

PROSIDING **SEMINAR NASIONAL**

REKAYASA & DESAIN ITENAS 2018



Peranan Rekayasa dan Desain dalam Percepatan Pembangunan Nasional Berkelanjutan

KAMPUS ITENAS, SELASA 4 DESEMBER 2018

DIES NATALIS ITENAS KE 46



PROSIDING SEMINAR NASIONAL REKAYASA DAN DESAIN ITENAS 2018

TEMA:

***Peranan Rekayasa dan Desain dalam Percepatan Pembangunan
Nasional Berkelanjutan***

Selasa, 4 Desember 2018

Gedung Serba Guna

Institut Teknologi Nasional Bandung (ITENAS)

Jl. PKH. Mustopha No.23 Bandung 40124, Indonesia

 **penerbit itenas**

PROSIDING SEMINAR NASIONAL REKAYASA DAN DESAIN ITENAS 2018

TEMA:

Peranan Rekayasa dan Desain dalam Percepatan Pembangunan Nasional Berkelanjutan

TIM REVIEWER:

Dr. Dewi Kania Sari;
Prof. Meilinda Nurbanasari;
Dr. Waluyo; Dr. Andri Masri;
Soni Darmawan, Ph.D;
Iwan Juwana, Ph.D;
Dyah Setyo Pertiwi, Ph.D.

TIM EDITOR:

Maya Ramadianti, Ph.D;
Lisa Kristiana, Ph.D;
Dani Rusirawan, Ph.D;
Jono Suhartono, Ph.D
Arsyad Ramadhan Darlis, S.T., M.T.;
M Azis Mahardika, M.T

SUSUNAN PANITIA:

Ketua: Dr.Ir. Nurtati Soewarno, M.T.
Wakil Ketua: Arsyad Ramadhan Darlis, S.T., M.T.
Sekretaris: Lisa Kristiana, Ph.D
Bendahara: Dian Duhita Permata, S.T., M.T.
Webmaster: Agus Wardana, S.Sos.
Acara: Maya Ramadianti, Ph.D; Yulianti Pratama, ST., MT.

ISBN:

Cetakan Pertama : Pertama, Desember 2018

Penerbit:

Penerbit Itenas

Alamat Redaksi:

Jl. PKH. Mustapha No.23, Bandung 40124 Telp.: +62 22 7272215, Fax.: +62 22 7202892
Email: penerbit@itenas.ac.id

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip dan memperbanyak isi buku ini dalam bentuk dan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kita panjatkan kepa Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunianya sehingga buku Proceeding Seminar Nasional Rekayasa dan Desain Itenas 2018 ini dapat kami susun. Proceeding ini mengambil tema Peranan Rekayasa dan Desain dalam Percepatan Pembangunan Nasional Berkelanjutan. Buku Proceeding ini terdiri dari beberapa bagian yang masing-masing bagian memuat fokus tema. Fokus-fokus tersebut yaitu:

1. Seminar Nasional Bidang Teknik Elektro dan Otomasi
2. Seminar Nasional Bidang Teknik Geodesi: State of the Art Industri Geomatika di Indonesia II
3. Seminar Nasional Bidang Teknik Lingkungan: Rekayasa dan Manajemen Lingkungan Berkelanjutan II
4. Seminar Bidang Teknik Kimia: Seminar Tjipto Utomo Pemanfaatan Sumber Daya Alam Untuk Meningkatkan Daya Saing Industri Proses Nasional
5. Seminar Nasional Bidang Arsitektur: re-Thinking in Sustainable Design
6. Seminar Nasional Bidang Teknik Informatika: Smart City

Kami berharap dengan adanya kumpulan paper-paper yang ada dalam proceeding ini dapat memperluas wawasan mengenai ilmu pengetahuan rekayasa dan desain untuk pembangunan berkelanjutan.

Ucapan terima kasih kami haturkan untuk semua pihak yang telah membantu penerbitan Proceeding ini.

Bandung 4 Desember 2018
Hormat Kami,
Ketua Panitia

Dr.Ir. Nurtati Soewarno, M.T.

DAFTAR ISI

SEMINAR NASIONAL BIDANG ARSITEKTUR: *RE-THINKING IN SUSTAINABLE DESIGN*

- Rekomendasi Arahan Rancangan Fisik Ruang Terbuka Publik Itenas berdasarkan Sustainable Site** **A1 – A6**
Dwi Kustianingrum, Widji Indahing Tyas, Eka Virdianti
- Strategi Green Building untuk Optimalisasi Penghematan Energi Operasional Bangunan terkait Rancangan Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Gedung Kantor Pengelola Bendungan Sei Gong – Batam** **A7 – A12**
Nur Laela Latifah dan Erwin Yuniar Rahadian
- Desain Tataan Ruang Pusat Rehabilitasi NAPZA Terhadap Psikologi Pasien Di RSJ Provinsi Jawa Barat** **A13 – A19**
Theresia Pynkyawati, Tatiana Dina Iskarimah, Mochammad Faisal Firdaus, Lusiana Saputri
- Desain Sirkulasi Sekolah Luar Biasa “A” Negeri Bandung Terhadap Kemudahan Pengguna Penyandang Tunanetra** **A20 – A26**
Theresia Pynkyawati, Christie Maylinda, Fera Ermawati, Rima Mustika Rahman, Prayitno.
- Akulturasasi Gaya Bangunan Pada Kompleks Keraton Kacirebonan** **A27 – A32**
Indra Sudrajat, Bobby Taufik Pratama, dan Nurtati Soewarno
- Time Egress Evakuasi Kebakaran Pada Desain Bangunan Multi Fungsi** **A33 – A38**
Shirley Wahadamaputera, Firstia Novac, Gian Jamaludin, Qiza Tiara Putri

Strategi Penerapan Prinsip Konektivitas Sustainable Design dengan Analisis SWOT Studi Kasus: Koridor Pecinan, Bandung Nurtati Soewarno, Taufan Hidjaz, dan Eka Virdianti	A39 – A45
Upaya Revitalisasi Bangunan Cagar Budaya oleh Pasar Baru Square melalui Penggabungan Kavling Arga Pratama, Muthosilarahman, Hendrawan Saputra dan Nurtati Soewarno	A46 – A51
Eksplorasi Material Bambu pada Bangunan Publik Ardhiana Muhsin	A52 – A57
Enhance Hybrid Ventilation Through Stack Ventilation Strategies Using Roof Solar Collector Combined With Turbine Ventilator In Tropical Humid Climate Agung Prabowo Sulistiawan	A58 – A64
Rancangan Ruang Luar Akibat Perubahan Fungsi Bangunan ditinjau dari Aspek Keberlanjutan Studi Kasus: Rumah tiga villa J. Ir. H. Djuanda (Dago) Bandung Eggi Septianto, Irfan Sabarilah Hasim	A65 – A74
Pengembangan Kebutuhan Ruang Parkir di Kampus Itenas Andrean Maulana, Oka Purwanti dan Akram Oktaviandi	A75 – A79
Analisis Pemilihan Moda Transportasi di Kampus Itenas Oka Purwanti, Andrean Maulana, dan Ulfi Nadia Kurniautami	A80 – A87
Pemodelan 2D Stabilitas Lereng yang Diperkuat Tanaman Vetiver Indra Noer Hamdhan, Desti Santi Pratiwi, Rizka Adisya Kamila Rahmah dan Fauziah Fitriani	A88 – A94

SEMINAR NASIONAL DESAIN DALAM INDUSTRI KREATIF

- Rancang Bangun Fasilitas Referensi Pembelajaran Desain Interior Yang Ter-Integrasi Pada Ruang Studio** B1 - B10
Edwin Widia
- Eksplorasi Sampah Plastik Menggunakan Metode 'Heating' Untuk Produk Pakai** B11 - B21
Iyus Kusnaedi
- Pengembangan Konsep Model Pendidikan Sosio-Personal Pada Era Digital (Studi Pada Jurusan Desain Produk Fsrđ Itenas)** B22 - B33
Sulistyo Setiawan
- Inovasi dan Pengembangan Desain Armatuř Lampu Dengan Menggunakan Sistem "Flatpack"** B34 – B41
Andika Dwicahyo Aribowo
- Kajian Komparasi Sistem Hidroponik Untuk Masyarakat Desa** B42 – B47
Edi Setiadi Putra, Jamaludin, Mohammad Djalı Djatmiko

SEMINAR NASIONAL BIDANG TEKNIK ELEKTRO DAN OTOMASI

- Analisis Crosstalk pada sistem Bidirectional Underwater Visible Light Communication** C1 – C6
Arsyad Ramadhan Darlis, Lucia Jambola, Lita Lidyawati
- Implementasi Teknologi Mikrokontroler Arduino Leonardo Pada Mesin Pembuat Tempe** C7 – C10
Atmiasri dan Purbandini
- Pengendalian Kecepatan Kipas dan Kompresor pada Air Conditioning untuk Kenyamanan Termal Menggunakan PLC** C11 – C18
Waluyo, Andre Widura, Wahyu Agung Purbandoko

Alat Perangkap Serangga Menggunakan Tegangan Kejut Untuk Pengendalian Hama Pertanian C19 – C24

Subandi , Ardian Septiawan

Analisis Sudut Jumping Water Otomatis Pada Kincir Air Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hydro C25 – C31

Syafriyudin , Mujiman, Ari Dwi Atmoko

SEMINAR NASIONAL BIDANG TEKNIK GEODESI: *STATE OF THE ART* INDUSTRI GEOMATIKA DI INDONESIA II

Pemanfaatan Teknologi GPS Dalam Mendeteksi Bus Sekolah Di Kota Bandung D1 - D3

Ani Solihat

Pembuatan Model Tiga Dimensi Kampus Institut Teknologi Nasional Bandung D4 – D9

Handrianus Gama Lamahala Dan Soni Darmawan

Penerapan Metode Fotogrametri Jarak Dekat Kombinasi Data Unmanned Aerial Vehicle Untuk Pembuatan Model 3D D10 – D16

Mahatma Fadjrie, Soni Darmawan Dan Monica Maharani

Desain Kartografi Peta Kampus (Studi Kasus : Itenas, Bandung) D17 – D22

Nurdeli Safitri Dan Soni Darmawan

Estimasi Biomassa Mangrove Berbasis Pengindraan Jauh (Studi Kasus Kabupaten Subang, Jawa Barat) D23 – D32

Didin Rianzani, Soni Darmawan, Rika Hernawati Dan Thonas Indra M.

Analisis Kerapatan Vegetasi Berbasis Data Citra Satelit Landsat Menggunakan Teknik NDVI Di Kota Bandung Tahun 1990 Dan 2017 D33 – D39

Rika Hernawati Dan Soni Darmawan

Pendataan Dan Pemetaan Sosial Kemasyarakatan Serta Studi Potensi Wisata Sungai Cilaki Kecamatan Cisewu Kabupaten Garut D40 – D45

Muhammad Pramuda Nugraha Sirodz, Tim Himpala Itenas

Kaitan Sebaran Suhu Permukaan Laut Dan Klorofil-A Berbasis Citra Satelit Terhadap Hasil Tangkapan Ikan Tuna Di Perairan Sumatera Barat D46 – 52

Aida Heriati, Eva Mustikari, Dini Purbani, Dian N Handiani, Dan M. Al-Azhar

Pembangunan Geodatabase Perlintasan Sebidang (Studi Kasus : PT KAI Wilayah Daop 2) D53 – D58

Indrianawati Dan Sumarno

Pemetaan Degradasi Vegetasi Mangrove Di Pesisir Kecamatan Losarang Dan Sindang Kabupaten Indramayu Jawa Barat D59 – D64

Thonas Indra Maryanto Dan Fernandes Patungka

SEMINAR NASIONAL BIDANG TEKNIK INFORMATIKA: SMART CITY

Implementasi Computer-Assisted Language Learning (CALL) Di Laboratorium Bahasa Di Perguruan Tinggi Di Bandung: Fitur umum dan persepsi dosen E1 – E7

Corry Caromawati dan Levita Dwinaya

SEMINAR NASIONAL BIDANG TEKNIK INDUSTRI

Kajian Pengurangan Emisi Karbon Melalui Optimalisasi Pemanfaatan Limbah Rumah Potong Hewan Sebagai Biogas F1 – F6

Anita Juraida, Yudha Prambudia, Ari Rahman, Nova Indah Saragih

Usulan Perancangan Prototype Alat Potong Hewan untuk Menjamin Kehalalan Produk Hewan menggunakan House of Ergonomic (HOE) F7 – F14

Gita Permata Liansari, Arie Desrianty, Inten Tejaasih

Usulan Peningkatan Kinerja Anggota Organisasi Berdasarkan Pengaruh Servant Leadership Dan Organizational Citizenship Behavior Dengan Metoda Path Analysis F15 – F21

Yoanita Yuniati, Lidya Dwi Susanti, Abu Bakar

Rancangan Sistem Penanganan Material Untuk Meminimasi Resiko Gangguan Sistem Tulang Dan Otot F22 – F29

Yanti Helianty, Dinni Emalia, Caecilia SW

Rancangan Penilaian Kinerja Operator Solder Mask Produk Printed Circuit Board dengan Menggunakan Metode Graphical Rating Scale dan Urutan Kerja Standar F30 – F36

Hendang Setyo Rukmi dan Fiki Adhitia Nugraha

Analisis Kinerja Sistem Transmisi Pada Mobil Hemat Energi Tipe Hybrid F37 – F43

Nazaruddin, Syafri , Kaspul Anuar, Ahmad Awaluddin,

Studi Kelayakan Perancangan Instrumen Pengukuran Readiness Level Berdasarkan Kelelahan Fisik dan Mental F44 – F50

Caecilia Sri Wahyuning

SEMINAR BIDANG TEKNIK KIMIA: SEMINAR TJIPTO UTOMO PEMANFAATAN SUMBER DAYA ALAM UNTUK MENINGKATKAN DAYA SAING INDUSTRI PROSES NASIONAL

Pengaruh AFR Terhadap Karakteristik Gas Produser Hasil Gasifikasi Batok Kelapa G1 – G5

Yuono

Kajian Perbandingan Proses Fermentasi Etanol Secara Sinambung dalam Immobilized Cell Fermentor Fixed Bed Bermedia Penambat Batu Apung dengan Free Cell Fermentor Recycle pada Berbagai Konsentrasi Umpan Glukosa

G6 – G13

Ronny Kurniawan, Salafudin, Rivansyah Malik, Fazri Aziantoro

Pengaruh Variabel Proses Pada Pembuatan Melamin Asetat

G14 – G19

Dicky Dermawan

Pengaruh Konentrasi Pelarut, Dan Nisbah Bahan Baku Dengan Pelarut Terhadap Ekstraksi Kunyit Putih (Curcuma zedoria.)

G20 – G26

Ida Wati M.Si, Maya Ramadanti M. Ir., M.T., Ph.D, Nurbani F, Pratiwi H

Penyisihan Logam Fe Menggunakan Membran Polyvinylidene Fluoride/Carbon Nanotube (PVDF/CNT)

G27 – G34

Jono Suhartono, M Taufik Rahayu Putra, Aldy Naufaldy D, Dyah Setyo Pertiwi, Carlina Noersalim

SEMINAR NASIONAL BIDANG TEKNIK LINGKUNGAN: REKAYASA DAN MANAJEMEN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN II

Estimasi Beban Emisi Partikulat Dan Gas Dari Pitu Batu Bara Di Indonesia Dengan Menggunakan Hasil Pemantauan

H1 – H7

Agung Ghani Kramawijaya

Bioavailabilitas Logam Berat Kadmium Di Sedimen Waduk Saguling Provinsi

H8 – H18

Jawa Barat

Eka Wardhani, Suprihanto Notodarmojo, Dwina Roosmini

Perencanaan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Setempat Di Desa Rajapolah, Kecamatan Rajapolah, Kabupaten Tasikmalaya

H19 – H24

Gusnia Zuriyari, Etih Hartati dan Didin Agustian Permadi

**Perencanaan Sistem Penyaluran Air Limbah Domestik Terpusat di Kecamatan
Garut Kota dan Karangpawitan Kabupaten Garut**

H25 – H30

Mutiara Ekagusbarani, Nico Halomoan, dan Etih Hartati



Bioavailabilitas Logam Berat Kadmium Di Sedimen Waduk Saguling Provinsi Jawa Barat

Eka Wardhani¹, Suprihanto Notodarmojo², Dwina Roosmini³
¹Jurusan Teknik Lingkungan Itenas Bandung, ^{2,3}Jurusan Teknik Lingkungan ITB
Institut Teknologi Nasional
Email: ekawardhani08@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menilai kualitas sedimen akibat pencemaran Cd serta nilai bioavailabilitas logam berat tersebut di sedimen Waduk Saguling. Penilaian bioavailabilitas Cd menggunakan metode Risk Assessment Code (RAC) dan Global Contamination Factor (GCF). Konsentrasi Cd dalam sedimen permukaan dianalisis di 12 titik sampling dengan menggunakan ICP-EOS. Periode penelitian dari tahun 2015-2018 mewakili musim hujan dan kemarau. Berdasarkan nilai RAC sedimen waduk termasuk katagori low risk pada musim hujan dan kemarau. Nilai RAC musim kemarau lebih tinggi jika dibanding musim hujan menunjukkan bahwa pada musim kemarau Cd lebih bersifat bioavailable dan lebih mampu untuk masuk ke rantai makanan di Waduk Saguling. Hasil analisis dengan menggunakan metode GCF menunjukkan bahwa sumber logam berasal dari aktivitas alamiah karena fraksi F_4 menempati posisi tertinggi.

Kata Kunci: Bioavailabilitas, Kadmium, Sedimen, Saguling

1. Pendahuluan

Waduk Saguling merupakan waduk pertama yang menampung air Sungai Citarum. Kualitas air Sungai Citarum Hulu termasuk katagori tercemar berat, bahkan beberapa logam berat terpantau tidak memenuhi baku mutu termasuk Cd. Saat ini pemantauan konsentrasi Cd hanya dilakukan di dalam air sedangkan Cd memiliki kelarutan yang rendah dalam air, sebagian besar berada dalam sedimen. Berdasarkan hal tersebut pemantauan konsentrasi Cd dalam air saja tidak cukup, diperlukan pemantauan kualitas sedimen. Cd beserta logam berat lainnya yang telah terikat dalam sedimen, suatu saat akan terlepas kembali ke kolom air dan menjadi sumber pencemar sekunder di Waduk Saguling (PT. Indonesia Power, 2014).

Penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi total logam berat di sedimen tidak mampu menjawab sumber dan jejak logam sebenarnya dalam badan air sehingga menyulitkan dalam pengelolaan dan pengendalian pencemaran. Spesiasi logam berat dalam sedimen merupakan bidang kajian yang sedang berkembang saat ini sebagai upaya memahami sumber dan jejak kontaminan logam berat dalam sedimen, namun masih sedikit dilakukan di Indonesia. Penelitian mengenai jejak dan bioavailabilitas Cd pada sedimen Waduk Saguling diperlukan untuk dapat mengetahui potensi ketersediaan biologis/bioavailabilitas logam yang akan terakumulasi pada biota (bioakumulasi). Penilaian bioavailabilitas Cd di sedimen dapat dipergunakan untuk menentukan resiko kontaminasi Cd terhadap lingkungan perairan. Sifat Cd yang beracun, persisten, dan bersifat bioakumulasi harus diteliti secara detail di Waduk Saguling mengingat fungsi waduk yang sangat berhubungan dengan kesehatan masyarakat. Maksud penelitian ini adalah melakukan penilaian kualitas sedimen terkait kontaminasi dan bioavailabilitas Cd di Waduk Saguling.

2. Metodologi

Penelitian ini merupakan penelitian lapangan dan laboratorium yang dilakukan selama 3 tahun dari tahun 2015-2018. Lokasi penelitian lapangan dilakukan di 12 stasiun yang terdiri dari 2 stasiun di inlet Waduk Saguling yang merupakan bagian Sungai Citarum di daerah Nanjung dan Batujajar, 8 stasiun di perairan waduk, 1 stasiun di Tailrace dan 1 stasiun di Sungai Citarum di hilir Tailrace. Gambar stasiun pengambilan contoh air disajikan pada Gambar 1 dan koordinat titik sampling disajikan pada Tabel 1.

Spesiasi logam berat diperoleh dengan menggunakan metode ekstraksi berurutan mengacu pada Tessier dkk. (1979) yang telah menemukan metode ekstraksi berurutan sebanyak empat langkah yang umum dipergunakan untuk menentukan dan memecah fraksi kimia logam berat. Metode ekstraksi ini membagi logam berat menjadi empat fraksi melalui empat tahap ekstraksi yaitu: fraksi logam berat yang dapat diekstrak dan ditukar (F1); fraksi logam berat terikat oksida besi dan mangan (F2); fraksi logam berat terikat bahan organik (F3); dan fraksi logam berat sisa (F4). Konsentrasi logam berat dalam air dianalisis menggunakan *Inductive Coupled Plasma-Optical Emission Spectra* (ICP-OES).

Tabel 1. Lokasi Titik Sampling di Waduk Saguling

Stasiun	Lokasi	Latitude (N)	Longitude (E)
Lokasi <i>Inlet</i> Waduk			
1A	Sungai Citarum di Nanjung	06°56'29,8"	107°32'10,7"
1B	Sungai Citarum <i>Trash Boom</i> Batujajar	06°54'58,9"	107°28'32,3"
Daerah Genangan			
2	Cihaur Kampung Cipeundeuy	06°53'13,5"	107°28'32,3"
3	Cimerang	06°53'13,4"	107°27'09,0"
4	Muara Cihaur Kampung Maroko	06°53'13,0"	107°25'54,4"
5	Muara Cipatik	06°56'07,6"	107°27'25,5"
6	Muara Ciminyak-lokasi perikanan jaring terapung	06°57'14,6"	107°26'03,8"
7	Muara Cijere	06°56'14,9"	107°24'50,8"
8	Muara Cijambu	06°56'00,4"	107°22'22,4"
9	Dekat <i>Intake Structure</i>	06°54'54,4"	107°22'26,3"
Lokasi <i>Outlet</i> Waduk			
10 A	Tailrace	06°51'49,8"	107°20'57,0"
10 B	S. Citarum setelah <i>Tailrace</i> di Bantar Caringin	06°51'10,8"	107°20'58,0"

Metode penilaian bioavailabilitas dengan menggunakan metode *Risk Assessment Code* (RAC) dan *Global Contamination Factor* (GCF).

a. Risk Assessment Code (RAC)

Metode untuk menentukan bioavailabilitas logam berat di sedimen salah satunya yaitu RAC. Metode ini tidak hanya memperhitungkan konsentrasi total logam berat tetapi juga spesiasi logam di perairan sehingga diketahui berapa spesiasi logam yang tersedia untuk diserap oleh biota perairan. Konsentrasi total logam Cd di sedimen dibagi menjadi empat fraksi. Metode ekstraksi dapat membagi bentuk logam di sedimen menjadi 4 yaitu: (1) fraksi EFLE (*easily, freely, leachable dan exchangeable*-F1), (2) fraksi tereduksi asam (fraksi Fe-Mn oksida-F2), (3) fraksi *oxidisable organic* (dapat teroksidasi oleh organik-F3), (4) *Fraksi residual metal* (F4). Urutan bioavailabilitas logam berat di sedimen berdasarkan fraksinya yaitu: $F1 > F2 > F3 > F4$. Fraksi logam berat EFLE (*easily, freely, leachable dan exchangeable*-F1), dipergunakan untuk mengevaluasi bioavailabilitas logam berat di sedimen (Jones dkk., 2008). Tabel 2 menjelaskan tentang kriteria RAC dalam menentukan bioavailabilitas logam berat di sedimen.

Tabel 2. Kriteria RAC

Kriteria: Logam dalam Fraksi F1 (%)	Nilai RAC
< 1	<i>No Risk</i>
1-10	<i>Low Risk</i>
11-30	<i>Medium Risk</i>
31-50	<i>High Risk</i>
>50	<i>Very High Risk</i>

Sumber: Jones dkk., 2008 dan Sundaray dkk., 2011

b. Individual dan Global Contamination Factor (ICF dan GCF)

Penentuan kontaminasi logam berat merupakan salah satu aspek penting untuk menurunkan dan mengontrol pencemaran di lingkungan perairan. Bioavailabilitas dan toksisitas logam berat tergantung dari kimianya. Penentuan faktor kontaminasi dari logam merupakan aspek penting untuk menentukan derajat resiko dari logam berat ke lingkungan (Naji dkk., 2010; Ikem dkk., 2003; Nemati dkk., 2009)

Individual contamination factor (ICF) merupakan penilaian bioavailabilitas logam berat yang dihitung dari masing-masing titik sampling. ICF ditentukan dengan menjumlahkan konsentrasi logam berat dalam bentuk non-resisten yaitu fraksi F1, F2, dan F3 dibagi dengan konsentrasi logam berat dalam bentuk resisten yaitu fraksi F4. *Global contamination factor* (GCF) untuk suatu perairan ditentukan dengan cara menjumlahkan nilai ICF dari masing-masing titik sampling (Ikem dkk., 2003; Nsikal dkk., 2016). Penilaian kontaminasi dengan metode ini dapat dipergunakan untuk melihat sumber logam berat dalam sedimen apakah dari aktivitas alamiah atau manusia. Logam berat yang berasal dari aktivitas alamiah terukur berikatan dengan mineral kristalnya (fraksi F4) sulit untuk bisa lolos ke kolom air sehingga disebut fraksi resisten. Logam berat yang berasal dari aktivitas manusia berada pada fraksi non resisten (F1, F2, dan F3) di mana urutan yang mudah terlepas ke kolom air yaitu $F1 > F2 > F3$ (Naji dkk., 2010; Nemati dkk., 2011; Aju dkk., 2012). Tabel 3 menyajikan klasifikasi ICF dan GCF sedangkan persamaan untuk mencari ICF dan GCF yaitu:

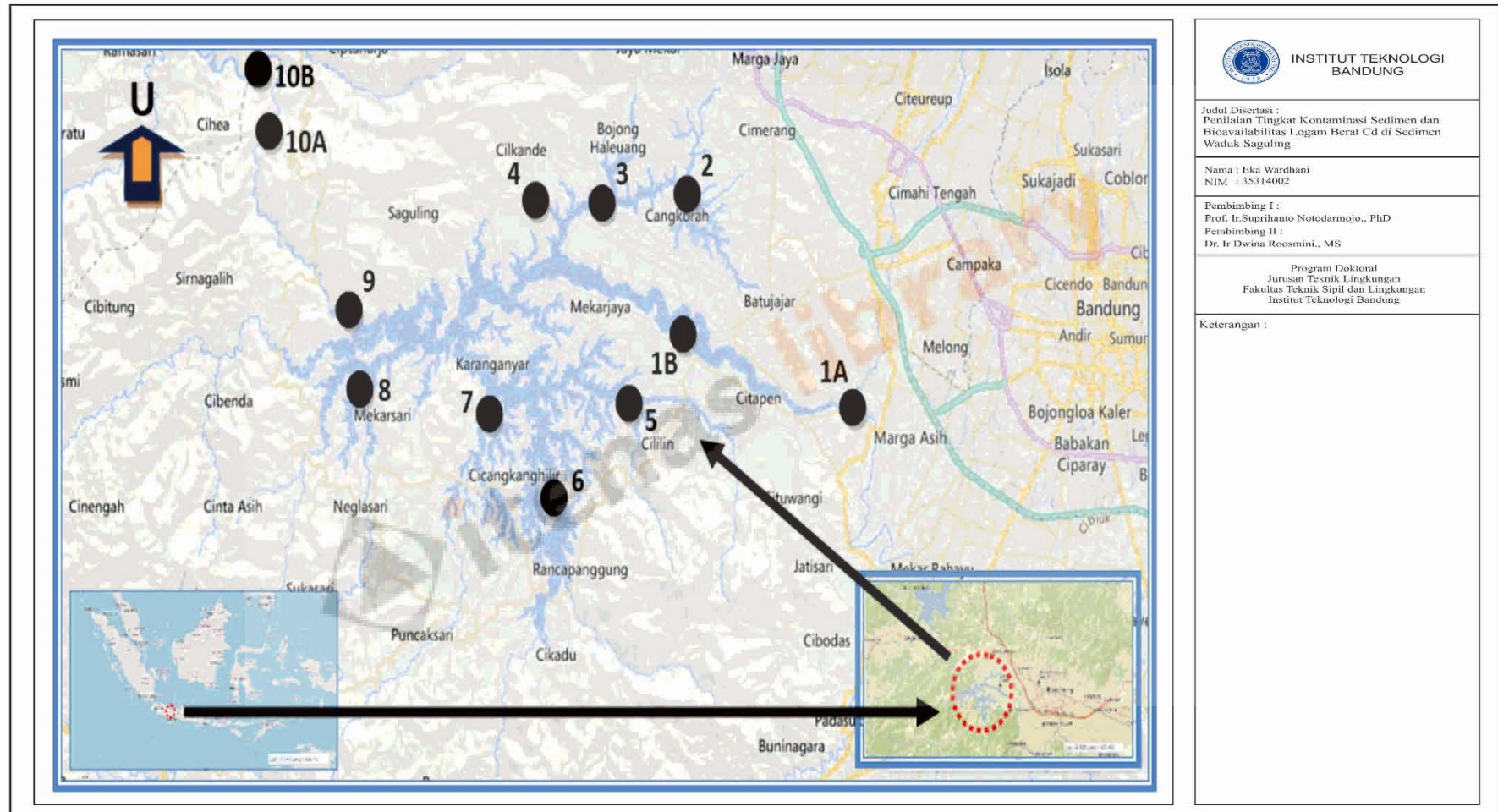
$$ICF_{metal} = \frac{C_{non\ resisten}}{C_{resisten}} = \frac{C_{(F_1+F_2+F_3)}}{C_{F_4}} \quad (1)$$

$$GCF = \sum_{i=1}^n ICF_{metal} \quad (2)$$

Tabel 3. Klasifikasi ICF dan GCF

Rentang ICF dan GCF	Kategori Kontaminasi
ICF < 0 dan GCF < 6	<i>low</i>
1 < ICF < 3 dan 6 < GCF < 12	<i>moderate</i>
3 < ICF < 6 dan 12 < GC < 24	<i>considerable</i>
ICF > 6 dan GCF > 24	<i>high contamination</i>

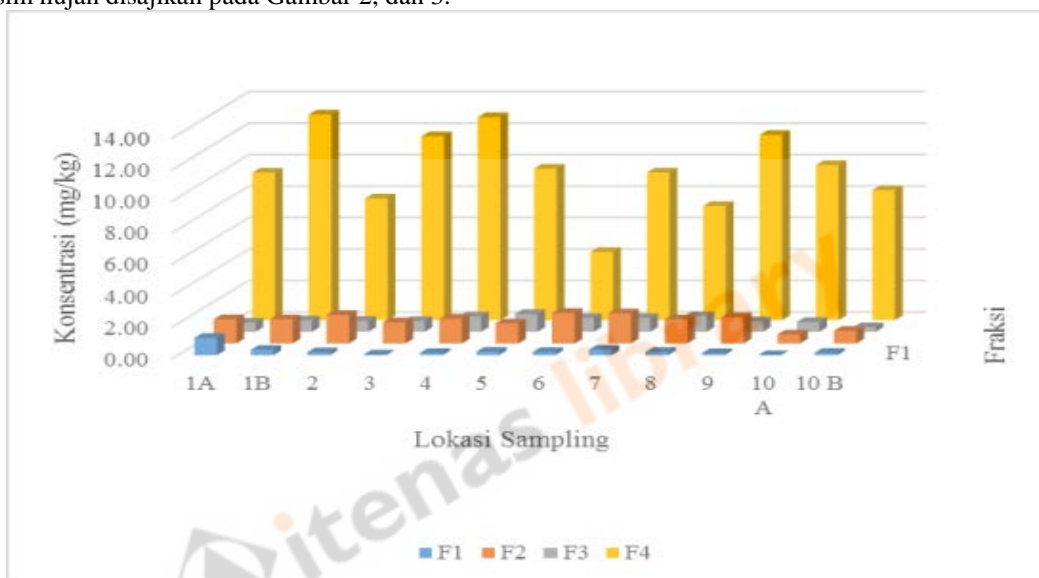
Sumber: Naji dkk., 2010; Ikem dkk., 2003; Nemati dkk., 2009



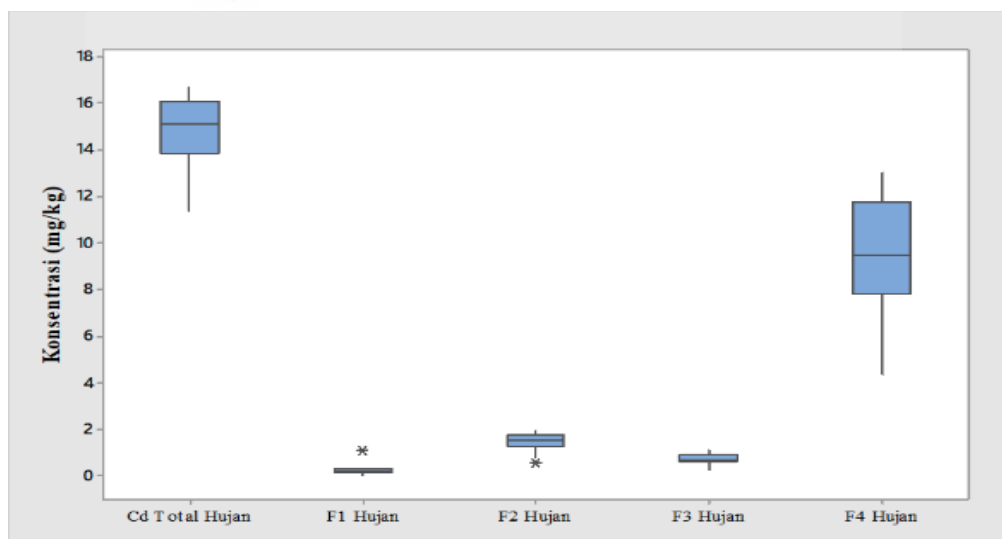
Gambar 1. Lokasi Titik Sampling Penilaian Kualitas Sedimen

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dilihat dari musim, konsentrasi F1 musim hujan berkisar antara 0,01-1,11 mg/kg dengan nilai rata-rata $0,27 \pm 0,28$ mg/kg tertinggi di titik 1A sebesar 1,11 mg/kg dan terendah di titik 10A sebesar 0,01 mg/kg. Konsentrasi F2 berkisar antara 0,58-1,95 mg/kg dengan nilai rata-rata $1,47 \pm 0,42$ mg/kg tertinggi di titik 6 sebesar 1,95 mg/kg dan terendah di titik 10A sebesar 0,58 mg/kg. Konsentrasi F3 berkisar antara 0,30-1,13 mg/kg dengan nilai rata-rata $0,77 \pm 0,22$ mg/kg tertinggi di titik 5 sebesar 1,13 mg/kg dan terendah di titik 10B sebesar 0,30 mg/kg. Konsentrasi F4 berkisar antara 4,34-13,06 mg/kg dengan nilai rata-rata $9,60 \pm 2,53$ mg/kg tertinggi di titik 1B sebesar 13,06 mg/kg dan terendah di titik 6 sebesar 4,36 mg/kg. Konsentrasi rata-rata Cd berurutan dari yang terbesar ke terkecil yaitu $F4 > F2 > F3 > F1$. Spesiasi Cd musim hujan disajikan pada Gambar 2, dan 3.

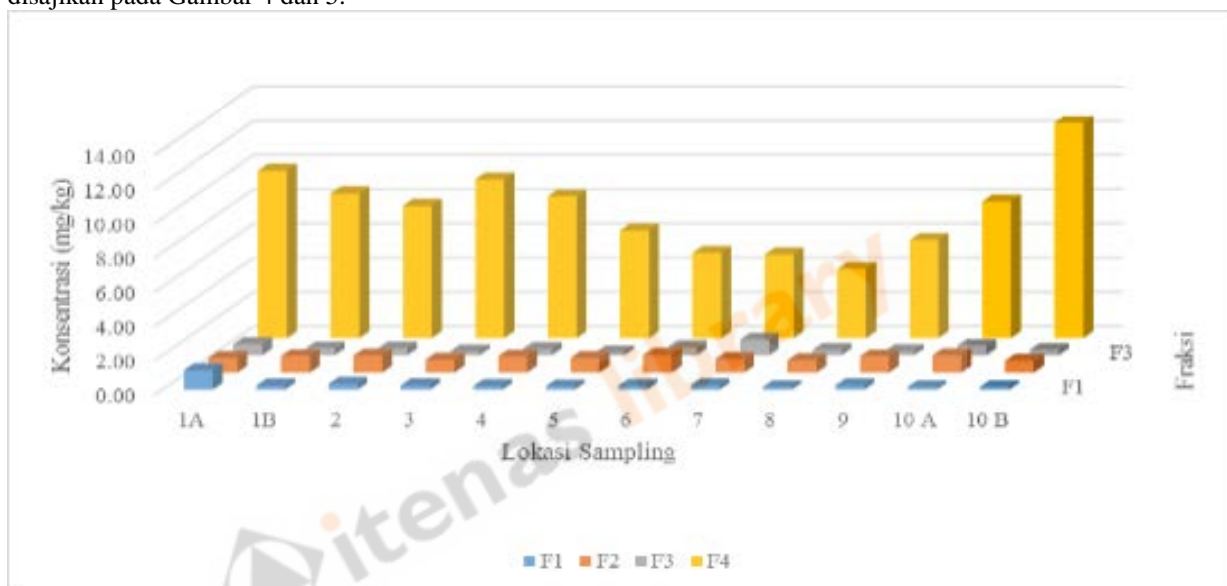


Gambar 2. Spesiasi Cd di Sedimen Waduk Saguling pada Musim Hujan di Setiap Titik Sampling

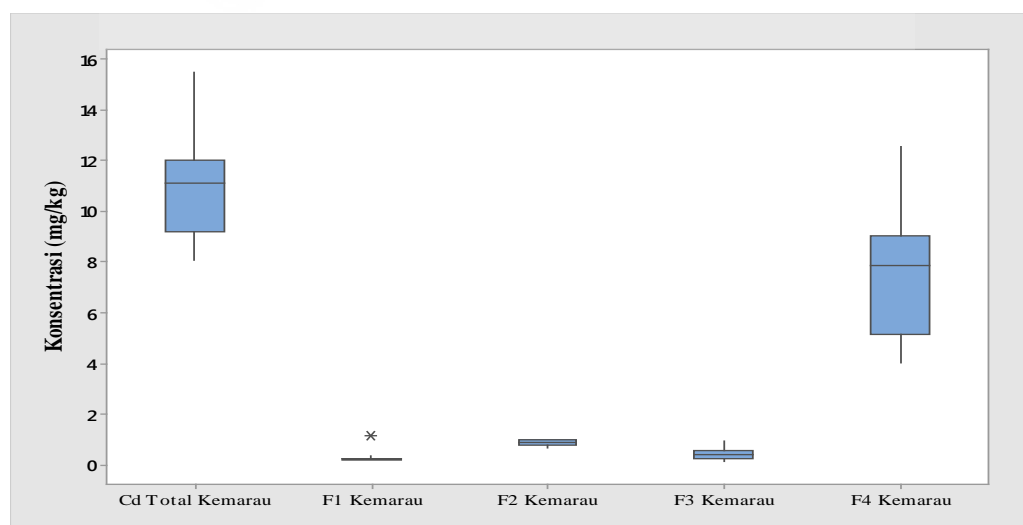


Gambar 3. Perbandingan Fraksi Cd di Sedimen Waduk Saguling pada Musim Hujan

Konsentrasi F1 musim kemarau berkisar antara 0,16-1,14 mg/kg dengan nilai rata-rata $0,31 \pm 0,27$ mg/kg tertinggi di titik 1A sebesar 1,14 mg/kg dan terendah di titik 10A sebesar 0,16 mg/kg. Konsentrasi F2 berkisar antara 0,69-1,03 mg/kg dengan nilai rata-rata $0,89 \pm 0,12$ mg/kg tertinggi di titik 6 sebesar 1,03 mg/kg dan terendah di titik 10B sebesar 0,69 mg/kg. Konsentrasi F3 berkisar antara 0,17-0,92 mg/kg dengan nilai rata-rata $0,43 \pm 0,21$ mg/kg tertinggi di titik 7 sebesar 0,92 mg/kg dan terendah di titik 5 sebesar 0,17 mg/kg. Konsentrasi F4 berkisar antara 4,05-12,58 mg/kg dengan nilai rata-rata $7,50 \pm 2,44$ mg/kg tertinggi di titik 10B sebesar 12,58 mg/kg dan terendah di titik 8 sebesar 4,05 mg/kg. Konsentrasi rata-rata Cd berurutan dari yang terbesar ke terkecil yaitu $F4 > F2 > F3 > F1$. Spesiasi Cd musim kemarau disajikan pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Spesiasi Cd di Sedimen Waduk Saguling pada Musim Kemarau di Setiap Titik Sampling



Gambar 5. Perbandingan Fraksi Cd di Sedimen Waduk Saguling pada Musim Hujan

Spesiasi logam di sedimen sangat menentukan ketersediaannya (*bioavailability*) bagi biota. Logam pada fraksi 1, 2, dan 3 adalah logam yang labil, dimana pergerakannya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Logam pada fraksi 1 merupakan logam paling tinggi mobilitasnya (*most available form*) karena paling mudah bertukar (*most exchangeable*) dan perikatannya sangat lemah (*weakly adsorbed*) pada matriks sedimen sehingga paling mudah lepas dan larut dalam kolom air dan oleh karena itu merupakan fraksi yang paling tersedia dan berpotensi diserap serta bisa menimbulkan toksisitas pada organisme perairan (Zimmerman dan Weindorf, 2010; Sundaray dkk., 2011). Tabel 4 menjabarkan hasil spesiasi Cd di beberapa negara.

Tabel 4. Hasil Penelitian Spesiasi Cd di Beberapa Negara

Lokasi	Spesiasi Logam Cd (mg/kg)	Sumber
Sungai Jiangsu China	F1: 7,02±0,17, F2 3,99±0,13 F3: 0,28±0,01, dan F4: 0,14±0,01	Bo, 2015
Sungai Ghalechay Iran	F1: 0,7, F2: 0,0, F3: 1,7, dan F4: 15,6	Nemati, 2010
Danau Taihu China	F1: 0,7, F2: 0,1, F3: 1,0, F4: 15,6	Yin, 2011
Danau Skandar montenegro	F1: 5,50±1,96-25,79±3,77, F2: 4,41±0,47-25,81±8,20, F3: 3,45±0,80-14,64±5,66, dan F4: 0,03±0,02-5,05±0,02	Ikem, 2010
Waduk Saguling		
Hujan	F1: 0,27, F2: 1,47, F3: 0,77, dan F4: 9,60	Hasil Penelitian, 2018
Kemarau	F1: 0,31, F2: 0,89, F3: 0,43 dan F4: 7,50	

Penilaian Bioavailabilitas dengan Risk Assessment Code (RAC)

Hasil penelitian spesiasi menunjukkan bahwa logam di sedimen berikatan pada fraksi yang berbeda dengan kekuatan ikatan yang juga berbeda. Perbedaan ikatan tersebut mengindikasikan reaktivitas sedimen serta dapat digunakan untuk menilai risiko bahaya yang ditimbulkan oleh logam di lingkungan perairan.

RAC digunakan dalam penilaian ketersediaan (availabilitas) logam di sedimen dengan mengaplikasikan suatu skala pada nilai persentasi logam di fraksi *exchangeable* (Sundaray dkk., 2011). Metode ini tidak hanya memperhitungkan konsentrasi total logam berat tetapi juga spesiasi logam di perairan sehingga diketahui berapa spesiasi logam yang tersedia untuk diserap oleh biota perairan. Hal ini penting karena logam yang berasal dari aktivitas antropogenik adalah umumnya bersifat adsorptif, dapat bertukar (*exchangeable*) dan berikatan dengan fraksi karbonat. Logam-logam tersebut perikatannya lemah sehingga dapat larut dalam kolom air dan terserap oleh biota (Sundaray dkk., 2011).

RAC merupakan metode yang dipergunakan untuk menilai bioavailabilitas logam di sedimen perairan. Prinsip metode ini yaitu menentukan jumlah konsentrasi logam berat yang terlarut dalam sedimen, dimana logam berat jenis ini yang dapat dengan mudah diserap oleh biota perairan (Jones dkk., 2008). Metode RAC ditemukan seiring dengan dikembangkan metode ekstraksi yang dapat membagi bentuk logam di sedimen menjadi 4 yaitu: *extractable and exchangeable* (F1), *iron and manganese oxides bound* (F2), *organic matter bound* (F3), and *residual metal* (F4). Urutan bioavailabilitas logam berat di sedimen berdasarkan fraksinya yaitu: F1>F2>F3>F4.

Berdasarkan hasil penelitian perbandingan konsentrasi F1 di musim hujan dan kemarau disajikan pada Gambar 6, dimana berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa nilai rata-rata F1 pada musim kemarau lebih besar dari musim hujan. Konsentrasi F1 tertinggi terjadi di titik 1A yang menunjukkan bahwa telah terjadi pencemaran Cd yang berasal dari aktivitas manusia di titik tersebut. Berdasarkan Gambar VI.13 urutan konsentrasi F1 dari tinggi ke rendah pada musim hujan yaitu:

1A>7>1B>5>8>6>2>10B>9>4>3>10A
1A>2>7>3>9>1B>4>6>5>10B>10A~8.

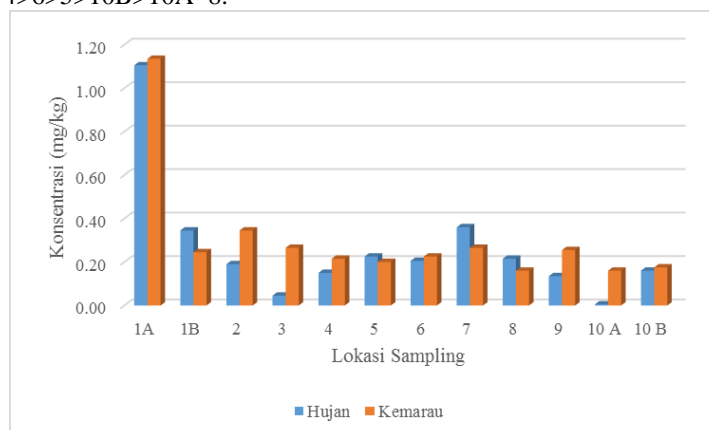
sedangkan

pada

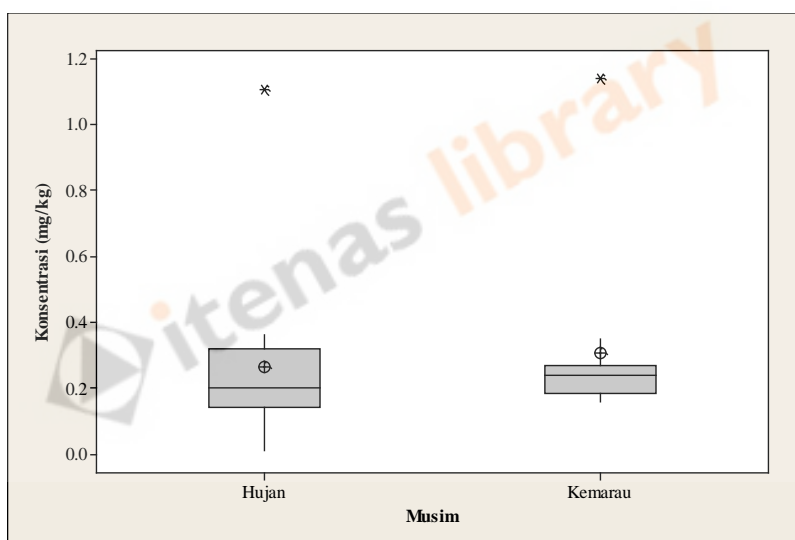
musim

kemarau

yaitu:



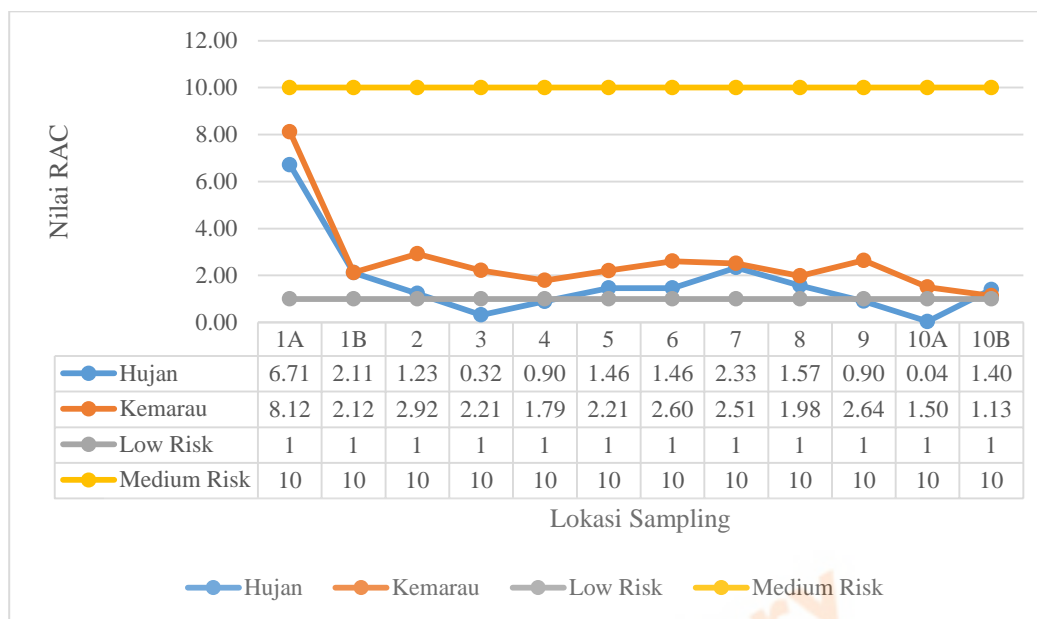
Gambar 6. Perbandingan F1 di Sedimen Waduk Saguling Setiap Titik Musim Hujan dan Kemarau



Gambar 7. Perbandingan Fraksi F1 di Sedimen Waduk Saguling Musim Hujan dan Kemarau

Gambar 7 menggambarkan perbandingan nilai RAC di sedimen Waduk Saguling pada musim hujan dan kemarau. Rentang nilai RAC pada musim hujan berkisar antara 0,07-6,74 dengan nilai rata-rata sebesar 1,73, sedangkan pada musim kemarau berkisar antara 1,16-8,15 dengan nilai rata-rata sebesar 2,79.

Nilai RAC musim kemarau lebih tinggi jika dibanding musim hujan menunjukkan bahwa pada musim kemarau Cd lebih bersifat *bioavailable* dan lebih mampu untuk masuk ke rantai makanan di Waduk Saguling. Katagori RAC pada musim hujan termasuk katagori *low risk* sedangkan pada musim kemarau termasuk katagori *low risk*. Musim kemarau semua titik sampling termasuk katagori *low risk*. Nilai RAC tertinggi dimusim hujan dan kemarau yaitu titik 1A. Tabel 8 menyajikan nilai RAC di Waduk Saguling musim hujan dan kemarau.



Gambar 8. Nilai RAC Cd di Waduk Saguling Musim Hujan dan Kemarau

Berdasarkan Gambar 8 nilai RAC di titik 1A yaitu inlet Waduk Saguling di Sungai Citarum-Nanjung nilai RAC nya menempati posisi paling tinggi di musim hujan dan kemarau. Nilai RAC di titik 1A mendekati *medium risk*, hal tersebut harus diwaspadai karena Cd di titik ini bersifat mudah terlarut. Perbedaan musim yang akan mempengaruhi regim Hidrologi sangat mempengaruhi pencemaran logam berat disedimen, perubahan debit air akan menyebabkan pelepasan logam berat dari sedimen ke kolom air. Terjadinya banjir menyebabkan kenaikan mobilitas Fe, Mn, Ni, dan Cr dan menurunkan mobilitas Cd, Cu, dan Zn (Du Laing, 2008). Hasil penelitian negara lain seperti di Sungai Xiawangang China menunjukkan nilai RAC sebesar 37,77 termasuk katagori resiko tinggi dan di Danau Chauho berkisar antara 4-5 termasuk katagori resiko rendah (Liu, 2008)

Penilaian Bioavailabilitas dengan GCF

Penentuan kontaminasi logam berat merupakan salah satu aspek penting untuk menurunkan dan mengontrol pencemaran di lingkungan perairan. Bioavailabilitas dan toksisitas logam berat tergantung dari kimianya. Penentuan faktor kontaminasi dari logam merupakan aspek penting untuk menentukan derajat resiko dari logam berat ke lingkungan (Naji dkk., 2010; Ikem dkk., 2003; Nemati dkk., 2009)

Individual contamination factor (ICF) merupakan penilaian bioavailabilitas logam berat yang dihitung dari masing-masing titik sampling. ICF ditentukan dengan menjumlahkan konsentrasi logam berat dalam bentuk non-resisten yaitu fraksi F1, F2, dan F3 dibagi dengan konsentrasi logam berat dalam bentuk resisten yaitu fraksi F4. *Global contamination factor* (GCF) untuk suatu perairan ditentukan dengan cara menjumlahkan nilai ICF dari masing-masing titik sampling (Ikem dkk., 2003).

Berdasarkan hasil analisis nilai ICF di sedimen Waduk Saguling pada musim hujan berkisar antara 0,12-0,70 dengan nilai rata-rata 0,29 termasuk katagori rendah. Nilai ICF tertinggi terdapat di titik 6 dan terendah di titik 10A seperti disajikan pada Tabel 6. Nilai GCF pada musim hujan yaitu 3,46 termasuk katagori kontaminasi rendah. Musim kemarau nilai ICF berkisar antara 0,09-0,40 dengan nilai rata-rata 0,24 termasuk katagori rendah. Nilai ICF tertinggi terdapat di titik 7 dan terendah di titik 10B seperti disajikan pada Tabel 6. Nilai GCF pada musim hujan yaitu 3,46 termasuk katagori kontaminasi rendah.

Penilaian kontaminasi dengan metode ini dapat dipergunakan untuk melihat sumber logam berat dalam sedimen apakah dari aktivitas alamiah atau manusia. Logam berat yang berasal dari aktivitas alamiah terukur berikatan dengan mineral kristalnya (fraksi F4) sulit untuk bisa lolos ke kolom air sehingga disebut fraksi resisten. Logam berat yang berasal dari aktivitas manusia berada pada fraksi non resisten (F1, F2, dan F3) di mana urutan yang mudah terlepas ke kolom air yaitu $F1 > F2 > F3$ (Naji dkk., 2010; Nemati dkk., 2011).

Berdasarkan Tabel 7 terlihat bahwa pada musim hujan %fraksi non resisten sebesar 17,16% dan musim kemarau 15,44%. Hal tersebut menunjukkan bahwa fraksi Cd yang berpotensi untuk terlepas dari ikatan sedimen sebesar 15,44-17,16% pada kedua musim tersebut. Fraksi resisten pada musim hujan mencapai 63,97% dan kemarau 64,74% menunjukkan bahwa sebagian besar Cd terikat kuat pada mineral kristalnya dan sulit untuk bisa lolos ke kolom air. Fraksi resisten yang tinggi menunjukkan bahwa sumber pencemar Cd berasal dari aktivitas alamiah. Fraksi residu menunjukkan bahwa dari total logam berat yang terdapat di sedimen ada sisa yang tidak dapat terbaca oleh alat ICP-EOS. Besarnya fraksi residu dipengaruhi oleh banyak faktor seperti pengambilan sampel, pengawetan, dan proses analisis di laboratorium.

Tabel 6. Nilai ICF dan GCF di Sedimen Waduk Saguling

Lokasi Sampling	Musim Hujan			Musim Kemarau		
	Konsentrasi (mg/kg)		Nilai IGF	Konsentrasi (mg/kg)		Nilai IGF
	$\Sigma F1+F2+F3$	F4		$\Sigma F1+F2+F3$	F4	
1A	3,23	9,37	0,34	2,66	9,78	0,27
1B	2,62	13,06	0,20	1,63	8,45	0,19
2	2,72	7,73	0,35	1,75	7,73	0,23
3	2,08	11,69	0,18	1,27	9,27	0,14
4	2,71	12,90	0,21	1,54	8,28	0,19
5	2,64	9,63	0,27	1,22	6,30	0,19
6	3,03	4,34	0,70	1,73	4,98	0,35
7	3,17	9,38	0,34	1,98	4,89	0,40
8	2,75	7,26	0,38	1,21	4,05	0,30
9	2,47	11,77	0,21	1,47	5,73	0,26
10A	1,21	9,85	0,12	1,74	7,98	0,22
10B	1,27	8,26	0,15	1,19	12,58	0,09
Nilai GCF			3,46			2,82

Tabel 7. Persentase Cd Fraksi Resisten, Non Resisten dan Residu di Sedimen Waduk saguling

Lokasi Sampling	Musim Hujan			Musim kemarau		
	% Fraksi Non Resisten	% Fraksi Resisten	% Fraksi Residu	% Fraksi Non Resisten	% Fraksi Resisten	% Fraksi Residu
1A	19,62	56,93	23,45	19,00	69,95	11,06
1B	16,05	80,02	3,92	14,06	73,05	12,89
2	17,59	50,08	32,33	14,81	65,38	19,81
3	14,62	82,12	3,27	10,54	77,25	12,21
4	16,22	77,34	6,44	12,82	68,90	18,28
5	17,18	62,65	20,17	13,47	69,48	17,05
6	21,61	30,92	47,47	20,02	57,64	22,34
7	20,54	60,79	18,66	18,70	46,31	34,99
8	20,02	52,92	27,06	14,89	50,03	35,08
9	16,54	78,83	4,62	15,21	59,23	25,56

Lokasi Sampling	Musim Hujan			Musim kemarau		
	% Fraksi Non Resisten	% Fraksi Resisten	% Fraksi Residu	% Fraksi Non Resisten	% Fraksi Resisten	% Fraksi Residu
10A	8,73	71,07	20,20	16,34	74,88	8,78
10B	11,07	72,30	16,63	7,66	81,31	11,02

4. Kesimpulan

Rentang nilai RAC pada musim hujan antara 0,07-6,74 dengan nilai rata-rata sebesar 1,73, sedangkan pada musim kemarau nilai RAC antara 1,16-8,15 dengan nilai rata-rata sebesar 2,79. Nilai RAC musim kemarau lebih tinggi jika dibanding musim hujan menunjukkan bahwa pada musim kemarau Cd lebih bersifat *bioavailable* dan lebih mampu untuk masuk ke rantai makanan di Waduk Saguling. Berdasarkan nilai GCF musim hujan memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan musim kemarau dengan kategori yang sama yaitu resiko rendah. Musim hujan memiliki fraksi non resisten lebih tinggi dibandingkan musim kemarau, artinya kemampuan Cd untuk lepas dari ikatan sedimen pada musim hujan lebih besar dibanding musim kemarau.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan banyak sekali terima kasih kepada Direktorat Jenderal Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia atas bantuan keuangan dalam bentuk Hibah Disertasi Doktor serta kepada pihak lain yang telah membantu penyelesaian penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Bo Luji, Wang Dejian, Zhang Gang, Wang Can. (2015): Heavy metal speciation in sediments and the associated ecological risk in rural river in Southern Jiangsu Province, China, *Soil and Sediment Contamination*, **24**:90-102.
- [2] Du Laing G, Rinklebe J, Vandecasteele B, Meers E, Tack F.M. (2009): Tracemetal behaviour in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: a review, *Sci Total Environ*, **407**:3972-85.
- [3] Ikem A, Egiebor N.O, Nyavor K. (2003) Trace elements in water, fish and sediment from Tuskegee Lake, Southeastern USA. *Journal of Hydrology* 450-**451**:244-253.
- [4] Indonesia Power Unit Bisnis pembangkit Saguling. (2014): Laporan Hasil Pemantauan Kualitas Air Waduk Saguling Tahun 2014, *Perusahaan Listrik Negara*.
- [5] Jones R.P, Hassan S.M, Rodgers Jr J.H. (2008): Influence of contact duration on sediment-associated copper fractionation and bioavailability, *Ecotoxicol Environ Saf* **71**:104-16.
- [6] Liu Baolin, Hu Ke, Jiang Zhengloang, Yang Juan, Luo Ximing, Liu Aihua. (2011): Distribution and enrichment of heavy metals in a sediment core from the Pearl River Estuary, *Environ Earth Sci*, **62**:265-275.
- [7] Naji A, Ismail A, Ismail AR. (2010): Chemical speciation and contamination assessment of Zn and Cd by sequential extraction in surface sediment of Klang River, Malaysia, *Microchem. Journal*, **95**:285-292.
- [8] Nemati K, Bakar N.K, Abas M.R. (2009): *Investigation of heavy metals mobility in shrimp aquaculture sludge Comparison of two sequential extraction procedures*, *Microchem. Journal*. **91**:227-231.
- [9] Sundaray, S. K., B. B. Nayak, S. Lina, and D. Bhatta. (2011): Geochemical speciation and risk assessment of heavy metals in the river estuarine sediments-A case study: Mahanadi basin, India, *Journal of Hazardous Materials* **186**: 1837-1846.
- [10] Tessier A, Campbell PGC, Bisson M. (1979): Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal Chem*, **51**:844-51.
- [11] Yin, H., Gao, Y., Fan, C. (2011): Distribution, sources and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from Lake Taihu, China. *Environ. Res. Lett.* **6**, 044012 (11 pp).
- [12] Zimmerman, A. J, Weindorf, D.C. Heavy metal and trace metal analysis in soil by sequential extraction: A review of procedures. *International Journal of Analytical Chemistry*.