

KAJIAN FITOREMEDIASI AIR TANAH TERCEMAR LINDI TPA DENGAN KANDUNGAN LOGAM (STUDI KASUS: FITOREMEDIASI FE DAN BESI DI LAHAN BEKAS TPA KEPUTIH)

PHYTOREMEDIATION STUDY OF GROUNDWATER POLLUTED BY LANDFILL LEACHATE WITH METAL CONTENT (CASE STUDY: PHYTOREMEDIATION OF FE AND IRON IN THE FORMER KEPUTIH LANDFILL)

Desy Prastitianti¹⁾, Ipung Fitri Purwanti^{1*)},

¹⁾Environmental Engineering Department, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

^{*)}E-mail: purwati@enviro.its.ac.id

Abstrak

Keberadaan TPA dapat menjadi sumber pencemaran air tanah apabila TPA yang beroperasi tidak didesain dengan baik untuk mengurangi terjadinya pencemaran oleh lindi. Lindi yang dihasilkan oleh sampah akan terbawa oleh air hujan melalui infiltrasi dan terbawa aliran air tanah sehingga dapat menyebabkan masuknya pencemar ke dalam sumur-sumur air tanah yang ada di sekitarnya. Pemulihan air tanah yang tercemar besi oleh lindi TPA dapat dilakukan salah satunya dengan metode fitoremediasi. Kajian literatur ini bertujuan untuk menelaah beragam jenis tanaman yang potensial untuk fitoremediasi air tanah tercemar besi pada lahan bekas TPA Keputih Surabaya. Kayu apu (*Pistia stratiotes*) dipilih untuk studi kasus memulihkan air tanah yang tercemar besi pada bekas lahan TPA Keputih. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada skala rumah tangga diperlukan kayu apu sebanyak 84 batang dan waktu tinggal selama 7 hari untuk menyisihkan kelebihan Fe pada air tanah agar memenuhi baku mutu air.

Kata kunci: Air lindi, Fitoremediasi, Kayu apu (*Pistia stratiotes*), Logam berat dengan besi, dan TPA

Abstrak

*Landfills can be a source of groundwater pollution if they are not properly designed to reduce leachate pollution. Leachate produced by wastes is carried by rainwater through infiltration and by groundwater flow, which can cause contaminants to enter surrounding groundwater wells. The remediation of groundwater contaminated with iron by landfill leachate can be accomplished through phytoremediation. This literature review aims to investigate different plant species that have potential for phytoremediation of iron-contaminated groundwater at the TPA Keputih landfill site in Surabaya. Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) was selected for the case study of remediation of iron-contaminated groundwater at the TPA Keputih landfill site. Calculations show that on a household scale, 84 stems of Kayu Apu and a residence time of 7 days are required to remove excess Fe in groundwater to meet water quality standards.*

Keywords: Leachate, Phytoremediation, Kayu apu (*Pistia stratiotes*), Heavy metals with iron, and Landfills

1. PENDAHULUAN

Lindi merupakan hasil samping dari proses

dekomposisi sampah secara alamiah. Proses dekomposisi tersebut akan mengubah sampah yang dapat terurai menjadi pupuk organik akibat perkolasi air hujan, proses biokimia sampah, dan

kadar air sampah kemudian akan membawa kandungan logam-logam berat dalam lindi (Fajariyah, 2017). Lindi biasa dihasilkan dalam jumlah besar oleh Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah. Lindi sampah tiap TPA mengandung pencemar yang berbeda-beda bergantung pada timbunan sampah yang berada di dalamnya. Sebagai contoh, pada lindi yang dihasilkan oleh TPA Air Dingin di Kota Padang, pencemar yang terkandung dalam lindi sampah antara lain adalah BOD, COD, TDS, dan logam berat seperti Pb, Cu, dan Fe (Afdal & Sari, 2017).

Logam berat merupakan senyawa yang mungkin ditemui dalam zona penimbunan di TPA. Namun, keberadaan kandungan suatu logam berat dalam lindi sampah berbeda-beda sesuai dengan komposisi dan karakteristik sampah yang tertimbun. Ada logam berat yang dalam jumlah kecil dibutuhkan oleh tubuh manusia, contohnya adalah besi (Fe) dan mangan (Mn). Dalam jumlah besar, logam-logam tersebut dapat menyebabkan masalah seperti merubah warna menjadi kecoklatan, berbau, berasa, karat pada pipa, bahkan mengiritasi kulit manusia. Beberapa senyawa logam berat lain dapat menyebabkan gangguan pada saraf, cacat pada bayi, kerusakan sel-sel hati, dan ginjal jika memasuki tubuh manusia.

Keberadaan TPA dapat menjadi sumber masalah pencemaran air tanah apabila TPA yang beroperasi tidak didesain dengan baik untuk mengurangi kemungkinan terjadinya pencemaran oleh lindi. Lindi yang dihasilkan oleh sampah akan terbawa oleh air hujan melalui infiltrasi air hujan dan terbawa dengan aliran air tanah sehingga dapat menyebabkan masuknya pencemar ke dalam sumur-sumur air tanah yang ada di sekitarnya. Pada beberapa sumur warga di sekitar TPA Wukirsari Gunungkidul Yogyakarta ditemukan adanya kandungan Cd sebesar 0,03 mg/l dan Pb sebesar lebih dari 0,5 mg/l (Siswoyo & Habibi, 2018). Arbi dkk. (2018) sempat meneliti adanya kandungan logam Fe dan Pb yang melebihi baku mutu pada sumur warga yang berjarak 300 m di sekitar TPA Air Dingin Kota Padang. Pada sumur warga di sekitar TPA Rawa Kucing Kota Tangerang juga ditemukan kandungan logam berat Fe sebesar 0,118 – 7,063 mg/l yang mana melebihi baku mutu yang ditentukan yaitu sebesar 1 mg/l. Sedangkan kandungan mangan

(Mn) diketahui sebesar 0,019 – 10,13 mg/l sementara kadar maksimum dalam baku mutu adalah sebesar 0,5 mg/l (Siswoyo & Habibi, 2018).

Pencemaran air tanah oleh lindi TPA yang mengandung logam berat dapat mengganggu masyarakat sekitar yang masih memanfaatkan air tanah untuk menunjang berbagai kegiatan sehari-hari. Dari kasus-kasus pencemaran air tanah oleh lindi yang mengandung logam berat, maka perlu dilakukan penanganan untuk memulihkan air tanah yang tercemar logam berat tersebut. Salah satu metode yang dapat digunakan yaitu fitoremediasi yang menggunakan bantuan tumbuhan. Fitoremediasi mudah diterapkan karena memiliki prinsip yang sederhana dan ramah lingkungan. Artikel ini membahas fitoremediasi berbagai jenis tumbuhan yang memiliki kemampuan mengurangi berat besi yang terkandung dalam lindi yang mencemari air tanah di lahan sekitar bekas TPA Keputih.

2. METODE

2.1. Tahap Kajian Pustaka

Kajian pustaka dilakukan dengan mencari berbagai pustaka/literatur yang berkaitan dengan fitoremediasi air tanah tercemar lindi yang mengandung logam berat. Selain itu, dilakukan juga kajian literatur yang berkaitan dengan tumbuhan-tumbuhan hiperakumulator yang memiliki potensi mengurangi konsentrasi logam berat pada air tanah tercemar. Dari pustaka/ literatur ini, tulisan akan disusun dan ditulis kembali menggunakan bahasa penulis sendiri. Berikut adalah jenis kepustakaan yang digunakan dalam menyusun kajian literatur ini yang meliputi:

- a. Jurnal ilmiah
- b. Buku teks / *text book*
- c. Tugas akhir terdahulu
- d. Tesis/ disertasi
- e. Prosiding
- f. Peraturan atau dokumen pemerintahan

2.2. Tahap Studi Kasus

Studi kasus pada penulisan Tugas Akhir ini adalah pencemaran air tanah oleh lindi yang mengandung logam berat yang kemungkinan dihasilkan oleh TPA Keputih yang saat ini sudah tidak beroperasi. Kandungan logam berat

tersebut dapat mencemari sumur air tanah milik warga sekitar bekas lahan TPA Keputih. Data yang didapatkan akan dianalisa dengan kajian pustaka/literatur yang telah diperoleh sebelumnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Air Tanah

Selain untuk menunjang kebutuhan domestik manusia, air juga berperan penting dalam sektor pertanian, peternakan, perkebunan, industri, pertambangan, pariwisata, dan sebagainya. Sebagian masyarakat di beberapa negara berkembang di dunia masih memanfaatkan air tanah untuk memenuhi kebutuhan air bersih hariannya dengan cara dipompa dari sumur galian untuk kebutuhan domestik seperti mandi, cuci, air minum, dan lain-lain (Vetrimurugan et al., 2017).

Air tanah adalah air yang bergerak dalam tanah. Air tanah dapat bergerak karena terdapat ruang-ruang antara butir-butir tanah dan retak-retak batuan. Air tanah merupakan bagian dari siklus hidrologi. Air tanah dibagi menjadi dua kategori yaitu air tanah dalam dan air tanah dangkal. Air tanah dalam adalah air tanah yang dapat ditemukan minimal 15 meter dari bawah permukaan tanah, sedangkan air tanah dangkal dapat ditemukan maksimal 15 m dari permukaan tanah (Saparuddin, 2010).

Masyarakat yang masih memanfaatkan air tanah biasanya memiliki cara untuk mengeluarkan air tanah dengan memompa air cara membuat sumur, baik itu sumur gali, sumur pompa, maupun sumur bor. Air tanah yang telah tertampung dalam sumur kemudian dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari.

3.2. Kualitas Air Tanah

Masyarakat yang masih memanfaatkan air tanah biasanya memiliki cara untuk mengeluarkan air tanah dengan memompa air. Masalah yang sering ditemukan berkaitan dengan sumber daya air tanah adalah penurunan kualitas air tanah yang semakin turun dari waktu ke waktu diakibatkan oleh meningkatnya jumlah penduduk dan aktifitas manusia di sekitar sumur galian air tanah. Air tanah adalah sumber daya alam yang biasa digunakan untuk

menunjang kebutuhan air sehari-hari oleh masyarakat. Air tanah memiliki banyak keuntungan jika dibandingkan dengan sumber air bersih lain, seperti: kualitas air tanah lebih baik dari pada kualitas air permukaan, kualitas air tanah tidak dipengaruhi oleh musim, dan air tanah lebih mudah didapatkan dan dimanfaatkan. Namun, kualitas air tanah dapat tercemar oleh kegiatan yang berlangsung di sekitarnya seperti penimbunan sampah, kegiatan industri, serta cemaran limbah cair domestik rumah tangga dengan cara merembes ke air sumur di sekitarnya sehingga mengakibatkan kadar parameter pencemar tertentu menjadi naik (Sasongko et al., 2014).

Kualitas air tanah dapat diketahui dengan cara melakukan analisis fisik, seperti warna, bau, rasa, kekeruhan, suhu, dan daya hantar listrik serta analisis kimia meliputi kandungan ion-ion yang terlarut dan kesadahan (Ramadhan, 2017). Pada Peraturan Menteri Kesehatan No. 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, *Solus Per Aqua* (SPA), dan Pemandian Umum. Air untuk keperluan higiene sanitasi adalah air dengan kualitas tertentu yang digunakan untuk keperluan sehari-hari yang kualitasnya berbeda dengan kualitas air minum.

3.3. Pencemaran Air Tanah

Pencemaran air tanah adalah suatu kejadian yang disebabkan oleh kontaminasi senyawa-senyawa yang tidak seharusnya berada dalam air tanah dengan jumlah melebihi batas yang ditentukan dapat berdampak buruk bagi makhluk hidup dan kelestarian lingkungan, seperti timbulnya masalah kesehatan seperti mual, muntah, diare, penyakit kulit, dan penyakit yang lebih serius seperti kanker, kerusakan hati, ginjal, anemia, dan permasalahan reproduksi yang dapat ditimbulkan oleh kontaminasi logam berat. Penggunaan air sumur di sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari dapat menjadi penyebab turunnya tingkat kesehatan masyarakat karena timbulnya penyakit bawaan air (*water borne diseases*) seperti diare dan penyakit kulit. Selain timbulnya penyakit, pencemaran air tanah juga menyebabkan

ketidakseimbangan ekosistem dan kelangkaan air bersih untuk memenuhi kebutuhan makhluk hidup sehari-hari (Talabi & Kayode, 2019) (Amalia et al., 2022).

Ada berbagai penyebab pencemaran air tanah yang dapat terjadi sehingga penyebab-penyebab tersebut dapat diklasifikasikan sebagai sumber pencemaran air tanah sumber titik (*point source*) dan sumber tersebar (*non point source*). Sumber titik pencemaran yang cukup berpengaruh diantaranya adalah effluen air limbah perkotaan dan industri, termasuk juga industri pangan, pertambangan, manufaktur, dan penimbunan TPA. Air limbah perkotaan yang meliputi air limbah domestik yang berasal dari perumahan, institusi, perkantoran, restoran, laundry, dan tempat kegiatan domestik lain termasuk dalam pencemaran sumber titik (*point source*) yang cukup berpengaruh terhadap kualitas air tanah. Air limbah domestik diketahui mengandung komponen organik, anorganik, bakteri, dan virus. Pembuangan limbah domestik tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat menimbulkan permasalahan pencemaran lingkungan seperti eutrofikasi, pencemaran air tanah, dan berkurangnya kemampuan self-purifikasi dari badan air (Talabi & Kayode, 2019).

Landfill atau Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah seringkali juga menjadi penyumbang *point source pollution* pada air tanah. Lindi yang dihasilkan oleh timbunan sampah yang ada di TPA memiliki kandungan nitrogen, klorida, merkuri, besi, dan senyawa-senyawa lain. Seringkali, lindi TPA dengan perencanaan pengelolaan sampah yang kurang baik, pemilihan lokasi TPA yang kurang tepat, dan kesalahan dalam karakterisasi hidrogeologi dan permeabilitas tanah menjadi sumber kontaminasi pencemar pada air tanah di sekitar lokasi TPA. Pada sebagian besar TPA sudah diterapkan program monitoring kualitas air permukaan dan badan air sekitarnya, termasuk pengambilan sampel dan analisa rutin sebagai salah satu upaya perlindungan lingkungan terhadap potensi pencemaran air tanah (Talabi & Kayode, 2019).

3.4. Lindi

Pencemaran air tanah adalah suatu kejadian yang disebabkan oleh Lindi yaitu cairan yang

dihasilkan oleh sampah yang mengandung unsur-unsur terlarut dan tersuspensi (Tchobanoglous, G., et al. 1993). Lindi yang dihasilkan oleh suatu Tempat Pembuangan Akhir (TPA) dapat menyebabkan kontaminasi terhadap sumur penduduk di sekitarnya karena hal-hal berikut antara lain :

- a. Letak TPA lebih tinggi dari permukiman penduduk, sehingga air lindi sampah dapat mengalir ke daerah yang elevasinya lebih rendah dalam hal ini adalah lokasi permukiman di sekitarnya
- b. Letak TPA berada pada tempat yang agak miring, sehingga lindi mudah mengalir ke bawah
- c. Tanah atau batuan di bawah TPA merupakan batuan dengan memiliki permeabilitas tinggi
- d. Tidak adanya tumbuhan di sekitar TPA sehingga tidak ada penyerapan lindi yang dibantu oleh tumbuhan di sekitar TPA (Rilawati, 2009).

3.5. Logam Berat

Ada banyak penyebab keberadaan logam berat di lingkungan. Logam berat dapat menimbulkan efek-efek tertentu apabila dikonsumsi makhluk hidup. Semua logam berat apabila masuk ke dalam tubuh makhluk hidup secara berlebihan dapat menjadi racun. Namun, beberapa logam berat seperti Zn, Cu, Fe, Co, dan Mn tetap dibutuhkan oleh makhluk hidup dalam jumlah tertentu. Maka dari itu logam berat terbagi menjadi dua jenis yaitu sebagai berikut (Irhamni dkk, 2017):

- a. Logam berat esensial yang dibutuhkan oleh makhluk hidup dalam jumlah tertentu. Namun, jika jumlahnya melebihi ambang batas yang dibutuhkan oleh tubuh maka akan menimbulkan efek racun. Contohnya adalah Zn, Cu, Fe, Co, dan Mn.
- b. Logam berat non esensial yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya, bahkan dapat menimbulkan efek merugikan bagi manusia sehingga seringkali disebut sebagai logam beracun.

Beberapa logam secara alamiah dapat ditemukan dalam jumlah kecil dalam air tanah. Konsentrasi logam berat dalam air tanah bergantung pada karakteristik tanah di suatu lokasi, tipikal batuan yang ada di bawah tanah,

dan pengaruh aktivitas manusia di sekitar lokasi tersebut yang mampu menyumbang cemaran logam berat (Putra dan Mairizki, 2020). Cemaran logam berat akibat aktivitas manusia dapat terjadi di lokasi sekitar area industri manufaktur seperti industri cat, baterai, produk farmasi, penyamakan kulit, dan produk pertanian. Kontaminasi logam berat di lingkungan juga sering ditemui di area sekitar landfill atau tempat kegiatan penimbunan sampah (Bakis dan Tuncan. 2011); (Lu dkk., 2016).

3.6. Fitoremediasi

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memulihkan lingkungan tercemar adalah dengan fitoremediasi. Fitoremediasi dapat digunakan untuk air, tanah, maupun udara yang tercemar. Fitoremediasi adalah suatu cara untuk menghilangkan atau mengurangi polutan dari tanah atau perairan yang terkontaminasi menggunakan bantuan tumbuhan.

Fitoremediasi sebagai salah satu opsi pemulihan lingkungan tentunya juga memiliki kelebihan dan kelemahan. Contoh kelemahan fitoremediasi adalah memakan waktu proses yang relatif lama, bergantung kepada keadaan iklim, dapat menyebabkan terjadinya akumulasi logam berat pada jaringan dan biomasa tumbuhan, dan dapat mempengaruhi keseimbangan rantai makanan pada ekosistem (Caroline dan Moa, 2015). Namun, fitoremediasi juga memiliki keunggulan, seperti prosesnya dapat dilakukan secara insitu dan eksitu, mudah diterapkan dan tidak memerlukan biaya yang tinggi, teknologi yang ramah lingkungan dan bersifat estetik bagi lingkungan, serta dapat mereduksi kontaminan dalam jumlah yang besar.

3.7. Tumbuhan Fitoremediasi

Tidak semua tumbuhan dapat digunakan untuk fitoremediasi karena tidak semua tumbuhan dapat melakukan metabolisme, volatilisasi, dan akumulasi semua polutan dengan mekanisme yang sama. Berbagai penelitian telah banyak dilakukan untuk mengetahui kemampuan tumbuhan untuk menurunkan konsentrasi logam berat dalam air di antaranya adalah tumbuhan-tumbuhan berikut:

3.7.1. Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)

Eceng gondok mampu menyerap polutan logam berat seperti merkuri, kadmium, kromium, nikel (Irhamni, 2020), dan besi. Menurut penelitian Widyanto dan Susilo (2011), kemampuan penyerapan eceng gondok diketahui pada logam berat kadmium (Cd) sebesar 1,35 mg/g, merkuri sebesar 1,77 mg/g, dan nikel sebesar 1,16 mg/g dalam keadaan ketiga logam tersebut tidak tercampur, dan mampu menyerap berat kadmium (Cd) sebesar 1,23 mg/g, merkuri sebesar 1,8 mg/g, dan nikel sebesar 0,35 mg/g dalam keadaan ketiga logam tersebut tercampur dengan logam lain. Menurut Hartanti dkk. (2017), eceng gondok mampu menurunkan konsentrasi pencemar logam berat kromium (Cr) pada limbah cair penyamakan kulit. Pada hari ke-28, didapati konsentrasi kromium menurun sehingga konsentrasinya menjadi sebesar 2,23 mg, 2,20 mg, dan 2,14 pada kerapatan tumbuhan yang berbeda secara berturut-turut yaitu 6 individu, 4 individu, dan 2 individu. Selain itu, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa eceng gondok dapat mengurangi konsentrasi pencemar Cu dengan efektifitas penyisihan sebesar 68,73% dan kapasitas penyerapan sebesar 0,0016 mg/g eceng gondok (Djo dkk., 2017). Eceng gondok juga diketahui mampu menurunkan konsentrasi logam berat Fe pada air asam tambang dengan Fe bernilai 0,382 mg/l sebelum dilakukan fitoremediasi hingga nilai logam berat Fe tidak terdeteksi dengan menggunakan AAS (Azwardi dan Triyono, 2019).

3.7.2. Kayu apu (*Pistia stratiotes*)

Tumbuhan kayu apu memiliki sifat sangat toleran terhadap kontaminan air dengan nutrisi tinggi dari air limbah industri maupun air tercemar lainnya dan merupakan hiperakumulator yang berarti tumbuhan ini mampu mengakumulasi logam dengan konsentrasi tinggi ada jaringan akar dan tajuknya. Kayu apu dapat menurunkan konsentrasi pencemar logam berat seng (Zn) dalam air hingga sebesar 2,26 ppm dengan efisiensi removal sebesar 79,50% dengan menggunakan sebanyak 15 tumbuhan dalam waktu 15 hari (Oktaviani dkk., 2020). Untuk logam berat kromium (Cr), kayu apu mampu menyerap kandungan logam berat Cr dalam air limbah penyamakan kulit dengan efisiensi

removal sebesar 96,44% pada konsentrasi limbah 25% dan efisiensi removal sebesar 34,5% pada konsentrasi limbah 100% (Agustina, 2006). Kayu apu juga dapat menyerap logam berat Pb hingga konsentrasi 5 ppm (Sibero dkk., 2019) dan logam berat besi (Fe) pada air sumur sebanyak 1747,065 mg/kg berat keringnya dalam waktu 7 hari dengan daya penyerapan logam besi adalah 249,58 mg/kg/hari (Nurlina dkk., 2016).

3.7.3. Kiambang (*Salvinia molesta*)

Kiambang diketahui memiliki kemampuan untuk mengurangi konsentrasi pencemar logam berat dalam air. Menurut Nurafifah (2018), kiambang yang dikombinasikan dengan zeolit dapat menurunkan konsentrasi logam kadmium (Cd) dengan rata-rata penurunan sebesar 98,7%, 97,1%, 97,2%, dan 95,8% dengan perbedaan perlakuan. Kiambang juga dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi timbal (Pb) dengan kemampuan penurunan logam berat Pb sebanyak 1,75 mg/l sebesar 51,3% dalam waktu 6 hari (Diliarosta, 2018). Untuk penyerapan logam tembaga (Cu), kiambang diketahui memiliki efisiensi sebesar 97,87%; 81,28%; 50%; 35,31% dan 33,33% dengan paparan Cu secara berurutan sebesar 1, 2, 3, 4, dan 5 ppm (Handayani dkk., 2013). Sedangkan untuk besi (Fe) dan mangan (Mn) kiambang mampu menyerap sebesar 7,1 mg/L dan 2,16 mg/L dengan efisiensi removal untuk menurunkan kadar Fe sebesar 69,7% dan 84,3% untuk kadar Mn (Saputra dan Tangahu, 2020).

3.7.4. *Typha latifolia*

Typha latifolia telah dilaporkan oleh Irhamni (2020), dapat menyerap logam Hg, Pb, dan Cr. Sebelum dilakukan perlakuan dengan menggunakan tumbuhan ini konsentrasi Hg, Cr, dan Pb adalah sebesar 0,000315%, 0,057%, dan 0,057% sementara setelah dilakukan perlakuan secara berturut-turut konsentrasi logam berat turun menjadi 0,000307%, 0,03%, dan 0,044%. Pada penelitian Frischilla dkk. (2019), *Typha latifolia* diketahui juga dapat menyerap logam berat seng (Zn) dengan efisiensi sebesar 77,56% dalam waktu 14 hari dengan menggunakan 6 batang tanaman.

3.7.5. *Hydrilla verticillata*

Tumbuhan ini dapat bertahan hidup di

lingkungan yang terpapar logam berat timbal (Pb) hingga konsentrasi Pb 15 mg/l hingga 20 hari. Dengan kemampuan penyerapan Pb sebesar 3.653 – 24.700,4 mg/kg dari konsentrasi 5 mg/l hingga 15 mg/l (Mutmainnah dkk., 2015). Kemampuan untuk menyerap merkuri (Hg) dengan variasi terkecil (30 gram) adalah 1,03 mg/L selama 3 hari dan menurunkan logam berat seng (Zn) dengan konsentrasi awal 0,22 mg/l hingga terjadi penurunan menjadi <0,003 mg/l pada hari ke-9 pemaparan (Putri, 2018). Menurut Fuad dkk. (2013), *Hydrilla verticillata* juga dapat menyerap logam tembaga (Cu) sebesar 10,2 L/kg jika dikombinasikan dengan *Salvinia molesta* dengan perbandingan 10:25 pada limbah elektroplating.

3.7.6. Melati Air (*Echinodorus palaefolius*)

Menurut penelitian Caroline dan Moa (2015), tumbuhan melati air mampu menurunkan konsentrasi timbal pada reaktor limbah industri peleburan timbal (Pb) hingga <0,0764 mg/l dalam waktu 18 hari dengan jumlah logam yang diserap sebesar 4,87 mg/kg dengan presentase penyisihan sebesar 81,72% dan reaktor kontrol sebesar 6,38 mg/kg dengan presentase penyisihan 86,05%. Menurut penelitian Sari dkk. (2021), melati air memiliki kemampuan fitoremediasi dengan mengakumulasi logam berat besi Fe pada daun dengan efektivitas sebesar 32,843% dan logam berat kromium (Cr) sebesar 10,24% dalam 30 hari.

3.8. Studi Kasus: Penerapan Fitoremediasi Logam Fe pada Air Tanah di Sekitar Lahan Bekas TPA Keputih

TPA Keputih telah beroperasi dan menerima sampah sejak tahun 1970. Zona penimbunan dapat menerima hingga 4000 m³ berbagai jenis sampah mulai dari kegiatan domestik hingga sampah yang berasal dari industri. Penimbunan sampah pada TPA Keputih dimulai dari sisi Barat, Barat Laut, dan Timur Laut. Seiring berjalannya waktu, penimbunan meluas hingga seluruh area tertutup sampah. Pada tahun 2001, sisi Timur zona penimbunan mencapai ketinggian 10 meter di atas permukaan tanah (Mangimbulude dkk., 2016). Sejak saat itu, operasional TPA Keputih harus berhenti. Penyebabnya adalah adanya beberapa permasalahan lingkungan seperti ditemukan konsentrasi logam berat dan timbulan gas

metana yang tinggi di area penimbunan. Tingginya gas metana tersebut menyebabkan mudah terjadi ledakan dan kebakaran di lahan penimbunan sampah. Meskipun TPA Keputih operasionalnya telah berhenti dan ditutup pada tahun 2001, tetapi tidak menutup kemungkinan terjadinya pencemaran oleh lindi sampah organik maupun anorganik yang tertimbun di dalam lahan TPA tersebut.

Sebuah analisa terhadap kualitas air tanah di sekitar lahan bekas TPA Keputih pernah dilakukan oleh Rifani (2021) dengan mengambil sejumlah 5 sampel air tanah dari sumur warga yang terletak di wilayah RW 08 Kelurahan Keputih diperoleh hasil bahwa terdapat nilai parameter Fe sebesar 3,9 mg/L yang melebihi standar baku mutu Permenkes RI No. 32 Tahun 2017 tentang Air untuk Hygiene dan Sanitasi yaitu sebesar 1 mg/L. Hasil analisa parameter Fe pada sampel air tanah tersebut kemudian dijadikan dasar perlunya dilakukan fitoremediasi sebagai salah satu alternatif pemulihan air tanah tercemar di sekitar lahan bekas TPA Keputih.

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 14 Tahun 2010 tentang Standar Pelayanan Minimal Bidang Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang diketahui bahwa kebutuhan pokok air bersih minum adalah sebesar 60 liter/orang/hari, maka hal tersebut akan dijadikan acuan untuk menghitung kebutuhan air bersih satu rumah tangga. Perhitungan kebutuhan air bersih untuk satu rumah tangga adalah sebagai berikut :

Direncanakan
 Konsumsi air = 60 liter/orang/hari
 Jumlah individu = 5 orang dalam 1 rumah
 tangga

Maka, kebutuhan air bersih dalam 1 rumah tangga adalah
 Kebutuhan rumah tangga
 = 60 liter/orang/hari x 5 orang
 = 300 liter/hari

Berdasarkan perhitungan tersebut ditentukan debit fitoremediasi adalah sebesar 300 liter. Untuk menampung air yang akan diolah maka digunakan bak/kolam fiber sebagai reaktor dengan volume 320 liter dengan dimensi 100 x 80 x 40 cm yang ada di pasaran. Kolam fiber ini dipilih karena benda ini mudah didapat dan

mudah untuk dipindahkan sehingga cocok untuk dipakai untuk fitoremediasi skala rumah tangga.

Fitoremediasi untuk studi kasus ini akan diterapkan menggunakan sistem batch. Pada reaktor sistem batch tidak terjadi penambahan debit maupun perlakuan apapun mulai dari ketika fitoremediasi berlangsung hingga akhir proses. Sistem ini memiliki pola kerja yang sederhana, yaitu reaktan atau media tercemar langsung dibuat tergenang pada saat perlakuan dengan asumsi selama waktu genang atau waktu pemaparan tersebut media tercemar akan berproses dengan tumbuhan secara fitoremediasi (Fatoni, 2020).

Kemudian, dilakukan perhitungan untuk mengetahui jumlah tumbuhan yang dibutuhkan oleh satu reaktor dan beban logam Fe yang diterima saat fitoremediasi berlangsung. Menurut penelitian Nurlina dkk. (2016), kayu apu dapat menyerap dan mengakumulasi logam besi (Fe) pada tubuhnya sebesar 1.747,965 mg/kg bobot keringnya dalam waktu 7 hari. Mengacu melalui literatur tersebut maka waktu tinggal yang digunakan saat dalam reaktor remediasi adalah 7 hari. Konsentrasi logam Fe yang digunakan dalam perhitungan ini didapat dari konsentrasi Fe tertinggi yang ditemukan di sumur sampel yaitu sebesar 390 mg/l. Maka perhitungan beban logam Fe saat proses keseluruhan fitoremediasi adalah sebagai berikut :

Diketahui :
 Konsentrasi Fe = 3,90 mg/l (Rifani, 2021)
 Volume air = 300 liter

Maka,
 Beban x volume air = [Fe] x 300 l
 = 3,90 mg/l x 300 l
 = 1.170 mg Fe

Kemudian dapat dihitung kemampuan Fe yang akan diterima tiap tumbuhan.

Kemampuan tiap tumbuhan :

$$= \frac{\text{Beban Fe}}{\text{Kemampuan uptake Fe pada tumbuhan}}$$

$$= \frac{1.170 \text{ mg}}{1.747.965 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}}$$

$$= 0,669 \text{ kg}$$

$$= 669 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} & \text{Jumlah tumbuhan} \\ &= \frac{\text{Beban tumbuhan}}{\text{berat kering per tumbuhan}} \\ &= \frac{669 \text{ gram}}{8 \text{ gram (raisa.2017)}} \\ &= 83,625 \\ &= 84 \text{ tumbuhan} \end{aligned}$$

Maka, dalam satu kolam reaktor fitoremediasi berukuran 100 x 80 x 40 cm dapat diisi sebanyak 84 tumbuhan kayu apu untuk menyerap logam berat Fe yang terkandung dalam air tanah sumur warga yang tercemar. Setelah proses fitoremediasi secara batch dengan tumbuhan kayu apu selesai selama 7 hari, air bersih kemudian dialirkan menuju tangki penampung air bersih yang siap untuk digunakan oleh rumah tangga. Tangki yang akan digunakan adalah tangki dengan volume 650 liter, sehingga tangki dapat menampung air bersih sebanyak dua batch proses fitoremediasi.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari kajian literatur ini adalah tumbuhan-tumbuhan seperti eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), kayu apu (*Pistia stratiotes*), kiambang (*Salvinia molesta*), ekor kucing (*Typha latifolia*), hydrilla (*Hydrilla verticillata*), dan melati air (*Echinodorus palaefolius*) diketahui dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi untuk mengurangi konsentrasi berbagai logam berat seperti Pb, Cd, Fe, Mn, Zn, Cr, dan Hg karena dapat mengakumulasi logam berat dalam tubuhnya. Air tanah tercemar logam berat besi (Fe) pada sekitar lahan bekas TPA Keputih Surabaya dapat diremediasi dengan menggunakan tumbuhan air kayu apu (*Pistia stratiotes*) sebanyak 84 individu dalam waktu 7 hari sebelum dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari dalam skala rumah tangga.

DAFTAR PUSTAKA

Afdal. Sari, R.N. 2017. Karakteristik Lindi dari Tempat Pembuangan Sampah Akhir (TPA) Air Dingin, Kota Padang, Sumatera Barat. Prosiding SNFA 2016: 8-19.

Agustina, Nurul. 2006. Fitoremediasi Logam Berat Khrom (Cr) oleh Tanaman Air Kiapu (*Pistia stratiotes*). UII. Skripsi.

Arbi, Y., Siregar, R., Damanhuri, T.P. 2018. Kajian Pencemaran Air Tanah oleh Lindi di

Sekitar Tempat Pembuangan Akhir Sampah Air Dingin Kota Padang. Jurnal Sains dan Teknologi Vol.18(1).

Azwari, F., Triyono, J.. 2019. Fitoremediasi Logam Fe dalam Air Asam Tambang Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). Jurnal Buletin LOUPE Vol. 15(02): 42-45.

Bakis, R., Tuncan, A. 2011. An investigation of heavy metal and migration through groundwater from the landfill area of Eskisehir in Turkey. Environ. Monit. Assess. 176(1):87-98.

Caroline, J., Moa, G.A. 2015. Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) pada Limbah Industri Peleburan Tembaga dan Kuningan. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III 2015. Surabaya: Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.

Caroline, J., Moa, G.A. 2015. Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) pada Limbah Industri Peleburan Tembaga dan Kuningan. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III 2015. Surabaya: Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.

Diliarosta, S. 2018. Fitoremediasi Logam Berat Timbal (Pb) Menggunakan Kiambang (*Salvinia molesta*) pada Ambang Batas, Kualitas Air Irigasi. Jurnal SEMESTA Vol.01(01).

Djo, Y. H. W., Suastuti, D.A., Suprihatin, L.E., Dwijani, W. 2017. Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) untuk Menurunkan COD dan kandungan Cu dan Cr Limbah Cair Laboratorium Analitik Universitas Udayana. Journal of Applied Chemistry Vol. 5(8).

Fajariyah, C. 2017. Studi Literatur Pengolahan Lindi Tempat Pemrosesan Akhir (PA) Sampah dengan Teknik Constructed Wetland Menggunakan Tumbuhan Air. Surabaya: Departemen Teknik Lingkungan ITS.

Fatoni, A. 2020. Fitoremediasi Logam Berat (Zn) Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan Sistem Batch. Skripsi. Surabaya: Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya.

Frischilla, Y. 2019. Kombinasi Remediasi *Typha latifolia*, Fermentasi Jerami dan *Pseudomonas aeruginosa* dalam Penyerapan Logam Berat Seng (Zn) dari Limbah Cair

- Industri Batik. Skripsi. Sleman: Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Fuad, M.T., Aunurohim, Nurhidayati, T. 2013. Efektivitas Kombinasi *Salvinia molesta* dengan *Hydrilla verticillata* dalam Remediasi Logam Cu pada Limbah Elektrolisis. *Jurnal Sains & Seni ITS* Vol.2(02).
- Handayani, I.F., Setyowati, E., Santoso, A.M. 2013. Efisiensi Fitoremediasi pada Air Terkontaminasi Cu Menggunakan *Salvinia molesta* Mitchel. *Proceeding Biology Education Conference* Vol. 10(1).
- Hartanti, P.I., Haji, A.T.S., Wirosodarmo, R. 2017. Pengaruh Kerapatan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) terhadap Penurunan Logam Chromium Pada Limbah Cair Penyamakan Kulit. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan* Vol.1(2): 31-35.
- Irhamni dkk. 2017. Kandungan Logam Berat pada Air Lindi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Kota Banda Aceh. *Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana (SNP) Unsyiah* 2017.
- Irhamni. 2020. Efektifitas Tumbuhan Air dalam Menyerap Logam Berat (Cr, Hg, Pb) secara Fitoremediasi pada Lindi Tempat Pembuangan Akhir Kota Banda Aceh. *Disertasi. Universitas Sumatera Utara, Medan.*
- Lu, Y., Tang, C, Chen, J., Yao, H. 2016. Assessment of major ions and heavy metals in groundwater: a case study from Guangzhou and Zhuhai of the Pearl River Delta, China, Vol. 10. *Frontiers of Earth Science*, pp 340-351.
- Mangimbulude, J.C. dkk. 2016. Hydrochemical Characterization of a Tropical, Coastal Aquifer Affected by Landfill Leachate and Seawater Intrusion. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 13(4): 49-57.
- Miharto, D.S., Karimuna, S.R., Fachlevy, A.F. 2017. Gambaran Kualitas Air Sumur Gali pada Pemukiman Warga di Sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Punggolaka Kota Kendari 2016. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kesehatan Masyarakat* Vol.2(6):1-7.
- Mutmainnah, F., Arinafril., Suheryanto. 2015. Fitoremediasi Logam Berat Timbal (Pb) dengan Menggunakan *Hydrilla verticillata* dan Najas *indica*. *Jurnal Penelitian Sains* Vol.17(3); 111-120.
- Nurafifah, S. 2016. Pengaruh Kombinasi Kiambang (*Salvinia molesta*) dan Zeolit terhadap Penurunan Logam Berat Kadmium (Cd). Skripsi Universitas Airlangga, Surabaya.
- Nurlina, Suhadiyah, S., Umar, M.R. 2016. Akumulasi Logam Berat Besi (Fe) pada *Kiapus Pistia stratiotes* L. dari Air Sumur Sekitar Workshop UNHAS. *Prosiding Seminar Nasional from Basic Science to Comprehensive Education*:151-155.
- Nurlina, Suhadiyah, S., Umar, M.R. 2016. Akumulasi Logam Berat Besi (Fe) pada *Kiapus Pistia stratiotes* L. dari Air Sumur Sekitar Workshop UNHAS. *Prosiding Seminar Nasional from Basic Science to Comprehensive Education*:151-155.
- Oktaviani, L., Nilandita, W., Suprayogi, D. 2020. Fitoremediasi Tanaman Apu-Apu (*Pistia stratiotes*) terhadap Kadar Logam Zn Berdasarkan Variasi Jumlah Tanaman. *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan* Vol. 6(1);44-52.
- Putra, A.Y., Mairizki, F. 2020. Quality Assessment for Drinking Purpose Based on Physicochemical Analysis in Teluk Nilap Area, Rokan Hilir, Riau, Indonesia. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment and Technology* Vol. 5 (3), 155-158.
- Putri, A. S. 2018. Studi Penyerapan Logam Berat Merkuri (Hg) dan Seng (Zn) dengan Menggunakan Metode Fitoremediasi pada Tanaman *Hydrilla* (*Hydrilla verticillata*). Skripsi. Universitas Sumatera Utara: Medan.
- Raissa, D.G. 2017. Fitoremediasi Air yang Tercemar Limbah Laundry dengan Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*). Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember. J. U. Duncombe, "Infrared navigation—Part I: An assessment of feasibility (Periodical style)," *IEEE Trans. Electron Devices*, Vol. ED-11 (1959, Jan.) 34–39.
- Ramadhan, M.M. 2017. Kajian tentang Air Asin pada Air Tanah Dangkal di Kecamatan Kenjeran Kota Surabaya. *Jurnal Swara Bhumi* Vol.04(3): 24-33.
- Rifani, M. 2021. Desain Teknologi Remediasi Air Tanah tercemar Di Lahan Bekas TPA Keputih Menggunakan Metode Filtrasi-Adsorpsi. Skripsi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Rilawati, D. 2009. Kajian Penggunaan Boisca untuk Pemanfaatan Air Lindi (Leachate)

- menjadi Pupuk Cair. Tesis. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Saparuddin, 2010. Pemanfaatan Air Tanah Dangkal sebagai Sumber Air Bersih di Kampus Bumi Bahari Palu. *Jurnal SMARTek* 8(2): 143-152.
- Saputra, R.A., Tangahu, B.V. 2020. Studi Literatur Kemampuan Tumbuhan *Salvinia molesta* dan *Salvinia natans* Terhadap Penyerapan Fe dan Mn pada Pengolahan Air Asam Tambang. *Jurnal Teknik ITS* Vol. 9(2); F191-F196.
- Sari, E., Sari, M., Awal, R., Firda, A. 2021. Akumulasi Logam Berat pada Daun *Echinodorus palaefolius* pada Variasi Media Penyaring Selama Remediasi Air Lindi. *Bio-Lectura: Jurnal Pendidikan Biologi* Vol.8(01); 79-86.
- Sasongko, E.B., Widyastuti, E., Priyono, R.E. 2014. Kajian Kualitas Air dan Penggunaan Sumur Gali oleh Masyarakat di Sekitar Sungai Kaliyasa Kabupaten Cilacap. *Jurnal Ilmu Lingkungan* Vol. 12(2): 72:82.
- Siswoyo, E., Habibi, GF. 2018. Sebaran Logam Berat Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada Air Sungai dan Air Sumur di Daerah Sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Wukirsari, Gunung Kidul, Yogyakarta. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan* Vol.8(01): 1-6.
- Talabi, A.O., Kayode, T.J. 2019. Groundwater Pollution and Remediation. *Journal of Water Resource and Protection* 11, 1-19.
- Talabi, A.O., Kayode, T.J. 2019. Groundwater Pollution and Remediation. *Journal of Water Resource and Protection* 11, 1-19.
- Tchobanoglous, G., et al. 1993. *Integrated Solid Waste Management*. New York: Mc Graw Hill.
- Vetrimurugan, E., Brindha, K., Elango, L., Ndwandwe, O.M. 2017. Human exposure risk to heavy metals through groundwater used for drinking in an intensively irrigated river delta. *Journal of Appl. Water Sci.* 7:3267-3280.
- Wahyuni, Wardoyo, SE., Arizal, R. 2017. Kualitas Air Sumur Masyarakat di Seitar Tempat Pembuangan Akhir Sampah (TPAS) Rawa Kucing Kota Tangerang. *Jurnal Sains Natural* Vol.7(2).
- Widyanto. Susilo. 2011. *Enceng Gondok Pembersih Polutan Logam Berat*. Jakarta.