

Prosiding

SIMPOSIUM NASIONAL TEKNOLOGI INFRASTRUKTUR Abad ke-21

Volume 1, Januari 2021



**SIMPOSIUM NASIONAL
TEKNOLOGI INFRASTRUKTUR**

**Inovasi Teknologi Infrastruktur
Menuju Masyarakat yang Maju dan Tangguh**

25-26 Januari 2021

**Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada**

Diselenggarakan oleh:



Bersama dengan:



Diselenggarakan Oleh
DTSL FT UGM



UNIVERSITAS GADJAH MADA

Bersama



Institut Teknologi Sepuluh
Nopember



Institut Teknologi
Bandung



Institut Pertanian
Bogor



Universitas Diponegoro



Universitas Andalas



Universitas Trisakti



Universitas Hasanuddin



Universitas Bengkulu



Universitas Katolik
Parahyangan



Universitas Udayana



Universitas Negeri Padang

Didukung Oleh



Disponsori Oleh



GEOSISTEM

intibeton



GEOFORCE INDONESIA
geosynthetics engineering

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga Prosiding “Simposium Nasional Teknologi Infrastruktur (SNTI) Abad 21” ini berhasil diterbitkan. Prosiding ini merupakan kumpulan makalah pada Simposium Nasional Teknologi Infrastruktur (SNTI) yang diselenggarakan pada tanggal 25-26 Januari 2021.

Seiring berkembangnya pembangunan infrastruktur Indonesia, tujuan seminar ini adalah sebagai media diskusi juga untuk meningkatkan kontribusi para akademisi dan profesional dalam pengembangan teknologi infrastruktur yang terintegrasi, berdayaguna, dan berwawasan lingkungan. Terdapat banyak sumber bencana yang mengancam berbagai wilayah Indonesia sehingga upaya mitigasi dan pemulihan pasca bencana melalui pengembangan sistem dan infrastruktur adalah hal sensial yang perlu dilakukan dengan didukung pengetahuan teknologi yang holistik dan mudah diterapkan.

“Simposium Nasional Teknologi Infrastruktur (SNTI) Abad 21”, mengajak kalangan untuk berbagi pengetahuan tentang ide, temuan, capaian, dan inovasi teknologi infrastruktur yang bermanfaat untuk mencapai kesejahteraan dan ketahanan bencana masyarakat Indonesia. Dalam hal ini, akademisi, praktisi, dan industri dalam bidang Teknik Sipil dan Lingkungan memiliki peran untuk menyelesaikan permasalahan tersebut.

Terima kasih kami sampaikan kepada semua penulis yang telah menyumbangkan makalahnya dalam prosiding ini. Terima kasih pula kami sampaikan kepada seluruh dosen dan mahasiswa Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada yang telah terlibat dalam perencanaan dan penyelenggaraan seminar serta telah bekerja keras dalam pembuatan prosiding ini, baik dari segi naskah maupun tampilan yang disajikan secara apik. Kami mengucapkan mohon maaf bila terdapat kekeliruan dalam penerbitan prosiding ini. Kami berharap, seminar dan prosiding ini dapat berguna dan memberikan manfaat bagi banyak pihak, baik untuk sekarang maupun waktu yang akan datang.

Yogyakarta, Januari 2021

Ketua Panitia

Angga Fajar Setiawan, S.T., M.Eng., Ph.D.

STRUKTUR KEPANITIAAN

PENANGGUNG JAWAB : Prof. Dr. Ir. Joko Sujono, M.Eng.

PENGARAH :

- 1) Ir. Ali Awaludin, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 2) Prof. Ir. Hrc. Priyosulistyo, M.Sc., Ph.D.
- 3) Prof. Ir. Sigit Priyanto, M.Sc.
- 4) Dr. Ir. Istiarto, M.Eng.
- 5) Dr. Ir. Budi Kamulyan, M.Eng.
- 6) Dr. Ir. Ahmad Rifa'i, M.T.

PANITIA PELAKSANA :

Ketua : Angga Fajar Setiawan, S.T., M.Eng., Ph.D.

Sekretaris : Endita Prima Ari Pertiwi, S.T., M.Eng., Ph.D.

Komite Paper :

- 1) Ashar Saputra, S.T., M.T., Ph.D.
- 2) Arief Setiawan Budi Nugroho, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 3) Imam Muthohar, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 4) Dr. Inggar Septia Irawati, S.T., M.Eng.
- 5) Intan Supraba, S.T., M.Sc., Ph.D.
- 6) Dr. Eng. Muhammad Zudhy Irawan, S.T., M.T.
- 7) Fikri Faris, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 8) Johan Syafri Mahathir Ahmad, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 9) Dr.Eng. Sito Ismanti, S.T., M.Eng.
- 10) Karlina, S.T., M.Eng., Ph.D.

Acara :

- 1) Ni Nepi Nyoman Marleni, S.T., M.Sc., Ph.D.
- 2) Tantri Nastiti Handayani, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 3) M. Rizka Fahmi Amrozi, S.T., M.Sc., Ph.D.
- 4) Kartika Nur Rahma Putri, S.T., M.T.
- 5) Nurul Alvia Istiqomah, S.T., M.Sc.

DEWAN REDAKSI

:

- 1) Arief Setiawan B. N., S.T., M.Eng., Ph.D.
- 2) Dr. Inggar Septhia Irawati, S.T., M.T.
- 3) Intan Supraba, S.T., M.Sc., Ph.D.
- 4) Angga Fajar Setiawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 5) Endita Prima Ari Pratiwi, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 6) Johan Syafri Mahatir, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 7) Dr. Eng. Sito Ismanti, S.T., M.Eng.
- 8) Karlina, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 9) M. Rizka Fahmi Amrozi, S.T., M.Sc., Ph.D.
- 10) Ashar Saputra, S.T., M.T., Ph.D.
- 11) Ali Awaludin, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 12) Imam Muthohar, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 13) Fikri Faris, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 14) Dr. Eng. Muhammad Zudhy Irawan, S.T., M.T.
- 15) Ni Nyoman Nepi Marleni, S.T., M.Sc., Ph.D.
- 16) Tantri Nastiti Handayani, S.T., M.Sc., Ph.D.
- 17) Kartika Nur Rahma Putri, S.T., M.T.
- 18) Nurul Alvia Istiqomah, S.T., M.Sc.
- 19) Faza Fawzan Bastariato, S.T., M.Sc.(Eng)., M.Sc.
- 20) Dr.Eng.Ir.Eka Juliafad, ST.,M.Eng.,IPM
- 21) Dr. Eng. Nevy Sandra, ST, M.Eng
- 22) Dr. Gusta Gunawan, S.T., M.T.
- 23) Ade Sri Wahyuni, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 24) Lindung Zalbuin Mase, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 25) Dr. Lisa Oksri Nelfia, S.T., M.T., M.Sc.
- 26) Dr. Ir. Bambang Endro Yuwono, MS
- 27) Dr. Eng. Rita Irmawaty, S.T., M.T.
- 28) Dr. Eng. Fakhruddin, S.T., M.T.
- 29) Dr. Chusnul Arif, STP., M.Si.
- 30) Dr. Eng. Heriansyah Putra, S.Pd., M.Eng.
- 31) Nidiasari, S.T., M.T.

- 32) Rina Yuliet, S.T., M.T.
- 33) Budijanto Widjaja, Ph.D.
- 34) Dr. Eng. Mia Wimala
- 35) Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.
- 36) Dr.-Ing. Bobby Minola Ginting
- 37) Tri Basuki Joewono, Ph.D.
- 38) Ir. Hera Widyastuti, M.T., Ph.D.
- 39) Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, S.T., M.T.
- 40) Bambang Pisceca, S.T., M.T., Ph.D.
- 41) Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.
- 42) Dr. Techn. Umboro Lasminto, S.T., M.T
- 43) I Putu Gustave Suryantara Pariartha, S.T., M. Eng.,
Ph.D.
- 44) Ir. Teddy Theryo, MSCE, PE
- 45) Hartanto Wibowo, S.T., M.A.Sc., Ph.D, PE
- 46) Rijalul Fikri, S.T., M.Sc., Ph.D.
- 47) Chandra Setyawan, STP., M.Eng., Ph.D.
- 48) Dr. Faizal Wira Rohmat
- 49) Neil Andika, S.T., M.Sc.
- 50) Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc.
- 51) Raihan Pasha Isheka, S.T., M.Sc.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
STRUKTUR KEPANITIAAN.....	iv
DAFTAR ISI	vii
 TEMA 1 – GREEN INFRASTRUCTURE AND MATERIAL ENGINEERING	
Inovasi Beton Ringan dengan Limbah <i>Styrofoam</i> dan <i>Fly Ash</i>	
T. B. H. Suntadi, C. Octavianus, E. D. Widjaja.....	1
Perilaku Mekanik dan Ketahanan Beton Berbahan Pasir <i>Slag Nikel</i> dan <i>Fly Ash</i>	
T. Priono, R. Irmawaty, Fakhruddin.....	6
Pengujian Variasi Tipe Sambungan dengan Perekat Labur terhadap Kuat Geser Balok Bambu Laminasi	
H. B. B. Kuncoro, Z. Darwis, D. Alwan.....	12
Pemanfaatan Material Limbah <i>Plastic Optical Fiber</i> (POF) dalam Campuran Beton Normal Sesuai SNI 7656:2012	
P. R. Putrianti, A. A. Setiawan, P. Melati. R., N. Lyvia.....	19
Analisa Kekuatan Sambungan pada Sistem Komposit LVL Kayu Nangka dengan Beton Pracetak	
D. P. Sari, R. Wanara, Zulfiadi	24
Pengaruh Penambahan Abu Batu Sebagai Pengisi sebagai Pengisi terhadap Kuat Tekan dan Pola Kerusakan pada Beton Tanpa Pasir	
A. Setiawan, S. Winarno	29
Compressive and Tensile Creep of Glued-Laminated Bamboo	
Ngudiyono, B. Suhendro, A. Awaludin, A. Triwiyono	35
Kinerja Bekisting Sistem (PERI) pada Pekerjaan Struktur Bunker Ruang Teleterapi <i>Linear Accelerator</i> (LINAC): (Studi pada Rumah Sakit Umum Daerah Mangusada Badung)	
I. G. L. B. Eratodi, A. Triwiyono	41

Pengaruh Rongga dan Jarak Senggang pada Kekuatan Tekan Kolom Berlubang dengan Penampang Berbentuk Lingkaran	
S. Hartawan, A. Triwiyono, Muslikh, I. Satyarno	48
Pemanfaatan Kulit Tanaman Pimping (<i>Themeda Gigentea</i>) untuk Meningkatkan Kuat Tarik dan Daktilitas Beton	
A. Masdar, R. Junnaidy, A. Sagita	53
Pemanfaatan Limbah Serbuk Kaca sebagai Bahan Tambah Sebagian dari Semen dalam Pembuatan Beton Normal	
A. Pebrianto, H. A. Safarizki, Marwahyudi	59
Review Karakteristik Baja Berdinding Tipis Akibat Beban Torsi	
N. Arman, A. Saputra, S. Siswosukarto	63
Aplikasi Bakteri sebagai Agen <i>Self-Healing</i> pada Beton	
R. Z. Rahmawan, M. Fauzan, H. Putra	69
Aplikasi Penggunaan Biji Asam Jawa (<i>Tamarindus Indica L.</i>) Sebagai Alternatif Pengganti Bahan Koagulan di IPA Bolon, PDAM Lawu Kabupaten Karanganyar	
S. S. Pranadesta, R. Ermawati, N. N. N. Marleni	76
Rekayasa Material Bata Kobel dalam Infrastruktur Bangunan Sipil Ramah Lingkungan Abad ke-21	
C. L. Susilawati, I. W. Tyas, H. M. A. Sutoto	82
Studi Pengaruh Agregat Plastik pada Beton dan Dampaknya Terhadap Lingkungan	
A. A Mohsa, H. Putra	89
Pemanfaatan Serbuk Limbah Batu Kapur dan Limbah Bata Ringan dalam Pembuatan <i>High Early Strength Sustainable Self Compacting Concrete</i>	
C. Richardy, Evan, S. H. Sumali. H. Sugiharto	95
Review Analisis Ketahanan Lentur pada Balok Baja Canai Dingin	
S. Widayanti, A. Saputra, A. Triwiyono	101
Pengaruh Limbah Serbuk Kayu terhadap Kuat Tekan Beton sebagai Bahan Tambah Pembuatan Beton Normal	
A. D. Prasetyo, H. A. Safarizki, Marwahyudi	107

Pengaruh Konsentrasi <i>Deltamethrin</i> terhadap Ketahanan Bambu Petung dan Peluang Aplikasinya pada Bambu Laminasi Perekat <i>Urea Formaldehyde</i>	
T. N. Syaifuddin, I. S. Irawati, A. Awaludin	112
Penentuan Konsentrasi <i>Deltamethrin</i> untuk Pengawet Bambu Petung dan Peluang Aplikasinya pada Bambu Laminasi Perekat <i>Polymer Isocyanate</i>	
U. Azmy, I. S. Irawati, A. Awaludin	118
 TEMA 2 – EARTHQUAKE ENGINEERING AND STRUCTURAL DYNAMIC	
<i>Review Karakteristik Mechanical Properties</i> dari Mortar <i>3D Printing</i>	
F. W. Rivai, I. Satyarno, A. Aminullah	125
<i>Review Analisis Statik Nonlinear Pushover</i> dalam Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Gedung	
A. A. Putra, S. Siswosukarto, B. Supriyadi	131
Analisis Rasio Kestabilan Angin Dinamik Jembatan Gantung <i>Steel Box Girder</i>	
A. N. Hafizh, B. Supriyadi, Muslikh	138
Peningkatan Frekuensi Lantai Gedung untuk Menghindari Resonansi Akibat Beban Dinamik (Studi kasus Gedung Sleman City Hall Yogyakarta)	
A. Andrestari, B. Supriyadi, S. Siswosukarto	144
Kekakuan Kolom Persegi Beton Bertulang <i>Diretrofit</i> dengan <i>Wire Mesh</i> akibat Beban Siklik	
H. M. Wuaten, H. Parung, A. A. Amiruddin, R. Irmawaty	150
Studi Perilaku Gedung Baja Modular terhadap Beban Gempa akibat Perbedaan Jenis Sambungan Antar-modul	
M. Lyman, L. F. Tjong, L. Eddy	156
Pengembangan Respons Spektra pada Tanah Lunak di Jakarta	
G. Aglia, S. D. Alvi, P. P. Rahardjo	163
Analisis Data Mikrotremor terhadap Kekuatan Bangunan Terbengkalai di Surabaya	
D.P. Dibiantara, A.F. Refani, M.S. Darmawan, Y. Tajunnisa, R. Arrafi	169

Tinjauan Analisis Ketahanan Tekuk Kolom Baja Canai Dingin yang Dibebani Secara Aksial	
N. Z. Mangoda, A. Saputra, A. Awaludin	175
Studi Eksperimen Nilai Redaman Pasangan Batu Bata dengan Mortar Campuran Kapur dan Bubukan Batu Bata	
F. K. Bhara	181
Uji Analisis Struktur Terhadap Ketahanan Gempa: Studi Kasus Rumah Sakit Nasional Diponegoro (RSND) Semarang	
H. Indarto, F. Hermawan	188
Studi Perilaku Tekuk Material <i>Cold Formed Steel</i> (CFS) Profil C Tunggal dan Ganda Tersusun (<i>Built-up</i>) Akibat Beban Aksial	
R. Amaliah, A. Saputra, A. Aminullah	195
Perencanaan Struktur Gedung Apartemen 12 Lantai Berbentuk L di Surakarta	
D. A. Saputri, H. A. Safarizki, Marwahyudi	201
Efek Perubahan Nilai Modulus Elastisitas Pada Kinerja Portal Terbuka Beton Bertulang Mutu Tinggi akibat Beban Gempa	
W. Perceka, H. H. Tjahjanto, M. Nagasastra	207
Tanggap (<i>Response</i>) Dinamis Struktur Cerobong akibat Beban Gempa dengan Model Balok Kontinu	
A. Dolu, I. G. M. Oka	213
Hubungan Beban-Perpindahan dan Pola Retak pada Join Balok-Kolom Akibat Beban Siklik	
H. Tumengkol, R. Irmawaty, H. Parung, A. A. Amiruddin	220
 TEMA 3 – METODE TEKNIK KONSTRUKSI	
Analisis Biaya Kemacetan Kendaraan Pribadi di Jalan Tamangapa Raya Kota Makassar	
Mahyuddin, M. Hustim, M. Pasrah, A. N. Abdurrahman	225

Kurva Belajar pada Pekerjaan Pondasi Dangkal yang Menggunakan Material Blok Beton H. Nuryanto, S. Winarno	231
Analisa <i>Qualitative Value for Money</i> pada Skema <i>Availability Payment</i> untuk Pengembangan Infrastruktur di Tingkat Kabupaten/Kota di Indonesia Y. A. Tanne, I. Mahani, R. Z. Tamin	237
Analisis Kerusakan Gedung SD Inpres Desa Asilulu Kabupaten Maluku Tengah dan Pengaruhnya terhadap Anggaran Biaya Pembangunan A. Nanlohy, L. Leuhery, R. Nunumete	243
Sumber Daya Manusia di Industri Konstruksi Periode 2011 s.d 2020: Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Produktifitas Tenaga Kerja Konstruksi: Sebuah Tinjauan Sistematis F. Fassa, A. Wibowo, A. Soekiman	249
Manajemen Risiko di Industri Konstruksi Periode 2017 s.d 2020: Tinjauan Sistematis dan Analisis Konten F. Fassa, A. Wibowo, A. Soekiman	255
Analisa Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Penerapan Konstruksi Berkelanjutan pada Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Likupang D. Pangemanan, R. U. Latief, R. Arifuddin, S. Hamzah	262
Faktor Penghambat Penerapan Jalan Hijau (<i>Green Road</i>) di Indonesia M. Wimala, Y. L. D. Adianto, R. Kusnadi	268
Analisis Kelayakan Reaktivasi Jalur Kereta Api Madiun – Slahung E. Yulie, S. Malkamah, I. Muthohar, S. Priyanto	274
Tipologi Permasalahan Audit Bangunan Publik Berbasis Data Historis F. Hermawan, I. L. Nafiadi, P. A. Yamadevira, H. Indarto, H. L. Wahyono	278
Konsep Re-desain Stasiun Peralihan Antara (SPA) Gedebage Kota Bandung I. M. W. Widyarsana, N. Fildzah	284
Erection Process of a Long Span Arch Steel Truss Roof Structure: Preparation, `Execution, and Evaluation B. D. P. Armeidan, M. F. Darmawan, A. Kurniawan, A. F. Setiawan	290

Inovasi *Platform Online* dan Mandat Hukum Transparansi Penyediaan Infrastruktur dengan *CoST Approach*

D. Yustiarini, B. W. Soemardi, K. S. Pribadi..... 295

TEMA 4 – URBAN DEVELOPMENT FOR DISASTER MITIGATION AND RECOVERY

Perencanaan Sistem Penyediaan Air Baku Berbasis Masyarakat di Padukuhan Ketangi, Banyusoco, Playen, Gunung Kidul

E. P. A. Pratiwi, S. Ismanti, Y. Haroki, A. M. Emilidardi..... 301

Identifikasi Pola Persebaran Air Lindi (*Leachate*) di TPST Piyungan Menggunakan Metode Geolistrik dan Pemetaan Topografi

H. A. Kusumawati, I. Supraba, H. Sutanta..... 308

Implementasi *Agent Based Modelling* (ABM) dalam Mengamati Respon Pergerakan Pengguna Gedung Dekanat Teknik Universitas Bengkulu Saat Evakuasi Bencana Gempa Bumi pada Masa Pandemi

W. Fitrianip, Hardiansyah, L. Z. Mase 314

Konsep Rehabilitasi dan Revitalisasi TPA Temesi di Kabupaten Gianyar

I. M. W. Widayarsana, N. Fildzah 320

Pola Sebaran Layanan Pengangkutan Sampah di Kota Tangerang

I. D. Irawan, I. Muthohar, M. Z. Irawan 327

Evaluasi Fungsi Ekologis Ruang Terbuka Hijau pada Jalur Hijau Jalan di Khatib Sulaiman Kota Padang

Yosritzal, M. R. Nugraha..... 333

Pemetaan Banjir dengan Model RRI (*Rainfall-Runoff Inundation*) di Sub DAS Karang Mumus Provinsi Kalimantan Timur

R. Perdana, F. Nurrochmad, Karlina 339

Road Traffic Forecasting in Terms of Saturation Degree using Route Selection: A Case Study of Probolinggo – Banyuwangi Toll Road

G. J. Velantika, A. S. B Nugroho, I. Muthohar 345

Respon Sistem Drainase Kota Padang Akibat Perubahan Tata Guna Lahan di Kawasan Air Pacah	
U. I. Suri, B. S. Wignyosukarto, R. Jayadi	351
Potensi Dinding Bangunan dengan Bata <i>Interlocking</i>	
Z. A. Rachman, E. Juliafad	357
Studi Kebijakan Penyesuaian Volume Tampungan pada Rencana Kawasan Terbangun dengan Memperhitungkan Kondisi Drainase Saluran Persil Diluar Kawasan (Kajian Studi Kota Surabaya)	
M. H. Imaaduddiin, I. Saud, S. K. Azis, R. F. Indriani	362
Analisa Potensi Likuifaksi di Pesisir Barat Provinsi Sumatera Barat Menggunakan Metode Resistivitas Geolistrik	
H. Mutmainah, W. A. Gemilang, N. A. S. Purwono	369
Pemanfaatan Komputasi Paralel untuk Mitigasi Bencana Banjir	
B. M. Ginting	376
 TEMA 5 – SISTEM DAN TEKNIK TRANSPORTASI	
Simulasi Antrian pada Pintu Keberangkatan Terminal Keberangkatan Bandara Sultan Hasanuddin Makassar	
A. Kusuma, S. H. Aly, S. A. Adismita, S. Rauf	382
Pengaruh Penerapan <i>Ramp Metering System</i> terhadap Volume Lalu Lintas Jalan Bebas Hambatan	
D. Asmarani, S. Priyanto, M. Z. Irawan	389
Potensi Pemanfaatan Tanah Ong dari Kabupaten Kotawaringin Barat sebagai Material Lapis Pondasi Jalan	
S. M. Lasari, S. H. T. Utomo, L. B. Suparma	394
Evaluasi Tingkat Kebisingan Lalu Lintas melalui Metode Bina Marga pada Area Kesehatan (Studi Kasus: Rumah Sakit Awal Bros Panam, Pekanbaru)	
M. Z. Muttaqin, Wanit JJ	400

Model Estimasi Emisi CO ₂ Kendaraan Berbahan Bakar Bensin dan Solar di Indonesia W. Anggoro, I. Muthohar, S. Malkhamah	404
Pengaruh Penerapan Pembatasan Kendaraan Sepeda Motor terhadap Kinerja Ruas Jalan (Studi Kasus Jl. M.H. Thamrin Jakarta) I. A. Nugraha, I. Muthohar, L. B. Suparma	411
Development of Access and Transportation Services to Raden Inten II Airport in Lampung R. Sulistyorini	417
Kajian Eksperimental Aspal Buton Lawele Substitusi Aspal Minyak Pertamina Penetrasi 60/70 untuk Campuran AC-WC F. Chairuddin, G. M. Pongmari	423
Analisis Model Hubungan Guna Lahan dan Transportasi di Kota Samarinda S. R. P. Gaby, D. Anusanto	429
Analisis Kecelakaan Lalu Lintas di Jalan Jenderal Sudirman, Jetis, Yogyakarta S. D. T. Manja	435
Kajian Pemahaman Masyarakat terhadap Undang-Undang No. 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan A. Kusumawati, K. N. S. Ayuningtyas, A. N. Zahiyah	441
Analisis Karakteristik Perjalanan Komuter Pegawai Negeri Sipil di Kota Makassar M. I. Sabil, M. I. Ramli, S. A. Adisasmita, M. Pasra	448
Pengaruh Pengembangan Kawasan TOD di Stasiun LRT Jabodebek terhadap <i>Ridership</i> Moda LRT (Lintas Cawang-Bekasi) A. Wirawan, S. Priyanto, I. Muthohar	454
Penerapan <i>Barrier Free Access</i> dengan Skema <i>Transit Joint Development</i> pada Kawasan TOD Lebak Bulus, Jakarta F. N. Prasetyo, S. Priyanto, I. Muthohar	459

Desain Fasilitas Pejalan Kaki untuk Menghubungkan Stasiun MRT Istora Mandiri dengan Halte Transjakarta Gelora Bung Karno	
M. A. Wicaksono, I. Muthohar	465
Sistem Multi Bandara pada Hub Bandar Udara di Provinsi Kalimantan Timur dengan MADAM	
Tukimun, S. A. Sasmita, I. Ramli, R. U. Latief	471
Analisis Pengaruh Karakteristik Pengguna Ojek <i>Online</i> terhadap Frekuensi Penggunaannya di Kawasan Perkotaan Yogyakarta	
M. I. H. Kamal, M. Z. Irawan, Dewanti	477
Kajian Efektivitas Halte Bus BRT Transjateng Purwokerto	
Juanita, B. Prastio	482
Pengaruh Variasi Mutu Beton terhadap <i>Interface Shear Strength</i> antara <i>Rigid Pavement</i> dan AC-WC	
P. D. Marsela, M. F. Siswanto, L. B. Suparma	488
Pengaruh Rendaman Air pada Kinerja Campuran AC-WC Menggunakan <i>Reclaimed Asphalt Pavement</i> (RAP)	
T. Iduwin, D. P. Purnama, R. Hidayawanti	494
Analisis Lajur Khusus Sepeda Motor pada Ruas Jalan Tol Bali Mandara	
K. D. Nursanjaya, M. Z. Irawan, S. Priyanto	500
 TEMA 6 – SUSTAINABLE WATER RESOURCES MANAGEMENT	
Pengolahan Air Limbah Pemukiman Secara Komunal (Studi Kasus : Keluaran Pejagoan, Kebumen)	
E. Riyanto, A. Setiawan, A. R. Darajat	504
Dampak Penggunaan <i>Riffle-Pool</i> terhadap Penggerusan pada Bagian Hilir Bendung	
S. Teofilus	511
Evaluasi Kelayakan Ekonomi pada Jaringan Irigasi Berbasis Biaya Siklus Hidup (Studi Kasus pada Jaringan Irigasi Guntur, Kedondong, dan Kali Duren di Purworejo)	
M. Taufik, S. Winarno	517

Pemetaan Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) pada Sungai-Sungai Tidak Terukur melalui Penerapan Model Hidrologi dan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus di Daerah Aliran Sungai Serayu Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah)	
Y. Suwarno, J. Suryanta	524
Distribusi Kecepatan Gesek Akibat Struktur Peredam Energi pada Aliran Seragam Saluran Terbuka	
I. Widyastuti, M. A. Thaha, R. T. Lopa, M. P. Hatta.....	530
Penilaian Tingkat Pencemaran Logam Berat Sedimen Waduk Saguling Provinsi Jawa Barat	
E. Wardhani, D. Roosmini, S. Notodarmojo.....	536
Penentuan Lokasi IPAL Ternak di Sungai Saddang	
R. O. Tarru, S. Baja, F. Maricar, R. T. Lopa	543
Kajian Hidrologi Metode Hidrograf Nakayasu untuk Rancangan Embung di Kawasan Industri JIPE Gresik	
R. F. Indriani, M. Hafiizh, W. Utama.....	550
Estimasi Perubahan Garis Pantai Menggunakan Metode Empiris di Pantai Zakat	
R. B. Henkuswara, Besperi, G. Gunawan	555
Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan terhadap Debit Tersedia dan Kebutuhan Air Irigasi Daerah Irigasi Bendung Air Manjuntio	
N. T. Dinanti, F. Nurrochmad, E. P. A. Pratiwi	561
Pemodelan Perubahan Garis Pantai Bengkulu (Studi Kasus Pantai Tapak Paderi Bengkulu)	
F. Andini, Besperi, G. Gunawan	567
Studi Pengaruh Tinggi Silinder Pori Terhadap Debit Infiltrasi pada Saluran Drainase Bersilinder Pori	
F. D. Sindagamik, S. Antaria, Nenny.....	573

Penentuan Nilai k (Koefisien Infiltrasi Horton) dengan Cara Pengukuran yang Berbeda untuk Koefisien Abstraksi	
I. Kusuma, D. N. Khaerudin	579
Perancangan dan Evaluasi Kinerja Sistem Lumpur Aktif IPAL Toilet <i>Wisdom Park</i> UGM dalam Mengurangi COD dan Nitrogen	
O. Y. Setyapeni, S. P. Saraswati, J. S. M. Ahmad	586
Review Penanganan Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan	
I. K. Nuraga	592
Detail Perancangan Unit Sedimentasi Primer untuk Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Produk Rumah Tangga	
A. Wirayudhatama, F. R. Ismail, A. Sugiarto, A. Kurniawan	598
Perhitungan Status Mutu Air Sungai Cisangkan Kota Cimahi Provinsi Jawa Barat	
Rosmeiliyana, E. Wardhani	604
Analisis Dampak Limbah Domestik terhadap Kualitas Air Sungai Cibeureum, Kota Cimahi	
Y. I. Hermawan, E. Wardhani	611
 TEMA 7 – MITIGASI BENCANA GEOTEKNIK	
Analisis Potensi Likuifaksi Pada Area Wisata Danau Dendam Tak Sudah, Kota Bengkulu	
S. L. Zain, H. Safira, S. Agustina, L. Z. Mase, Hardiansyah	617
Analisis Respon Seismik dan Potensi Likuifaksi Berdasarkan Konsep Perambatan Gelombang Seismik dan <i>Simplified Energy</i> di Universitas Bengkulu	
S. Agustina, L. Z. Mase, Hardiansyah	623
Analisa Numerik Perkuatan Lereng dengan Menggunakan Barisan Tiang Pancang dan Cerucuk pada Tanah <i>Clay Shale</i> di Kalimantan	
I. T. Pratama, A. Y. Arif	629

Penggunaan <i>Ground Anchor</i> Sebagai Solusi Aplikatif Stabilitas Lereng Berdasarkan Simulasi Numerik	
A. W. Kurniawan, A. Rifai, S. Ismanti, M. Adriyati, F. Purwoko	636
Perbaikan Tanah menggunakan Biopolimer <i>Guar Gum</i> pada Tanah Pasir Lepas	
A. Lim, F. Wiwarsono	642
Metode <i>Bio-mediated Soil Improvement</i> untuk Perbaikan Tanah yang Berkelanjutan	
P. G. Oktafiani, H. Putra	648
Studi Pengaruh Penambahan <i>Zeolite Sangkoropi</i> sebagai Bahan Stabilitas Material Tanah Lunak	
N. Marfu'ah, T. Harianto, R. Irmawaty, A. B. Muhiddin	654
Python Application in Geotechnical Engineering Practices-A Review	
B. A. Yogatama, B. A. Tirta	661
Analisis Efek Vakum Konsolidasi Terhadap Pondasi Tiang Pancang Eksisting	
Z. Gusnadi, P. P. Rahardjo, A. Lim	670
Analisis Potensi Likuefaksi <i>Underpass</i> Bandara YIA dengan Simulasi Numeris	
N. H. Khatiman, A. Rifa'i, S. Ismanti	676
Evaluasi dan Optimasi Dinding Penahan Tanah Desa Sulangai, Kecamatan Petang, Kabupaten Badung, dengan Perkuatan <i>Ground Anchor</i>	
I. R. Mulyawan	683
Analisis Kapasitas Dukung <i>Bored Pile</i> Berdasarkan Uji Laboratorium dan Uji Lapangan Pada Jembatan Buloila Besar Kecamatan Sumalata Provinsi Gorontalo	
F. Achmad	690
Pengaruh <i>Slurry</i> Air Kapur terhadap Indeks Plastisitas Tanah Ekspansif	
D. Pinasang, T. Harianto, A. B. Muhiddin, A. A. Amiruddin	696

Penilaian Tingkat Pencemaran Logam Berat Sedimen Waduk Saguling Provinsi Jawa Barat

E. Wardhani^{1*}, D. Roosmini², S. Notodarmojo²

¹Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Nasional (ITENAS), Bandung, INDONESIA

²Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, INDONESIA

*Corresponding author: ekawardhani08@gmail.com

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pencemaran empat logam berat (Cd, Cr, Cu, dan Pb) di sedimen Waduk Saguling dengan menggunakan 4 jenis indeks yaitu Igeo, CF, MPI, dan PERI. Contoh yang diteliti merupakan sedimen permukaan yang berasal dari 12 titik mewakili musim hujan dan kemarau. Hasil penelitian menyatakan bahwa berdasarkan konsentrasi total pada musim hujan berurutan dari yang terbesar dan terkecil yaitu $Cr > Cu > Pb > Cd$ sedangkan pada musim kemarau $Cu > Cr > Pb > Cd$. Berdasarkan Igeo sedimen telah tercemar Cd dengan kategori *extremely polluted* pada musim hujan dan *Highly to extremely polluted* musim kemarau. Tiga logam berat lainnya yaitu Cr, Cu, dan Pb termasuk kategori *unpolluted to moderated polluted* pada dua musim penelitian. Berdasarkan CF sedimen telah tercemar Cd dengan kategori *very high contamination* pada musim hujan dan kemarau, dan tercemar Cr, Cu, dan Pb dengan kategori *moderated contamination*. Berdasarkan PERI diketahui bahwa kualitas sedimen Waduk Saguling telah tercemar Cd dengan kategori *serious ecological risk* pada musim hujan dan kemarau, artinya pencemaran Cd sudah berdampak serius terhadap ekosistem waduk. Sebagai perbandingan untuk Cr, Cu, dan Pb dengan kategori *low grade ecological risk* pada dua musim yang berbeda. Logam berat Cd walaupun konsentrasi yang terkandung paling rendah tetapi memiliki tingkat bahaya yang tinggi dibanding 3 logam berat lainnya.

Kata kunci: Indeks, Pencemaran, Saguling, Sedimen

1 PENDAHULUAN

Kualitas sedimen danau mencerminkan proses pencemaran yang terjadi di daerah tangkapan air. Sedimen berfungsi sebagai tempat akumulasi logam berat. Ketika kondisi lingkungan berubah secara langsung dapat mempengaruhi kualitas air di atasnya (Wardhani et al., 2014; Arinda dan Wardhani, 2018). Hal tersebut dapat mempengaruhi organisme yang hidup di badan air tersebut. Pemantauan kualitas sedimen harus menjadi bagian yang terintegrasi dalam program pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air (Wardhani et al., 2017a; Wardhani et al., 2017b; Wardhani et al., 2018). Penilaian kualitas sedimen dilakukan dengan menggunakan beberapa indeks geokimia terkait dengan kontaminasi logam berat. Metode yang digunakan antara lain: *Geo-accumulation Index* (Igeo) dan *Contamination Factor* (CF) untuk menilai kualitas sedimen di masing-masing titik pantau (Liu et al., 2011; Sanja et al., 2015). Metode lain yang digunakan untuk menilai kualitas sedimen untuk seluruh badan air adalah *Metal Pollution Index* (MPI) dan *Potential Ecological Risk Index* (PERI) (Wardhani et al., 2016a).

Waduk Saguling berfungsi sebagai Pembangkit Listrik tenaga Air (PLTA), tetapi seiring dengan berkembangnya kebutuhan air maka waduk ini fungsinya berkembang menjadi sumber air untuk irigasi, perikanan jaring terapung, dan sumber air baku untuk kebutuhan domestik dan industri. Berdasarkan hal tersebut pengetahuan mengenai faktor-faktor yang berkaitan dengan kualitas air seperti kandungan logam berat dalam sedimen menjadi sangat penting. Penelitian mengenai penilaian kualitas sedimen di Waduk Saguling dapat memberikan gambaran pencemaran yang sebenarnya terjadi. Penelitian ini diharapkan dapat membantu pengambil keputusan dalam melakukan tindakan pengendalian pencemaran air yang telah terjadi Waduk Saguling.

2 METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan selama 3 tahun dari 2015-2018. Sampel sedimen diambil mewakili musim hujan dan kemarau. Penentuan puncak musim hujan dan kemarau berdasarkan informasi dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Provinsi Jawa Barat dan PT. Indonesia Power. Musim hujan diwakili pada Bulan November 2015 dan April 2017. Musim kemarau diwakili pada Bulan Agustus 2016 dan September 2017. Sedimen menggunakan sedimen permukaan pada kedalaman 0-20 cm di 12 titik sampling. Pengambilan sampel sedimen menggunakan eikman grab sampler.

Lokasi sampling disajikan pada Gambar 1. Lokasi *Inlet* Waduk terdapat 2 titik yaitu 1A Sungai Citarum di Nanjung pada koordinat 06°56'29,8" N 107°32'10,7" E, dan 1B Sungai Citarum Batujajar pada koordinat 06°54'58,9" N 107°28'32,3"E. Daerah genangan terdiri dari 8 titik yaitu titik 2 muara Sungai Cihaur pada koordinat 06°53'13,5" N 107°28'32,3" E, titik 3 muara Sungai Cimerang pada koordinat 06°53'13,4" N 107°27'09,0" E. Titik 4 muara Sungai Cihaur Kampung Maroko pada koordinat 06°53'13,0" N 107°25'54,4" E, titik 5 muara Sungai Cipatik pada koordinat 06°56'07,6" N 107°27'25,5" E, titik 6 muara Sungai Ciminyak yang terdapat perikanan jaring terapung pada koordinat 06°57'14,6"N 107°26'03,8"E, titik 7 muara Sungai Cijere pada koordinat 06°56'14,9" N 107°24'50,8" E, titik 8 muara Cijambu pada koordinat 06°56'00,4" N 107°22'22,4"E, dan titik 9 dekat *intake structure* pada koordinat 06°54'54,4" N 107°22'26,3" E. Lokasi *outlet* Waduk terdapat 2 titik *sampling* yaitu 10 A di Tailrace pada koordinat 06°51'49,8"N 107°20'57,0" E dan 10 B S. Citarum di Bantar Caringin pada koordinat 06°51'10,8" N 107°20'58,0"E.

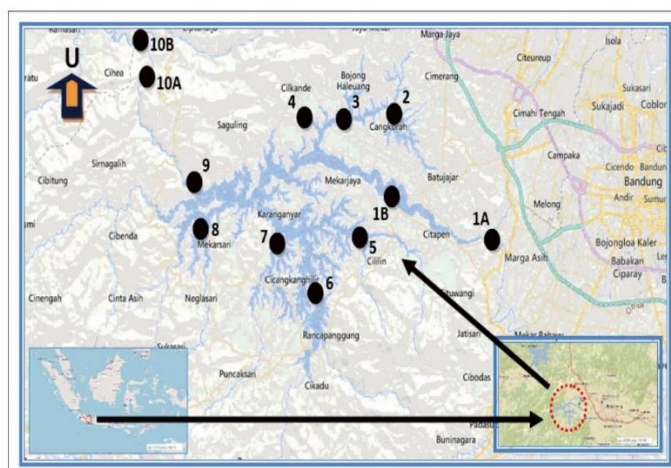
Penilaian kualitas sedimen menggunakan metode Igeo, CF, MPI, dan PERI. Nilai Igeo menggambarkan pengkayaan konsentrasi logam berat di sedimen perairan atas dasar nilai C_b . Prinsip dari metode ini yaitu membandingkan konsentrasi terukur di sedimen dengan konsentrasi logam berat yang asli berasal dari aktivitas alami C_b (Muller et al, 1969). Rumus untuk menghitung Igeo disajikan pada Persamaan 1.

$$I_{geo} = \frac{\log 2 C_m}{1,5 C_b} \quad (1)$$

dimana: C_m merupakan konsentrasi logam dalam sampel sedimen (mg/kg) dan C_b adalah konsentrasi logam latar belakang (mg/kg). Nilai 1,5 dipergunakan untuk menormalisasi variasi nilai latar belakang akibat variasi litogenik. Tujuh nilai Igeo yang menggambarkan kualitas sedimen seperti disajikan pada Tabel 1. Thomilson, et al., (1980) menyatakan bahwa tingkat kontaminasi sedimen oleh logam berat dinyatakan dalam faktor kontaminasi atau CF yang dihitung dengan rumus yang disajikan pada Persamaan 2.

$$CF = \frac{C_m}{C_b} \quad (2)$$

Hasil dari perhitungan dengan metode CF ini dibandingkan dengan beberapa kelas tingkat pencemaran seperti disajikan pada Tabel 2.



Gambar 1. Lokasi titik *sampling*

Tabel 1. Nilai, Kelas, dan Katagori Penilaian Kualitas Sedimen dengan Metode Igeo (Mulleret al, 1969)

Nilai Igeo	Kelas Igeo	Tingkat Pencemaran
< 0-0	0	Unpolluted
0-1	1	Unpolluted to moderated
1-2	2	Moderated polluted
2-3	3	Moderated polluted to high polluted
3-4	4	Highly polluted
4-5	5	Highly to extremely polluted
5-6	≥ 6	extremely polluted

Tabel 2. Nilai dan Katagori Penilaian Kualitas Sedimen dengan Metode CF (Thomilson, et al., 1980)

Nilai CF	Katagori Pencemaran
$CF < 1$	<i>Low</i>
$1 \leq CF \leq 3$	<i>Moderated</i>
$3 \leq CF \leq 6$	<i>Considerable</i>
$CF > 6$	<i>Very high</i>

MPI merupakan metode penilaian kualitas sedimen terkait pencemaran logam berat yang menggunakan data lebih dari satu titik pengukuran. Metode ini dikembangkan oleh Thomilson et al, (1980) dengan rumus disajikan pada Persamaan 3.

$$MPI = (CF1 \times CF2 \times CF3 \times CFn)^{1/n} \quad (3)$$

Dimana n merupakan jumlah logam yang diteliti dan CF merupakan nilai *contamination factor* yang dihitung dengan menggunakan persamaan 2. Hasil dari perhitungan dengan metode MPI jika < 1 menyatakan sedimen belum tercemar tetapi jika > 1 maka sedimen telah tercemar. Metode PERI diterapkan untuk mengevaluasi ancaman bahaya yang disebabkan oleh keberadaan logam di sedimen Metode PERI yang dipergunakan disajikan pada Persamaan 4 (Hakanson, 1980).

$$PERI = \sum_{n=1}^n \left(Ti \times \frac{Cm}{Cb} \right) \quad (4)$$

Ti , merupakan indek respon toksik yang diteliti oleh Hakanson (1980) dengan nilai masing-masing yaitu $Cd = 30$, $Cu = Pb = Ni = 5$, $Cr = 2$, $Zn = 1$; Cm merupakan konsentrasi logam yang terkandung dalam sedimen (mg/kg) dan Cb merupakan konsentrasi latar belakang yang mewakili daerah studi (mg/kg). Nilai dan katagori PERI disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai dan katagori penilaian kualitas sedimen dengan metode PERI (Hakanson, 1980)

Kelas PERI	Nilai PERI	Kategori Pencemaran
1	$PERI < 150$	<i>low-grade ecological risk</i>
2	$150 < PERI < 300$	<i>moderate ecological risk</i>
3	$300 < PERI < 600$	<i>severe ecological risk</i>
4	$PERI > 600$	<i>serious ecological risk</i>

Prinsip penilaian kualitas sedimen dengan metode yang telah dijabarkan yaitu membandingkan konsentrasi logam berat yang terukur di dalam sedimen dengan konsentrasi latar belakangnya (C_b). C_b yang dipergunakan dalam penilaian kualitas sedimen ini berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di daerah tangkapan air Waduk Saguling. Konsentrasi latar belakang untuk Cd, Cr, Cu, and Pb masing-masing sebesar $0,34 \pm 0,10$ mg/kg, $110,57 \pm 28,61$ mg/kg, $49,93 \pm 9,28$ mg/kg, and $18,62 \pm 9,83$ mg/kg (Wardhani et al., 2016; Wardhani et al., 2018).

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi Cd, Cr, Cu, dan Pb pada musim hujan urutan rata-rata konsentrasi total logam di sedimen Waduk Saguling dari yang terbesar dan terkecil yaitu $Cr > Cu > Pb > Cd$ sedangkan pada musim kemarau yaitu $Cu > Cr > Pb > Cd$. Musim hujan dan kemarau konsentrasi total logam berat Cd di sedimen Waduk Saguling selalu menempati posisi paling kecil. Seperti di jabarkan pada Tabel 4.

Kualitas sedimen dengan menggunakan metode Igeo seperti ditunjukan pada Tabel 5. Sedimen Waduk Saguling telah tercemar Cd dengan kategori *extremely polluted* pada musim hujan dengan nilai Igeo berkisar antara 6,74-9,72. Musim kategori Igeo *Highly to extremely polluted* dengan nilai Igeo berkisar antara 4,78-9,13. Tiga logam lainnya yaitu Cr, Cu, dan Pb termasuk kategori *unpolluted to moderated polluted* karena nilai Igeo berkisar antara 0-1. Berdasarkan hasil perhitungan kualitas sedimen dengan menggunakan CF sedimen Waduk Saguling telah tercemar Cd dengan kategori *very high contamination* pada musim hujan dan kemarau, dan tercemar Cr, Cu, dan Pb dengan kategori *moderated contamination* seperti disajikan pada Tabel 6.

Hasil penilaian kualitas sedimen Waduk Saguling dengan metode MPI logam berat Cd menempati posisi tertinggi diikuti oleh Cu, Pb, dan Cd. Nilai MPI untuk Cd pada musim hujan mencapai 43,38 lebih besar jika dibanding musim kemarau sebesar 32,17, nilai MPI Cu pada musim hujan 2,10 lebih rendah dibanding musim kemarau 2,85. Nilai MPI untuk Cr musim hujan sebesar 1,16 lebih besar dibanding musim kemarau 1,09 terakhir nilai MPI Pb musim hujan sebesar 1,33 lebih rendah dibandingkan dengan kemarau 1,42. Berdasarkan hasil perhitungan dengan metode MPI dapat disimpulkan bahwa sedimen Waduk Saguling secara keseluruhan telah tercemar oleh Cd, Cr, Cu, dan Pb. Danau di beberapa negara telah tercemar logam berat seperti halnya Waduk Saguling seperti Dam Aguamilpa Mexico memiliki nilai MPI sebesar 1,20 (Peraza, 2015), Danau Rawal Pakistan dengan nilai MPI sebesar 2,03 (Zahra, 2014), Danau Burullus nilai MPI sebesar 0,55-0,70 (Darwish, 2018), dan Danau Symsar Polandia Utara dengan nilai MPI sebesar <1 (Potasznik et al., 2016) menunjukkan kedua danau tersebut belum tercemar.

Tabel 4. Konsentrasi Cd, Cr, Cu, dan Pb Total di Sedimen Waduk Saguling musim hujan dan kemarau (mg/kg)

Lokasi	Cd		Cr		Cu		Pb	
	Hujan	Kemarau	Hujan	Kemarau	Hujan	Kemarau	Hujan	Kemarau
1A	16,46	13,98	165,25	189,05	106,74	263,18	18,59	73,88
1B	16,32	11,56	136,81	122,34	150,32	157,79	27,75	34,75
2	15,44	11,82	118,27	103,84	143,58	244,47	27,70	38,78
3	14,23	12,00	121,45	156,02	73,43	156,37	17,17	21,39
4	16,68	12,01	146,14	127,30	129,00	158,75	29,56	33,94
5	15,37	9,06	134,50	103,45	85,12	89,49	23,98	25,47
6	14,02	8,64	120,24	94,15	127,16	95,85	22,35	23,05
7	15,43	10,56	145,09	97,12	125,02	133,41	40,20	24,49
8	13,71	8,10	120,03	92,02	82,47	69,53	18,23	13,54
9	14,93	9,67	132,21	116,02	153,04	135,18	23,22	20,05
10A	13,86	10,65	124,47	113,47	79,37	154,28	28,62	20,95
10B	11,43	15,47	94,74	162,65	61,43	165,18	27,88	19,81
Standar	1,50	1,50	80,00	80,00	65,00	65,00	50,00	50,00
Rata-rata	14,82	11,12	129,93	123,12	109,72	151,95	25,43	29,17
Standar Deviasi	1,48	2,16	17,79	30,74	32,34	56,95	6,36	15,85
Minimum	11,43	8,10	94,74	92,02	61,43	69,53	17,17	13,54
Maksimum	16,68	15,47	165,25	189,05	153,04	263,18	40,20	73,88

Tabel 5. Nilai Igeo logam berat Cd, Cr, Cu, dan Pb di Sedimen Waduk Saguling

Lokasi	Cd		Cr		Cu		Pb	
	Hujan	Kemarau	Hujan	Kemarau	Hujan	Kemarau	Hujan	Kemarau
1A	9,72	8,25	0,30	0,34	0,43	1,06	0,20	0,80
1B	9,63	6,82	0,25	0,22	0,60	0,63	0,30	0,37
2	9,11	6,97	0,21	0,19	0,58	0,98	0,30	0,42
3	8,40	7,08	0,22	0,28	0,30	0,63	0,19	0,23
4	9,85	7,09	0,27	0,23	0,52	0,64	0,32	0,37
5	9,07	5,35	0,24	0,19	0,34	0,36	0,26	0,27
6	8,28	5,10	0,22	0,17	0,51	0,39	0,24	0,25
7	9,11	6,23	0,26	0,18	0,50	0,54	0,43	0,26
8	8,09	4,78	0,22	0,17	0,33	0,28	0,20	0,15
9	8,81	5,70	0,24	0,21	0,62	0,54	0,25	0,22
10A	8,18	6,29	0,23	0,21	0,32	0,62	0,31	0,23
10B	6,74	9,13	0,17	0,30	0,25	0,66	0,30	0,21
Rata-rata	8,75	6,57	0,24	0,22	0,44	0,61	0,27	0,31
Standar Deviasi	0,87	1,28	0,03	0,06	0,13	0,23	0,07	0,17
Minimum	6,74	4,78	0,17	0,17	0,25	0,28	0,19	0,15
Maksimum	9,85	9,13	0,30	0,34	0,62	1,06	0,43	0,80

Tabel 6. Nilai CF Logam Berat Cd, Cr, Cu, dan Pb di Sedimen Waduk Saguling

Lokasi	Cd		Cr		Cu		Pb	
	Hujan	Kemarau	Hujan	Kemarau	Hujan	Kemarau	Hujan	Kemarau
1A	48,41	41,10	1,49	1,71	2,14	5,27	1,00	3,97
1B	48,00	34,00	1,24	1,11	3,01	3,16	1,49	1,87
2	45,40	34,75	1,07	0,94	2,88	4,90	1,49	2,08
3	41,85	35,29	1,10	1,41	1,47	3,13	0,92	1,15
4	49,06	35,32	1,32	1,15	2,58	3,18	1,59	1,82
5	45,21	26,65	1,22	0,94	1,70	1,79	1,29	1,37
6	41,24	25,41	1,09	0,85	2,55	1,92	1,20	1,24
7	45,38	31,06	1,31	0,88	2,50	2,67	2,16	1,31
8	40,32	23,81	1,09	0,83	1,65	1,39	0,98	0,73
9	43,91	28,43	1,20	1,05	3,06	2,71	1,25	1,08
10A	40,76	31,32	1,13	1,03	1,59	3,09	1,54	1,13
10B	33,60	45,49	0,86	1,47	1,23	3,31	1,50	1,06
Rata-rata	43,60	32,72	1,18	1,11	2,20	3,04	1,37	1,57
Standar Deviasi	4,36	6,36	0,16	0,28	0,65	1,14	0,34	0,85
Minimum	33,60	23,81	0,86	0,83	1,23	1,39	0,92	0,73
Maksimum	49,06	45,49	1,49	1,71	3,06	5,27	2,16	3,97

Berdasarkan hasil perhitungan kualitas sedimen dengan menggunakan PERI diketahui bahwa kualitas sedimen Waduk Saguling telah tercemar Cd dengan kategori *serious ecological risk* pada musim hujan dan kemarau, artinya pencemaran Cd sudah berdampak serius terhadap ekosistem waduk. Sebagai perbandingan untuk Cr, Cu, dan Pb dengan kategori *low grade ecological risk* pada dua musim yang berbeda. Musim hujan nilai PERI untuk Cd, Cr, Cu, dan Pb masing-masing sebesar 15,7, 28, 132, dan 82 sedangkan musim kemarau yaitu 11,8, 27, 183, dan 94. Perbandingan dengan penelitian di negara lain yaitu di Danau Dangting China nilai PERI sebesar 75,5-1.402,46 termasuk kategori *Serious ecological risk* (Wang, 2012), dan Uzuncayir Dam Tunceli Turki1 dengan nilai 11,62 termasuk kategori *Low ecological risk* (Kutlu, 2018).

Upaya pengendalian pencemaran logam berat khususnya Cd. Rekomendasi penurunan konsentrasi Cd di Waduk Saguling yang pertama adalah pengelolaan limbah industri yang berada di DTA Waduk Saguling. Saat ini di daerah Hulu Citarum, sekitar 556 industri berdiri dan hanya sekitar 20% saja yang mengolah limbah, sisanya membuang langsung limbahnya ke anak Sungai Citarum atau ke Sungai Citarum (Dirjen SDA Dep PU, 2018). Penegakan hukum harus diterapkan untuk memaksa pihak pemilik perusahaan untuk melakukan pengolahan air limbah sebelum di buang ke perairan. Sumber Cd yang lain diperkirakan berasal dari aktivitas domestik dimana menurut Peterson dan Alloway (1979) konsentrasi Cd dari *sewerage sludge* negara Eropa berkisar antara 0,4-3,8 mg/kg dengan nilai rata-rata sebesar 2 mg/kg. Jumlah penduduk di Cekungan Bandung pada tahun 2017 sebanyak 9.115.193 jiwa, sedangkan jumlah penduduk yang masuk DAS Citarum Hulu sebanyak 4.115.193 jiwa. Berdasarkan hasil proyeksi tahun 2020 jumlah penduduk akan meningkat menjadi 10.190.304 jiwa dan tahun 2025 menjadi 11.382.200 jiwa. Sekitar 480 ton/hari limbah cair masuk ke Sungai Citarum dengan rincian 85% limbah domestik dan 15% limbah industri (DLH Provinsi Jawa Barat, 2018). Tingginya pertumbuhan penduduk di DAS Citarum meningkatkan emisi limbah cair domestik yang masuk ke Sungai Citarum dan bermuara ke Waduk Saguling. Karakteristik limbah cair domestik tidak mengandung Cd, tetapi nilai BOD, TSS, minyak dan lemak yang terdapat dalam limbah cair domestik akan menurunkan nilai DO serta parameter kualitas air lainnya dalam air sehingga mempengaruhi keberadaan Cd dalam air.

Berdasarkan Peterson dan Alloway (1979) sumber Cd dapat berasal dari pupuk di lahan pertanian, kapur, dan kompos dengan nilai konsentrasi Cd yang berasal dari pupuk fosfat sebesar 0,10-170 mg/kg, pupuk nitrat sebesar 0,05-8,50 mg/kg, pupuk dari lahan pertanian 0,10-0,80 mg/kg, dari pembuatan kompos sampah sebesar 0,01-100 mg/kg, dan dari kapur sebesar 0,04-0,10 mg/kg. Berdasarkan hal tersebut sosialisasi praktik budidaya pertanian yang ramah lingkungan merupakan upaya penting dalam menurunkan beban pencemaran Cd. Sampai saat ini pedoman penggunaan pupuk belum berdasarkan pada aspek perlindungan lingkungan (DLH Provinsi Jawa Barat, 2018). Melihat kondisi saat ini pencemaran Cd telah terjadi maka Departemen Pertanian beserta instansi terkait harus mulai

melakukan penelitian penggunaan pupuk optimal untuk pertumbuhan tanaman tanpa menyisakan residu yang berlebih.

4 KESIMPULAN

Penelitian menyatakan bahwa sedimen Waduk Saguling telah tercemar dibuktikan dengan tingginya konsentrasi empat logam berat di sedimen pada musim hujan dan kemarau. Urutan rata-rata konsentrasi total logam di sedimen dari yang terbesar ke terkecil musim hujan yaitu $Cr > Cu > Pb > Cd$ sedangkan musim kemarau $Cu > Cr > Pb > Cd$. Berdasarkan hasil penilaian dengan metode Igeo sedimen tercemar Cd dengan kategori *extremely polluted* pada musim hujan dengan nilai Igeo berkisar antara 6,74-9,72. Musim kemarau termasuk kategori *Highly to extremely polluted* dengan nilai berkisar antara 4,78-9,13. Tiga logam lainnya yaitu Cr, Cu, dan Pb termasuk kategori *unpolluted* sampai *moderated polluted*. Metode CF menyatakan sedimen telah tercemar Cd dengan kategori *very high contamination* pada musim hujan dan kemarau, dan tercemar Cr, Cu, dan Pb dengan kategori *moderated contamination*. Metode MPI menyimpulkan bahwa sedimen Waduk Saguling secara keseluruhan telah tercemar oleh Cd, Cr, Cu, dan Pb. Metode PERI menyimpulkan bahwa kualitas sedimen Waduk Saguling telah tercemar Cd dengan kategori *serious ecological risk* pada musim hujan dan kemarau, artinya pencemaran Cd sudah berdampak serius terhadap ekosistem waduk. Sebagai perbandingan untuk Cr, Cu, dan Pb dengan kategori *low grade ecological risk* pada dua musim yang berbeda. Musim hujan nilai PERI untuk Cd, Cr, Cu, dan Pb masing-masing sebesar 15,7, 28, 132, dan 82 sedangkan musim kemarau yaitu 11,8, 27, 183, dan 94.

REFERENSI

- Anonim. (2018). *Laporan Tahunan Kualitas Air. Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Depertemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia*
- Anonim. (2018). *Laporan Status Lingkungan Hidup. Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Barat*
- Arinda, A., dan Wardhani, E. (2018). “Analisis Profil Konsentrasi Pb di Air Waduk Saguling”. *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, 2(3)
- Darwish, D. H., Maie, I. E., Lamiaa, I. M. (2018). “Evaluation of Heavy Metals Pollution using Sediments in Burullus Lake and the nearby Mediterranean Sea, Egypt”. *International Journal of Environmental and Water*, 7(2)
- Hakanson, L. (1980). “An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control: A Sedimentological Approach”. *Water Research.*, 14, 975-1001
- Kutlu B. (2018). “Dissemination of heavy metal contamination in surface sediments of the Uzuncayir Dam Tunceli Turki”. *Human and Ecological Risk Assessment 2018: An International Journal*
- Liu, B., Hu Ke, Jiang, Z, Yang, J., Luo, X., Liu, A. (2011). “Distribution and enrichment of heavy metals in a sediment core from the Pearl River Estuary”. *Environ Earth Sci*, 62:265-275
- Muller, G. (1969). “Index of geo accumulation in sediments of the Rhine River”. *Geo Journal*, 2: 108-118
- Peraza, J. G. R., De, A. J., Farías, F. A .G., Rode, M., García, A. S., Terrones, Y. A. B. (2015). “Assessment of heavy metals in sediment of Aguamilpa Dam”. *Mexico Environ Monit Assess*, 187 (3):134
- Peterson, P. L. dan Alloway, B. J. (1979). “Cadmium in soils and vegetation. In Webb, M. B. (Ed.), The Chemistry, Biochemistry and Biology of Cadmium”. *Elsevier/North-Holland and Biomedical Press*, Amsterdam
- Potasznik, A. K., Szymczyk, S., Skwierawski, A., Lewczuk, K.G., dan Cymes, I. (2016). *Heavy metal contamination in the surface layer of bottom sediments in flow through lake: A case study of lake Symsar in Northern Poland Water* 8(358)
- Sanja, S., Gordana, D., Dubravka, R., Aldenovic, I., Nenad, S., Dordevic, D. (2015). “Evaluation of sediment contamination with heavy metals: the importance of determining appropriate background content and suitable element for normalization”. *Environ Geochem Health* 37: 97-113

- Wang, Z., Sun, R., Zhang, H., Chen, L. (2015). "Analysis and assessment of heavy metal contamination in surface water and sediment: a case study from Luan River, Northern China". *Front Environ. Sci. Eng*, 9 (2): 240-249
- Wardhani, E., Notodarmojo, S., dan Roosmini, D. (2014). "Pencemaran Kadmium di Sedimen Waduk Saguling Provinsi Jawa Barat". *Jurnal Manusia dan Lingkungan Pusat Studi Lingkungan Hidup Universitas Gadjah Mada*. Volume 23(3), 285-294
- Wardhani, E., Notodarmojo, S., dan Roosmini, D. (2016). "Vertical Profile of Heavy Metal Concentration in Core Sediments of Saguling Lake, West Java Indonesia". *Asian Academic Society International Conference Proceeding Series*
- Wardhani, E., Notodarmojo, S., dan Roosmini, D. (2017a). "Heavy Metal Speciation in Sediments in Saguling Lake West Java Indonesia". *International Journal of GEOMATE*, Vol 12(34) 146-151, ISSN: 2186-2990, Japan
- Wardhani, E., Notodarmojo, S., dan Roosmini, D. (2017b). "Status heavy metal in Sediment of Saguling Lake, West Java. Province". *International Journal IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science*, 60, 2017, 012035.
- Wardhani, E., Notodarmojo, S., dan Roosmini, D. (2018). "Stream Sediment Geochemical Survey of Selected Element In Catchment Area Of Saguling Lake". *MATEC Web Conf*, 147, 08003
- Zahra, A., Zaffar, M.H., Naseem, R., Malik, Zulkifl, A. (2013). "Enrichment and geo-accumulation of heavymetals and risk assessment of sediments of the Kurang Nallah-feeding tributary ofthe Rawal Lake Reservoir, Pakistan". *Sci Total Environ*, 470-471C:925-33