

Kajian Fitoremediasi untuk Menurunkan Konsentrasi Logam Berat di Wilayah Pesisir Menggunakan Tumbuhan Mangrov (Studi Kasus: Pencemaran Merkuri di Teluk Jakarta)

Yulyana Suci Nursagita dan Harmin Sulistyaning
Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: yulyanasuci@gmail.com

Abstrak—Indonesia merupakan negara besar yang memiliki sumber daya alam melimpah, sehingga kegiatan industri di Indonesia juga semakin meningkat. Salah satu pencemar yang terdapat di wilayah pesisir adalah logam berat. Pencemar logam berat dihasilkan dari limbah industri mulai dari industri elektronik, industri cat dan Industri yang lain. Pencemaran wilayah pesisir oleh logam berat dapat mengakibatkan terganggunya ekosistem di wilayah pesisir. Hal itu menyebabkan terakumulasinya logam berat di tubuh biota di wilayah pesisir, yang mana dapat masuk kedalam tubuh manusia jika dikonsumsi. Terakumulasinya logam berat di dalam tubuh manusia dapat menyebabkan terganggunya Kesehatan. Diperlukan adanya metode dalam meremediasi polutan logam berat di wilayah pesisir. Dipilihlah metode Fitoremediasi sebagai cara untuk menurunkan konsentrasi logam berat di wilayah pesisir. Metode ini dipilih karena operasionalnya yang mudah, ramah lingkungan, murah dan dapat meremediasi dalam jangka waktu yang lama. Tumbuhan yang digunakan untuk metode ini adalah tumbuhan mangrove. Mangrove merupakan tumbuhan yang dapat bertahan hidup di kondisi lingkungan yang ekstrem salah satunya adalah kadar salinitas yang tinggi. Studi kasus di wilayah pesisir Teluk Jakarta menunjukkan bahwa wilayah pesisir tersebut telah tercemar logam berat dimana logam berat merkuri (Hg) sudah terakumulasi pada biota laut yang terdapat di sekitar Teluk Jakarta. Metode dalam mengurangi konsentrasi logam berat merkuri (Hg) dengan fitoremediasi menggunakan empat jenis mangrove *Avicennia alba*, *Sonneratia alba*, *Bruguiera gymnorizha*, *Rhizophora mucronate*. Susunan penanaman berdasarkan zonasi mangrove yang ada. Kemampuan dalam menyisihkan logam berat tergantung dengan jumlah tumbuhan dan waktu remediasi. Semakin cepat waktu remediasi semakin banyak tumbuhan yang diperlukan, jika waktu remediasi yang digunakan cukup lama maka semakin sedikit jumlah tumbuhan.

Kata Kunci—Fitoremediasi, Logam Berat, Mangrove, Wilayah Pesisir.

I. PENDAHULUAN

INDONESIA merupakan negara besar yang terdiri dari ribuan pulau. Sebagian besar wilayah Indonesia diselimiti oleh perairan dan sekitar 70% dari total wilayah Indonesia adalah laut. Hal ini menyebabkan garis pantai di Indonesia memiliki panjang sekitar 99.093 km. Eksplorasi dan eksploitasi pun dilakukan dalam rangka memanfaatkan segala yang berada di alam Indonesia ini. Namun, eksplorasi dan eksploitasi yang berlebihan menjadikan sistem pemanfaatan yang buruk. Hingga mampu merusak ekosistem yang ada atau bahkan merusak sedikit demi sedikit dengan pencemaran yang dilakukan oleh oknum yang tidak

bertanggung jawab. Masyarakat yang kurang bijak pun terkadang menjadi sumber polutan itu sendiri seperti membuang sampah sembarangan. Perilaku seperti ini dilakukan terus menerus hingga terjadi pencemaran lingkungan.

Akibat dari pencemaran lingkungan selain akan merusak ekosistem juga akan memberikan dampak yang merugikan terhadap kesehatan manusia [1]. Pencemaran memiliki banyak jenis, seperti pencemaran udara, pencemaran tanah, pencemaran air, hingga pencemaran suara. Dari setiap jenis pencemaran memiliki lingkungannya masing-masing. Terutama pada pencemaran air terdapat dua lingkungan yaitu pencemaran lingkungan sungai/muara dan pencemaran lingkungan laut. Pencemaran laut diartikan sebagai masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan laut oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan laut tidak sesuai dengan mutu dan atau fungsinya [2].

Pencemaran laut dapat dibedakan atas pencemaran pantai dan pencemaran lepas pantai/laut lepas. Pencemaran pantai banyak disebabkan oleh kegiatan manusia di darat, sedangkan pencemaran laut lepas sering disebabkan oleh tumpahan minyak dari alat transportasi laut. Pencemaran pantai dapat digolongkan menjadi: (1) pencemaran karena limbah industri (*industrial pollution*); (2) pencemaran karena sampah (*sewage pollution*); (3) pencemaran karena sedimentasi (*sedimentation pollution*); (4) pencemaran karena kegiatan pertanian (*agricultural pollution*). Bahan pencemar yang saat ini menjadi pusat perhatian oleh berbagai kalangan adalah logam berat. Dengan banyaknya bahan pencemar yang masuk ke dalam perairan tentu menyebabkan turunnya kualitas wilayah pesisir tersebut [3].

Mangrove merupakan jenis tumbuhan yang unik karena bisa tumbuh di kawasan salinitas tinggi [4]. Mangrove memiliki banyak fungsi fisik, ekonomi, sosial budaya, dan lingkungan bagi masyarakat dan kawasan pesisir. Akar-akar mangrove yang kokoh akan dapat menangkap sedimen dan mencegah abrasi. Selain itu, mangrove pun dapat berperan sebagai pelindung dari gelombang pasang yang biasanya sering kali dihadapi mereka yang tinggal di dekat laut. Selain itu kelestarian hutan mangrove memberikan kontribusi terhadap keberlanjutan keragaman biota yang berasosiasi dengan mangrove [5].

Salah satu kemampuan yang dimiliki oleh mangrove yaitu tumbuhan ini sanggup melakukan proses fitoremediasi. Fitoremediasi sendiri adalah metode untuk meremediasi

lingkungan tercemar menggunakan tumbuhan. Proses remediasi ini dapat berupa penghancuran, inaktivasi maupun imobilisasi polutan ke bentuk yang tidak berbahaya. Teknik fitoremediasi ini sendiri sangat cocok digunakan untuk daerah pesisir dengan menggunakan mangrove sebagai tumbuhan yang meremediasi.

Hal tersebut dikarenakan ekosistem mangrove memiliki kemampuan alami untuk membersihkan lingkungan dari berbagai zat pencemar sehingga penggunaan mangrove sebagai penyaring logam-logam berat dalam perairan pesisir sangat tepat [6].

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka disusunlah studi literatur terhadap terjadinya pencemaran wilayah pesisir oleh logam berat. Selain itu dikaji pula pencemaran logam berat di wilayah pesisir menggunakan metode fitoremediasi dengan tumbuhan mangrove. Studi pustaka ini diharapkan dapat memberikan informasi, uraian, dan analisis tentang pencemaran wilayah pesisir oleh logam berat yang nantinya dilakukan penanganan dengan metode fitoremediasi menggunakan tumbuhan mangrove yang mana akan dihasilkan pula keuntungan dari berbagai aspek lain. Selanjutnya dari kajian pustaka ini, akan dilakukan studi kasus yang berkaitan dengan bahasan yang telah diulas.

II. METODE PENULISAN

Metode dari penulisan ini yaitu menggunakan studi literatur dengan mengumpulkan serta menganalisis berbagai pustaka. Kajian pustaka dilakukan dengan menelusuri berbagai referensi yang berkaitan dengan masalah pencemaran wilayah pesisir oleh logam berat. Selain itu dilakukan pula kajian pustaka yang berkaitan dengan fitoremediasi oleh tumbuhan mangrove. Jenis pustaka antara lain jurnal, buku, laporan, dan *website* dengan pokok pembahasan terkait wilayah pesisir, logam berat, fitoremediasi, dan mangrove. Studi kasus yang diambil dalam penulisan ini adalah kasus pencemaran logam berat Hg di wilayah pesisir Teluk Jakarta tepatnya di Muara Angke dengan menganalisis salah satu alternatif penanganan yaitu dengan fitoremediasi oleh mangrove dari berbagai pustaka yang telah dianalisis.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pesisir

Wilayah pesisir adalah wilayah pertemuan antara wilayah daratan (terrestrial) dan wilayah laut. Secara ekologis Ketchum mendefinisikan wilayah pesisir adalah sebuah wilayah yang dinamik dengan pengaruh daratan terhadap lautan atau sebaliknya. Wilayah pesisir dan lautan merupakan daerah yang memiliki potensi sumber daya yang melimpah dan dapat dimanfaatkan untuk pembangunan [7]. Wilayah pesisir adalah wilayah yang terpenting bagi manusia, namun sering kali menjadi wadah utama limbah yang disebabkan oleh kegiatan manusia. Kontaminan beracun seperti logam semakin meningkat selama beberapa dekade terakhir karena meningkatnya aktivitas manusia di wilayah pesisir [8].

B. Logam Berat

Logam berat adalah unsur-unsur kimia dengan massa jenis lebih besar dari 5 gram/cm³. Jika kadar logam berat di suatu

perairan terlalu rendah maka akan menyebabkan terjadinya defisiensi terhadap kehidupan organisme, sedangkan apabila logam berat dalam jumlah yang tinggi dapat bersifat toksik. Salah satu sifat logam berat adalah sulit didegradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan [6]. Sifat logam berat yang dapat membahayakan lingkungan dan manusia adalah logam berat sulit didegradasi, logam berat dapat terakumulasi dalam tubuh organisme dan konsentrasi dapat semakin tinggi, logam berat mudah terakumulasi pada sedimen. Sumber pencemaran logam berat terbagi menjadi dua sumber yaitu sumber alami dan sumber buatan. Sumber alami cirinya:

1. Berasal dari daerah pantai (*coastal supply*), yang bersumber dari sungai, abrasi oleh aktivitas gelombang.
2. Berasal dari logam yang dibebaskan aktivitas gunung berapi dan logam yang dibebaskan proses kimiawi.
3. Berasal dari lingkungan daratan dan dekat pantai, termasuk logam yang dibawa oleh ikan dari atmosfer berupa partikel debu.

Sumber buatan berupa logam-logam berat yang dibebaskan oleh proses industri atau kegiatan pertambangan. Beberapa jenis logam yang termasuk kategori logam berat sebagai berikut: Aluminium (Al), Antimony (Sb), Cadmium (Cd), Kromium (Cr), Kobalt (Co), Merkuri (Hg), Cuprum (Cu), Besi (Fe), Mangan (Mn), Molybdenum (Mo), Selenium (Se), perak (Ag), Timah (Sn), Plumbum (Pb), Vanadium (V) dan Zinc (Zn). Logam berat seperti; Merkuri (Hg), Cadmium (Cd), Plumbum (Pb), Chromium (Cr), Cuprum (Cu), Cobalt (Co) sangat berbahaya bila kadar yang terlarut dalam tubuh manusia cukup tinggi atau melebihi ambang batas baku.

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi toksisitas logam berat diantaranya; (1) Tingkat dan Lamanya Paparan Telah diketahui bahwa logam berat mempunyai sifat bioakumulatif dan biomagnifikasi. (2) Bentuk Kimia Bentuk kimia logam berat dapat mempengaruhi toksisitas logam berat tersebut. Sebagai contoh merkuri dalam bentuk HgCl₂ lebih toksik daripada dalam bentuk merkuro (HgCl). (3) Kompleks Protein Logam Berat Beberapa logam berat dapat berikatan dengan protein karena sifat afinitas yang tinggi terhadap gugus S. (4) Faktor pejamu seperti umur, jenis kelamin, ras, kondisi fisiologis dan anatomi tubuh yang dapat mempengaruhi toksisitas logam berat di dalam tubuh manusia [9].

Logam berat yang masuk ke dalam lingkungan sebagian akan terserap ke dalam tanah dan sebagian berpindah ke organisme. Logam yang terkandung di suatu perairan akan mengendap di dasar perairan dan membentuk sedimen. Logam berat yang menjadi sedimen tersebut menyebabkan biota laut yang mencari makanan di dasar perairan kemungkinan besar akan terkontaminasi logam berat. Jika dikonsumsi dalam jangka waktu tertentu akan menyebabkan keracunan dalam tubuh [10].

C. Pencemaran Logam Berat terhadap Wilayah Pesisir

Logam berat yang berada di dalam sedimen merupakan salah satu ancaman terbesar bagi wilayah pesisir karena akan meluas secara terus menerus dan sulit untuk didegradasi. Logam berat dapat terakumulasi di biota pesisir melalui rantai makanan [11]. Secara antropogenik logam berat dapat ke wilayah pesisir melalui berbagai sumber termasuk industri, limbah, dan buangan rumah tangga. Salah satu ciri

tercemarnya wilayah pesisir dengan logam berat yaitu dengan meningkatnya salinitas dan suhu, dan menurunnya tingkat pH [12].

Pencemaran logam berat di wilayah pesisir sekitar Jakarta dan Riau berasal dari limbah, karena wilayah pesisir tersebut dekat dengan kegiatan industri. Masyarakat yang tinggal di daerah pesisir memiliki resiko yang besar terkontaminasi oleh logam berat [9]. Meningkatnya kegiatan industri yang menggunakan bahan baku logam juga menyebabkan meningkatnya pencemaran logam berat di wilayah pesisir. Jenis-jenis logam berat yang sering digunakan oleh industri antara lain raksa (Hg), Kromium (Cr), Arsen (As), cadmium (Cd), tembaga (Cu), Timbal (Pb), Seng (Zn) dan Nikel (Ni) [13].

Konsentrasi logam berat dapat dipengaruhi dengan BOT (Bahan Organik Terlarut), COD, dan BOD. BOT memiliki hubungan yang signifikan dengan konsentrasi logam berat, jika pada suatu perairan tinggi maka konsentrasi logam berat pada sedimen juga akan meningkat dan sebaliknya jika BOT pada sedimen rendah maka konsentrasi logam berat dalam sedimen akan menurun. Jika pada suatu perairan memiliki nilai BOD yang tinggi maka konsentrasi logam berat akan semakin menurun, pengaruh peningkatan BOD terhadap penurunan logam berat di sedimen menunjukkan hubungan yang signifikan. Untuk COD konsentrasi logam berat berfluktuasi, dimana peningkatan COD tidak menunjukkan hubungan yang signifikan dengan peningkatan logam berat [14].

D. Tumbuhan Mangrove

Mangrove adalah hutan yang toleran terhadap garam, yang terletak di zona intertidal dari pantai, estuari, sungai pasang surut, daerah terpencil, laguna, rawa-rawa, dan daerah berlumpur di daerah tropis dan sub tropis. Mangrove berada di keadaan lingkungan yang tidak baik, dimana semua organisme yang hidup di dalamnya akan beradaptasi dengan baik untuk menghadapi salinitas yang tinggi, kecepatan angin, suhu, tanah berlumpur, dan gangguan pasang surut yang tinggi [15]. Mangrove dapat tumbuh pada ketinggian gelombang pasang setinggi 1,1 meter [16]. Dengan kondisi lingkungan seperti itu, beberapa jenis mangrove mengembangkan mekanisme yang memungkinkan secara aktif mengeluarkan garam dari jaringan, sementara yang lainnya mengembangkan sistem akar napas untuk membantu memperoleh oksigen bagi sistem perakarannya [17].

Pembagian zona mangrove dibagi menjadi 4 zona yaitu zona mangrove terbuka, tengah, payau, dan daratan. Mangrove terbuka berada di bagian yang berhadapan dengan laut, pada zona ini didominasi oleh *Avicennia* dan kadang *Rhizophora* juga dapat terdapat pada zona ini. Mangrove tengah terletak di belakang zona terbuka, umumnya didominasi oleh *Rhizophora* namun *Bruguiera* juga sering tumbuh pada zona ini. Mangrove payau berada disepanjang sungai berair payau hingga hampir tawar. Di zona ini biasanya didominasi oleh komunitas *Nypa* atau *Sonneratia*. Mangrove daratan merupakan zona yang terletak paling jauh dari laut atau paling dekat ke arah darat.

Beberapa faktor yang mempengaruhi dalam pertumbuhan mangrove yaitu kondisi substrat, salinitas, oksigen, pH, dan nutrisi. Menghadapi variasi-variasi kondisi lingkungan seperti ini, secara alami akan terbentuk zonasi vegetasi mangrove.

E. Penurunan Konsentrasi Logam Berat dengan Fitoremediasi oleh Tumbuhan Mangrove

Metode fitoremediasi terbukti efisien dalam menghilangkan dan menurunkan berbagai jenis kontaminan baik di air maupun tanah yang tercemar. Tanaman yang digunakan untuk fitoremediasi beraneka ragam, baik yang berwujud seperti rumput maupun yang lainnya. Tanaman hiperakumulator merupakan tanaman yang dapat hidup pada keadaan dengan konsentrasi logam berat yang tinggi, tanaman ini juga dapat menyerap logam berat. Sehingga dengan tanaman hiperakumulator konsentrasi logam berat bisa berkurang [18].

Ada beberapa mekanisme yang terlibat dalam proses remediasi di tanaman tropis untuk meremediasi kontaminan logam yang ada di air mengubahnya menjadi tidak beracun [19]. Berikut macam-macam mekanisme fitoremediasi untuk menurunkan konsentrasi logam berat:

1) Rizodegradasi

Kontaminan yang ada di dalam air akan diserap ke akar tanaman. Pengendapan merupakan metode yang dilakukan sepanjang adsorpsi dan absorpsi logam yang diangkut ke akar-akar tanaman. Mekanisme ini mirip dengan fitoekstraksi, untuk hasil yang efektif mekanisme ini dilakukan untuk meremediasi polutan di badan air atau dengan cara hidroponik.

2) Fitoekstraksi

Fitoekstraksi merupakan proses pengangkutan kontaminan dari lingkungan melalui proses absorpsi dan translokasi. Tumbuhan berfungsi sebagai transporter logam untuk melintas membran sel. Tumbuhan akan menyerap unsur-unsur dari tanah yang tercemar dan menumpuknya di berbagai organ tumbuhan. Mekanisme ini sering disebut sebagai *phytomining* [18]. Spesies tanaman hiperakumulator banyak digunakan untuk menghilangkan kontaminan logam karena memberikan hasil yang lebih efektif daripada akumulator dan *excluder*.

3) Fitoakumulasi

Fitoakumulasi ini dapat dilakukan dengan xilem dimana xilem mengangkut logam berat atau kontaminan bersama dengan air dan nutrisi tanah, logam berat diangkut melintas membran sel dengan bantuan *phytosiderophores*. Setelah logam masuk ke dalam sitoplasma sel tumbuhan yang dapat diangkut menjadi vakuola sel dimana kontaminan beracun diubah menjadi bentuk non-toksik dengan proses kompartemensasi [19]. Fitoakumulasi adalah mekanisme penyerapan logam berat oleh tumbuhan yang dilakukan melalui akar kemudian di translokasi ke batang atau daun. Penggunaan fitoakumulasi untuk meremediasi logam berat dipilih berdasarkan kemampuan akar untuk mengabsorpsi logam berat, translokasi dan konsentrasi logam berat didalam tanah. Faktor lingkungan yang mempengaruhi fitoakumulasi yaitu pH dan salinitas dan suhu [20].

4) Fitovolatilisasi

Fitovolatilisasi merupakan proses pembuangan kontaminan yang terkumpul dari daun ke atmosfer melalui proses transpirasi. Kontaminan diubah menjadi bentuk yang larut dalam air dan tidak beracun selama pengangkutannya dari akar ke daun di sepanjang molekul air dan kompartemensasi di vakuola dan kemudian kontaminan mudah menguap. Logam akan terakumulasi di epidermis

Tabel 1.
Baku mutu logam berat hg pada air laut

Peruntukan	Satuan	Logam Hg
Perairan Pelabuhan	mg/L	0,003
Wisata Bahari	mg/kg	0,002
Kehidupan Biota Laut	mg/kg	0,001

Tabel 2.
Baku mutu logam hg dalam sedimen

Standar Kualitas Sedimen	Rentang	Satuan	Logam Hg
EPA Sediment Quality	Tidak tercemar	mg/kg	<0,18
	Tercemar ringan	mg/kg	0,18-0,64
	Sangat tercemar	mg/kg	>0,64
Sediment Quality Criteria Guideline	ISQG-low	mg/kg	0,2
	ISQG-high	mg/kg	2
Pollution Control Departement of Thailand	-	mg/kg	0,18

daun, mereka bisa terakumulasi di mesofil, akumulasi logam dalam mesofil menyebabkan beberapa efek pada tanaman.

F. Baku Mutu Logam Berat Hg di Wilayah Pesisir

Pada penelitian yang ada Indonesia belum memiliki baku mutu yang spesifik mengenai sedimen dikawasan pesisir. Indonesia hanya memiliki baku mutu air laut yang tertulis dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 tahun 2004 tentang baku mutu air laut (Tabel 1).

Baku mutu untuk sedimen yang digunakan dari beberapa sumber karena di Indonesia belum terdapat peraturan tentang baku mutu sedimen. Baku mutu sedimen dari beberapa negara ditunjukkan pada Tabel 2.

G. Penerapan Penyisihan Logam Berat Hg di Wilayah Pesisir Teluk Jakarta

Wilayah Teluk Jakarta memiliki tingkat konsentrasi TSS yang melebihi baku mutu. Batas maksimal toleransi TSS pada suatu perairan dikatakan memiliki kualitas air yang baik adalah tidak melebihi 20 mg/L sedangkan nilai terendah hasil estimasi adalah 28,0233 mg/L. Konsentrasi TSS pada Teluk Jakarta umumnya terpusat pada wilayah sekitar daratan dan semakin mendekati perairan lepas konsentrasinya semakin berkurang. Suhu perairan di teluk Jakarta berkisar 28-32°C wilayah yang memenuhi baku mutu pada wilayah yang dekat dengan daratan dimana suhu berkisar 28,2°C – 29,62°C. Semakin menjauhi daratan suhu permukaan semakin menurun. Secara umum hasil penelitian menunjukkan bahwa kontribusi input masukan dari daratan dibawa melalui sungai atau drainase yang masuk ke wilayah pesisir mempengaruhi kondisi perairan Teluk Jakarta terutama partikel tersuspensi (TSS), suhu, kualitas air, dan salinitas. TSS yang didapatkan berdasarkan hasil penelitian tinggi di wilayah pesisir. Hal ini membuktikan bahwa kondisi perairan Teluk Jakarta Sebagian besar dipengaruhi oleh aktivitas manusia di daratan [21].

Akumulasi logam berat merkuri (Hg), Kadmium (Cd), Timbal (Pb), krom (Cr) dan timah (Sn) dalam sedimen dan biota, terutama pada kerang hijau. Kandungan merkuri (hg)

dalam sedimen misalnya, meningkat dari 63,73 mg/kg pada 2014 menjadi 78,78 mg/kg pada 2015. angka tersebut sudah melebihi baku mutu logam berat Hg dalam sedimen yang digunakan yaitu dengan rentang 0,18 – 0,64 mg/kg. Air laut disekitar Teluk Jakarta mengandung logam berat merkuri (Hg) sebesar 0,0015 mg/L. Sedangkan batas kadar Hg untuk kehidupan biota laut sebesar 0,001 mg/L. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan untuk sedimen di Teluk Jakarta tercemar berat, sedangkan untuk perairannya tercemar sedang. Kegiatan aktivitas di pelabuhan seperti pengecetan kapal, pembuangan air ballast, docking kapal dan pengisian bahan bakar mampu memberi kontribusi logam berat ke perairan. Selain itu, adanya berbagai industri di kawasan pesisir seperti pabrik kimia, cat, tekstil dan batu baterai diperkirakan membuang limbahnya melalui sungai atau drainase melewati muara menuju Teluk Jakarta [22]. Cara lain untuk memantau persebaran logam berat dalam perairan laut yaitu dengan mengukur akumulasi logam berat di dalam tubuh biota laut. Penelitian tentang akumulasi logam berat dalam biota laut yang biasa dikonsumsi oleh masyarakat mulai dilakukan pada tahun 1979 dan pengamatan terakhir dilakukan pada tahun 2014.

Pada penelitian yang terdahulu digunakan jenis tanaman mangrove *Avicennia Marina*, *Rhizophora Mucronata*, dan *Bruguiera Gymnorhiza* sebelum dilakukan pengamatan dilakukan aklimatisasi pada tumbuhan mangrove dimana pada setiap media tanaman ditambahkan logam berat merkuri (Hg) Sebesar 150 mg/L. Dimana hasil aklimatisasi tersebut sebagai berikut: Secara berturut-turut pada jenis mangrove *Rhizophora mucronata* pada minggu ke 5 konsentrasi merkuri yang terakumulasi sebesar 92,47 mg/L, *Bruguiera gymnorhiza* minggu ke 5 konsentrasi merkuri yang terakumulasi sebesar 80,44 mg/L, dan *Avicennia marina* minggu ke 5 konsentrasi merkuri yang terakumulasi sebesar 76,92 mg/L. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa ketiga tanaman tersebut dapat mengurangi konsentrasi merkuri yang ada di media tanam dan jenis *Rhizophora mucronata* merupakan mangrove yang lebih banyak mengurangi konsentrasi mangrove dalam media tanam. *Rhizophora mucronata* mampu menyerap logam berat merkuri (Hg) paling tinggi sebesar 92,47 mg/L.

Penanganan diambil pada Pesisir Teluk Jakarta Muara Angke. Secara umum, kondisi ekosistem mangrove di Muara Angke berada di daerah tercemar (Teluk Jakarta). Masukan limbah yang berasal dari industri, pelabuhan, dan aktivitas rumah tangga menyebabkan tingginya pencemaran yang terjadi terutama logam berat. Sumber pencemar yang berasal dari aktivitas rumah tangga yang mengandung bahan organik akan mempengaruhi kondisi ekosistem mangrove terutama sedimen. Peningkatan logam di daerah estuari juga dipengaruhi oleh faktor sedimen yang dipengaruhi oleh pH, bahan organik, perpindahan kation, spesies mangrove, dan umur mangrove. Penanaman dilakukan dengan perbandingan luas lahan penanaman dengan tiga zonasi mangrove (Tabel 3). Penanaman dilakukan dengan perbandingan karena pencemaran logam berat berada di wilayah pesisir yaitu pada zona payau dan zona terbuka. Penanaman mangrove pada zona tengah dan zona daratan dilakukan untuk mengurangi

Tabel 3.
Hasil perhitungan luas tiap zona penanaman

Zona Mangrove	Jenis Tumbuhan	Jarak Pesisir dari Daratan ke Perairan (m)
Terbuka	<i>Avicennia</i>	20000
Tengah	<i>Rhizophora</i>	80000
Payau	<i>Bruguiera</i>	80000
Darat	<i>Sonneratia</i>	20000

Tabel 4.
Hasil perhitungan bibit tumbuhan mangrove dengan perbedaan waktu

Jenis Mangrove	4 Bulan (Pohon)	1 Tahun (Pohon)	5 Tahun (Pohon)
<i>Avicennia Marina</i>	8.721	2.525	505
<i>Sonneratia Alba</i>	18.688	25.352	1.040
Jenis Mangrove	4 Bulan (Pohon)	1 Tahun (Pohon)	5 Tahun (Pohon)
<i>Rhizophora Mucronata</i>	32.704	9.466	1.893
<i>Bruguiera Gimmorhiza</i>	24.215	7.022	1.403

konsentrasi cemaran logam berat yang telah menyebar hingga ke daratan. Penanaman dengan variasi perbandingan ini dilakukan agar hutan mangrove memiliki jenis tumbuhan yang beragam.

Sedimen Teluk Jakarta tersusun oleh fraksi lumpur-berpasir dengan jarak ± 5 km dari garis pantai [23]. Lebar pesisir untuk penanaman mangrove diperkirakan sebesar 40 meter. Luas zona penanaman didapatkan dengan mengalikan panjang pesisir dan lebar pesisir. Luas zona penanaman mangrove didapatkan sebesar 200.000 m². Luas zona penanaman mangrove ini merupakan luas seluruh zona untuk Budidaya mangrove. Setelah didapatkan luas penanaman selanjutnya dilakukan perhitungan luas tiap zona dengan menggunakan perbandingan 1:4:4:1 (Tabel 3). Ilustrasi skenario pembagian zona penanaman mangrove diperlihatkan pada Gambar 1.

Berdasarkan luas tiap zona yang telah didapatkan maka dapat dicari jumlah pohon yang dibutuhkan menggunakan perhitungan beban. Logam berat merkuri (Hg) dapat masuk ke dasar perairan atau terakumulasi pada sedimen dengan kedalaman 15 cm. Konsentrasi logam berat Hg pada sedimen Teluk Jakarta 0,855 mg/Kg [24]. Selanjutnya dilakukan perhitungan didapatkan beban pencemar untuk zona terbuka dan darat masing-masing sebesar 6540,75 mg Hg pada Tabel 4. Sedangkan untuk zona tengah dan panyau masing-masing sebesar 26163 mg Hg.

Tumbuhan mangrove pada umur 4 bulan akan memiliki berat kering sebesar 57,93 g [25]. Pada 1 tumbuhan *Avicennia marina* dapat menyisihkan logam berat Hg sebesar 12,95 mg/Kg Hg dalam berat kering [26]. Pada 1 tumbuhan *Sonneratia alba* dapat menyisihkan logam berat Hg sebesar 6,29 mg/Kg Hg dalam berat kering [27]. Pada 1 tumbuhan *Rhizophora mucronata* dapat menyisihkan logam berat Hg sebesar 13,82 mg/Kg Hg dalam berat kering [28]. Untuk 1 tumbuhan *Bruguiera gimnorhiza* dapat menyisihkan logam berat Hg sebesar 18,96 mg/Kg Hg menurut [29]. Setelah diketahui kemampuan tumbuhan mangrove dalam menyisihkan logam berat Hg maka dapat dilakukan perhitungan jumlah mangrove yang dibuthkan. Hasil perhitungan jumlah mangrove berdasarkan waktu remediasi direpresentasikan pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4 didapatkan beberapa skenario dimana kemampuan tumbuhan dalam menyisihkan logam berat Hg



Gambar 1. Penanaman skenario berdasarkan zonasi mangrove.

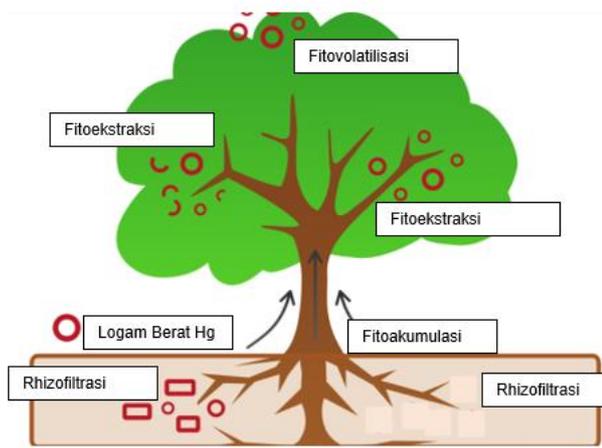
tergantung dengan jumlah tumbuhan dan waktu remediasi. Semakin cepat waktu remediasi semakin banyak tumbuhan yang diperlukan, jika waktu remediasi yang digunakan cukup lama maka semakin sedikit jumlah tumbuhan.

Logam berat Hg yang semula terlarut dalam air sungai dapat diadsorpsi oleh partikel halus (*suspended solid*) dan oleh aliran air sungai dibawa ke muara. Air sungai bertemu dengan arus pasang di muara sungai, sehingga partikel halus tersebut mengendap di muara sungai. Hal inilah yang menyebabkan kadar logam berat dalam sedimen muara lebih tinggi dari laut lepas. Pada umumnya muara sungai mengalami proses sedimentasi, dimana logam yang sukar larut mengalami proses pengenceran yang berada di kolom air lama kelamaan akan turun ke dasar dan mengendap dalam sedimen. Kadar logam yang cukup tinggi dapat dilihat dari nilai pH yang relatif bersifat basa (pH = 7,40 - 8,59) di lokasi tempat logam tersebut sukar larut dan mengendap ke dasar perairan.

Saat dilakukan metode fitoremediasi untuk mengurangi konsentrasi logam berat pada sedimen Teluk Jakarta, maka berikut ini mekanisme yang terjadi saat proses remediasi. Rhizofiltrasi adalah proses penyerapan polutan oleh tanaman tetapi biasanya konsep dasar ini berlaku apabila medium yang tercemarnya adalah badan perairan. Akar tanaman hiperakumulator mampu mengubah logam menjadi bentuk yang lebih mudah diserap, mempercepat terlarutnya logam berat dan melepaskan kelat yang berfungsi mengikat logam menjadi sehingga logam berat lebih mudah diserap oleh tumbuhan. Penyerapan logam berat oleh akar ditentukan oleh permeabilitas, transpirasi, dan tekanan akar [30].

Selanjutnya, Gambar 2 merupakan mekanisme fitoremediasi logam berat Hg oleh mangrove, dimana pada proses ini terdapat translokasi logam dari akar ke tajuk. Translokasi ini dikendalikan oleh dua proses utama yaitu pergerakan ion ke sillem dan fluks dalam sillem. Mekanisme akumulasi Hg dalam tanaman terjadi karena ion-ion Hg dalam bentuk (Hg²⁺) sehingga mudah ditranslokasikan ke tajuk tanaman dan disimpan di tempat-tempat penyimpanan, seperti vakuola subseluler dan sel epidermal daun. Pada proses ini terjadi mekanisme fitoekstraksi dan fitoakumulasi.

Tumbuhan mengeluarkan senyawa organik dan enzim melalui akar yang disebut eksudat akar. Sehingga daerah



Gambar 2. Mekanisme fitoremediasi logam berat Hg oleh mangrove.

rhizosfer merupakan lingkungan yang paling baik untuk tempat tumbuhnya mikroba dalam tanah. Mikroba tersebut dapat mempercepat proses rhizofiltrasi. Logam dalam bentuk ion dapat larut dalam lemak dan mampu melakukan penetrasi pada membran sel, sehingga ion logam akan terakumulasi dalam sel dan jaringan. Logam dapat masuk ke dalam sel dan berkaitan dengan enzim yang ada di dalam sel sebagai katalisator, sehingga menyebabkan reaksi kimia di sel akan terganggu.

Fitoakumulasi di batang dapat terjadi karena pada bagian batang tumbuhan terdapat jaringan kortikal yang terdiri dari jaringan *collenchymal* dan *parenchymal*. Jaringan tersebut memiliki fungsi sebagai jaringan dasar untuk mengisi dan menyimpan zat seperti logam berat. Selain itu kondisi habitat mangrove juga mempengaruhi bioakumulasi logam berat pada struktur tanaman. Daun pada tumbuhan mangrove memiliki kemampuan dalam menyerap air dan zat termasuk logam berat dari perairan melalui stomata dan kutikula. Hal tersebut sejalan dengan keberadaan pektin yang terdapat pada daun. Pektin berada pada dinding sel, serta memegang peranan penting dalam proses penyerapan ion dan kadar pektin meningkat seiring pertumbuhan. Fitolatilisasi merupakan proses penyerapan polutan oleh tanaman dan polutan tersebut diubah menjadi bersifat volatil dan kemudian ditranspirasikan oleh tanaman. Polutan yang dilepaskan oleh tanaman ke udara bisa sama seperti bentuk senyawa awal polutan, bisa juga menjadi senyawa yang berbeda dari senyawa awal [31].

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian yang dijabarkan pada hasil dan pembahasan dapat diperoleh kesimpulan bahwa; (1) Pencemaran logam berat di wilayah pesisir disebabkan oleh buruknya pengolahan limbah di kawasan hulu. Pencemaran logam berat ini dapat berakibat pada kesehatan manusia, karena polutan logam berat ini dapat terakumulasi di tubuh biota laut yang perairannya tercemar logam berat. Metode untuk mengurangi konsentrasi logam berat secara kontinyu adalah metode fitoremediasi. (2) Mekanisme yang berperan dalam fitoremediasi oleh mangrove pada pencemar logam berat yaitu rhizofiltrasi pada akar, lalu fitoekstraksi dan fitoakumulasi pada bagian tubuh, dan fitovolatilisasi pada bagian daun. (3) Hasil studi kasus pencemaran logam berat Hg di Teluk Jakarta, tepatnya di pesisir Muara Angke

menyatakan bahwa metode fitoremediasi merupakan alternatif untuk menurunkan konsentrasi logam berat Hg di wilayah pesisir. Skenario penanaman tumbuhan mangrove sesuai dengan zonasi menggunakan empat jenis mangrove yaitu *Avicennia marina*, *Rizophora mucronata*, *Bruguiera gymnorhiza* dan *Sonneratia alba*. Kemampuan tumbuhan dalam menyisihkan logam berat Hg dipengaruhi oleh jumlah tumbuhan dan waktu remediasi. Semakin cepat waktu remediasi semakin banyak tumbuhan yang diperlukan, jika waktu remediasi yang digunakan cukup lama maka semakin sedikit jumlah tumbuhan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Sofjan and others, "Kandungan Logam Berat Pb dalam Ikan dan Kerang Serta Kaitannya dengan Kejadian Gaky pada Murid Sekolah Dasar: Studi di Daerah Endemis Gondok di Kelurahan Tambakwedi Kecamatan Kenjeran Kota Surabaya," Tesis Universitas Airlangga, 2005.
- [2] P. R. Indonesia, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 19 tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran dan/atau Perusakan Laut*. Jakarta: Badan Pengendalian Dampak Lingkungan, 1999.
- [3] A. Taftazani, "Distribusi Konsentrasi Logam Berat Hg Dan Cr Pada Sampel Lingkungan Perairan Surabaya," in *Prosiding PPI-PDIPTN Pustek Akselerator dan Proses Bahan-BATAN ISSN*, 2007, pp. 216–3128.
- [4] D. M. Alongi, "Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change," *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, vol. 76, no. 1, pp. 1–13, 2008.
- [5] M. Y. Khairuddin, A. Syukur, and others, "Analisis kandungan logam berat pada tumbuhan mangrove," *J. Biol. Trop.*, vol. 18, no. 1, pp. 69–79, 2018.
- [6] R. Utami, W. Rismawati, and K. Sapanli, "Pemanfaatan Mangrove Untuk Mengurangi Logam Berat Di Perairan," in *seminar nasional hari air sedunia*, 2018, vol. 1, no. 1, pp. 141–153.
- [7] A. F. Syah, "Penginderaan jauh dan aplikasinya di wilayah pesisir dan lautan," *J. Kelaut. Indones. J. Mar. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 18–28, 2010.
- [8] K. Pan and W.-X. Wang, "Trace metal contamination in estuarine and coastal environments in China," *Sci. Total Environ.*, vol. 421, pp. 3–16, 2012.
- [9] A. Rosihan and H. Husaini, *Logam Berat Sekitar Manusia*, 1st ed. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press, 2017.
- [10] H. Setiawan and E. Subiandono, "Konsentrasi Logam Berat pada Air dan Sedimen di Perairan Pesisir Provinsi Sulawesi Selatan," *Indones. For. Rehabil. J.*, vol. 3, no. 1, pp. 67–79, 2015.
- [11] M. Zhang, X. Sun, and J. Xu, "Heavy metal pollution in the East China Sea: A review," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 159, p. 111473, 2020.
- [12] H. A. Naser, "Assessment and management of heavy metal pollution in the marine environment of the Arabian Gulf: a review," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 72, no. 1, pp. 6–13, 2013.
- [13] B. B. Damaianto and A. A. Masduqi, "Indeks pencemaran air laut pantai utara Kabupaten Tuban dengan parameter logam," *J. Tek. ITS*, vol. 3, no. 1, pp. D1–D4, 2014.
- [14] A. F. Usman, B. Budimawan, and P. Budi, "Kandungan logam berat pb-cd dan kualitas air di perairan biringkassi, bungoro, pangkep," *J. Agrokompleks*, vol. 4, no. 9, pp. 103–107, 2015.
- [15] S. Sandilyan and K. Kathiresan, "Mangrove conservation: a global perspective," *Biodivers. Conserv.*, vol. 21, no. 14, pp. 3523–3542, 2012.
- [16] A. Wahyudi, B. Hendrarto, and A. Hartoko, "Penilaian kerentanan habitat mangrove di kelurahan mangunharjo, kecamatan tugu, kota semarang terhadap variabel oseanografi berdasarkan metode cvi (coastal vulnerability index)," *Manag. Aquat. Resour. J.*, vol. 3, no. 1, pp. 89–98, 2014.
- [17] Y. R. Noor, M. Khazali, and I. N. N. Suryadiputra, "Panduan pengenalan mangrove di Indonesia," *Wetl. Int. Indones. Program. Bogor*, 2006.
- [18] R. F. Al-Thani and B. T. Yasseen, "Phytoremediation of polluted soils and waters by native Qatari plants: future perspectives," *Environ. Pollut.*, vol. 259, p. 113694, 2020.
- [19] S. Jeevanantham, A. Saravanan, R. V. Hemavathy, P. S. Kumar, P. R. Yaashikaa, and D. Yuvaraj, "Removal of toxic pollutants from water environment by phytoremediation: a survey on application and future prospects," *Environ. Technol. & Innov.*, vol. 13, pp. 264–276, 2019.
- [20] A. Keymer-Gausset *et al.*, "Gray and white matter changes and their

- relation to illness trajectory in first episode psychosis,” *Eur. Neuropsychopharmacol.*, vol. 28, no. 3, pp. 392–400, 2018.
- [21] S. Rahmadiyah and H. Hartono, “Pemetaan kualitas air berdasarkan parameter fisik total suspended solid dan suhu permukaan laut sebagian perairan Teluk Jakarta menggunakan citra landsat 8 oli/tirs,” *J. Bumi Indones.*, vol. 8, no. 2, 2019.
- [22] A. H. Kusuma, T. Prartono, A. S. Atmadipoera, and T. Arifin, “Sebaran logam berat terlarut dan terendapkan di perairan teluk jakarta pada bulan september 2014,” *J. Teknol. Perikan. dan Kelaut.*, vol. 6, no. 1, pp. 41–49, 2015.
- [23] I. S. Putra, “Dampak pulau reklamasi terhadap sedimentasi dan potensi perkembangan mangrove di pesisir teluk jakarta (muara anke),” *J. Sumber Daya Air*, vol. 15, no. 2, pp. 81–94, 2019.
- [24] G. R. Barokah, D. Dwiwitno, and I. Nugroho, “Kontaminasi logam berat (Hg, Pb, dan Cd) dan batas aman konsumsi kerang hijau (*Perna viridis*) dari perairan Teluk Jakarta di musim penghujan,” *J. Pascapanen dan Bioteknol. Kelaut. dan Perikan.*, vol. 14, no. 2, pp. 95–106, 2019.
- [25] Y. Purnama, I. Hilwan, and C. Kusmana, “Pengaruh tingkat penggenangan terhadap pertumbuhan semai pedada (*sonneratia caseolaris* (l.) engler) di kawasan mangrove tol sedyatmo anke kapuk, jakarta utara,” *J. Silvikultur Trop.*, vol. 3, no. 1, 2012.
- [26] N. M. Heriyanto and E. Subiandono, “Penyerapan polutan logam berat (Hg, Pb dan Cu) oleh jenis-jenis mangrove,” *J. Penelit. Hutan dan Konserv. Alam*, vol. 8, no. 2, pp. 177–188, 2011.
- [27] M. R. Cordova, F. D. M. Eftiah, and N. P. Zamani, “Potency of mangrove apple (*sonneratia alba*) as mercury bioindicator,” *Omni-Akuatika*, vol. 13, no. 2, 2017.
- [28] R. Wilda, A. M. Hamdan, and R. Rahmi, “A review: The use of mangrove for biomonitoring on aquatic environment,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 980, no. 1, p. 12083.
- [29] K. Analuddin *et al.*, “Heavy metal bioaccumulation in mangrove ecosystem at the coral triangle ecoregion, Southeast Sulawesi, Indonesia,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 125, no. 1–2, pp. 472–480, 2017.
- [30] F. Nur, “Fitoremediasi logam berat kadmium (Cd),” *Biog. J. Ilm. Biol.*, vol. 1, no. 1, pp. 74–83, 2013.
- [31] F. Falah, C. A. Suryono, and I. Riniatsih, “Logam berat (pb) pada lamun *enhalus acoroides* (linnaeus f.) royle 1839 (magnoliopsida: hydrocharitaceae) di pulau panjang dan pulau lima teluk banten,” *J. Mar. Res.*, vol. 9, no. 2, pp. 193–200, 2020.