya dengan berkelanjutan, menerapkan proses daur ulang pada limbah yang dihasilkan dan produk yang sudah digunakan, dan mampu mengolah sisa limbah dengan cara yang lebih dapat diterima (UNCED, 1992).

Selain itu, EST pada Agenda 21 juga menjelaskan bahwa suatu teknologi juga harus kompatibel dengan ketentuan sosial-ekonomi, budaya dan lingkungan dimana teknologi tersebut berada (UNCED, 1992). Hal ini didukung oleh Murphy *et al.* (2009) yang menyatakan bahwa suatu teknologi harus dicocokkan dengan kondisi setempat. Berdasarkan uraian tersebut, maka ditetapkan kriteria-kriteria yang digunakan pada analisis kelayakan teknologi pengolahan air pada keadaan darurat seperti yang tertera pada Gambar 1.



(Sumber: Quinn, 1997; Loo *et al.*, 2012; Steele and Clarke, 2008; UNCED, 1992; Murphy *et al.*, 2009)

Gambar 1 Aspek-aspek dan kriteria-kriteria dalam analisis kelayakan teknologi pada keadaan darurat

METODOLOGI

Lokasi penelitian

Penelitian ini dilakukan di Desa Mulyorejo, Kecamatan Balen, Kabupaten Bojonegoro, Propinsi Jawa Timur. Pertimbangan dalam pemilihan lokasi penelitian dikarenakan Desa Mulyorejo merupakan daerah yang termasuk dalam kawasan sangat rawan terhadap Banjir Bengawan Solo dan hampir setiap tahun mengalami bencana banjir ketika musim penghujan. Selain itu, Desa Mulyorejo juga mulai memiliki kapasitas dalam pengurangan resiko bencana banjir yang terbentuk seiring pelaksanaan Program PERTAMA (Pengurangan Resiko Bencana Berbasis Masyarakat) yang dilakukan oleh PMI (Palang Merah Indonesia) bekerjasama dengan *Norwegian Red Cross*.

Rancangan penelitian

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif. Penggunaan metode ini digunakan untuk mengetahui penilaian masyarakat Desa Mulyorejo terhadap kelayakan *Safe Drip*. Tahap pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan melalui demonstrasi pemasangan, penggunaan, dan penyimpanan *Safe Drip* serta survei yang berpedoman pada kriteria kelayakan teknologi pengolahan air yang telah ditetapkan. Proses pengumpulan data tersebut melibatkan masyarakat setempat termasuk para tokoh masyarakat serta beberapa organisasi yang terlibat dalam kegiatan penanggulangan bencana banjir di lokasi penelitian.

Teknik analisis data pada penelitian ini dilakukan melalui analisis deksriptif. Analisis ini dilakukan dengan cara mendiskripsikan data kuantitatif yang telah diolah dengan menggunakan SPSS dan Microsoft Excel serta data kuantitatif yang diperoleh melalui uji laboratorium. Selain itu, pada analisis ini juga dilakukan pendiskripsian mengenai kesesuaian dari setiap kriteria kelayakan

yang ada dengan kondisi yang ideal atau standar minimum yang ada.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Batas administratif dan kondisi geografis

Desa Mulyorejo merupakan salah satu desa di Kecamatan Balen, Kabupaten Bojonegoro, Propinsi Jawa Timur. Desa Mulyorejo terdiri dari 2 dusun, yaitu Dusun Pelem dan Dusun Taraban dengan total jumlah RT (Rukun Tetangga) sebanyak 12. Secara geografis Desa Mulyorejo merupakan daerah dataran rendah yang berada di sepanjang aliran Sungai Bengawan Solo dengan batas:

1. Selatan : Desa Sekaran, Kecamatan Balen
2. Utara : Kecamatan Soko, Kabupaten Tuban
3. Timur : Desa Sarirejo dan Desa Kedung Dowo, Kecamatan Balen
4. Barat : Sungai Bengawan Solo

Luas lahan Desa Mulyorejo sebesar 277 Ha dengan rincian penggunaan lahan terdiri dari sawah 200 Ha, bangunan 44 Ha, ladang/tegalan 10 Ha, dan lain - lain 23 Ha.

Demografi

Desa Mulyorejo memiliki jumlah penduduk sebesar 1.703 jiwa, yang terdiri dari 842 jiwa penduduk laki-laki dan 861 jiwa penduduk perempuan. Kepala Keluarga (KK) di Desa Mulyorejo mencapai 466 KK sedangkan jumlah Kepala Somah/Rumah (KS) mencapai 400 KS. Rata-rata jumlah anggota keluarga dalam 1 KK adalah 4 orang.

Mata Pencaharian

Mayoritas mata pencaharian penduduk Desa Mulyorejo adalah sebagai petani dan buruh tani dengan jumlah masing-masing sebesar 1.048 jiwa dan 86 jiwa. Untuk jenis mata pencaharian lainnya adalah sebagai pegawai/karyawan swasta, wiraswasta, dan Pegawai Negeri Sipil (PNS). Berdasarkan Profil Desa Mulyorejo 2011 diketahui bahwa terdapat 31,88% penduduk Desa Mulyorejo yang non-produktif sedangkan penduduk yang produktif sebesar 68,12%. Presentase penduduk produktif yang lebih besar menunjukkan bahwa Desa Mulyorejo memiliki kemampuan untuk menanggung beban penduduk non-produktif. Adanya kemampuan tersebut dapat menjadi faktor pendukung dalam pembangunan Desa Mulyorejo.

Kerentanan, Kapasitas, dan Resiko Bencana Banjir

Berdasarkan Rencana Kontinjensi Penanggulangan Bencana Banjir Bengawan Solo Desa Mulyorejo dan observasi yang dilakukan, kerentanan dan kapasitas yang dimiliki oleh Desa Mulyorejo seperti yang tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1 Kerentanan yang dimiliki Desa Mulyorejo

Indikator	Kerentanan
Sosial Politik	a. Kebijakan tentang penanggulangan bencana masih sangat minim b. Belum ada kelembagaan dalam penanggulangan bencana,, c. Masih dominannya pandangan masyarakat mengenai penanggulangan bencana yang bersifat tanggap darurat, d. Rendahnya pemahaman masyarakat mengenai ancaman di sekitar mereka serta aspek mitigasi dan kesiapsiagaan dalam menghadapi ancaman, e. Perempuan memiliki pekerjaan yang lebih panjang dan lebih lama di rumah dibandingkan dengan laki-laki sehingga perempuan memiliki tingkat kerentanan yang lebih tinggi,
Fisik	a. Belum ada sarana dan prasarana yang memadai untuk menghadapi situasi darurat, b. Kawasan permukiman yang berdekatan dengan sempadan Sungai Bengawan Solo, c. Peningkatan laju sedimentasi pada sungai Bengawan Solo,
Ekonomi	a. Bulan Januari – Mei, masyarakat tidak memiliki penghasilan dari pertanian dan terdapat banyak pengeluaran untuk pendidikan maupun kegiatan yang bersifat sosial sehingga jangka waktu tersebut masyarakat sangat rentan jika terjadi bencana,

(Sumber: Rencana Kontinjensi Banjir Bengawan Solo di Desa Mulyorejo, 2013)

Tabel 2 Kapasitas yang dimiliki Desa Mulyorejo

Indikator	Kapasitas
Sosial Politik	a. Perubahan <i>public services</i> yang semakin baik dengan pengelolaan yang transparan, b. Peningkatan kesadaran masyarakat terhadap kesehatan, c. Adanya modal sosial berupa solidaritas sosial yang tinggi, pola kerja bakti yang masih baik, penghargaan yang besar terhadap orang lain, d. Adanya kepercayaan terhadap pemerintahan yang ada, e. Adanya Tim SIBAT yang memiliki pengetahuan dalam kegiatan

Tabel 2 Kapasitas yang dimiliki Desa Mulyorejo (lanjutan)

Indikator	Kapasitas
	penanggulangan bencana,
Fisik	a. Kondisi jalan yang memadai untuk kegiatan mobilisasi masyarakat, b. Terdapat bangunan sarana publik yang mendukung perkembangan desa, seperti: Polindes, Posyandu.
Ekonomi	a. Terdapat perubahan ekonomi yang lebih baik yang ditandai dengan kepemilikan barang dan alat transportasi.

(Sumber: Rencana Kontinjensi Banjir Bengawan Solo di Desa Mulyorejo, 2013)

Tabel 1 menunjukkan bahwa Desa Mulyorejo memiliki kerentanan terhadap bencana banjir ditinjau dari aspek fisik, sosial – politik, dan ekonomi yang apabila dipadukan dengan bahaya akan menyebabkan terjadinya bencana banjir. Bahaya merupakan suatu fenomena alam atau buatan yang mempunyai potensi mengancam kehidupan manusia, kerugian harta benda dan kerusakan lingkungan (Bakornas PB, 2007). Hal tersebut menyebabkan bencana banjir masih terus terjadi hampir setiap tahun di Desa Mulyorejo.

Hampir seluruh wilayah di Desa Mulyorejo termasuk dalam daerah rawan bencana banjir. Wilayah yang paling rentan adalah RT 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 09, dan 12 karena memiliki kondisi dataran yang lebih rendah dari pada wilayah di sekitarnya. Pada tahun 2013, Desa Mulyorejo telah mengalami 3 (tiga) kali kejadian banjir, yaitu pada bulan Januari, Februari, dan April. Rekapitulasi kerugian dan kerusakan di Desa Mulyorejo akibat bencana banjir pada tahun 2013 tercantum pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5.

Tabel 3 Rekapitulasi kerugian di Desa Mulyorejo akibat bencana banjir

Tanggal Kejadian	Kerugian (Rp.)
2 - 8 Januari 2013	354.025.000,-
16 - 19 Februari 2013	390.000.000,-
7 - 12 April 2013	350.000.000,-
Total Kerugian	1.094.025.000,-

(Sumber: BPBD Kabupaten Bojonegoro, 2013)

Tabel 4 Rekapitulasi kerusakan rumah dan sawah di Desa Mulyorejo akibat bencana banjir

Tanggal Kejadian	Rumah	Sawah	
	Tergenang (KK)	Padi (Ha)	Palawija (Ha)
2 - 8 Jan'13	10	160	12
16 - 19 Feb' 13	287	200	39
7 - 12 Apr'13	207	200	35

(Sumber: BPBD Kabupaten Bojonegoro, 2013)

Tabel 5 Rekapitulasi kerusakan fasilitas umum di Desa Mulyorejo akibat bencana banjir

Tanggal Kejadian	Fasilitas Umum				
	TK	SD	Mushola	Jalan (m)	Jembatan (m)
2 - 8 Jan'13	-	1	-	50	-
16 - 19 Feb' 13	-	2	2	6.600	2
7 - 12 Apr'13	2	2	2	3.000	2

(Sumber: BPBD Kabupaten Bojonegoro, 2013)

Berdasarkan pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5 diketahui bahwa banjir pada tanggal 16 - 19 Februari menyebabkan kerusakan dan kerugian yang paling besar dibandingkan banjir pada 2 - 8 Januari 2013 dan 7 - 12 April 2013. Pada tahun ini untuk korban jiwa dan ternak pada waktu banjir dapat diminimalisasi karena penduduk Desa Mulyorejo menjadi lebih siaga dalam menghadapi bencana banjir yang rutin terjadi. Selain itu, adanya kondisi pemerintahan desa yang stabil termasuk kepercayaan terhadap kepala desa dan perangkat desa serta solidaritas sosial yang masih tinggi sangat membantu dalam penanggulangan bencana di Desa Mulyorejo selama ini.

Karakteristik *Safe Drip*

Safe Drip merupakan alat pengolahan air skala rumah tangga yang dapat digunakan pada keadaan darurat, seperti banjir. Bentuk dari *Safe Drip* seperti yang tertera pada Gambar 2.

**Gambar 2** *Safe Drip*

Secara umum, proses pengolahan air pada *Safe Drip* dengan air baku yang berasal dari air banjir menggunakan proses pengolahan air secara sederhana yang terdiri atas prasedimentasi, koagulasi-flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan desinfeksi.

a. Prasedimentasi

Prasedimentasi merupakan proses pengendapan partikel diskrit atau partikel kasar

atau lumpur dalam air (Masduqi dan Assomadi, 2012). Prasedimentasi diperlukan karena air banjir pada umumnya mengandung partikel diskrit atau atau lumpur dalam jumlah besar. Selain itu, adanya prasedimentasi juga akan mengurangi penggunaan tawas dalam koagulasi dan flokulasi.

b. Koagulasi - Flokulasi

Koagulasi adalah penambahan koagulan yang diikuti dengan pengadukan cepat yang akan membuat partikel koloid terdestabilisasi sedangkan flokulasi adalah pengadukan lambat untuk mengumpulkan partikel-partikel yang terdestabilisasi dan membentuk flok yang cepat mengendap (Reynolds and Richards, 1996). Koagulasi-flokulasi secara mekanik merupakan metode yang paling umum digunakan sangat efektif sangat fleksibel dalam pengoperasiannya. Koagulasi-flokulasi dapat dilakukan dengan menggunakan alat pengaduk berupa batang vertikal yang dapat berotasi. Alat pengaduk yang berotasi akan memberikan gerakan pada air sehingga terjadi reaksi antara air dengan koagulan.

Proses koagulasi-flokulasi pada *Safe Drip* dilakukan dengan pengadukan menggunakan alat pengaduk yang terbuat dari *stainless steel* selama $\pm$ 1 menit. Koagulan yang digunakan pada proses ini adalah adalah tawas.

c. Sedimentasi

Sedimentasi digunakan untuk menyisihkan padatan tersuspensi dalam air dengan cara mengendapkannya secara gravitasi. Jenis partikel yang diendapkan adalah partikel yang dihasilkan dari proses koagulasi dan flokulasi (Masduqi dan Assomadi, 2012). Pada *Safe Drip*, sedimentasi dilakukan dengan waktu pengendapan $\pm$ 15 menit diperoleh dari waktu optimal dimana semua flok yang dihasilkan dalam proses koagulasi dan flokulasi mengendap pada bagian bawah bak pengendap.

d. Filtrasi

Filtrasi merupakan proses pemisahan zat padat dari fluidanya dengan menggunakan media berpori (Reynolds and Richards, 1996). Zat padat yang mengalami proses filtrasi adalah zat padat yang tidak terendapkan di bak pengendap Pada proses filtrasi terjadi proses penyisihan bakteri, warna, rasa, bau, besi dan mangan (Al Layla, dkk., 1980).

Pada proses pengolahan *Safe Drip* digunakan sistem *rapid sand filter - single media filter* dengan ketinggian efektif media 30 cm. Penggunaan *rapid sand filter* dikarenakan *rapid sand filter* memiliki penyisihan kekeruhan yang besar, yaitu antara 90% hingga 98% jika kekeruhan air yang masuk ke dalam filter antara 5 hingga 10 NTU.

Aspek teknis

Kemudahan dalam distribusi

Safe Drip memiliki berat 15 kg dan desain yang dapat dibongkar pasang untuk mempermudah proses pendistribusian. Pengemasan untuk pendistribusian *Safe Drip* dapat dibagi menjadi 3 (tiga) bagian antara lain:

1. Bak pengaduk yang berisi pipa penghubung dari bak pengaduk ke pipa filtrasi, pipa outlet dan valve outlet serta tangkai pengaduk,
2. Tatakan penyangga *Safe Drip*,
3. Pipa filtrasi dan kaki penyangga *Safe Drip*,

Pengemasan *Safe Drip* menjadi 3 (tiga) bagian membuat *Safe Drip* dapat didistribusikan dengan menggunakan kendaraan roda dua untuk jarak jauh dan dengan berjalan kaki untuk jarak dekat membuat *Safe Drip* dapat didistribusikan ketika bencana banjir meskipun terdapat keterbatasan infrastruktur berupa jalan yang tergenang.

Di sisi lain, kemudahan dalam distribusi *Safe Drip* juga diketahui melalui survei mengenai persepsi penduduk Desa Mulyorejo terhadap ukuran dan bentuk *Safe Drip* serta kemudahan dalam distribusi *Safe Drip*. Berdasarkan hasil survei terhadap 93 responden tentang persepsi terhadap ukuran dan berat yang dimiliki *Safe Drip* diketahui bahwa 78,49% berpendapat sedang dan ringan, 16,13% berpendapat besar dan ringan, 3,23% berpendapat besar dan berat, serta 2,15% berpendapat sedang dan berat. Hasil survei mengenai persepsi penduduk Desa Mulyorejo terhadap ukuran dan bentuk *Safe Drip* tersebut merupakan faktor yang mendukung penduduk Desa Mulyorejo dalam memberikan persepsi terhadap kemudahan dalam distribusi *Safe Drip*. Mayoritas responden atau 93,32% menyatakan pendistribusian *Safe Drip* ketika bencana banjir mudah, 6,45% menyatakan sangat mudah, dan 3,23 menyatakan sangat sulit.

Berdasarkan uraian tersebut dapat diketahui bahwa *Safe Drip* memiliki ukuran yang sedang dan berat yang ringan sehingga mudah untuk didistribusikan ketika bencana banjir. Hal tersebut menunjukkan bahwa sebagai teknologi pengolahan air pada bencana banjir *Safe Drip* telah memenuhi syarat yang harus dipertimbangkan dalam distribusi teknologi pengolahan air pada saat bencana yaitu, pengemasan yang sederhana (Global Wash Cluster, 2009), portabilitas (Quinn, 1997) serta berat dan dimensi yang dimiliki suatu teknologi pengolahan air (Loo et al., 2012).

Jumlah air yang dihasilkan

Pada 1 kali siklus pemakaian, *Safe Drip* menghasilkan air bersih sebanyak 55 liter dan membutuhkan air bersih sebanyak 28 liter untuk

pencucian media filtrasi sebelum dan sesudah digunakan sehingga total air bersih yang dapat dihasilkan oleh *Safe Drip* adalah 27 liter. Waktu yang dibutuhkan *Safe Drip* untuk 1 kali siklus pemakaian adalah 110 menit sehingga kapasitas air yang dapat dihasilkan *Safe Drip* adalah 27 liter/110 menit. Berdasarkan hal tersebut, maka diketahui 1 unit *Safe Drip* dapat menghasilkan 353,45 liter/hari yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan air bersih sebanyak 24 orang atau setara dengan 6 KK dengan asumsi kebutuhan air bersih 15 liter/orang/hari.

Hal tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi banjir tahun 2013 dengan jumlah minimum penduduk yang terkena bencana banjir sebanyak 10 KK, *Safe Drip* mampu memenuhi kebutuhan air bersih 60% KK yang terkena dampak bencana banjir sedangkan pada kondisi banjir dengan jumlah maksimum penduduk yang terkena bencana banjir sebanyak 287 KK, *Safe Drip* mampu memenuhi kebutuhan air bersih 2% KK yang terkena dampak bencana banjir. Agar kebutuhan air bersih dari jumlah penduduk minimum dan maksimum yang terkena bencana banjir dapat terpenuhi maka, dibutuhkan 72 unit *Safe Drip* sebagai jumlah yang mampu digunakan untuk memenuhi kebutuhan air bersih penduduk Desa Mulyorejo yang berjumlah 1.703 jiwa.

Secara umum, 1 unit *Safe Drip* mampu memenuhi kebutuhan air bersih 6 KK atau 24 orang sesuai dengan standar minimum kebutuhan air pada keadaan darurat yang ditetapkan dalam Sphere (2011) yaitu, 15 liter/orang/hari. Di lain pihak, agar dapat memenuhi kebutuhan air seluruh penduduk yang terkena dampak bencana secara aman dan merata sesuai dengan yang disyaratkan dalam Sphere (2011), maka dibutuhkan lebih dari 1 unit *Safe Drip* atau sejumlah 72 unit *Safe Drip* sebagai jumlah maksimal *Safe Drip* yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan air bersih 1.703 jiwa penduduk Desa Mulyorejo.

Kualitas air yang dihasilkan

Pada bulan Juni 2013 sebagai waktu pelaksanaan penelitian, menurut BMKG Stasiun Klimatologi Karang Ploso, Malang prakiraan curah hujan bulanan yang terjadi adalah 51 - 100 dengan sifat curah hujan 116 - 150% di atas normal dan potensi banjir tinggi namun pada saat di lapangan selama bulan Juni 2013 hujan yang terjadi tidak berpotensi menimbulkan banjir. Kondisi tersebut membuat sampel air banjir yang diolah dengan *Safe Drip* digantikan dengan sampel air banjir buatan. Sampel air banjir buatan berasal dari air Sungai Bengawan Solo yang melewati Desa Mulyorejo dicampur dengan sedimen sungai hingga menyerupai air banjir yang biasa

menggenangi Desa Mulyorejo. Hal tersebut dilakukan berdasarkan teori bahwa pada umumnya aliran air banjir membawa material yang dapat merusak konstruksi sumur atau mengandung sedimen yang dapat mencemari kualitas air sumur (EPA, 2012).

Air banjir buatan yang berasal dari campuran air dan sedimen Sungai Bengawan Solo, Desa Mulyorejo tersebut selanjutnya diuji kualitas airnya sesuai dengan parameter yang tercantum pada Peraturan Pemerintah RI No.82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Hasil uji kualitas air banjir buatan yang berasal dari air dan sedimen Sungai Bengawan Solo, Desa Mulyorejo tercantum pada Tabel 6.

Berdasarkan hasil uji kualitas seperti yang tercantum pada Tabel 6 diketahui bahwa air banjir tersebut memiliki kandungan *Total Suspended Solid* (TSS), deterjen anionik, total koliform, dan E. coli yang melebihi baku mutu air kelas II yang tertera pada PP RI No.82 Tahun 2001. Oleh karena itu, air banjir tersebut memerlukan pengolahan terlebih dahulu sebelum digunakan. Salah satu teknologi pengolahan air banjir yang dapat digunakan untuk mengolah air banjir tersebut adalah *Safe Drip*. Kelayakan dari air hasil olahan *Safe Drip* dapat diketahui melalui uji kualitas air untuk selanjutnya dibandingkan dengan kualitas air sumur yang biasa digunakan oleh penduduk dan PERMENKES RI No.492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Kondisi fisik dari air sumur, air banjir, dan air hasil olahan *Safe Drip* tertera pada Gambar 3 sedangkan untuk hasil uji kualitas air hasil olahan *Safe Drip* dan air sumur tercantum pada Tabel 7.



Gambar 3 Air sumur, air banjir Bengawan Solo, dan air hasil olahan *Safe Drip*

Tabel 6 Kualitas air buatan yang berasal dari air dan sedimen Sungai Bengawan Solo, Desa Mulyorejo, Kecamatan Balen

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu Air Kelas II *)	Kualitas Air Banjir Buatan yang berasal dari Sungai Bengawan Solo
A	FISIKA			
1	Temperatur	°C	deviasi 3	25
2	TDS	mg/l	1.000	226
3	TSS	mg/l	50	1.126
B	KIMIA			
1	pH	-	6,0 – 9,0	7,85
2	Barium	mg/l Ba	(-)	-
3	Besi	mg/l Fe	(-)	36,40
4	Boron	mg/l B	1	-
5	Mangan	mg/l Mn	(-)	1,97
6	Tembaga	mg/l Cu	0,02	0,00
7	Seng	mg/l Zn	0,05	0,04
8	Krom Heksavalen	mg/l Cr ⁶⁺	0,05	0,00
9	Kadmium	mg/l Cd	0,01	0,00
10	Raksa	mg/l Hg	0,002	-
11	Timbal	mg/l Pb	0,03	0,00
12	Arsen	mg/l As	1	0,00
13	Selenium	mg/l Se	0,05	0,00
14	Kobalt	mg/l Co	0,2	-
15	Khlorida	mg/l Cl	600	24,00
16	Sulfat	mg/l SO ₄	(-)	41,52
17	Sianida	mg/l CN	0,02	0,00
18	Sulfida	mg/l H ₂ S	0,002	0,00
19	Fluorida	mg/l F	1,5	0,38
20	Sisa Klor Bebas	mg/l Cl ₂	0,03	0,00
21	Total Phosphat	mg/l PO ₄ -P	0,2	0,15
22	Nitrat	mg/l NO ₃ -N	10	1,14
23	Nitrit	mg/l NO ₂ -N	0,06	0,160
24	Amonia Bebas	mg/l NH ₃ -N	(-)	0,66
25	BOD	mg/l O ₂	3	13
26	COD	mg/l O ₂	25	21
27	DO	mg/l O ₂	4	4,1
28	Detergent Anionik	mg/l LAS	0,2	0,41
29	Fenol	mg/l	0,001	0,00
30	Minyak dan Lemak	mg/l	1	0,00
C	BIOLOGI			
1	Total Koliform	MPN/100 ml	5.000	160.000
2	E.Coli	MPN/100 ml	1.000	43.000

*) PP No. 82 Tahun 2001

(Sumber: Hasil uji kualitas air laboratorium Teknik Lingkungan - ITS, 2013)

Tabel 7 Hasil uji kualitas air sumur dan air hasil olahan Safe Drip

No.	Parameter	Satuan	Syarat Air Minum*)	Air Sumur	Air Hasil Olahan Safe Drip
A	FISIKA				
1	Bau		Tidak berbau	Tidak berbau	Tidak berbau
2	TDS	mg/l	500	676	290
3	Kekeruhan	NTU	5	0,02	1,72
4	Rasa	-	-	-	-

Lanjutan Tabel 7 Hasil uji kualitas air sumur dan air hasil olahan *Safe Drip*

No.	Parameter	Satuan	Syarat Air Minum*)	Air Sumur	Air Hasil Olahan <i>Safe Drip</i>
5	Suhu	⁰ C	Suhu udara	25	25
6	Warna	Unit PtCo	15	0	15
7	DHL	µmhos/cm	-	1.128	495
B1	KIMIA ANORGANIK				
1	Air Raksa	mg/l Hg	0,001	0,00	0,00
2	Aluminium	mg/l Al	0,2	0,00	0,00
3	Ammoniak	mg/l NH ₃ -N	1,5	0,10	0,44
4	Arsen	mg/l As	0,01	0,00	0,00
5	Barium	mg/l Ba	0,7	0,00	0,00
6	Besi	mg/l Fe	0,3	0,13	0,14
7	Boron	mg/l Ba	0,5	0,00	0,00
8	Flourida	mg/l F	1,5	0,42	0,32
9	Kadmium	mg/l Cd	0,003	0,00	0,00
10	Kesadahan Total	mg/l CaCO ₃	500	400	207
11	Khlorida	mg/l Cl	250	116,00	32,00
12	Kromium,Valensi 6	mg/l Cr ⁶⁺	0,05	0,00	0,00
13	Mangan	mg/l Mn	0,4	0,00	0,00
14	Natrium	mg/l Na	200	67,20	20,60
15	Nikel	mg/l Ni	0,07	0,00	0,00
16	Nitrat	mg/l NO ₃ -N	50	1,86	1,04
17	Nitrit	mg/l NO ₂ -N	3	0,00	0,00
18	Perak	mg/l Ag	0,001	0,00	0,00
19	pH	-	6,5 – 8,5	7,10	7,60
20	Selenium	mg/l Se	0,01	0,00	0,00
21	Seng	mg/l Zn	3	0,08	0,06
22	Sianida	mg/l CN	0,07	0,00	0,00
23	Sulfat	mg/l SO ₄	250	157,84	54,72
24	Sulfida	mg/l H ₂ S	0,05	0,00	0,00
25	Tembaga	mg/l Cu	2	0,00	0,00
26	Timbal	mg/l Pb	0,05	0,00	0,00
27	Sisa Khlor	mg/l Cl ₂	5	0,00	0,00
B2	KIMIA ORGANIK				
1	Zat Organik	mg/l KMnO ₄	10	0	2.34
2	Detergent	mg/l LAS	0,05	0	0
C	BIOLOGI				
1	Total Koliform	MPN/100 ml	0	0	50.000
2	E.Coli	MPN/100 ml	0	0	1.200

*)PERMENKES RI No. 492 Tahun 2010

(Sumber: Hasil uji kualitas air laboratorium Teknik Lingkungan - ITS, 2013)

Kualitas air hasil olahan *Safe Drip* ditinjau dari parameter fisika, kimia, dan biologi

Kualitas air hasil olahan *Safe Drip* ditinjau dari parameter fisika, memiliki suhu 25°C, tidak berbau, serta memiliki nilai dari *pTotal Dissolved Solid* (TDS), warna, daya hantar listrik dan kekeruhan yang sesuai dengan baku mutu. Di sisi lain apabila ditinjau dari parameter kimia yang diuji, air hasil olahan *Safe Drip* mampu memberikan kualitas air yang lebih baik daripada air sumur penduduk meskipun untuk parameter

amoniak, besi, dan zat organik memiliki konsentrasi lebih tinggi daripada air sumur penduduk namun ketiga parameter tersebut masih memenuhi baku mutu yang ada. Selain itu, ditinjau dari parameter biologi pada air hasil olahan *Safe Drip* masih ditemukan total koliform dan E.Coli di dalamnya. *Safe Drip* hanya mampu menurunkan kandungan total koliform dan E.Coli dari sampel air banjir buatan yang ada masing-masing sebesar 68,75% dan 97,20%. Total Koliform dan E.Coli yang melebihi baku mutu tersebut membuat air

hasil olahan *Safe Drip* membutuhkan proses desinfeksi terlebih dahulu agar memenuhi baku mutu dari parameter biologi yang ada terlebih lagi jika akan digunakan sebagai air minum.

Sebagai teknologi pengolahan air pada bencana banjir dapat diketahui bahwa *Safe Drip* telah mampu menyediakan air yang berkualitas pada situasi bencana sebagai syarat suatu teknologi pengolahan air pada keadaan darurat (Quinn, 1997). Apabila ditinjau lebih detail lagi pada Sphere (2011) diketahui bahwa kualitas air pada keadaan darurat harus memiliki mutu yang memadai minum, memasak, kebersihan pribadi, dan kebersihan rumah tangga. Berdasarkan hasil uji kualitas air yang dilakukan diketahui bahwa *Safe Drip* memiliki mutu yang tidak memadai untuk digunakan sebagai air minum kecuali jika dimasak terlebih dahulu namun memiliki mutu yang memadai untuk digunakan dalam memasak dan kebersihan pribadi maupun rumah tangga. Hal tersebut menunjukkan bahwa *Safe Drip* telah memenuhi kelayakan teknologi pengolahan air pada bencana banjir ditinjau dari kemampuannya untuk menghasilkan air yang memiliki kualitas sebagai air bersih.

Secara umum, air yang dapat diolah dengan menggunakan *Safe Drip* agar mampu menghasilkan air bersih yang sesuai dengan PERMENKES RI No.492 Tahun 2010 serta sama atau lebih baik dari sumber air penduduk setempat adalah air yang memiliki kualitas minimal seperti yang tertera pada Tabel 7. Di lain pihak, banyaknya parameter yang harus diuji sesuai dengan Tabel 7 membuat analisis kualitas air membutuhkan peralatan analisis yang lengkap dan waktu analisis yang lama sehingga tidak memungkinkan untuk melakukan analisis secara langsung di lapangan ketika terjadi bencana banjir. Dalam rangka mengatasi hal tersebut, maka harus dipilih parameter-parameter penting untuk sumber air baku yang akan diolah dengan menggunakan *Safe Drip* dengan tetap memperhatikan baku mutu air kelas II yang tercantum pada PP No.82 Tahun 2001.

Pemilihan parameter-parameter penting dari kualitas air yang dapat diolah dengan menggunakan *Safe Drip* pada keadaan darurat seperti, banjir dilakukan dengan berpedoman pada Petunjuk Teknis Operasional Tim Tanggap Darurat Air dan Sanitasi yang dikeluarkan oleh PMI pada tahun 2010. Parameter-parameter penting tersebut meliputi: kekeruhan, pH, DHL, aluminium, nitrat, dan nitrit. Ketujuh parameter tersebut dapat dianalisis secara langsung pada sumber air baku yang akan diolah dengan menggunakan *Safe Drip* ketika bencana banjir dengan menggunakan peralatan analisis yang telah tersedia di pasaran

dan *movable*. Pada penelitian ini, tidak semua parameter penting tersebut dianalisis pada air banjir yang akan diolah dengan menggunakan *Safe Drip* hanya parameter kekeruhan, nitrat, dan nitrit dianalisis pada air banjir yang akan diolah dengan menggunakan *Safe Drip*. Hal tersebut menjadi salah satu kekurangan pada penelitian ini dan menjadi catatan bahwa ketujuh parameter tersebut seharusnya dianalisis pada setiap sumber air yang akan diolah dengan menggunakan *Safe Drip* agar kualitas air yang dihasilkan sesuai dengan PERMENKES RI No. 492 Tahun 2010. Secara umum, *Safe-DRIP* mampu mengolah sumber air baku untuk air minum sesuai dengan parameter yang tercantum pada Tabel 8.

Tabel 8 Kualitas air banjir yang dapat diolah oleh *Safe Drip*

Parameter	Satuan	Baku Mutu *)	Air Banjir	Air Hasil Olahan <i>Safe Drip</i>
Kekeruhan	NTU	5	384	1,72
pH	-	6 - 8	7,85	-
Nitrat	mg/l NO ₃ -N	50	1,14	1,04
Nitrit	mg/l NO ₂ -N	3	0,16	0,00

*) PERMENKES RI No. 492 Tahun 2010

(Sumber: Hasil uji kualitas air laboratorium Teknik Lingkungan - ITS, 2013)

Aspek Ekonomi

Keterjangkauan biaya

Pada analisis kelayakan *Safe Drip* dari sisi keterjangkauan biaya beberapa hal harus yang dipertimbangkan adalah biaya investasi *Safe Drip* (Rp), biaya operasional (Rp) *Safe Drip*, serta penghasilan dan pengeluaran penduduk Desa Mulyorejo (Rp). Total dari biaya investasi yang dibutuhkan untuk pembuatan 1 unit *Safe Drip* adalah Rp. 367.500 dengan rincian seperti yang tercantum pada Tabel 9 sedangkan total biaya operasional *Safe Drip* dalam selama 1 hari adalah Rp. 39.600 dengan rincian sebagai berikut:

1. Kebutuhan tawas cair

$$= \frac{1.200 \text{ ml}}{110 \text{ menit}} \times \frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}} \times \frac{60 \text{ menit}}{1 \text{ jam}}$$

$$= 15.709 \frac{\text{ml}}{\text{hari}} = 15,709 \frac{\text{liter}}{\text{hari}} \sim 16 \frac{\text{liter}}{\text{hari}}$$

2. Kebutuhan tawas bubuk

$$= 1 \text{ gram/liter} \times 16 \text{ liter} = 16 \text{ gram}$$

3. Harga tawas bubuk = Rp 7.500,00/kg

4. Biaya operasional untuk pembelian tawas bubuk

$$= \frac{\text{Rp. 7.500}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1.000 \text{ gr}} \times 16 \text{ gram} = \text{Rp. 120,00}$$
5. Kebutuhan aquadest

$$= 1 \text{ liter/gram} \times 16 \text{ gram} = 16 \text{ liter}$$
6. Harga aquadest = Rp. 2.400,00/liter
7. Biaya operasional untuk pembelian aquadest

$$= \frac{\text{Rp. 2.400}}{1 \text{ liter}} \times 16 \text{ liter} = \text{Rp. 38.400,00}$$

Untuk mempermudah penggunaan tawas cair pada waktu proses pengoperasian *Safe Drip* maka, dibutuhkan botol PET 240 ml sebagai kemasan.

1. Harga botol PET 240 = Rp. 1.000,00/pcs
2. Total biaya operasional dalam pengoperasian *Safe Drip* selama 1 hari

$$= \text{Rp. 38.400,00} + 120,00 + 1.000,00$$

$$= \text{Rp. 39.520,00} \sim \text{Rp. 39.600,00}$$

Hasil analisis kerentanan penduduk Desa Mulyorejo menunjukkan bahwa terdapat bulan-bulan rentan bagi mayoritas penduduk Desa Mulyorejo yang bekerja di bidang pertanian karena penghasilan yang mereka miliki tergantung pada musim panen. Untuk hasil analisis data penghasilan tetap dan pengeluaran penduduk Desa Mulyorejo dengan menggunakan Crosstab menunjukkan bahwa terdapat 2,15% responden yang memiliki penghasilan lebih besar daripada pengeluaran, 29,03% responden yang memiliki penghasilan sama dengan pengeluaran, dan 68,82% responden yang memiliki penghasilan lebih kecil daripada pengeluaran. Kondisi penghasilan yang lebih kecil dari pengeluaran tersebut membuat beberapa penduduk Desa Mulyorejo harus mencari penghasilan tambahan di

luar musim tanam untuk mencukupi kebutuhan mereka. Penghasilan tambahan diperoleh dengan merantau musiman di Kabupaten Lamongan atau Kota Surabaya sebagai buruh tani, tenaga bangunan, dan sebagainya.

Di sisi lain, hasil survei tentang persepsi terhadap biaya investasi dan biaya operasional *Safe Drip* menunjukkan bahwa 86,02% responden menyatakan murah dan 13,98% responden menyatakan mahal namun meski menurut mayoritas responden biaya investasi dan operasional *Safe Drip* tergolong murah tetapi sebanyak 64,52% menyatakan tidak bersedia jika diminta untuk membuat *Safe Drip* secara mandiri. Hal tersebut sesuai dengan fakta bahwa terdapat 68,82% responden yang memiliki penghasilan lebih kecil daripada pengeluaran sehingga pembuatan *Safe Drip* dengan biaya sendiri dapat memberatkan bagi perekonomian mayoritas keluarga di Desa Mulyorejo.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi biaya investasi dan operasional *Safe Drip* yang tidak terjangkau bagi keluarga di Desa Mulyorejo adalah dengan membebankan biaya investasi dan operasional *Safe Drip* kepada 6KK sesuai dengan kapasitas *Safe Drip* yang mampu digunakan untuk memenuhi kebutuhan air bersih 6 KK/hari. Total biaya yang harus ditanggung oleh setiap KK dalam pengadaan *Safe Drip* apabila ditanggung oleh 6 KK adalah Rp. 61.250,00/KK sedangkan untuk biaya operasional *Safe Drip* adalah Rp 6.600,00/KK/hari. Adanya pembagian biaya pengadaan dan pengoperasian *Safe Drip* tersebut membuat *Safe Drip* lebih terjangkau oleh masyarakat setempat dan sesuai dengan persepsi penduduk Desa Mulyorejo bahwa *Safe Drip* adalah teknologi pengolahan air yang murah.

Tabel 9 Rincian Biaya Investasi *Safe Drip*

No.	Nama Barang	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Harga Total
1.	Knee PVC Ø 3/4 inchi	5	Buah	2.000	10.000
2.	Valve PVC Ø 3/4 inchi	2	Buah	8.000	16.000
3.	Pipa PVC Ø 3/4 inchi	1,5	Meter	5.000	7.500
4.	Watermoor Dalam dan Luar PVC Ø 3/4 inchi	3	Pasang	6.000	18.000
5.	Tee PVC Ø 3/4 inchi	2	Buah	2.000	4.000
6.	Sock Drat Dalam dan Luar PVC Ø 3/4 inchi	2	Pasang	2.000	4.000
7.	Mur dan Baut	6	Pasang	500	3.000
8.	DOP PVC Ø 6 inchi	1	Buah	30.000	30.000
9.	Pipa PVC Ø 6 inchi	1,1	Meter	100.000	110.000
10.	Ember Plastik 6 gallon	1	Buah	30.000	30.000
11.	Pengaduk <i>Stainless Steel</i>	1	Buah	25.000	25.000
12.	Besi Penyangga	1	Buah	100.000	100.000
13.	Lem Pipa	1	Buah	10.000	10.000
	Total Biaya				367.500

Kemampuan masyarakat untuk menanggung biaya pengadaan dan pengoperasian *Safe Drip* dalam rangka memenuhi kebutuhan dasarnya menunjukkan bahwa *Safe Drip* merupakan teknologi yang tepat guna bagi mereka (Wicklein, 1998). Hal tersebut juga didukung oleh Murphy *et al.* (2009) yang menyatakan bahwa keterjangkauan biaya suatu teknologi oleh penggunaannya menunjukkan bahwa teknologi tersebut sesuai dengan situasi yang ada. Berdasarkan uraian yang ada dapat diketahui bahwa keterjangkauan biaya mampu meningkatkan penerimaan masyarakat setempat terhadap *Safe Drip* karena *Safe Drip* memiliki kemampuan untuk memenuhi kebutuhan dasar mereka tanpa mengabaikan kondisi ekonomi masyarakat setempat.

Ketersediaan sumber daya

Pada analisis kelayakan *Safe Drip* dari sisi ketersediaan sumberdaya 2 (dua) hal yang harus dipertimbangkan adalah pengadaan bahan baku dan tenaga ahli. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara dengan tokoh masyarakat setempat diketahui bahwa untuk pengadaan bahan baku pembuatan *Safe Drip* seperti, pipa PVC dan aksesoris pendukungnya serta ember plastik cukup mudah dan murah. Pada pengadaan penyanggah dan pengaduk *Safe Drip* yang terbuat dari besi dan *stainless steel* juga mudah karena di sekitar Desa Mulyorejo terdapat bengkel las.

Pada pengoperasian *Safe Drip*, bahan baku yang dibutuhkan adalah pasir, kerikil dan tawas cair. Pengadaan pasir dan kerikil tidak membutuhkan biaya dan mudah karena pasir dan kerikil yang ada di Desa Mulyorejo telah sesuai dengan pasir dan kerikil yang dibutuhkan. Pada pengadaan tawas cair yang berasal dari tawas bubuk dan aquadest dapat diperoleh dari Kota Surabaya. Adanya kemudahan dalam akses transportasi melalui kendaraan umum atau pribadi serta infrastruktur yang memadai membuat pengadaan tawas bubuk dan aquadest dari Surabaya ke Desa Mulyorejo cukup mudah.

Ketersediaan tenaga ahli dalam pembuatan dan pengoperasian *Safe Drip* di Desa Mulyorejo cukup sesuai dengan yang dibutuhkan dalam pembuatan dan pengoperasian *Safe Drip*. Hal tersebut karena pembuatan dan pengoperasian *Safe Drip* tidak membutuhkan keahlian khusus sehingga penduduk Desa Mulyorejo yang memiliki berbagai macam profesi termasuk petani sebagai profesi yang dominan dapat dengan mudah memahami teknik pembuatan dan pengoperasian *Safe Drip*. Berdasarkan uraian tersebut dapat diketahui bahwa sebagian besar sumber daya yang dibutuhkan dalam pengadaan dan penggunaan *Safe Drip* tersedia secara lokal sedangkan untuk sumber daya yang tidak tersedia secara lokal juga masih

dapat diperoleh dengan mudah. Ketersediaan sumber daya tersebut merupakan faktor yang dapat menjamin keberlanjutan *Safe Drip* sebagai teknologi yang membantu penyediaan air pada bencana banjir (Murphy *et al.*, 2009). Adanya kesesuaian antara sumber daya yang dibutuhkan dengan sumber daya lokal juga memperkecil potensi penolakan terhadap *Safe Drip* akibat biaya pengadaan sumber daya yang tidak terjangkau karena harus dibeli dari luar lingkungan setempat (Wicklein, 1998). Selain itu, kemudahan dalam pengadaan sumber daya yang dibutuhkan juga mampu meningkatkan potensi *Safe Drip* untuk dipilih oleh masyarakat setempat (Wicklein, 1998).

Aspek Sosial

Partisipasi masyarakat lokal

Hasil survei mengenai ketersediaan air bersih pada waktu banjir menunjukkan bahwa 53,76% responden menyatakan sangat penting, 44,09% menyatakan responden penting, dan 2,15% menyatakan responden cukup penting. Adanya kesadaran penduduk Desa Mulyorejo terhadap ketersediaan air bersih selama banjir tersebut diikuti dengan tumbuhnya upaya - upaya untuk memenuhi kebutuhan air bersih pada saat banjir yang dilakukan secara bersama-sama. Upaya-upaya pemenuhan kebutuhan air bersih yang sering dilakukan secara bersama-sama oleh penduduk Desa Mulyorejo ketika bencana banjir adalah pencarian sumber air bersih yang layak.

Kesadaran yang cukup tinggi terhadap peran air bersih dan partisipasi aktif masyarakat terhadap upaya penyediaan air bersih pada waktu banjir merupakan faktor yang mendukung diterimanya pelaksanaan demonstrasi *Safe Drip* di Desa Mulyorejo. Hal tersebut diperkuat oleh 100% responden yang menyatakan keberadaan *Safe Drip* bermanfaat pada saat banjir. Berdasarkan hasil survei juga diketahui bahwa sebanyak 95,70% responden mau menggunakan *Safe Drip* pada saat banjir dan 93,55% responden menyatakan bersedia untuk melakukan perawatan pada *Safe Drip* apabila tidak digunakan.

Secara umum, berdasarkan uraian di atas dapat diketahui bahwa keterbukaan masyarakat dalam menerima pelaksanaan demonstrasi *Safe Drip* dan kesediaan untuk menggunakannya menunjukkan bahwa *Safe Drip* merupakan teknologi yang sesuai dengan kebutuhan serta kondisi sosial, budaya, ekonomi, dan lingkungan masyarakat setempat (Murphy *et al.*, 2009). Di sisi lain, adanya kesediaan masyarakat untuk turut serta melakukan pemeliharaan terhadap *Safe Drip* juga menjamin keberlanjutan *Safe Drip* sebagai teknologi pengolahan air yang memberikan manfaat kepada masyarakat setempat (Wicklein,

1998). Berdasarkan uraian yang ada dapat diketahui bahwa adanya kesesuaian dengan kebutuhan dan kondisi masyarakat setempat serta kesediaan dari masyarakat setempat untuk melakukan pemeliharaan *Safe Drip* membuat *Safe Drip* memiliki potensi penerimaan dan keberlanjutan yang cukup besar.

Keterlibatan tokoh masyarakat lokal

Penduduk Desa Mulyorejo memiliki kepercayaan yang tinggi terhadap para tokoh masyarakat mereka termasuk terhadap Pemerintah Desa. Pemerintah Desa memiliki peranan yang penting dalam kegiatan penanggulangan bencana banjir di Desa Mulyorejo. Pemerintah Desa bertugas sebagai pengambil kebijakan dan strategi dalam kegiatan penanggulangan bencana agar kegiatan tersebut dapat berjalan efektif dan terkoordinasi dengan baik. Tugas tersebut tertuang dalam Rencana Kontinjensi Bencana Banjir Bengawan Solo di Desa Mulyorejo Tahun 2013.

Sebagai bentuk implementasi dari kebijakan dan strategi dalam penanggulangan bencana banjir Pemerintah Desa Mulyorejo melakukan perencanaan sektoral pada keadaan darurat melalui kerja sama dengan berbagai pihak seperti, karang taruna, PKK, Tim SIBAT (Siaga Bencana Berbasis Masyarakat), tenaga kesehatan, Linmas (Perlindungan Masyarakat), BPD (Badan Permusyawaratan Desa), PMI Kabupaten Bojonegoro, BPBD (Badan Penanggulangan Bencana Daerah) Kabupaten Bojonegoro, TNI, POLRI, serta penduduk Desa Mulyorejo. Perencanaan sektoral pada keadaan darurat tersebut berisi mengenai langkah - langkah yang harus dilakukan oleh pihak-pihak yang terlibat dalam kegiatan penanggulangan bencana sesuai dengan pembagian sektor yang ada.

Penyediaan air bersih sebagai kebutuhan dasar merupakan salah satu bagian dalam perencanaan sektor penanganan pengungsi yang dilakukan Pemerintah Desa Mulyorejo. Adanya demonstrasi *Safe Drip* di Desa Mulyorejo sebagai teknologi pengolahan air pada keadaan darurat telah mendapat dukungan sepenuhnya dari Kepala Desa Mulyorejo. Selain itu, Kepala Desa Mulyorejo juga turut membantu penyampaian informasi terkait demonstrasi *Safe Drip* kepada perangkat Desa Mulyorejo dan Tim SIBAT. Adanya penyampaian informasi mengenai demonstrasi *Safe Drip* kepada para perangkat desa dan tim SIBAT sangat membantu dalam penyebaran informasi mengenai demonstrasi *Safe Drip* kepada masyarakat setempat.

Hal tersebut terbukti dari hasil survei mengenai sumber informasi tentang demonstrasi

Safe Drip yang menunjukkan bahwa 84,95% responden memperoleh informasi dari Tim SIBAT, 8,6% memperoleh informasi dari perangkat desa, dan sisanya, 6,45% memperoleh informasi dari peneliti. Selain berperan dalam penyebaran informasi mengenai demonstrasi *Safe Drip*, Tim SIBAT dan perangkat desa juga memfasilitasi pelaksanaan demonstrasi *Safe Drip* yang berlangsung di Balai Desa Mulyorejo. Keterlibatan dari tokoh masyarakat setempat pada penyampaian informasi dan pelaksanaan demonstrasi *Safe Drip* merupakan salah satu faktor yang mendukung penerimaan *Safe Drip* oleh masyarakat setempat. Hal ini dikarenakan keterlibatan pemangku kepentingan lokal pada proses inovasi yang dalam hal ini dengan memfasilitasi pengenalan *Safe Drip* kepada masyarakat setempat dapat membantu meningkatkan kemungkinan masyarakat mengadopsi inovasi tersebut sebagai milik mereka (Murphy *et al.*, 2009).

Kemudahan dalam Penggunaan dan Pemeliharaan

Berdasarkan hasil survei terhadap 93 responden yang berasal dari penduduk Desa Mulyorejo diketahui bahwa 100% responden memahami tentang teknik penggunaan dan pemeliharaan *Safe Drip* namun dengan berbagai pendapat yang berbeda-beda terhadap teknik penggunaan dan pemeliharaan tersebut. Rincian pendapat dari seluruh responden terhadap teknik penggunaan *Safe Drip* diantaranya, 94,62% berpendapat mudah, 4,30% berpendapat sangat mudah, dan sisanya, 1,08% berpendapat sulit sedangkan rincian pendapat responden terhadap teknik pemeliharaan *Safe Drip* diantaranya, 93,55% berpendapat mudah, 4,30% berpendapat sangat mudah, dan sisanya, 2,15% berpendapat sulit.

Berdasarkan uraian di atas, dapat diketahui bahwa mayoritas penduduk Desa Mulyorejo tidak hanya paham terhadap teknik penggunaan dan pemeliharaan *Safe Drip* tetapi juga merasa mudah untuk menggunakan dan melakukan pemeliharaan terhadap *Safe Drip*. Di sisi lain, mudahnya penduduk Desa Mulyorejo untuk memahami dan mempraktekan penggunaan dan pemeliharaan *Safe Drip* tanpa perlu dibekali *soft skill* khusus menunjukkan bahwa *Safe Drip* merupakan teknologi yang sederhana atau tidak kompleks dan dapat dengan mudah diterima oleh masyarakat setempat. Semakin kompleks suatu teknologi yang dapat dilihat dari teknik penggunaan dan pemeliharaannya akan membuat teknologi tersebut semakin susah diterima oleh masyarakat (Hanafi, 1981).

Aspek Lingkungan

Prakiraan dampak lingkungan

Pada pengolahan air menggunakan *Safe Drip* jenis limbah yang dihasilkan adalah lumpur alum. Pada setiap proses pengolahan air banjir dihasilkan lumpur alum dengan berat kering sebesar 28,1 gr untuk setiap 55 liter volume air yang dihasilkan. Lumpur alum yang dihasilkan oleh *Safe Drip* tersebut selanjutnya dianalisis dengan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) untuk menentukan komposisi senyawa kimia yang terkandung dalam lumpur alum. Berdasarkan hasil uji XRF diketahui bahwa persentase terbesar kandungan senyawa kimia yang terdapat pada lumpur alum secara berturut-turut yaitu SiO_2 41%, Fe_2O_3 24,40%, CaO 16,2%, dan Al_2O_3 14%.

SiO_2 memiliki persentase terbesar disebabkan karena air banjir yang digunakan sebagai sumber air baku memiliki nilai TSS yang tinggi di dalamnya sedangkan kandungan Fe_2O_3 yang besar disebabkan karena pada air banjir mengandung unsur Fe dan berbagai mineral lainnya. Untuk kandungan CaO pada lumpur alum *Safe Drip* disebabkan adanya kesadahan total (CaCO_3) yang dapat diketahui pada hasil uji air olahan *Safe Drip* sedangkan adanya kandungan Al_2O_3 disebabkan oleh penggunaan tawas sebagai koagulan pada proses koagulasi - flokulasi yang berlangsung pada *Safe Drip*.

Jumlah limbah yang dihasilkan oleh *Safe Drip* dihitung dari jumlah lumpur alum yang dihasilkan dan dibuang ke lingkungan sekitar. Pada pemakaian 1 unit *Safe Drip* untuk waktu pemakaian 1 siklus pemakaian, 1 hari, dan 1 minggu dihasilkan lumpur alum berturut-turut 28,10 gram, 367,89 gram, dan 2.575,24 gram.

Dalam rangka memperkirakan dampak lingkungan yang dapat ditimbulkan oleh *Safe Drip*, maka lumpur alum sebagai limbah yang dihasilkan oleh *Safe Drip* harus ditinjau secara keseluruhan baik dari kandungan senyawa kimia di dalamnya maupun dari jumlah limbah yang dihasilkan. Ditinjau dari kandungan senyawa kimia di dalamnya yang mengandung Si dan Ca yang merupakan unsur yang tidak berbahaya dan tidak bersifat toksik sedangkan Fe dan Al baru bersifat toksik ketika kandungannya berlebih (Effendi, 2003). Jumlah lumpur alum yang dihasilkan *Safe Drip* sendiri relatif sedikit, maka lumpur alum yang dihasilkan *Safe Drip* dapat dikategorikan tidak berpotensi menimbulkan dampak berbahaya bagi lingkungan.

Menurut Kaggwa *et al.*, (2001) diketahui bahwa lumpur alum mempunyai kandungan air cukup tinggi sehingga akan sulit untuk dibuang. Oleh karena itu, pembuangan lumpur alum yang

dihasilkan selama pengoperasian *Safe Drip* harus dilakukan pada lokasi di sekitar tempat pengoperasian *Safe Drip* yang memungkinkan lumpur alum mengalami proses pengeringan terlebih dahulu sebelum dibuang. Pembuangan lumpur alum yang sudah kering dapat dilakukan pada lahan kosong di sekitar tempat pengoperasian *Safe Drip*.

Berdasarkan pada uraian tersebut dapat diketahui bahwa *Safe Drip* tidak berpotensi untuk menimbulkan pencemaran ke lingkungan sekitarnya apabila lumpur alum yang dihasilkan dikeringkan terlebih dahulu dan dibuang pada tempat yang sesuai. Hal tersebut turut mendukung teori mengenai EST yang tertera pada Agenda 21 bahwa suatu teknologi harus mampu melindungi lingkungan sekitarnya (UNCED, 1992). Tidak adanya dampak pencemaran lingkungan yang dapat terjadi akibat penggunaan *Safe Drip* menunjukkan bahwa *Safe Drip* mampu mengatasi permasalahan kebutuhan air bersih pada waktu banjir tanpa memberikan permasalahan baru berupa pencemaran lingkungan.

KESIMPULAN

Safe Drip merupakan teknologi pengolahan air yang layak digunakan pada bencana banjir ditinjau dari kriteria - kriteria yang harus dimiliki oleh teknologi pengolahan air pada keadaan darurat yang harus ada, diantaranya:

Mudah dalam pendistribusian, mampu memenuhi kebutuhan air bersih 6 KK atau 24 orang sesuai dengan standar minimum kebutuhan air pada keadaan darurat, yaitu 15 liter/orang/hari, mampu menyediakan air bersih sesuai dengan parameter kimia dan fisika yang tertera pada PERMENKES RI No. 492 Tahun 2010 serta memiliki kualitas air yang hampir sama dengan sumber air setempat, memiliki biaya investasi dan operasional yang dapat dijangkau oleh sekelompok KK (Kepala Keluarga) yang terlayani kebutuhan air bersihnya, meski belum semua sumber daya yang dibutuhkan dalam pengadaan dan pengoperasian *Safe Drip* tersedia di lokasi setempat namun sumber daya tersebut masih tergolong mudah untuk didapatkan, sesuai dengan kebutuhan serta kondisi sosial masyarakat setempat sehingga masyarakat bersedia untuk menerima, menggunakan dan memelihara *Safe Drip*, mampu melibatkan dan mendapatkan dukungan dari tokoh masyarakat setempat pada proses pengenalannya, Mudah dalam penggunaan dan pemeliharaannya, serta tidak menghasilkan limbah yang memberikan efek kerusakan terhadap lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Layla., Anis, M., Ahmad, S., dan Middlebrooks, E. J. 1980. *Water Supply Engineering Design*. Utah: Ann Arbor Science.
- Bakornas PB. 2007. Panduan Pengenalan Karakteristik Bencana dan Upaya Mitigasinya di Indonesia. Jakarta: Badan Koordinasi Nasional Penanganan Bencana.
- BMKG Stasiun Klimatologi Karang Ploso Malang. 2013. *Analisis Distribusi Curah Hujan Jawa Timur Bulanan*. Media Release. [<http://www.staklimkarangploso.info/index.php/analisis-distribusi-curah-hujan-jawa-timur-bulanan>]
- BNPB. 2010. *Data Bencana Indonesia Tahun 2009*. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- BPBD Kabupaten Bojonegoro. 2013 *Laporan Rekapitulasi Kejadian Korban dan Kerusakan Bencana Banjir Bengawan Solo*. Bojonegoro: Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Bojonegoro.
- Clarke, B.A., and A. Steele. 2009. *Water Treatment Systems for Relief Agencies: The On-Going Search for The 'Silver Bullet'*. Desalination 248, 64-71.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air*. Yogyakarta, Kanisius.
- EPA. 2012. *What to Do After the Flood*. Media Release. [<http://water.epa.gov/drink/info/well/whato.do.cfm>]
- Global Wash Cluster. 2009. *The Global WASH Learning Project: Lessons Learned in WASH Response during Rural Flood Emergencies*. Global Wash Cluster, New York.
- Guha-Sapir D., F. Vos, R. Below R, and S. Ponserre. 2012. *Annual Disaster Statistical Review 2011: The Numbers and Trends*. Brussels, CRED.
- IFRC. 2008. *Household Water Treatment and Safe Storage in Emergencies*. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva.
- Hanafi. 1981. *Memasyarakatkan Ide-Ide Baru disarikan dari Communication of Innovation karya Rogers E. M., dan F.F. Shoemaker*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Kaggwa, R. C. Mulaleo, C. I., Denny, P and Okurut T. O. 2001. *The Impact of Alum Discharges on Natural Tropical Wetland in Uganda*. Water Research 35 Nomor 3:795-807.
- Loo, S.L., Fane, A.G., Krantz, W.B., and Lim, T.T. 2012. *Emergency Water Supply: A Review of Potential Technologies and Selection Criteria*. Water Research 46 (10), 3125 - 3151.
- Luff, R. 2004 *Paying Too Much for Purity? Development of More Appropriate Emergency Water Treatment Methods*. People-Centred Approaches to Water and Environmental Sanitation, WEDC International Conference, Vientiane, Lao PDR.
- Masduqi, A. dan Assomadi, A.F. 2012. *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. Surabaya: ITS Press.
- Munaf, D.R., T. Suseno, R. I. Janu, dan A. M. Badar. 2008. *Peran Teknologi Tepat Guna untuk Masyarakat Daerah Perbatasan (Studi Kasus: Propinsi Kepulauan Riau)*. Jurnal Sositoknologi, Edisi 13 Tahun 7, April 2008.
- Murphy, H. M., E. A. McBean, and K. Farahbakhsh. 2009. *Appropriate Technology – A Comprehensive Approach for Water and Sanitation in The Developing World*. Technology in Society 31 (2009) 158–167.
- PMI. 2010. *Petunjuk Teknis Operasional Tim Tanggap Darurat Air dan Sanitasi*. Jakarta: Palang Merah Indonesia.
- Profil Desa Mulyorejo Tahun 2011.
- Quinn, L. 1997. *Reverse Osmosis Systems in Military or Emergency Operations*. Desalination 113, 297-301.
- Rencana Kontinjensi Banjir Bengawan Solo di Desa Mulyorejo Tahun 2013.
- Reynolds, T. D. and Richards, P. A. 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*. Second Edition. Boston: PSW Publishing Company.
- Sphere. 2011. *Humanitarian Charter and Minimum Standards in Disaster Response*. Practical Action, UK.
- Steele, A., and B. Clarke. 2008. *Problems of Treatment Process Selection for Relief Agency Water Supplies in an Emergency*. Journal of Water and Health 6, 483-489.
- Tchobanoglous, G and E. D. Schroeder. 1985. *Water Quality*. United States, Addison-Wesley Publishing Company, Inc.

- The Johns Hopkins and IFRC. 2008. *Public Health Guide in Emergencies, Second Edition*. Geneva, Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health and The International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies.
- UNCED. 1992. AGENDA 21. Rio de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June 1992. United Nations Conference on Environment & Development.
- Wicklein, R.C. 1998. *Designing for Appropriate Technology in Developing Countries*. Technology In Society 20 (1998) 371-375.
- Wisner, B. and Adams, J. 2002. *Environmental Health in Emergencies and Disasters*. W Geneva, World Health Organization.