



# JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING & WASTE MANAGEMENT





**JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING & WASTE MANAGEMENT**  
**JURNAL TEKNIK LINGKUNGAN DAN PENGELOLAAN LIMBAH**

### **Penanggung Jawab**

Ir. Temmy Wikaningrum, M.Si.

### **Dewan Editor**

Prof. Dr.-Ing. Ir. Suprihatin	Institut Pertanian Bogor
Ir. R. Driejana, M.SCE, Ph.D.	Institut Teknologi Bandung
Dr. Muhammad Syifan Ahmadin	Sullivan University Kentucky
Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.S.E., M.Sc., Ph.D.	Institut Teknologi Sepuluh November
Dr. Astri Rinanti Nugroho, M.T.	Universitas Trisakti
Dr. Ir. Yunita Ismail, M.Si.	Universitas Presiden
Dr. Yusmaniar, M.Si.	Universitas Negeri Jakarta
Dr. Ani Mulyasuryani, MS	Universitas Brawijaya
Ir. Ramadhani Yanidar, M.T.	Universitas Trisakti
Ir. Rachmat Boedisantoso, M.T.	Institut Teknologi Sepuluh November
Anindrya Nastiti, S.T. M.T.	Institut Teknologi Bandung

### **Ketua Editor Pelaksana**

Filson M. Sidjabat, S.T., M.T.	Universitas Presiden
--------------------------------	----------------------

### **Editor Pelaksana**

Rijal Hakiki, S.S.T., M.T.	Universitas Presiden
Yandes Panelin, S.T., M.T.	Universitas Presiden
Sukino, S.I.P.	Universitas Presiden

### **Alamat Redaksi**

**JEN** Journal of Environmental Engineering & Waste Management  
Jurnal Teknik Lingkungan dan Pengelolaan Limbah

Building A Lt. 3 President University  
Jl. Ki Hajar Dewantara, Jababeka Education Park, Cikarang Baru, Bekasi 17550 – Indonesia  
Phone./Fax: (021) 8910 9762 / 9768; Email: j-env@president.ac.id  
Website: env.president.ac.id (President University: www.president.ac.id)

**JENV** adalah jurnal yang mengkaji berbagai masalah/persoalan terkini yang bersifat mendasar atau terapan yang berhubungan dengan bidang teknik dan pengelolaan lingkungan serta pengelolaan limbah dengan frekuensi penerbitan dua kali setahun pada April dan Oktober. Kelayakan pemuatan dipertimbangkan oleh penilai dengan *double blind review* berdasarkan keaslian dan keabsahan ilmiah.



JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING & WASTE MANAGEMENT  
JURNAL TEKNIK LINGKUNGAN DAN PENGELOLAAN LIMBAH

Volume 2, No.2, Oktober 2017

## **EDITORIAL**

Pembaca yang terhormat, Jurnal Teknik Lingkungan dan Pengelolaan Limbah (JENV) yang terbit bulan Oktober 2017 ini merupakan jurnal edisi keempat yang diterbitkan oleh Universitas Presiden. Dengan tujuan untuk berkontribusi secara nyata di bidang Teknik Lingkungan berdasarkan ilmu pengetahuan, manajemen dan teknologi yang terkini, kehadiran jurnal ini diharapkan mampu memberikan inspirasi terhadap solusi masalah-masalah lingkungan yang semakin memerlukan perhatian yang memadai.

Pada edisi keempat Jurnal JENV ini terdapat dua makalah di bidang manajemen lingkungan : Analisis Pengelolaan Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus dan Dinamika Perubahan dan Kebijakan Pemanfaatan Ruang di Kabupaten Bogor; satu makalah mengenai pengelolaan sampah : Kajian Timbulan dan Komposisi Sampah Sebagai Dasar Pengelolaan Sampah di Kampus II Universitas Bhayangkara Jakarta Raya; serta dua makalah mengenai pengelolaan air dan limbah cair: Modifikasi Tanin dari Biomassa Daun Akasia (*Acacia mangium Wild*) dengan Cara Polimerisasi sebagai Biosorben untuk Logam Pb II dan Peningkatan Kualitas Pengolahan Air Bersih dengan Perbaikan Proses Oksidasi.

Semua tulisan ilmiah yang dipublikasikan telah melalui proses seleksi dengan metoda *blind review* oleh dewan redaksi dan mitra bestari.

Pada kesempatan ini kami mengucapkan terimakasih kepada dewan pengarah, dewan redaksi, editor pelaksana, tim sekretariat, dan para penulis yang telah memberikan peran secara aktif sehingga penerbitan Jurnal JENV ini dapat terlaksana dengan baik. Kami berharap Jurnal JENV volume 2 nomor 2 bulan Oktober 2017 ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu dan pendidikan di Indonesia, khususnya di bidang Lingkungan Hidup.

Ketua Dewan Editor



Journal of Environmental Engineering & Waste Management  
Jurnal Teknik Lingkungan dan Pengelolaan Limbah

Vol. 2 No. 2, Oktober 2017

ISSN 2527-9629

---

- |  |        |
|--|--------|
| Analisis Pengelolaan Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus (Studi Kasus Hutan Pendidikan dan Latihan Gunung Walat<br>(Alfian Fandi Nugroho, Iin Ichwandi, Nandi Kosmaryandi)  | 51-59  |
| Dinamika Perubahan dan Kebijakan Pemanfaatan Ruang di Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat<br>(Marianus Roy A.C., Omo Rusdiana, Iin Ichwandi)                              | 60-68  |
| Kajian Timbulan dan Komposisi Sampah sebagai Dasar Pengelolaan Sampah di Kampus II Universitas Bhayangkara Jakarta Raya<br>(Reni Masrida)                                  | 69-78  |
| Modifikasi Tanin dari Biomassa Daun Akasia ( <i>Acacia mangium Wild</i> ) dengan Cara Polimerisasi sebagai Biosorben untuk Logam Pb II<br>(Ana Nurkaromah, Sukandar)       | 79-90  |
| Peningkatan Kualitas Pengolahan Air Bersih dengan Perbaikan Proses Oksidasi (Studi Kasus di Instalasi Pengolahan Air PT. Jababeka)<br>(Istingani, Erliza Noor, Suprihatin) | 91-100 |



Journal of Environmental Engineering & Waste Management  
Jurnal Teknik Lingkungan dan Pengelolaan Limbah

Building A Lt. 3 President University, Faculty of Engineering  
Jl. Ki Hajar Dewantara, Jababeka Education Park, Cikarang Baru, Bekasi 17550 – Indonesia  
Phone./Fax: (021) 8910 9762 / 9768; Email: j-env@president.ac.id  
Website: env.president.ac.id (President University: www.president.ac.id)

## ANALISIS PENGELOLAAN KAWASAN HUTAN DENGAN TUJUAN KHUSUS

(Studi Kasus Hutan Pendidikan dan Latihan Gunung Walat)

Alfian Fandi Nugroho<sup>1</sup>, Iin Ichwandi<sup>2</sup> and Nandi Kosmaryandi<sup>3</sup>

Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan

Institut Pertanian Bogor

Kampus IPB Baranangsiang, Jl. Raya Padjajaran, Bogor 16144

Email: <sup>1</sup>alfandy.nugroho@gmail.com, <sup>2</sup>iichwandi@yahoo.com, <sup>3</sup>pak.nandi@gmail.com

**Abstrak:** Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) merupakan kawasan hutan yang ditetapkan oleh pemerintah untuk kepentingan umum seperti penelitian dan pengembangan, pendidikan dan latihan, dan religi dan budaya yang pengelolaannya diberikan kepada masyarakat hukum adat, lembaga pendidikan, lembaga penelitian, lembaga sosial dan keagamaan. Hutan Pendidikan dan Latihan Gunung Walat (HPGW) merupakan salah satu KHDTK yang ditunjuk dan ditetapkan oleh pemerintah dengan pengelolaan oleh Fakultas Kehutanan IPB. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan yang muncul dalam pengelolaan KHDTK serta merumuskan konsep solusi pengelolaan KHDTK oleh Perguruan Tinggi. Berdasarkan hasil identifikasi diketahui bahwa Fakultas Kehutanan IPB belum dapat melaksanakan kegiatan pengelolaan hutan yang terintegrasi terutama dalam pemanfaatan potensi hasil hutan yang ada di dalam kawasan. Hal tersebut dikarenakan diberlakukannya norma atau aturan umum perizinan usaha pemanfaatan atau pemungutan dan peredaran hasil hutan berbagai komoditas kehutanan yang berlaku umum bagi entitas usaha yang terkadang tidak relevan dengan tujuan pengelolaan HPGW. Peran pemerintah sangat dibutuhkan dalam upaya menyusun kebijakan pengelolaan KHDTK agar tujuan KHDTK dapat tercapai dengan kepastian pendanaan.

**Kata Kunci:** KHDTK, masalah, pengelolaan hutan, solusi

**Abstract:** Forest Area with Special Purposes (KHDTK) is a forest area designated by the government for public purpose such as research and development, education and training, and religion and culture. The management of KHDTK is given to customary community, education agencies, research agencies, social and religious agencies. Gunung Walat Education of Forest (HPGW) is one of the KHDTK appointed and established by the government with the management by the Faculty of Forestry IPB. This study aims to identify problems of implementation of KHDTK management and formulate the concept of KHDTK management by College. Based on the results of identification is known that the Faculty of Forestry IPB has difficulty in the utilization of the existing potential in HPGW. Faculty of Forestry as management authority is required to follow the norm or general rules of business licensing the utilization and distribution of forest products of various forest commodities that are generally accepted for business entities that are sometimes not relevant to the purpose of HPGW management.

**Keywords:** KHDTK, problem, forest management, solution

### PENDAHULUAN

Perguruan Tinggi dibidang kehutanan memiliki peran penting dalam mengembangkan IPTEK dan mencetak lulusan yang kompeten di bidang kehutanan. Dalam rangka menjalankan peran tersebut, perguruan tinggi kehutanan perlu didukung oleh hutan pendidikan sebagai sarana penyelenggaraan kegiatan pendidikan, penelitian dan pengembangan inovasi kehutanan yang memadai. Melalui UU Nomor 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan Pemerintah dapat menetapkan KHDTK untuk kepentingan umum seperti penelitian dan pengembangan, pendidikan dan latihan, serta religi dan budaya.

Beberapa Perguruan Tinggi telah memperoleh hak pengelolaan KHDTK untuk kepentingan pendidikan dan latihan serta penelitian dan pengembangan.

KHDTK yang dikelola oleh Perguruan Tinggi mempunyai nilai strategis dikarenakan berperan penting sebagai media pembelajaran untuk berlangsungnya riset-riset dan inovasi kehutanan yang menjadi sumber atau bahan pengambil keputusan pemerintah yang berbasis riset. HPGW merupakan salah satu hutan pendidikan yang ditunjuk dan ditetapkan sebagai KHDTK oleh Menteri Kehutanan melalui SK. 188/MENHUT-II/2005 jo. SK.

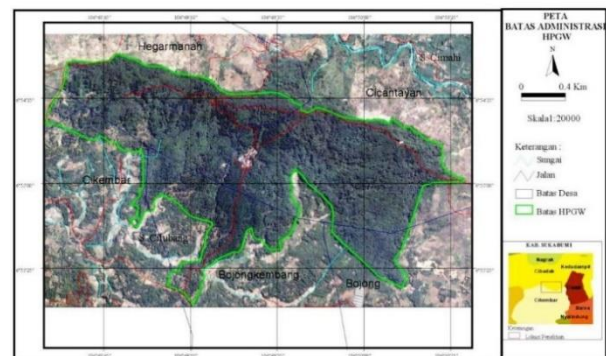
702/MENHUT-II/2009 dengan pengelolaan diserahkan kepada Fakultas Kehutanan IPB.

Dalam melakukan pengelolaan HPGW, Fakultas Kehutanan IPB sebagai pemegang mandat hak pengelolaan IPB berpedoman pada Keputusan Dekan Fakultas Kehutanan IPB Nomor: 35/I3.5/KP/2008 tentang Garis-Garis Besar Kebijakan Pengelolaan Hutan Pendidikan Gunung Walat 2009-2020. Dengan pedoman tersebut, HPGW menjadi salah satu KHDTK yang dikelola oleh perguruan tinggi yang telah berhasil dalam melakukan pengelolaan hutan dengan pendanaan yang mandiri. Dalam melakukan kegiatan pengelolaan, tidak semua kegiatan untuk menunjang kegiatan pendidikan dan latihan serta penelitian dan pengembangan kehutanan dapat dilakukan dengan terintegrasi khususnya yang berhubungan dengan kegiatan pemanfaatan hutan. Saat ini dalam melakukan pemanfaatan hutan, pengelola dihadapkan pada aturan umum perizinan usaha pemanfaatan atau pemungutan dan peredaran hasil hutan berbagai komoditas kehutanan (Hasil Hutan Kayu, Hasil Hutan Bukan Kayu, dan Jasa Lingkungan) yang berlaku umum bagi entitas usaha pemanfaatan atau pemungutan berbagai komoditas kehutanan. Hal tersebut mengakibatkan pengelolaan KHDTK belum dapat dilaksanakan dengan maksimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan-permasalahan yang muncul dalam pengelolaan KHDTK serta merumuskan konsep solusi pengelolaan KHDTK oleh perguruan tinggi.

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Hutan Pendidikan Gunung Walat, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat (**Gambar 1**). Waktu penelitian berkisar antara bulan Maret 2016 sampai dengan Mei 2017. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan dalam

penelitian ini meliputi observasi lapangan dan wawancara terhadap pengelola HPGW. Teknik wawancara yang dilakukan adalah dengan *indepth interview* (wawancara mendalam). Boyce dan Neale (2006) menyatakan bahwa wawancara mendalam merupakan teknik penelitian kualitatif dengan melakukan wawancara kepada individu secara intensif dengan jumlah responden yang kecil untuk mengeksplorasi perspektif individu pada khususnya mengenai ide, program dan situasi untuk mengetahui informasi rinci mengenai pemikiran dan perilaku seseorang atau ingin mengeksplorasi isu-isu baru secara mendalam.



**Gambar 1** Lokasi Penelitian

Data sekunder dalam penelitian ini antara lain berupa: peraturan perundang-undangan terkait pengelolaan KHDTK dan pemanfaatan hutan, data dan informasi tentang kondisi HPGW serta dokumen lain yang mendukung penelitian.

Penelitian ini menggunakan dua tingkat analisis yaitu: (1) analisis deskriptif kualitatif terhadap pengelolaan HPGW, dan (2) Analisis isi (*content analysis*) peraturan perundangan terkait dengan KHDTK. Analisis deskriptif pengelolaan HPGW diperoleh berdasarkan hasil observasi, *indepth interview*, data sekunder dokumen pengelolaan HPGW. Teknik analisis ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik kegiatan pengelolaan HPGW serta permasalahan regulasi di lapangan yang diperoleh dari *content analysis* aturan perundangan terkait KHDTK. *Content analysis* merupakan metoda penelitian

yang digunakan untuk menganalisis dokumen tertulis seperti laporan, surat, transkrip wawancara dan bentuk tertulis lainnya yang bersifat fleksibel dan dapat diterapkan untuk banyak persoalan didalam informasi penelitian, baik sebagai metode yang berdiri sendiri maupun bersama dengan metode lain (Mash dan White 2006). Jenis data yang dikumpulkan berdasarkan metoda analisis ini adalah kata, kalimat, paragraf, sub-bagian, bagian dan buku (Borg et al. 1989 dan Henderson 1991, diacu dalam Pratiwi 2008). Berdasarkan karakteristik pengelolaan HPGW dan permasalahan yang ada, disusun konsep solusi dalam pengelolaan KHDTK hutan pendidikan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan *content analysis* terhadap UU Nomor 41 Tahun 1999, KHDTK merupakan kawasan hutan yang ditetapkan oleh pemerintah untuk kepentingan umum seperti: penelitian dan pengembangan, pendidikan dan latihan, religi dan budaya dengan tidak mengubah fungsi pokok kawasan hutan (fungsi produksi, fungsi lindung, dan fungsi konservasi) yang pengelolannya dapat diberikan kepada masyarakat hukum adat, lembaga pendidikan, lembaga penelitian, lembaga sosial dan keagamaan.

Menurut Helms (1998) pengelolaan hutan (*forest management*) merupakan penerapan prinsip-prinsip dalam bidang biologi, fisika, kimia, analisis kuantitatif, manajemen, ekonomi, sosial dan analisa kebijakan dalam rangkaian kegiatan membangun atau meregenerasikan, membina, memanfaatkan dan mengkonservasikan hutan untuk mendapatkan tujuan dan sasaran yang telah ditetapkan dengan tetap mempertahankan produktivitas dan kualitas hutan. Pengelolaan hutan mencakup pengelolaan terhadap keindahan, ikan, fauna air lain pada sungai-sungai di dalam hutan, air, kehidupan liar, kayu dan hasil hutan bukan kayu, serta berbagai nilai lain yang

termasuk dalam sumber daya hutan. Sedangkan kegiatan pengelolaan hutan menurut UU Nomor 41 Tahun 1999 meliputi: a) tata hutan dan penyusunan rencana pengelolaan hutan, b) pemanfaatan hutan dan penggunaan kawasan, c) rehabilitasi dan reklamasi hutan, dan d) perlindungan hutan dan konservasi alam.

### Kondisi Eksisting Pengelolaan HPGW

Analisis deskriptif kualitatif digunakan untuk mengetahui kondisi eksisting pengelolaan HPGW. Berdasarkan hasil analisis tersebut, Fakultas Kehutanan IPB dalam melaksanakan tugas pengelolaan KHDTK membentuk Badan Pengelola yang merupakan badan yang mewakili Fakultas Kehutanan IPB dalam melakukan penyelenggaraan pengelolaan HPGW. Berbagai kegiatan pengelolaan hutan yang telah dilaksanakan meliputi: pembinaan lingkungan, pembinaan hutan, pengelolaan sumberdaya hutan, pelayanan tridharma (pendidikan, penelitian dan pengabdian kepada masyarakat), dan pengembangan sumberdaya pendanaan.

#### a. Pembinaan Lingkungan

Kegiatan pembinaan lingkungan merupakan wujud sumbangsih KHDTK HPGW kepada masyarakat. Kegiatan yang dilaksanakan antara lain dengan melibatkan masyarakat dalam penyadapan getah pinus dan kopal, agroforestri, pemanfaatan kayu bakar dan pemanfaatan sumber air untuk keperluan rumah tangga.

Menurut laporan HPGW (2017) masyarakat yang terlibat dalam penyadapan getah pinus sebanyak 28 orang dan 14 orang untuk penyadapan kopal. Konsumsi kayu bakar rumah tangga di desa sekitar HPGW sebesar 110,57 m<sup>3</sup>/bulan (Adirianto 2012). Jamil (2016) melaporkan bahwa sebanyak 12 kepala keluarga telah berpartisipasi dalam kegiatan agroforestri didalam kawasan HPGW dengan luas total 5,58 ha yang memberikan kontribusi ekonomi penggarap sebesar 13,04%. Agroforestri

merupakan obyek strategis, baik dari segi manfaatnya bagi masyarakat, maupun bagi HPGW sebagai hutan pendidikan. Setiap kunjungan *field trip* mahasiswa asing/dalam negeri selalu menempatkan agroforestri sebagai topik dan obyek menarik untuk dikunjungi dan dipelajari.

Masyarakat sekitar HPGW memanfaatkan air dari sumber HPGW untuk kegiatan rumah tangga seperti memasak, mandi, cuci, dan kakus. Selain itu masyarakat juga menggunakan untuk pertanian. Menurut Mutasodirin (2014) HPGW telah berkontribusi menyediakan air bersih kepada masyarakat sekitar dengan potensi nilai ekonomi air yang dihitung dari sumber air sebesar Rp 120.803.468/ bulan. Sedangkan nilai ekonomi air yang dihitung dari konsumsi masyarakat sekitar sebesar Rp 5.584.480/bulan.

#### *b. Pembinaan Hutan*

Kegiatan pembinaan hutan yang dilaksanakan HPGW antara lain pelaksanaan program penanaman dan pemeliharaan tegakan serta program perlindungan hutan. Program penanaman dan pemeliharaan hutan untuk kegiatan rehabilitasi dilaksanakan melalui kerjasama dengan mitra menggunakan skema perdagangan karbon secara sukarela (*voluntary*) untuk peningkatan serapan karbon dalam durasi waktu tertentu. Skema kerjasama yang dilakukan adalah dengan menyediakan lahan dan jasa dalam pengelolaan tegakan sedangkan mitra menyediakan dana penanaman dan pemeliharaan selama jangka waktu tertentu. Dari aspek ekologi, program ini bertujuan untuk menambah tutupan lahan yang terdapat dalam KHDTK HPGW. Dari aspek sosial, program ini memberikan *company image branding* sebagai *green company* bagi mitra yang telah berkontribusi terhadap penyerapan karbon dan lapangan kerja bagi masyarakat sekitar. Sedangkan dari aspek sosial, program ini memberikan pendanaan bagi kegiatan pengelolaan.

Program perlindungan hutan yang dilaksanakan pengelola HPGW antara lain perlindungan terhadap kesehatan tegakan, perlindungan terhadap kebakaran hutan, dan patroli kebakaran hutan. Kegiatan perlindungan kesehatan hutan dilakukan berupa pemantauan pohon-pohon yang dinilai membahayakan yaitu pohon mati dan terserang hama atau penyakit sehingga rawan tumbang baik bagi masyarakat, pengunjung maupun fasilitas bangunan yang ada. Saat ini sebagian besar tegakan di HPGW telah melebihi umur daur yang menyebabkan rentan terhadap penyakit. Menurut penelitian Permatasari (2015) telah ditemukan adanya serangan *Ganoderma* sp. sebagai penyebab penyakit akar merah pada HPGW. Serangan tersebut telah menyebar dan mampu membuat tanaman mengalami gejala sakit yang cukup parah hingga mengalami kematian. Lebih lanjut Permatasari (2015) telah mengidentifikasi secara visual adanya 7 jenis *Ganoderma* sp. yang menyerang tegakan *Agathis* sp. dan *Pinus* sp. dengan karakteristik berbeda. Diduga serangan ini akan terus berlanjut ke tanaman bahkan ke tegakan lainnya jika tidak segera dikendalikan.

#### *c. Pemanfaatan Sumberdaya Hutan*

Kegiatan pemanfaatan yang dilakukan Badan Pengelola HPGW adalah pemungutan Hasil Hutan Bukan Kayu (HHBK) yaitu pemungutan getah pinus dan kopal. Dalam upaya pemungutan HHBK tersebut, pengelola dihadapkan pada norma perizinan umum yang diberikan kepada entitas usaha yaitu dengan mengacu pada beberapa aturan perundangan, antara lain:

- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor: P.54/MenLHK/Setjen/Kum.1/6/2016 tentang Tata Cara Pemberian dan Perpanjangan Izin Pemungutan Hasil Hutan Kayu atau Hasil Hutan Bukan Kayu pada Hutan Negara,
- Peraturan Menteri Kehutanan Nomor: P.91/Menhut-II/2014 tentang



Penatausahaan Hasil Hutan Bukan Kayu yang Berasal dari Hutan Negara; sebagaimana telah diubah terakhir dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor: P.27/MenLHK-Setjen/2015, dan

- Peraturan Direktur Jenderal Bina Usaha Kehutanan Nomor: P.15/VI-BIKPHH/2014 tentang Pedoman Pelaksanaan Penatausahaan Hasil Hutan Bukan Kayu yang Berasal dari Hutan Negara

Berdasarkan hasil *content analysis*, pemegang izin pemungutan HHBK adalah perseorangan atau koperasi. Selain itu, menurut Peraturan Direktur Jenderal Bina Usaha Kehutanan Nomor: P.15/VI-BIKPHH/2014, potensi HHBK pada KHDTK hutan alam maupun hutan tanaman dapat diberikan izin pemungutan HHBK kepada perorangan atau koperasi setelah mendapat persetujuan pengelola KHDTK. Berdasarkan aturan tersebut, Badan Pengelola HPGW tidak dapat langsung melaksanakan kegiatan dimaksud. Untuk menjembatani permasalahan tersebut, Badan Pengelola HPGW dalam pengambilan getah pinus dan kopal bekerjasama dengan Koperasi Gema Wana Sejahtera (KGWS) yang merupakan koperasi karyawan HPGW dengan melibatkan masyarakat dari desa sekitar dalam kegiatan penyadapannya. Kerjasama penyadapan dengan KGWS merupakan upaya sementara untuk memenuhi aspek legalitas izin pemanfaatan. Manfaat yang diperoleh dari penyadapan getah pinus dan getah kopal antara lain:

- Dalam aspek sosial terjadi keselarasan hubungan antara pengelola HPGW dengan masyarakat sekitar hutan sehingga terbina hubungan baik dan terbentuknya rasa saling memiliki. Selain itu, pelibatan masyarakat juga memberikan dampak terhadap terjaganya keamanan dan perlindungan baik dari pencurian,

okupasi lahan, kebakaran dan lain lain.

- Dari aspek ekonomi, kegiatan ini akan menghasilkan pemasukan yang digunakan untuk memfasilitasi kegiatan pengelolaan HPGW.
- Sebagai KHDTK hutan pendidikan, KHDTK HPGW telah menjadi obyek percontohan pelaksanaan penyadapan getah pinus dan kopal yang didasarkan pada konsep kelestarian. Selain itu HPGW juga menjadi contoh pengelolaan hutan skala kecil (*Small Scale Forest Management*) yang tidak bergantung pada hasil hutan berupa kayu namun didasarkan pada getah pinus dan kopal sebagai produk utama.

#### d. *Pelayanan Tridharma*

Kegiatan pelayanan Tridharma Fakultas Kehutanan IPB meliputi pelayanan pendidikan dan penelitian serta pengabdian kepada masyarakat. Selain itu kegiatan Pelayanan Tridharma yang dilakukan yaitu dengan pengelolaan fasilitas untuk menunjang pengelolaan HPGW. Badan Pengelola HPGW menyelenggarakan program-program pendidikan di bidang kehutanan dan lingkungan bagi berbagai kalangan (mahasiswa, pelajar, dan masyarakat umum), baik dari dalam maupun luar negeri. Jumlah pengunjung yang datang ke HPGW setiap tahun cenderung mengalami kenaikan dengan berbagai aktivitas seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Fungsi dan potensi KHDTK HPGW yang tinggi menarik minat peneliti untuk melaksanakan penelitian. Peneliti yang melakukan penelitian sebagian besar masih berstatus mahasiswa baik sarjana maupun pascasarjana. Menurut HPGW (2017) tercatat sebanyak 318 judul penelitian yang hasilnya telah dimuat dalam berbagai media publikasi dengan topik yang beragam. Topik penelitian yang paling banyak adalah terkait dengan silvikultur, fauna, getah, agroforestry, dan hidrologi. Potensi penelitian yang tinggi

tersebut dikarenakan KHDTK HPGW mampu menyediakan tempat praktek dengan berbagai fasilitas penelitian yang menunjang serta hutan yang lestari. Badan Pengelola HPGW memberikan subsidi bagi mahasiswa yang sedang melakukan penelitian di HPGW baik berupa biaya konsumsi, penginapan, atau biaya penggunaan fasilitas. Total subsidi yang diberikan KHDTK HPGW pada tahun 2016 sebesar Rp 216.381.600 (HPGW 2017).

**Tabel 1** Jumlah pengunjung HPGW

Kegiatan	Jumlah pengunjung		
	2014	2015	2016
Praktik lapang	733	1.151	1.467
Diklat	447	142	907
Penelitian	22	23	46
Fieldtrip dan PLH	41	592	103
Summer course	64	163	-
Kegiatan lain	1.069	688	1.785
Jumlah	2.376	2.799	4.308

Sumber: HPGW (2017)

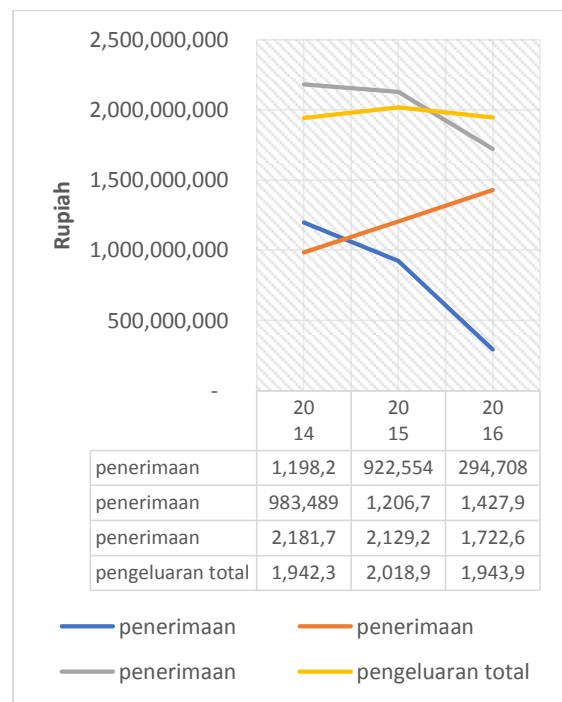
*e. Pengembangan Sumberdaya Pendanaan*

Sumber daya pendanaan yang diupayakan HPGW melalui pemanfaatan sumber daya hutan dan jasa lingkungan. Pendanaan HPGW diperoleh dari beberapa sumber antara lain:

- Pendapatan dari penjualan getah pinus dan kopal melalui koperasi
- Pendapatan dari aktivitas pelayanan tamu: field trip, pelatihan, penyewaan fasilitas dan ekowisata.
- Pendapatan kerjasama program penanaman pohon dalam rangka peningkatan serapan karbon: TOSO Industry Indonesia, TOSO Company Limited - Japan, Conoco Phillips, NYK Group.
- Pendapatan dari usaha lain, seperti penjualan kaos dan souvenir.

Pendapatan yang berasal dari kerjasama terus diupayakan dan dikembangkan dikarenakan pendapatan yang bersumber

dari getah relatif fluktuatif dan tergantung pada harga pasar. Pada **Gambar 2** dapat diketahui bahwa penerimaan pada tahun 2015 dan 2016 mengalami penurunan dibanding tahun 2014 yang terutama dipengaruhi oleh penurunan harga komoditi (getah) dan izin penjualan getah yang belum bisa diselesaikan pada tahun 2016, sehingga dana pemeliharaan tanaman dari KGWS ke HPGW menurun. Namun terdapat peningkatan penerimaan yang bersumber dari pelayanan jasa dan barang.



**Gambar 2** Aktivitas Keuangan HPGW

**Permasalahan Pengelolaan HPGW**

Menurut hasil analisis deskriptif kualitatif serta *content analisis* yang telah dilakukan, diketahui bahwa kegiatan pengelolaan KHDTK sampai saat ini belum diatur oleh pemerintah. Hal ini membuat pengelola KHDTK dalam menjalankan kegiatan pengelolaan mengacu kepada peraturan perundangan umum yang terkadang tidak relevan dengan pengelolaan KHDTK hutan pendidikan dan latihan yang memiliki beberapa karakteristik antara lain:

- Menyelenggarakan fungsi dan tujuan khusus KHDTK sebagai hutan tridharma Fakultas Kehutanan IPB yang meliputi kegiatan pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat yang terintegrasi dengan pengelolaan hutan lestari.
- Menyelenggarakan dan mewujudkan pengelolaan hutan lestari yang mencakup aspek ekonomi, sosial dan ekologi.
- Memanfaatkan potensi sumberdaya hutan secara berkelanjutan untuk tujuan pendidikan dan penelitian

Dalam melakukan aktivitas pengelolaan, seringkali pengelola mengalami beberapa hambatan sehingga kegiatan yang dilakukan belum dapat terintegrasi dengan baik. Sebagai contoh, dalam upaya perlindungan kesehatan hutan. Tegakan HPGW yang ditanam pada tahun 1970-an mengakibatkan sebagian besar tegakan telah melebihi umur daur. Selain itu, menurut penelitian Permatasari (2015) telah ditemukan adanya serangan *Ganoderma* sp. sebagai penyebab penyakit akar merah yang menyerang tegakan *Agathis* sp. dan *Pinus* sp. dengan karakteristik berbeda. Diduga serangan ini akan terus berlanjut ke tanaman bahkan ke tegakan lainnya jika tidak segera dikendalikan. Hal ini mengakibatkan banyak tegakan HPGW yang roboh dan terkena serangan jamur. Dalam pengelolaan hutan lestari kegiatan penebangan dan peremajaan tegakan dapat menghasilkan kesehatan hutan dan perlindungan terhadap kualitas air yang juga dapat menghasilkan pendapatan yang diperlukan dalam mendukung keberlanjutan operasional pengelolaan. Dengan keterbatasan regulasi saat ini, Perguruan Tinggi sebagai pengelola KHDTK belum dapat melaksanakan aktivitas tersebut.

Permasalahan yang dihadapi Perguruan Tinggi dalam pengelolaan KHDTK saat ini antara lain:

- KHDTK tidak dapat melaksanakan kegiatan pengelolaan hutan secara terintegrasi khususnya yang berhubungan dengan kegiatan pemanfaatan hutan dikarenakan belum didukung dengan peraturan perundang-undangan.
- Peraturan pemanfaatan hutan yang umum bagi *private sector* membutuhkan persyaratan yang rumit, modal yang banyak, dan tidak dapat langsung melakukan perizinan tanpa melibatkan badan usaha.
- Untuk dapat memanfaatkan berbagai pemanfaatan hutan harus menggunakan izin disetiap usaha pemanfaatan hutan.
- Sumber pendanaan dalam kegiatan pengelolaan KHDTK belum diatur sehingga pengelola mengalami keragu-raguan dalam mencari inisiatif sumber pendanaan yang baru.

KHDTK HPGW membawa misi publik dalam kegiatan pengelolaannya yaitu untuk keperluan penelitian dan pengembangan serta pendidikan dan latihan. Akan tetapi, aturan main yang berjalan seperti langkah-langkah *private sector* sebagai pemegang izin pemanfaatan atau pemungutan hutan dalam melakukan kegiatan pemanfaatan atau pemungutan hutan yang dilakukan murni untuk kepentingan bisnis hasil hutan dan diperuntukkan untuk memperoleh keuntungan. Pengelolaan KHDTK yang dihadapkan pada berbagai perizinan pemanfaatan hutan sejalan dengan konsep *Land Management Grant College* (LMGC). Pada tahun 1999 sampai 2004, IPB memperoleh hak pengelolaan kawasan hutan Lembaga Pendidikan *Land Grant College* melalui Pengelola Lapangan LMGCC IPB. Dalam melakukan kegiatan pemanfaatan, LMGCC IPB dihadapkan dengan berbagai perizinan umum sehingga inovasi kebijakan LGC gagal diwujudkan dan membuat LMGCC IPB tidak mampu *survive* mengurus berbagai macam perizinan yang ada dikarenakan

membutuhkan biaya yang cukup tinggi. Pada tahun 2004, Menteri Kehutanan mencabut hak pengelolaan tersebut melalui Surat Menteri Kehutanan Nomor 99/Menhut-II/2004 dan Nomor 100/Menhut-II/2004 dikarenakan LMGC IPB dipandang tidak sesuai dengan KHDTK namun sesuai dengan Hutan Tanaman Industri (Hero 2012).

Berdasarkan proses bagaimana kebijakan ditetapkan dan kegiatan yang telah dilaksanakan di lapangan sebagaimana telah diuraikan, menunjukkan bahwa aspek legalitas belum mampu untuk menjadi pegangan dikarenakan adanya kevakuman kebijakan pengelolaan KHDTK yang pada ranah implementasinya tidak mampu mengarahkan kegiatan pengelolaan di lapangan. Melihat fakta tersebut perlu kepastian hak dan kewajiban pengelola KHDTK yang mestinya telah ada sebelumnya.

### **Konsep Solusi Pengelolaan KHDTK**

Kegiatan pengelolaan KHDTK oleh Perguruan Tinggi tidak dapat dilakukan secara terintegrasi khususnya yang berhubungan dengan kegiatan pemanfaatan hutan sehingga tujuan KHDTK sebagai hutan pendidikan dan latihan dengan pengelolaan hutan lestari serta kepastian pendanaan belum dapat diwujudkan secara maksimal. Pengelolaan KHDTK berpeluang dikelola secara maksimal secara lestari. Hal ini didasarkan pada beberapa keunggulan pengelola KHDTK yang merupakan lembaga yang berkompeten dibidang kehutanan.

Konsep solusi pengelolaan KHDTK pendidikan dan penelitian yang ideal dengan kondisi saat ini antara lain sebagai berikut:

- Lembaga Pendidikan ataupun Lembaga Penelitian sebagai pemegang mandat hak pengelolaan KHDTK dapat secara tuntas menyelenggarakan kegiatan pengelolaan KHDTK secara berkelanjutan dan dapat dikontrol.

Pengelolaan KHDTK yang berkelanjutan adalah integrasi antara penyelenggaraan fungsi khusus hutan pendidikan dengan pengelolaan hutan lestari.

- Pemegang hak pengelolaan KHDTK melakukan kegiatan pengelolaan berdasarkan rencana pengelolaan KHDTK yang disusun berdasarkan prinsip-prinsip keberlanjutan.
- Pemegang hak pengelolaan dapat melakukan berbagai aktivitas pengelolaan hutan yang terintegrasi seperti kegiatan pemanfaatan sumberdaya hutan, pemasaran sumberdaya hutan, perlindungan satwa, fasilitasi rekreasi dengan aturan yang khusus yang berbeda dengan ketentuan yang berlaku umum pada perizinan usaha pemanfaatan hasil hutan.
- Hasil dari pemanfaatan sumber daya hutan dapat digunakan secara langsung untuk membiayai pengelolaan KHDTK yang meliputi pengelolaan hutan dan peningkatan fungsi pelayanan publik untuk tujuan khusus KHDTK HPGW. Kebijakan pendanaan pengelolaan KHDTK harus jelas, tidak rumit dan fleksibel serta dapat dipertanggungjawabkan.
- Terdapat kriteria dan indikator dalam menilai keberhasilan pengelolaan KHDTK yang berkelanjutan

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa permasalahan utama pengelolaan KHDTK oleh Perguruan Tinggi adalah belum terdapatnya peraturan perundangan yang secara khusus mengatur pengelolaan KHDTK sebagai obyek pengelolaan hutan lestari yang keberadaannya harus ada dalam mendukung kegiatan pendidikan dan latihan serta penelitian dan pengembangan. Pemerintah sebagai regulator perlu segera menyusun peraturan perundangan tentang pengelolaan KHDTK yang memuat beberapa aspek antara lain: aspek kelestarian kawasan, aspek

pendanaan serta kriteria indikator sebagai acuan dasar pengelolaan KHDTK.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adirianto, A. (2012) *Potensi Nilai Ekonomi Total Hutan Pendidikan Gunung Walat Sukabumi Jawa Barat*. Bogor (ID)
- Boyce, C., & Neale, P. (2006) *Conducting in-depth interviews: A guide for designing and conducting in-depth interviews for evaluation input* (pp. 3-7). Watertown, MA: Pathfinder International.
- [Fahutan IPB] Fakultas Kehutanan IPB (2008) Keputusan Dekan Fakultas Kehutanan IPB Nomor: 35/13.5/KP/2008 tentang Garis-Garis Besar Kebijakan Pengelolaan Hutan Pendidikan Gunung Walat. Bogor (ID)
- [HPGW] Hutan Pendidikan Gunung Walat (2017) Kinerja Pengelolaan Kepengurusan Periode Tahun 2013-2016. Bogor (ID)
- Helms, JA. (1998) *The Dictionary of Forestry. Society of American Foresters*. Amerika Serikat (US)
- Hero Y, Rudy C Tarumingkeng, Dudung D, dan Hariadi K. (2012) *Institutional Role in Gunung Walat Educational Forest Policy: Discourse and Historical Approaches*. JMHT Vol. XVIII. (2): 94-99, Agustus 2012.
- Hero (2012) *Peran Kelembagaan dalam Proses Pembuatan Kebijakan Pengelolaan Hutan Pendidikan Gunung Walat Berdasarkan Pendekatan Diskursus dan Sejarah*. Bogor (ID)
- Jamil, M. (2016) *Evaluasi Kegiatan Agroforestri di Hutan Pendidikan Gunung Walat*. Bogor (ID)
- [Kemenhut 2005] Keputusan Menteri Kehutanan Republik Indonesia SK.188/Menhut-II/2005 tentang Penunjukan dan Penetapan Kawasan Hutan Produksi Terbatas Komplek Hutan Gunung Walat Seluas 359 (Tiga Ratus Lima Puluh Sembilan) Hektar di Kecamatan Cibadak, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat sebagai Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus untuk Hutan Pendidikan dan Latihan Gunung Walat Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. Jakarta (ID)
- [Kemenhut 2009] Keputusan Menteri Kehutanan Republik Indonesia SK. 702/Menhut-II/2009 tentang Perubahan Keputusan Menteri Kehutanan No SK. 188/Menhut-II/2005 Tanggal 8 Juli 2005 tentang Penunjukan dan Penetapan Kawasan Hutan Produksi Terbatas Kelompok Hutan Gunung Walat Seluas 359 Hektar di Kecamatan Cibadak, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat Sebagai Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus untuk Hutan Pendidikan dan Latihan Gunung Walat Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. Jakarta (ID)
- [KLHK 2015] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor: P.27/MenLHK-Setjen/2015 tentang Perubahan atas Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P.91/Menhut-II/2014 tentang Penatausahaan Hasil Hutan Bukan Kayu yang Berasal dari Hutan Negara. Jakarta (ID)
- [KLHK 2016a] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor: P.54/MenLHK/Setjen/Kum.1/6/2016 tentang Tata Cara Pemberian dan Perpanjangan Izin Pemungutan Hasil Hutan Kayu atau Hasil Hutan Bukan Kayu pada Hutan Negara. Jakarta (ID)
- [KLHK 2016b] Surat Edaran Nomor: SE.15/PHPL/JASLING/HPL.2/9/2016 tentang Pemanfaatan dan Penatausahaan Hasil Hutan Bukan Kayu (HHBK) pada IUPHHK-HA/HTI/RE, Kesatuan Pengelolaan Hutan Produksi (KPHP), Kesatuan Pengelolaan Hutan Lindung (KPHL) dan Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK). Jakarta (ID)
- Marsh, E. E., & White, M. D. (2006) *Content analysis: A flexible methodology*. *Library trends*, 55(1), 22-45
- Mutasodirin, Halim Amran (2014) *Nilai Ekonomi Air Hutan Pendidikan Gunung Walat dan Kontribusinya Terhadap Masyarakat Sekitar*. Bogor (ID)
- Permatasari, Deasy Putri (2014) *Serangan Ganoderma sp. Penyebab Penyakit Akar Merah di Hutan Pendidikan Gunung Walat, Sukabumi, Jawa Barat*. Bogor (ID)
- Pratiwi, S. (2008) Model Pengembangan Institusi Ekowisata Untuk Menyelesaikan Konflik Di Taman Nasional Gunung Halimun-Salak. Bogor (ID)
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan. Lembaran Negara RI Tahun 1999 no 167. Jakarta (ID)

## **DINAMIKA PERUBAHAN DAN KEBIJAKAN PEMANFAATAN RUANG DI KABUPATEN BOGOR, PROVINSI JAWA BARAT** *(The Changing Dynamic and Space Utilization Policy in Bogor District, West Java Province)*

Maurinus Roy A C<sup>1</sup>, Omo Rusdiana<sup>2</sup>, Iin Ichwandi<sup>3</sup>  
Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan  
Institut Pertanian Bogor

Kampus IPB Baranangsiang, Jl. Raya Pajajaran, Bogor 16144

<sup>1</sup> maurinusroy@yahoo.com, <sup>2</sup> orusdiana@gmail.com, <sup>3</sup> iichwandi@yahoo.com

**Abstrak :** Penggunaan lahan di Kabupaten Bogor mengalami perubahan dari waktu ke waktu untuk pemenuhan kebutuhan pembangunan dan ekonomi masyarakat. Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten (RTRWK) Bogor disusun sebagai pedoman merencanakan dan melaksanakan program pembangunan sehingga penggunaan lahan aktual dapat sesuai dengan rencana peruntukannya. Tujuan penelitian untuk mengetahui kesesuaian alokasi peruntukan ruang dalam pola ruang RTRWK dengan penggunaan lahan pada kawasan hutan di Kabupaten Bogor. Analisis perubahan penggunaan lahan dan kebijakan peruntukan ruang dilakukan dengan mengoverlaykan peta penggunaan lahan tahun 2008 dan 2016, peta pola ruang RTRWK Bogor tahun 2008 dan 2016, dan peta kawasan hutan Kabupaten Bogor. Hasil analisis menunjukkan bahwa terjadi perubahan penggunaan lahan pertanian menjadi hutan (14.262 ha), lahan terbangun (257 ha), dan lahan terbuka (454 ha). Lahan hutan berubah menjadi pertanian (3.044 ha), lahan terbangun (8 ha) dan lahan terbuka (25 ha). Alokasi ruang dalam pola ruang RTRWK Bogor mengalami perubahan untuk hutan berkurang 7.410 ha, pertanian berkurang 457 ha dan lahan terbangun bertambah 8.219 ha. Pola ruang RTRWK 2016 yang sesuai dengan penggunaan lahan tahun 2016 di dalam kawasan hutan seluas 43.334 ha (55,20%). Tidak sesuai dalam implementasi di lapangan seluas 34.641 ha (44,13%), di mana kawasan hutan yang direncanakan sebagai pola ruang hutan seharusnya digunakan untuk penggunaan lahan hutan, yang terdiri dari kawasan hutan konservasi dan hutan lindung seluas 12.587 ha yang berfungsi pokok sebagai kawasan lindung disekitarnya namun penggunaan lahannya berupa pertanian, dan hutan produksi seluas 22.104 ha di mana dalam pengelolaan dapat dilakukan pemberdayaan masyarakat dengan sistem tumpangsari. Terdapat seluas 521 ha (0,66%) tidak sesuai dalam penentuan kebijakan peruntukan ruang, di mana kawasan hutan tidak dialokasikan sebagai rencana pola ruang hutan, sehingga akan menimbulkan ketidakpastian ruang dalam implementasi kebijakan selanjutnya.

**Kata Kunci :** *penggunaan lahan, perubahan lahan, RTRWK, spasial*

**Abstract:** *The land use dynamically changes from time to time, it drives by many factors such as population growth, economic, and the development of infrastructure. The needs of space has pushed the government of Bogor District to arrange the spatial planning of Bogor District (RTRWK Bogor) as the basic policy to do some plan for their district's development. Thus, by applying the spatial planning policy, it can make sure that every land use in Bogor District correctly used base on its function. This research conducts to get data of land use suitability in Bogor especially in forest area. The methods of this research is using GIS analysis by overlaying the land use map of Bogor District in 2008 and 2016 to RTRWK Bogor's map and forest map of Bogor. The study shows that there are changes of land use in these classes; (1) 14.262 hectares of cropland to forest area, 257 hectares to settlements, and 454 hectare to bareland; (2) 3.044 hectares of forested area to cropland, 8 hectares to settlements, and 25 hectares to bareland. To sum up, the allocation for forest area in Bogor District's spatial planning decreases to 7.410 hectare. Moreover, cropland also shows changes by decreasing to 457 hectares, on contrary, settlements has increases to 8.219 hectare. The suitability of land use in forest area of Bogor District in 2016 is 43.334 hectares (55,20%). There about 34.641 (44,13%) hectares of land use classes not correctly implemented in field, where 12.587 hectares in forest area that has function as conservation forest and protected forest by the policy, used as cropland. Furthermore, there are 22.104 hectares of production forest which can be uses as intercropping land for the local community empowerment. Meanwhile, there are 521 hectare (0.66%) is not appropriate in the determination of the spatial allocation policy, in forest area unallocated as planned forest in spatial planning, so that it will create uncertainty in implementing of further policy.*

**Keywords :** *landuse, landuse change, spatial planning, spatial*

## PENDAHULUAN

Kebutuhan akan lahan akan terus meningkat sejalan dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pengembangan wilayah yang merupakan bentuk aktivitas penduduk dalam pembangunan. Konsekuensi logis dari pembangunan adalah meningkatnya kebutuhan lahan yang secara tidak langsung dapat menyebabkan terjadinya alih fungsi lahan. Untuk pemenuhan kebutuhan lahan yang semakin meningkat dilakukan dengan pembukaan lahan baru, okupasi lahan hutan dan konversi lahan hutan.

Penggunaan lahan yang tidak direncanakan dengan baik akan menimbulkan permasalahan penggunaan lahan yang akan meningkat setiap tahunnya karena kebutuhan akan lahan semakin meningkat sedangkan lahan memiliki keterbatasan kapasitasnya. Perencanaan penggunaan lahan harus dibuat seoptimal mungkin untuk mereduksi kerusakan lingkungan yang akan terjadi dikemudian hari. Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten (RTRWK) adalah salah satu bentuk perencanaan alokasi ruang di tingkat kabupaten yang secara detil menjabarkan penggunaan lahan yang akan dialokasikan.

RTRWK sebagai salah satu arahan pemanfaatan ruang seharusnya telah memenuhi aspek-aspek yang mendukung kemampuan lahan disertai penggunaannya. Tetapi permasalahan lingkungan tidak serta merta hilang dengan adanya RTRWK di suatu wilayah. Ruang di dalam RTRWK dibagi ke dalam kawasan lindung dan budidaya. Kawasan hutan konservasi dan hutan lindung termasuk ke dalam kawasan lindung, sedangkan hutan produksi termasuk ke dalam kawasan budidaya. Selain dari kawasan hutan, kawasan lindung dan kawasan budidaya hutan produksi dapat berasal dari bukan kawasan hutan. Secara tidak langsung kawasan hutan sesuai keputusan menteri yang membidangi kehutanan akan dialokasikan dalam RTRWK sebagai kawasan lindung

dan budidaya dan akan berlaku ketentuan di bidang kehutanan. Namun banyak ditemukan kondisi ketika kawasan hutan tidak dipolaruangkan dalam RTRW sebagai kawasan lindung atau kawasan budidaya hutan produksi melainkan sebagai kawasan budidaya lainnya sehingga akan minumbulkan persoalan di masa mendatang.

Sebagai salah satu wilayah penyangga Ibukota Jakarta, Kabupaten Bogor mengalami perkembangan yang sangat cepat, salah satu karena posisi Kabupaten Bogor yang dekat dengan Ibukota Jakarta, baik dalam pembangunan ekonomi, kelembagaan dan wilayah. Salah satu bentuk pengembangan wilayah adalah dengan adanya konversi lahan pertanian untuk pembangunan jalan tol sehingga memudahkan akses masyarakat dari Jakarta menuju wilayah sekitar Jakarta. Adanya akses transportasi yang mudah menuju Jakarta memunculkan fenomena tinggal di wilayah sekitar Jakarta namun bekerja di Jakarta, sehingga kebutuhan lahan terbangun untuk permukiman semakin tinggi.

Hasil penelitian Rahmi (2014), menunjukkan bahwa penggunaan lahan di Kabupaten Bogor dari tahun 1999 hingga tahun 2013 mengalami perubahan yang sangat pesat terutama pada lahan pertanian dimana pada tahun 1995-2001 merupakan rentang waktu perubahan yang sangat signifikan. Penyebab terjadinya perubahan penggunaan lahan karena banyaknya terbit izin lokasi perumahan baru, penetapan beberapa kawasan industri dan semakin banyaknya jalan kolektor penghubung ke pusat perkotaan.

## Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian untuk mengetahui kesesuaian alokasi peruntukan ruang dalam pola ruang RTRWK dengan penggunaan lahan dalam kawasan hutan di Kabupaten Bogor.

## METODE PENELITIAN

### *Tempat, waktu dan Prosedur*

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah Kabupaten Bogor Provinsi Jawa Barat yang dilaksanakan pada bulan September 2016 - Februari 2017. Lokasi penelitian didapatkan posisi pendekatan terletak antara 6°18'0" – 6°47'10" Lintang Selatan dan 106°23'45" – 107°13'30" Bujur Timur. Wilayah administratif Kabupaten Bogor terbagi ke dalam 40 kecamatan dan 430 desa yang mencakup luas wilayah seluas ±299.431 ha. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: peta penggunaan lahan tahun 2008 dan 2016 sumber Badan Pertanahan Nasional, peta pola ruang RTRWK Bogor lampiran Perda nomor 19 tahun 2008 dan Perda nomor 11 tahun 2016; peta administrasi Kabupaten Bogor sumber Badan Perencanaan Pembangunan Penelitian dan Pengembangan Daerah Kabupaten Bogor, peta kawasan hutan Kabupaten Bogor (Lampiran Keputusan Menteri Kehutanan nomor 195/Kpts-II/2003) sumber Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, data Kabupaten Bogor dalam angka sumber Badan Pusat Statistik Kabupaten Bogor. Sedangkan alat yang digunakan antara lain ATK, *Software ArcGis 10.1*, *Software Microsoft Office 2013*.

### *Prosedur*

1. Analisis perubahan penggunaan lahan dalam kawasan hutan di Kabupaten Bogor tahun 2008 dan 2016

Berdasarkan data *shapefile* peta penggunaan lahan tahun 2008 dan 2016, dilakukan klasifikasi kelas penggunaan lahan menurut klasifikasi IPCC (2003) sehingga data tersebut terkodifikasi ke dalam kelas penggunaan lahan yang baru. Proses attributing ini dilakukan dengan menggunakan analisis *join table* dengan *software ArcGIS*. Peta penggunaan lahan yang telah terkodifikasi *dioverlay* sehingga mendapatkan peta gabungan

penggunaan lahan tahun 2008 dan 2016. Untuk mengetahui tiap perubahan penggunaan lahan tertentu ke penggunaan lainnya dilakukan teknik analisis input output (I/O). Teknik analisis ini berguna untuk mengetahui luas dan besaran perubahan penggunaan lahan.

2. Analisis perbandingan alokasi ruang dalam RTRWK Bogor dalam Perda no. 19 tahun 2008 dan Perda no. 11 tahun 2016

Peta pola ruang RTRWK Bogor tahun 2008 dan 2016 diklasifikasikan seperti pada peta penggunaan lahan sehingga diperoleh kelas pola ruang yang telah terkodifikasi. Peta pola ruang tersebut *dioverlaykan* sehingga mendapatkan peta gabungan pola ruang RTRWK tahun 2008 dan 2016. Luasan alokasi ruang dalam pola ruang RTRWK diperbandingkan antara Perda No 19 tahun 2008 dengan Perda No 11 tahun 2016.

3. Evaluasi kesesuaian pola ruang RTRWK dengan penggunaan lahan di dalam kawasan hutan

Evaluasi kesesuaian rencana pola ruang dengan penggunaan lahan yang berada di dalam kawasan hutan dilakukan dengan cara *mengoverlaykan* peta penggunaan lahan, peta rencana pola ruang RTRWK, dan peta kawasan hutan. Bentuk interaksi dari ketiga tema peta tersebut diklasifikasikan menjadi:

- a. Sesuai apabila hasil *overlay* terdapat pola ruang adalah hutan dan penggunaan lahan adalah hutan
- b. Terdapat ketidaksesuaian dalam implementasi di lapangan apabila hasil *overlay* terdapat pola ruang adalah hutan dan penggunaan lahan adalah bukan hutan.
- c. Terdapat ketidaksesuaian dalam penentuan kebijakan apabila hasil *overlay* terdapat pola ruang adalah



bukan hutan dan penggunaan lahan adalah hutan atau bukan hutan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Perubahan Penggunaan Lahan dalam Kawasan Hutan di Kabupaten Bogor Tahun 2008 dan 2016

Data penggunaan lahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah data penggunaan lahan tahun 2008 dan tahun 2016 yang diperoleh dari Badan Pertanahan Nasional. Dalam data penggunaan lahan yang diperoleh, kelas

penggunaan lahan yang ada dibuat klasifikasi menjadi 6 kelas menurut IPCC (2003) yaitu: hutan, pertanian, lahan terbangun, padang rumput, lahan terbuka, dan air. Proses ini dilakukan dengan analisis *join table* yang berfungsi untuk menggabungkan atribut satu dengan atribut yang lain yang mempunyai suatu *field* yang sama sehingga kedua tabel tersebut dapat dilakukan proses *join*. Hasil proses tersebut menghasilkan 5 kelas penggunaan lahan karena kelas padang rumput tidak terdapat kecocokan *field* dengan data penggunaan lahan. Distribusi penggunaan lahan di Kabupaten Bogor disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Distribusi penggunaan lahan di Kabupaten Bogor tahun 2008 dan 2016

No	Kelas penggunaan lahan	Luas Tahun 2008	Luas Tahun 2016	Perubahan
1	Hutan	35.809	49.175	13.366
2	Pertanian	228.741	190.497	-38.245
3	Lahan terbangun	32.263	53.844	21.581
4	Lahan terbuka	212	3.232	3.020
5	Air	2.406	2.683	277
<b>Jumlah</b>		299.431	299.431	-

Penggunaan lahan pertanian mengalami penurunan sekitar 38.245 ha atau 12% dari luas wilayah kabupaten, berubah menjadi hutan sekitar 4% dan lahan terbangun sekitar 7%. Tergerusnya lahan pertanian menjadi lahan terbangun terjadi seiring dengan maraknya pembangunan perumahan baru dan infrastruktur lainnya mengingat Kabupaten Bogor merupakan wilayah yang sangat strategis sebagai penyangga ibukota dalam mendukung perkembangan Jakarta.

Kawasan hutan di Kabupaten Bogor didasarkan pada Keputusan Menteri Kehutanan nomor: 195/Kpts-II/2003 tanggal 4 Juli 2003 yang telah mengikuti perkembangan pengukuhan kawasan hutan berupa perubahan peruntukan kawasan hutan, penataan batas, dan perubahan fungsi kawasan hutan. Kawasan hutan di Kabupaten Bogor seluas 78.505 ha atau 26,22% dari luas wilayah Kabupaten

Bogor, yang terdiri dari Hutan Konservasi seluas 36.591 ha (12,22%); Hutan Lindung seluas 3.753 ha (1,25%); Hutan Produksi Terbatas seluas 13.907 ha (4,64%); dan Hutan Produksi Tetap seluas 24.254 ha (8,10%).

Untuk mengetahui tiap kelas perubahan penggunaan lahan tertentu ke penggunaan lainnya yang berada di dalam kawasan hutan dilakukan dengan *overlay* peta perubahan kelas penggunaan lahan dengan peta kawasan hutan Kabupaten Bogor, kemudian digunakan teknik analisis input output (I/O) untuk membuat suatu matriks input output perubahan kelas penggunaan lahan di kawasan hutan tahun 2008-2016. Tabel input output perubahan kelas penggunaan lahan di kawasan hutan di Kabupaten Bogor dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari tabel tersebut diketahui bahwa di dalam kawasan hutan terdapat kelas

penggunaan selain hutan, yaitu kelas pertanian, lahan terbangun, lahan terbuka dan air, hal ini menunjukkan bahwa belum sepenuhnya kawasan hutan terbebas dari kepentingan sektor lain. Kelas penggunaan lahan hutan meningkat seluas 14.262 ha dari kelas penggunaan lahan pertanian sehingga menjadi 43.363 ha. Namun

demikian terdapat pula kelas penggunaan lahan hutan yang berubah menjadi pertanian (3.044 ha), lahan terbangun (8 ha) dan lahan terbuka (25 ha), hal ini harus mendapat perhatian mengingat pentingnya fungsi hutan dalam menjaga keseimbangan ekosistem.

**Tabel 2.** Matrik input output kelas penggunaan lahan di kawasan hutan Kabupaten Bogor

Kelas penggunaan lahan 2008	Kelas penggunaan lahan 2016					Jumlah (Ha)
	Hutan	Pertanian	Lahan terbangun	Lahan terbuka	Air	
Hutan	29.100	3.044	8	25	2	32.178
Pertanian	14.262	31.062	257	454	30	46.064
Lahan terbangun		80	97			178
Lahan terbuka		14		26		40
Air		1			44	45
Jumlah	43.362	34.201	362	504	76	78.505

Pergeseran penggunaan lahan juga terjadi pada kelas pertanian yang berubah menjadi kelas hutan (14.262 ha), lahan terbangun (257 ha), lahan terbuka (454 ha) dan air (30 ha). Perubahan menjadi kelas hutan diakibatkan karena lahan yang dahulu dilakukan kerjasama kemitraan dengan masyarakat berupa tanaman pangan telah tumbuh menjadi tanaman pokok kehutanan, disamping telah dilakukannya gerakan reboisasi maupun adopsi pohon sehingga menambah luas tegakan hutan di dalam kawasan hutan. Sedangkan perubahan menjadi lahan terbangun menjadi hal yang perlu diperhatikan, mengingat kecenderungan lahan terbangun di dalam kawasan hutan semakin meningkat, yaitu berasal dari kelas hutan dan pertanian atau bertambah seluas 265 ha.

Kelas lahan pertanian mengalami penurunan luasan dari 46.064 ha menjadi 34.201 ha. Masih tingginya luas kelas pertanian di dalam kawasan hutan menunjukkan tingkat ketergantungan masyarakat terhadap hutan masih tinggi, hal ini masih disebabkan karena kebutuhan akan lahan bercocok tanam masih sangat tinggi untuk pemenuhan kebutuhan hidup.

## 2. Perubahan Alokasi Ruang dalam RTRWK Bogor dalam Perda no. 19 Tahun 2008 dan Perda no. 11 Tahun 2016

RTRWK Bogor ditetapkan dengan Peraturan Daerah nomor 11 Tahun 2016 tentang RTRWK Bogor Tahun 2016-2036 yang merupakan revisi atas Peraturan Daerah nomor 19 Tahun 2008 tentang RTRWK Bogor Tahun 2005-2025. Dalam RTRWK Bogor tahun 2016-2036 terdapat 16 alokasi peruntukan ruang, dalam perda RTRWK sebelumnya terdapat 17 alokasi peruntukan ruang, untuk kawasan lindung dan budidaya, meliputi: kawasan hutan konservasi, kawasan hutan lindung, kawasan hutan produksi terbatas, kawasan hutan produksi tetap, kawasan pertanian lahan basah, kawasan pertanian lahan kering, kawasan perkebunan dan tanaman tahunan, kawasan peruntukan industri, kawasan peruntukan permukiman perdesaan, kawasan permukiman perkotaan kepadatan rendah, kawasan permukiman perkotaan kepadatan sedang, kawasan permukiman perkotaan kepadatan tinggi, kawasan khusus hankam, enclave kawasan hutan, rencana waduk, dan situ.

Alokasi ruang yang ada dalam ke dua RTRW tersebut diklasifikasikan sesuai dengan klasifikasi penggunaan lahan menurut IPCC (2003) dengan menggunakan join table pada ArcGIS 10.1 sehingga kelas yang digunakan setara, hasilnya disajikan pada Tabel 3. Alokasi ruang untuk kelas lahan terbangun mengalami peningkatan hampir 3% dari total luas wilayah kabupaten dan

mengurangi alokasi untuk kelas hutan sehingga alokasi ruang untuk hutan masih kurang dari 30%. Alokasi ruang untuk lahan terbangun meningkat sebesar 8.219 ha untuk mengantisipasi perkembangan pembangunan wilayah seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk yang semakin meningkat setiap tahun.

**Tabel 3.** Luas alokasi kelas pola ruang di Kabupaten Bogor menurut Perda RTRWK Bogor No 19 Tahun 2008 dan No 11 Tahun 2016

No	Kelas pola ruang RTRW	Perda No 19 Tahun 2008 (ha)	Perda No 11 Tahun 2016 (ha)	Perubahan (Ha)	%
1	Hutan	87.461	80.052	-7.410	-8,47
2	Pertanian	99.022	98.565	-457	-0,46
3	Lahan terbangun	112.027	120.246	8.219	7,34
5	Air	920	569	-352	-38,22
<b>Jumlah</b>		299.431	299.431		

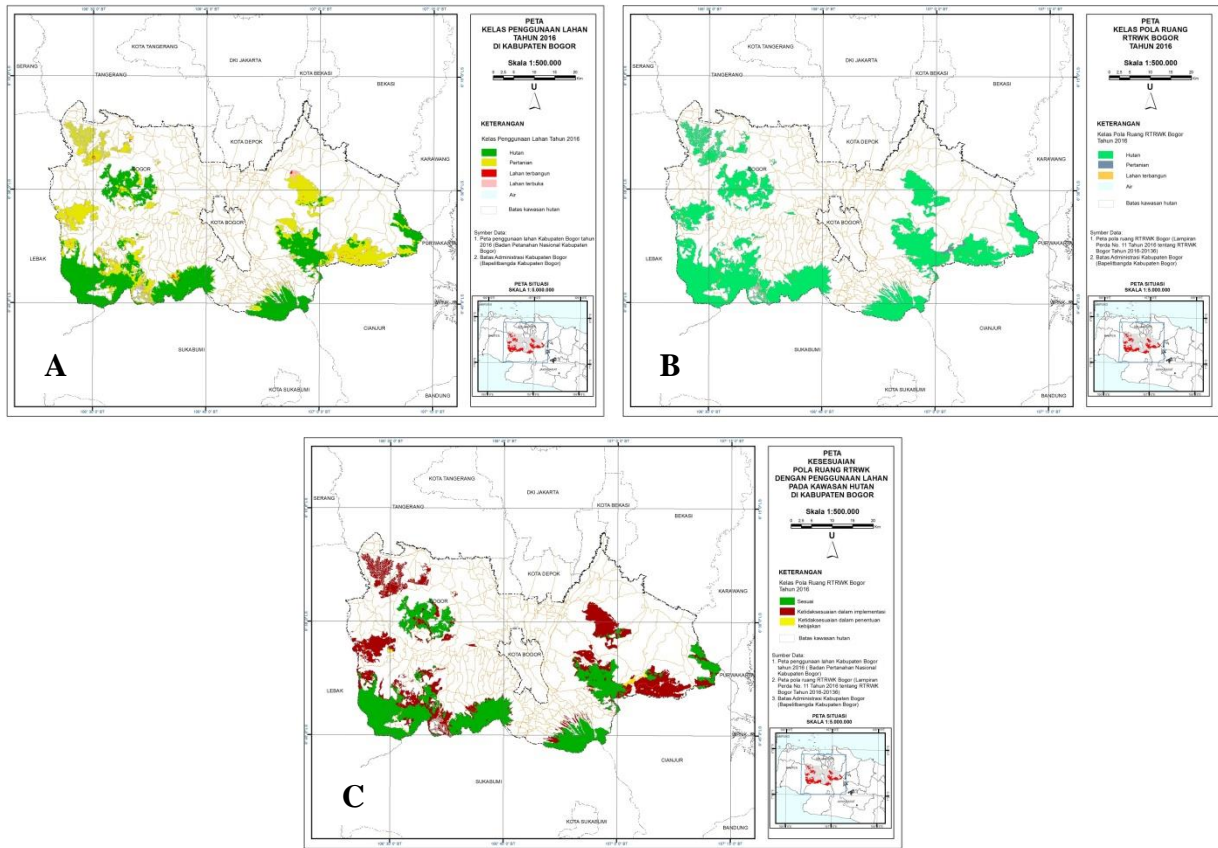
### 3. Evaluasi Kesesuaian Pola Ruang RTRWK dengan Penggunaan Lahan di Dalam Kawasan Hutan

Analisis kesesuaian pola ruang RTRWK Bogor dengan penggunaan lahan di dalam kawasan hutan dilakukan dengan mengoverlaykan ketiga tema peta tersebut dengan menggunakan *software ArcGIS*. Matrik input output digunakan untuk menganalisis kesesuaian pola ruang dengan penggunaan lahan sehingga didapat luasan areal yang terdapat ketidaksesuaian baik dalam implementasi di lapangan maupun dalam penentuan kebijakan pemanfaatan ruangnya, hasil analisis keselarasan disajikan dalam Gambar 1 dan Tabel 4.

Dari Tabel 4, dapat dilihat bahwa dalam pola ruang RTRWK tahun 2016 yang sesuai antara kelas hutan dan merupakan kelas penggunaan lahan hutan terdapat seluas 43.334 ha (55,20% dari luas kawasan hutan), sedangkan seluas 33.707 ha berupa kelas penggunaan lahan pertanian, seluas 362 ha berupa lahan terbangun, seluas 504 ha berupa lahan terbuka dan 67 ha berupa air. Hal ini menunjukkan bahwa hampir 45% alokasi

ruang dalam pola ruang yang telah direncanakan sebagai hutan ternyata di dalam kondisi aktualnya tidak sebagai hutan yaitu berupa pertanian, lahan terbangun dan lahan terbuka, ini mengindikasikan terjadi ketidaksesuaian dalam implementasi rencana pola ruang dengan penggunaan lahan aktual di lapangan, dalam hal ini di dalam kawasan hutan yang direncanakan sebagai pola ruang hutan seharusnya digunakan untuk penggunaan lahan hutan namun penggunaan lahan yang terjadi di lapangan bukan sebagai hutan.

Terdapat juga seluas 521 ha (0,66%) yang direncanakan di dalam Perda RTRWK sebagai pola ruang pertanian dan lahan terbangun namun di dalam penggunaan lahan berupa hutan, lahan pertanian dan lahan terbangun. Hal ini mengindikasikan terjadi ketidaksesuaian dalam penentuan kebijakan dalam bentuk perda RTRWK dimana di dalam kawasan hutan tidak dialokasikan sebagai rencana pola ruang hutan sehingga akan menimbulkan ketidakpastian ruang dalam implementasi kebijakan selanjutnya.



Ket: <sup>A)</sup> Peta Penggunaan Lahan Kabupaten Bogor Tahun 2016; <sup>B)</sup> Peta Pola Ruang RTRWK Bogor Tahun 2016; <sup>C)</sup> Peta Kesesuaian Pola Ruang RTRWK dengan Penggunaan Lahan

**Gambar 1.** Hasil overlay peta pola ruang RTRWK dengan peta penggunaan lahan dalam kawasan hutan di Kabupaten Bogor

Hasil overlay ketiga tema peta tersebut juga menghasilkan distribusi kesesuaian pola ruang dengan penggunaan lahan pada tiap fungsi kawasan hutan. Rincian

kesesuaian pola ruang RTRWK dengan penggunaan lahan di dalam kawasan hutan pada tiap fungsi kawasan hutan disajikan dalam Tabel 5.

**Tabel 4.** Kesesuaian pola ruang RTRWK dengan penggunaan lahan di kawasan hutan Kabupaten Bogor

Kelas Klasifikasi Pola Ruang RTRWK 2016	Kelas penggunaan lahan 2016					Jumlah (Ha)
	Hutan	Pertanian	Lahan terbangun	Lahan terbuka	Air	
Hutan	43.334	33.707	362	504	67	77.975
Pertanian	28	483				511
Lahan terbangun		11				11
Air					8	8
Jumlah	43.362	34.201	362	504	76	78.505

Implementasi penggunaan lahan pada fungsi kawasan konservasi dan hutan lindung lebih dari 30% dari luas kawasan konservasi dan hutan lindung di Kabupaten Bogor tidak sesuai dengan alokasi pola ruang sebagai hutan, hal ini menunjukkan kawasan yang berfungsi

pokok sebagai daerah lindung disekitarnya sebagian besar dipergunakan untuk lahan pertanian. Kawasan hutan konservasi diharapkan harus tetap terjaga kelestariannya sebagai perlindungan keanekaragaman hayati disamping sebagai fungsi lindung, sedangkan hutan lindung

perlu dijaga untuk perlindungan air, daerah tangkapan air serta perlindungan kawasan dibawahnya.

Dalam ketentuan di bidang kehutanan, pengelolaan kawasan konservasi dan hutan lindung belum dapat

untuk lahan pertanian meliputi 57% dari luas kawasan hutan produksi. Beberapa skema pengelolaan kawasan hutan produksi berbasis masyarakat telah dikeluarkan diantaranya hutan kemasyarakatan, hutan tanaman rakyat,

**Tabel 5.** Rincian kesesuaian pola ruang RTRWK dengan penggunaan lahan tiap fungsi kawasan hutan Kabupaten Bogor

Fungsi Kawasan Hutan	Kelas Klasifikasi Pola Ruang RTRWK 2016	Kelas penggunaan lahan 2016					Jumlah (Ha)
		Hutan	Pertanian	Lahan terbangun	Lahan terbuka	Air	
Konservasi	Hutan	26.311	10.039	131	48	39	36.568
	Pertanian	1	19				20
	Lahan terbangun		1				1
	Air					2	2
HL	Hutan	1.368	2.224	25	26	4	3.647
	Pertanian		104				104
	Air					2	2
HPT	Hutan	3.875	9.902	58	24	7	13.866
	Pertanian	1	40				41
	Lahan terbangun						
HP	Hutan	11.781	11.543	147	406	17	23.894
	Pertanian	27	319				346
	Lahan terbangun		9				9
	Air					4	4
Jumlah		43.362	34.201	362	504	76	78.505

mengakomodir pemanfaatan hutan untuk bidang pertanian sekalipun untuk kepentingan masyarakat. Hal ini menjadi persoalan mengingat hasil pertanian masyarakat berupa sayuran dan palawija ada yang berasal dari kawasan hutan konservasi dan lindung. Kurangnya pengamanan kawasan dan ketidaktahuan masyarakat mengenai batas kawasan hutan dapat menyebabkan masyarakat mengelola lahan untuk bercocoktanam.

Penggunaan lahan terbangun seluas 156 ha (Tabel 5) yang berada dalam kawasan hutan konservasi dan hutan lindung menjadi permasalahan tenurial tersendiri yang seakan lambat dalam penyelesaian masalahnya. Pada fungsi pokok hutan produksi (Hutan Produksi Terbatas dan Hutan Produksi Tetap), ketidaksesuaian dalam implementasi penggunaan lahan terjadi, sebagian besar

dan hutan desa. Perum Perhutani juga telah menyiapkan pola kemitraan berbasis masyarakat dalam pengelolaan kawasan hutan dengan memberdayakan masyarakat dalam penanaman tanaman pokok dengan sistem tumpangsari tanaman pertanian multikultur.

Perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk optimasi kebijakan terhadap ketidaksesuaian implementasi penggunaan lahan dan perbedaan kebijakan alokasi ruang sehingga dapat mereduksi kemungkinan kerusakan lingkungan di kemudian hari dengan tetap memperhatikan keberlangsungan kehidupan masyarakat.

## KESIMPULAN

Perubahan penggunaan lahan di dalam kawasan hutan kurun waktu tahun 2008 sampai dengan tahun 2016 didominasi

kelas petanian yang berubah menjadi kelas hutan (sekitar 19%). Kesesuaian pola ruang dengan penggunaan lahan aktual lebih dari 50% telah sesuai, tidak sesuai dalam implementasi di lapangan sekitar 44% dan tidak sesuai dalam penentuan kebijakan peruntukan ruang sekitar 1%. Ketidaksesuaian pada fungsi kawasan hutan konservasi dan hutan lindung seluas 12.537 ha atau sekitar 15,97% dan pada fungsi hutan produksi seluas 22.104 ha atau sekitar 28,16%).

## DAFTAR PUSTAKA

- [BPS] Badan Pusat Statistik. (2009). *Kabupaten Bogor dalam Angka*. Kabupaten Bogor.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. (2016). *Kabupaten Bogor dalam Angka*. Kabupaten Bogor.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*, Kanagawa (JP) : The Institute for Global Environmental Strategy (IGES).
- Arsyad S. (2010). *Konservasi Tanah dan Air Jilid Kedua (Cetakan Kedua)*. Bogor: IPB Press
- Barus B, Wiradisastra U.S. (2000). *Sistem Informasi Geografis*. Laboratorium Penginderaan Jauh dan Kartografi, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Diana F. (2011). *Perubahan Penggunaan Lahan dan Pengaruhnya Terhadap Daya Dukung Lahan Untuk Mendukung Perencanaan Penataan Ruang (Studi Kasus di Kota Bima Provinsi Nusa Tenggara Barat)*. Tesis. Institut Pertanian Bogor.
- Dunn, William. (2003). *Pengantar Analisis Kebijakan Publik (Cetakan Kedua)*. Yogyakarta. Gajah Mada University Press
- Hadi S. (2012). *Model Spasial Penggunaan Lahan dan Arahan Rencana Penggunaan Lahan di Kabupaten Bogor*. Tesis. Institut Pertanian Bogor.
- Haedar A. (2010). *IMPLEMENTASI KEBIJAKAN: Apa, Mengapa, dan Bagaimana*. *Jurnal Administrasi Publik*, Volume 1 No. 1
- Hardjowigeno S., Widiatmaka. (2007). *Evaluasi Kesesuaian Lahan dan Perencanaan Tata Guna Lahan*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hartoyo *et al.* (2010). *Modul Pelatihan Sistem Informasi Geografis Tingkat Dasar*. Tropenbos International Indonesia Programme. Balikpapan. Diakses pada 26 Januari 2015.
- Nurlia A P., Bambang R W., Ruslan W. (2015). *Evaluasi Daya Dukung Lingkungan Berbasis Kemampuan Lahan di Kota Batu*. *Jurnal Sumber daya Alam dan Lingkungan*. Malang
- Prahasta E. (2005). *Konsep-konsep Dasar Sistem Informasi Geografis*. Bandung: Penerbit Informatika.
- Putra J P, Heru P. (2014). *Arahan Pengendalian Penggunaan Lahan Berdasarkan Kemampuan Penampungan Air di Kawasan Pantai Timur Surabaya*. *Jurnal Teknik Pomits*. Vol 3 No 2.
- Rahmi F. (2014). *Dinamika Perubahan Lahan dan Perencanaan Tata Ruang Di Kabupaten Bogor*. Tesis. Institut Pertanian Bogor.

## KAJIAN TIMBULAN DAN KOMPOSISI SAMPAH SEBAGAI DASAR PENGELOLAAN SAMPAH DI KAMPUS II UNIVERSITAS BHAYANGKARA JAKARTA RAYA

Reni Masrida  
Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik  
Univ. Bhayangkara Jakarta Raya Jl. Raya Perjuangan, Bekasi  
reni.masrida@ubharajaya.ac.id

**Abstract:** Pengelolaan sampah suatu kota bertujuan untuk melayani sampah yang dihasilkan penduduknya, secara tidak langsung turut memelihara kesehatan masyarakat serta menciptakan suatu lingkungan yang bersih, baik dan sehat. Saat ini pengelolaan persampahan menghadapi banyak tekanan terutama akibat semakin besarnya timbulan sampah yang dihasilkan masyarakat baik produsen maupun konsumen. Semua sampah dari sumber masing-masing akan bermuara ke tempat pemrosesan akhir sampah (TPA) Sumur Batu. Kecamatan Bantar Gebang merupakan daerah yang masuk wilayah Kota Bekasi dan memiliki dua lokasi TPA, yaitu milik Pemerintah Kota Bekasi di Sumur Batu dan yang satu milik DKI Jakarta di Bantar Gebang. Berdasarkan hal tersebut penulis memilih untuk melakukan penelitian terkait implementasi kebijakan dan strategi pengurangan sampah dari sumbernya. Dalam hal ini yang menjadi sumber penghasil sampah adalah kegiatan di Universitas Bhayangkara Jakarta Raya (UBJ) yang diperkirakan menghasilkan jenis sampah tertentu/khusus. Metodologi penelitian yang dilakukan adalah pengukuran langsung di lapangan dengan mengacu pada SNI 19-3964-1994 tentang metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah. Hasil sampling diperoleh bahwa volume sumber sampah rerata 1,68 m<sup>3</sup>/hari (123,43 kg/hari). Secara umum komposisi persampahan UBJ yaitu 58,53% organik dan 41,47% an organik. Untuk sampah an organik, komposisi sampah yang dianggap berpotensi secara ekonomis terdiri dari 3 (tiga) jenis sampah dengan prosentase > 10% untuk bisa dimanfaatkan menjadi bahan bakar sintesis dan bahan kertas daur ulang. Bahan tersebut adalah Botol plastik 14,33%, Kertas 15,00% dan plastik lembaran 13,37% (jumlah sampah yang bisa dimanfaatkan 42,7%). Usulan tata kelola adalah dengan pemberdayaan unit kegiatan mahasiswa dalam pemilahan sampah yang bernilai ekonomis. Sedangkan untuk usulan teknis diharapkan bisa menampah space untuk area penerimaan, timbunan dan area pemilahan seluas ± 55 meter persegi.

**Keywords:** gedung kuliah utama, komposisi sampah UBJ, sampah komersial dan potensi sampah, sumber sampah,

### PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah suatu kota bertujuan untuk melayani sampah yang dihasilkan penduduk. Saat ini pengelolaan persampahan menghadapi banyak tekanan terutama akibat semakin besarnya sumber sampah dari penghasil sampah. Hal ini menjadi semakin berat dengan masih dimilikinya paradigma lama pengelolaan yang mengandalkan kegiatan pengumpulan, pengangkutan, dan pembuangan. Kondisi ini membutuhkan anggaran yang semakin besar dari waktu ke waktu dan bila tidak tersedia sistem yang sesuai dalam pengelolaan sampah maka akan menimbulkan banyak masalah operasional seperti sampah yang tidak terangkut, fasilitas yang tidak memenuhi syarat, cara pengoperasian fasilitas yang

tidak mengikuti ketentuan teknis. Berdasarkan penjelasan atas Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah. Paradigma pengelolaan sampah yang bertumpu pada pendekatan akhir sudah saatnya ditinggalkan dan diganti dengan paradigma baru pengelolaan sampah. Paradigma baru memandang sampah sebagai sumber daya yang mempunyai nilai ekonomi dan dapat dimanfaatkan, misalnya, untuk energi, kompos, pupuk ataupun untuk bahan baku industri. Pengelolaan sampah dilakukan dengan pendekatan yang komprehensif dari hulu, sejak sebelum dihasilkan suatu produk yang berpotensi menjadi sampah, sampai ke hilir, yaitu pada fase produk sudah digunakan sehingga menjadi sampah, yang

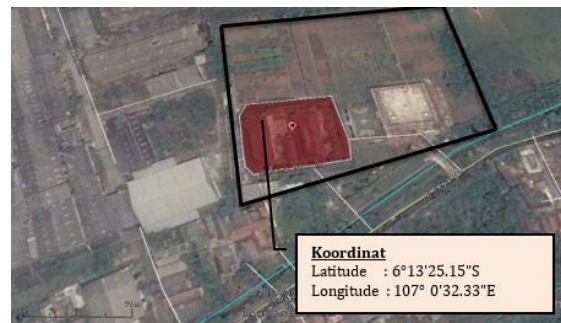
kemudian dikembalikan ke media lingkungan secara aman. Pengelolaan sampah dengan paradigma baru tersebut dilakukan dengan kegiatan pengurangan dan penanganan sampah. Pengurangan sampah meliputi kegiatan pembatasan, penggunaan kembali, dan daur ulang, untuk kegiatan penanganan sampah meliputi pemilahan, pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, dan pemrosesan akhir.

Kota Bekasi merupakan salah satu kota dengan jumlah penduduk yang cukup padat di provinsi Jawa Barat. Pada tahun 2006 sumber sampah kota Bekasi  $\pm 1.200 \text{ m}^3/\text{hari}$ . Semua sampah dari masing-masing sumber akan bermuara ke tempat pemrosesan akhir sampah (TPA) Sumur Batu. Kecamatan Bantar Gebang merupakan daerah yang masuk wilayah Kota Bekasi dan memiliki dua lokasi TPA, yaitu milik Pemerintah Kota Bekasi di Sumur Batu dan yang satu milik DKI Jakarta di Bantar Gebang. Saat ini pemerintah kota sudah memiliki peraturan daerah terkait persampahan yaitu Peraturan Daerah nomor 15 tahun 2011 tentang Pengelolaan Sampah di Kota Bekasi. Dalam bab V, bagian kesatu pasal 7 bahwa Pemda sudah menetapkan kebijakan dan strategi pengelolaan sampah daerah, diantaranya: 1) pengurangan sampah 2) penanganan sampah 3) dan pengelolaan sampah spesifik.

Berdasarkan hal tersebut penulis memilih untuk melakukan penelitian terkait implementasi kebijakan dan strategi pengurangan sampah dari sumbernya. Dalam hal ini yang menjadi sumber penghasil sampah adalah kegiatan di Universitas Bhayangkara Jakarta Raya (UBJ) yang diperkirakan menghasilkan jenis sampah tertentu/khusus. Penentuan kuantitas sampah yang dihasilkan merujuk kepada SNI 19-3964-1994 tentang metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah.

UBJ merupakan salah satu perguruan tinggi swasta dibawah pengawasan Kopertis Wilayah III. UBJ

berada dibawah pembinaan Yayasan Brata Bhakti sebagai badan penyelenggaranya dan berkewajiban mewujudkan tujuan pendidikan nasional. Kampus II UBJ terdiri dari 3 (tiga) gedung yaitu Gedung Kuliah Utama, Grha Tanoto dan Grha Summarecon. Dalam menentukan besarnya kuantitas sampah yang dihasilkan per orang per hari dihitung dari jumlah populasi yang ada di UBJ, sumber data jumlah mahasiswa diperoleh dari laman [forlap.dikti.go.id](http://forlap.dikti.go.id) yaitu 6.318 orang, dosen tetap 181 orang (*Download*, 18 Desember 2016) sedangkan data personil lainnya diperoleh dari Biro Administrasi Umum sehingga total 6.996 orang. Berikut merupakan peta lokasi wilayah studi.



**Gambar 3.** Peta lokasi Kampus II UBJ – Bekasi  
(Sumber: Google Earth, diambil 14 April 2015)

Adapun tujuan penelitian adalah:

- a. Untuk mengetahui timbulan dan komposisi sampah yang dihasilkan lembaga pendidikan (perguruan tinggi) dengan lokasi studi di Kampus II UBJ – Bekasi.
- b. Sebagai penelitian dasar dan gambaran umum untuk mengajukan penelitian lanjutan terkait pemanfaatan sampah dan tata kelola persampahan di Kampus II UBJ – Bekasi.

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini diantaranya adalah:

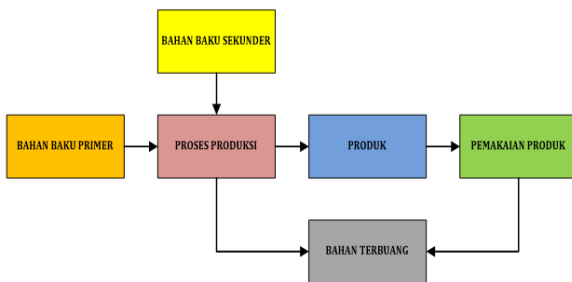
1. Data yang diperoleh dari hasil penelitian akan memberikan gambaran tentang kuantitas sumber sampah dan komposisi sampah yang dihasilkan dari kegiatan lembaga pendidikan



khususnya perguruan tinggi yang menjadi lokasi studi.

2. Dari hasil yang disebutkan pada poin 1 memberikan informasi kepada peneliti bahwa potensi sampah yang masih bisa dimanfaatkan secara komersil/non komersil, diolah lebih lanjut untuk dijadikan sumber energi terbarukan seperti pemanfaatan sampah organik menjadi biogas, pembuatan pupuk cair dan membuat perkiraan tata kelola persampahan di lingkungan perguruan tinggi.

Terdapat keterkaitan antara bahan baku, energi, produk yang dihasilkan dan limbah dari sebuah proses industri, maupun aktivitas manusia sehari-hari. Bahan terbuang (limbah) dapat berasal dari proses produksi atau dari pemakaian barang-barang yang dikonsumsi, yang dapat digambarkan seperti gambar 2 berikut. Dengan mengenal keterkaitan tersebut, maka akan lebih mudah mengenal bagaimana limbah terbentuk dan bagaimana usaha penanggulangannya.



Gambar 2. Proses pembentukan buangan

Di Indonesia, penggolongan sampah yang sering digunakan adalah sebagai (a) sampah organik, atau sampah basah, yang terdiri atas daun-daunan, kayu, kertas, karton, tulang, sisa-sisa makanan ternak, sayur, buah, dan lain-lain, dan sebagai (b) sampah anorganik, atau sampah kering yang terdiri atas kaleng, plastik, besi dan logam-logam lainnya, gelas dan mika. Adakalanya kertas dimasukkan dalam kelompok ini. Secara praktis sumber

sampah dibagi menjadi 2 kelompok besar, yaitu:

- a. Sampah dari permukiman, atau sampah rumah tangga
- b. Sampah dari non-permukiman yang sejenis sampah rumah tangga, seperti dari pasar, daerah komersial dsb.

Sampah dari kedua jenis sumber ini (a dan b) dikenal sebagai **sampah domestik**. Untuk **sampah non-domestik** adalah sampah atau limbah yang bukan sejenis sampah rumah tangga, misalnya limbah dari proses industri. Bila sampah domestik ini berasal dari lingkungan perkotaan, dalam bahasa Inggris dikenal sebagai *municipal solid waste (MSW)*. Demikian juga timbulan (*generation*) sampah masing-masing sumber tersebut bervariasi satu dengan yang lain, seperti terlihat dalam standar pada (Tabel 1).

Tabel 2. Besarnya timbulan sampah berdasarkan sumbernya

NO	KOMPONEN SUMBER SAMPAH	SATUAN	VOLUME (LITER)	BERAT (KG)
1	Rumah permanen	/orang/hari	2,25 – 2,50	0,350 – 0,400
2	Rumah semi permanen	/orang/hari	2,00 – 2,25	0,300 – 0,350
3	Rumah non permanen	/orang/hari	1,75 – 2,00	0,250 – 0,300
4	Kantor	/pengawas/hari	0,50 – 0,75	0,025 – 0,100
5	Toko/Ruko	/petugas/hari	2,50 – 3,00	0,150 – 0,350
6	Sekolah	/murid/hari	0,10 – 0,15	0,020 – 0,020
7	Jalan arteri sekunder	/m/hari	0,10 – 0,15	0,020 – 0,100
8	Jalan kolektor sekunder	/m/hari	0,10 – 0,15	0,010 – 0,050
9	Jalan lokal	/m/hari	0,05 – 0,10	0,005 – 0,025
10	Pasar	/m <sup>2</sup> /hari	0,20 – 0,60	0,100 – 0,300

Sumber: DIKTAT KULIAH TL-3104 Pengelolaan Sampah. ITB. 2010

Data mengenai timbulan, komposisi, dan karakteristik sampah merupakan hal yang sangat menunjang dalam menyusun sistem pengelolaan persampahan di suatu wilayah. Data tersebut harus tersedia agar dapat disusun suatu alternatif sistem pengelolaan sampah yang baik.

### METODE PENELITIAN

Rancangan penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif. Objek penelitian berupa limbah padat/sampah yang dihasilkan dari aktifitas harian kampus Universitas Bhayangkara Jakarta Raya. Pengambilan sampling dilakukan pada

beberapa titik yaitu: 1) Gedung Kuliah Utama, 2) Kantin, 3) Grha Summarecon, 4) Grha Tanoto dan 5) Taman dan Jalan seperti pada peta berikut ini.



**Gambar 3.** Peta lokasi titik sampling  
(Sumber: Google earth 2017. download, 7 Mei 2017)

Metode sampling merujuk pada ketentuan **SNI 19-3964 - 1994 tentang** metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah perkotaan. Data penelitian berupa data primer hasil sampling dan data sekunder terkait jumlah personal yang terlibat dalam aktifitas kampus UBJ.

Pertimbangan dalam pengambilan sampel adalah titik-titik aktifitas penghasil sampah, dalam hal ini adalah: 1) Gedung kuliah utama, 2) Grha Summarecon, 3) Grha Tanoto, 4) Kantin dan 5) Taman/jalan. Sehingga kelima titik tersebut dijadikan sebagai titik lokasi pengambilan sampling dan sudah mewakili sumber sampah keseluruhan dari kampus II UBJ. Perkiraan kuantitas penghasil sampah kampus II UBJ dihitung berdasarkan:

- Peningkatan jumlah penghasil sampah diantaranya: karyawan, staf dan OB.
- Jumlah mahasiswa dengan mempertimbangkan laju peningkatan mahasiswa yang mendaftar dan mahasiswa yang lulus tepat waktu.

- Estimasi peningkatan jumlah dosen mengacu kepada aturan Ristek Dikti 1:35

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan hasil penelitian ini hanya difokuskan pada timbulan sampah yang dihasilkan selama 8 (delapan) hari pengambilan sampling dan komposisi sampah.

### Timbulan Sampah

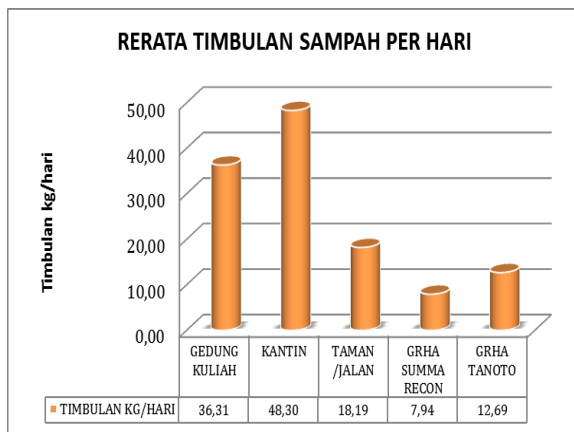
Dalam menentukan besarnya timbulan sampah yang dihasilkan per orang per hari data jumlah mahasiswa diperoleh dari laman forlap.dikti.go.id yaitu 6.318 orang, dosen tetap 181 orang (Download, 18 Desember 2016) untuk data personil lainnya diperoleh dari Biro Administrasi Umum sehingga total 6.996 orang. Berikut merupakan hasil analisis untuk rerata timbulan sampah yang pada tabel 1 berikut.

**Tabel 3.** Timbulan sampah rata-rata harian UBJ

NO	LOKASI SAMPLING	TIMBULAN RERATA HARIAN	
		Berat, Kg/hari	Volume, m <sup>3</sup> /hari
1	GEDUNG KULIAH UTAMA	36,31	0,45
2	KANTIN	48,30	0,28
3	TAMAN/JALAN	18,19	0,30
4	GRHA SUMMARECON	7,94	0,28
5	GRHA TANOTO	12,69	0,38
	Jumlah	123,43	1,68

Dari tabel 1 terlihat bahwa timbulan sampah rerata harian adalah 123,43 kg/hari atau sekitar 1,68 m<sup>3</sup>/hari (0,24 liter/orang/hari) dengan rerata densitas 75,28 kg/m<sup>3</sup> (0,08 kg/liter). Untuk perbandingan umum pada gedung kuliah utama volume sampah harian adalah 0,45 m<sup>3</sup>/hari (0,07 liter/orang/hari). Hasil sampling di atas bisa dikatakan menunjukkan hasil yang hampir sama dengan studi yang dilakukan di salah satu Perguruan Tinggi Negeri di Jakarta dimana untuk gedung perkuliahan X menghasilkan 0,488 m<sup>3</sup>/hari (0,09 liter/orang/hari) dengan jumlah individu 5.247 orang dan fasilitas taman/jalan ± 0,370 m<sup>3</sup>/hari (Agnes Elita, FT UI. 2011).

Hasil penelitian yang dilakukan di kampus II-UBJ dibandingkan dengan kampus lain dengan jumlah individu hampir sama menunjukkan timbulan sampah tidak berbeda secara signifikan sehingga jika digeneralisasi timbulan sampah untuk suatu institusi pendidikan tinggi berkisar antara 0,4 – 0,5 m<sup>3</sup>/hari, timbulan sampah ini mendekati jumlah timbulan sampah untuk sumber sampah yang berasal dari sekolah sebagaimana hasil penelitian yang dilakukan oleh E. Damanhuri, T. Padi, N. Azhar, L.T. Meilany (1989) yaitu sebesar 0,10 – 0,15 liter/murid/hari. Secara grafis timbulan sampah disajikan pada gambar 4 berikut.

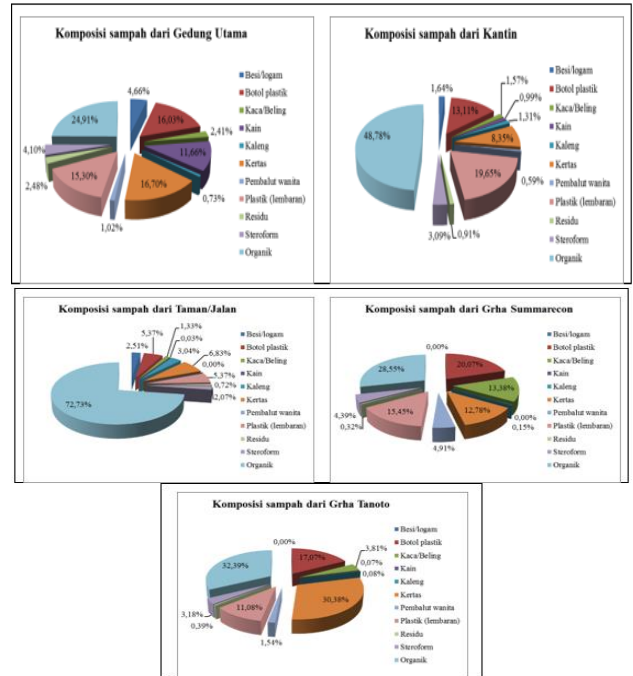


Gambar 4. Timbulan rerata harian

Performa timbulan sampah yang dihasilkan dari sumber yang berbeda menunjukkan jumlah yang berbeda pula hal ini disebabkan jenis dan aktifitas yang dilakukan dimasing-masing sumber sampah juga berbeda. Kantin merupakan sumber penghasil sampah terbesar yaitu 48,30 kg/hari dan sumber timbulan sampah terkecil adalah Grha Summarecon sebesar 7,94 kg/hari.

**Komposisi sampah**

Seperti halnya timbulan sampah, komposisi sampah disetiap sumber juga akan berbeda. Masing-masing perbedaan akan dipisah secara umum menjadi 11 (sebelas) jenis sebagaimana pada grafik berikut.



Gambar 5. Komposisi sampah dari masing-masing sumber

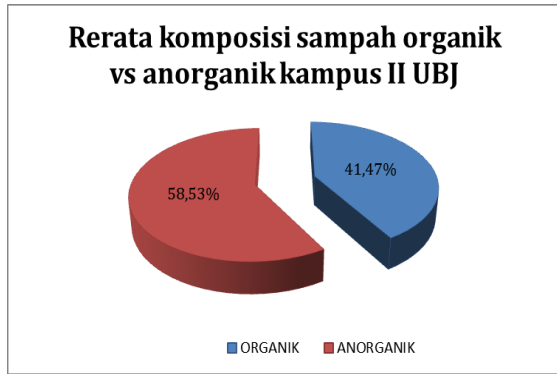
Dari grafik di atas bisa disimpulkan bahwa komposisi dan jumlah sampah yang dihasilkan tergantung dari sumber sampah tersebut sebagaimana halnya pada Gedung Utama, Kantin, Taman/jalan, Grha Summarecon dan Grha Tanoto jika ditinjau dari komposisi sampah organik sudah menunjukkan perbedaan yang signifikan seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 4. Komposisi Sampah Kampus II-UBJ

NO	SUMBER TIMBULAN	ORGANIK	ANORGANIK
1	GEDUNG KULIAH UTAMA	24,90%	75,10%
2	KANTIN	48,78%	51,22%
3	TAMAN/JALAN	72,73%	27,27%
4	GRHA SUMMARECON	28,55%	71,45%
5	GRHA TANOTO	32,39%	67,61%

Sumber: Pengolahan data

Pada tabel 3 komposisi organik tertinggi berasal dari taman/jalan selanjutnya kantin hal ini sudah dipastikan karena untuk dua sumber tersebut aktifitas yang terjadi adalah aktifitas domestik. Jika data tersebut digeneralisasikan untuk timbulan sampah organik dan an organik dari kampus II UBJ akan terlihat seperti grafik berikut ini.



Gambar 6. Komposisi Organik vs Anorganik

Grafik di atas memberikan informasi bahwa kampus II UBJ berpotensi menghasilkan sampah anorganik cukup tinggi dibandingkan dengan sampah organik sehingga memberi peluang bagi pengelola untuk melakukan perbaikan manajemen persampahan dengan memanfaatkan pola lama seperti 3R tetapi tidak menutup kemungkinan juga untuk melakukan pengolahan terhadap sampah organik berupa kompos padat ataupun cair. Tabel berikut merupakan komposisi rata-rata sampah anorganik yang dihasilkan.

Tabel 5. Komposisi sampah anorganik Kampus II UBJ

KOMPOSISI SAMPAH	PROSENTASE SAMPAH RATA-RATA
Besi/logam	1,76%
Botol plastik	14,33%
Kaca/Beling	4,50%
Kain	2,55%
Kaleng	1,07%
Kertas	15,00%
Pembalut wanita	1,61%
Plastik (lembaran)	13,37%
Residu	0,96%
Steroform	3,37%

Pada tabel 4 di atas ada 3 jenis sampah dengan prosentase > 10% untuk bisa dimanfaatkan menjadi bahan bakar sintesis dan bahan kertas daur ulang. Bahan tersebut adalah Botol plastik 14,33%, Kertas 15,00% dan plastik lembaran 13,37% (jumlah sampah yang bisa dimanfaatkan 42,7%).

### Estimasi Timbulan Sampah di Kampus II UBJ

Untuk mengetahui perencanaan pengelolaan sampah kampus II UBJ, berikut merupakan estimasi persampahan sebagaimana yang disajikan pada tabel 5. Untuk memperoleh besaran kumulatif kuantitas sampah dihitung dengan persamaan berikut:

$$TS_{kumulatif} = \Sigma P * \text{Rerata timbulan sampah (kg/orang/hari)} \dots\dots\dots 1$$

Dimana:

$TS_{kumulatif}$  = Estimasi timbulan sampah kumulatif  
 $\Sigma P$  = Jumlah Populasi UBJ

$$RS_{tereduksi} = \% f_{tereduksi} * TS_{kumulatif} \dots\dots\dots 2$$

Dimana:

$RS_{tereduksi}$  = Residu sampah tereduksi  
 $\% f_{tereduksi}$  = Prosentase jumlah sampah yang bernilai ekonomis

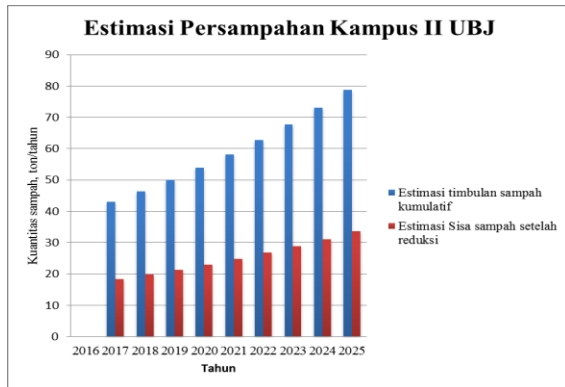
Tabel 6. Estimasi Persampahan Kampus II UBJ Bekasi sampai dengan Tahun 2025

Komponen	Estimasi Persampahan Kampus II UBJ										
Laju peningkatan jumlah mahasiswa	8,32%										
Anak-anak laju peningkatan jumlah staf	1%										
Rerata prosentase belahan tepat waktu	78,80%										
Rerata timbulan sampah dalam kg/orang/hari (Tahun 2016)	0,02										
Faktor Reduksi (Sampah bernilai ekonomis)	42,70%										
Tahun perencanaan mahasiswa	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
Estimasi jumlah staf dan OIB	497	502	507	512	517	522	528	533	538	544	
Estimasi jumlah dosen (1:35)	181	254	212	229	249	269	292	316	342	371	
Estimasi jumlah mahasiswa yang mendafar	1983	2148	2327	2520	2730	2957	3203	3469	3758	4071	
Estimasi jumlah mahasiswa total tahun	6318	6844	7413	8030	8698	9421	10205	11054	11973	12969	
Estimasi pengurangan jumlah mahasiswa/bahan terhadap mahasiswa yang lulus	5406	5856	6343	6871	7443	8062	8732	9459	10246		
Estimasi jumlah kontaminasi kampus total	5908	6363	6855	7388	7965	8589	9265	9997	10789		
Estimasi timbulan sampah/kumulatif											
	kg/hari	118,17	127,26	137,11	147,76	159,30	171,79	185,20	199,84	215,78	
	ton/tahun	43,13	46,45	50,04	53,93	58,14	62,70	67,64	72,98	78,78	
Estimasi Sisa sampah setelah reduksi											
	kg/hari	50,458	54,34	58,59	63,1	68,02	73,35	79,13	85,37	92,14	
	ton/tahun	18,417	19,83	21,37	23,03	24,83	26,77	28,88	31,16	33,63	

Sumber: Pengolahan data

Tabel 5 memberikan informasi bahwa perlu dilakukan perbaikan ataupun perencanaan terhadap sampah yang ada. Jika tidak dilakukan pengelolaan maka pada tahun 2020 akan terjadi penumpukan sampah sebanyak 63,1 ton/tahun. Selanjutnya jika diasumsikan untuk mereduksi sampah seperti botol plastik, kertas dan plastik lembaran dengan mengimplementasikan program pemerintah seperti bank sampah maka pada tahun 2020 masih akan tetap ada tumpukan sampah sebesar 23,37 ton/tahun. Sehingga perlu segera dilakukan kerjasama dengan pihak ketiga untuk melakukan pengangkutan sampah baik dengan pihak swasta atau pemerintah.

Berikut grafik estimasi persampahan kampus II UBJ-Bekasi.



**Gambar 7.** Estimasi Persampahan Kampus II UBJ-Bekasi

Gambar 7 menunjukkan bahwa dengan melakukan pemilahan khususnya sampah yang berpotensi secara komersial mampu mengurangi timbunan sampah lebih kurang 40%, akan tetapi kapasitas TPS juga tidak akan mampu menampung sampah tersebut, diperlukan 3-4 kali dimensi TPS eksisting pada tahun ini jika sampah dibiarkan tanpa pengolahan.

### Tata Kelola Persampahan eksisting Kampus II UBJ

Sebagaimana halnya instansi/institusi lain baik pemerintah ataupun swasta sangat jarang melakukan swakelola terencana karena sampah yang dihasilkan dikelola pihak ketiga ataupun diangkut oleh petugas Dinas Kebersihan setempat itupun jika termasuk area pelayanan dari Dinas yang bersangkutan. Di Kampus II UBJ pengelolaan sampah dilakukan di TPS kampus, dengan mengalokasikan lahan yang berada di belakang bangunan dengan ukuran lebih kurang 3 x 5 meter memiliki dinding tanpa atap. Berikut dokumentasi TPS UBJ.

### Usulan Tata Kelola Persampahan UBJ

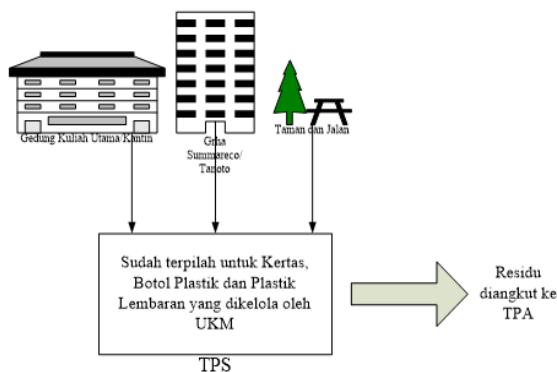
Sebagai dasar pengelolaan persampahan di UBJ, hasil sampling menunjukkan bahwa dari prosentase komposisi sampah yang dianggap memiliki potensi untuk dikelola lebih lanjut adalah botol plastik 14,33%, plastik lembaran 13,37% dan kertas

15,00% sebagaimana yang tercantum pada tabel 4. Dalam pengambilan alternatif pengelolaan sampah penulis merujuk kepada peraturan yang berlaku. Defenisi pengelolaan sampah dalam Undang-undang nomor 18 tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah yaitu kegiatan yang sistematis, menyeluruh dan berkesinambungan yang meliputi pengurangan dan penanganan sampah. Dalam Peraturan Pemerintah nomor 81 tahun 2012 tentang pengelolaan sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga, BAB III pasal (13) dijelaskan bahwa produsen sampah wajib melakukan pendauran ulang sampah, upaya yang dilakukan diantaranya dengan menyusun program pendauran ulang sampah sebagai bagian dari usaha dan/atau kegiatan lainnya.

Dari rujukan tersebut di atas penulis mencoba untuk mengaitkan dengan Peraturan Daerah Kota Bekasi nomor 15 tahun 2011 tentang pengelolaan sampah di Kota Bekasi. Sebagai salah satu fasilitas sosial sebagaimana yang tercantum dalam kebijakan pengelolaan sampah pada BAB V, bagian kedua, pasal 8, ayat (1) butir (b) terdapat pernyataan yang menjadi salah satu acuan dalam menetapkan sistem tata kelola persampahan di lingkungan kampus UBJ berupa peningkatan peran dan tanggung jawab dunia usaha yaitu penerapan dan pengembangan prinsip 3R dalam pengelolaan sampah dan melakukan pembinaan terhadap kegiatan kemahasiswaan seperti UKM yang dikelola oleh program studi terkait. Selanjutnya pada butir (c) mengenai target pengelolaan dalam Perda 15/2015 adalah penurunan jumlah timbulan sampah secara bertahap dalam waktu tertentu, hal ini sudah coba dilakukan estimasi sebagaimana pada grafik 5. Pengurangan sampah yang dimaksud adalah:

- Pembatasan timbulan sampah
- Pendauran ulang sampah
- Pemanfaatan kembali sampah

Pada BAB VI tentang penyelenggaraan pengelolaan sampah pasal (15) bahwa Pemda dapat memberikan insentif kepada setiap orang yang melakukan pengurangan sampah. Insentif yang dimaksud meliputi retribusi dan insentif lainnya yang kondusif untuk orang melakukan pengurangan. Terkait organisasi dan pengelolaan persampahan di UBJ belum diatur dalam divisi khusus dan masih merupakan tanggung jawab *building management* tanpa adanya sanksi jika ada pelanggaran dalam hal pembuangan sampah, sebagaimana penelitian terdahulu Fitri, Y dan Enri Damanhuri dalam. “Studi Sumber Timbulan Sampah di Pasar Simpang Dago”, memberi saran seperti berikut: 1) Dilakukan pengontrolan oleh Kepala Kebersihan Pasar, 2) Adanya hukuman jika ada pelanggaran dalam membuang sampah, 3) Presensi petugas sebagai pemantauan kinerja dari petugas oleh Kepala Kebersihan Pasar. Berdasarkan rujukan tersebut di atas diusulkan bahwa sistem pengelolaan persampahan sebagaimana pada bagan berikut.



**Gambar 8.** Usulan Sistem Pengelolaan Persampahan UBJ

Usulan secara umum terhadap sistem pengelolaan persampahan di UBJ yaitu:

1. Mengupayakan pemanfaatan kembali sampah yang masih bernilai ekonomis dengan melakukan pemilahan sampah dari sumbernya. Hal ini perlu didukung oleh pihak universitas dengan menyediakan lebih banyak lagi sarana berupa tempat sampah terpilah, minimal tempat sampah

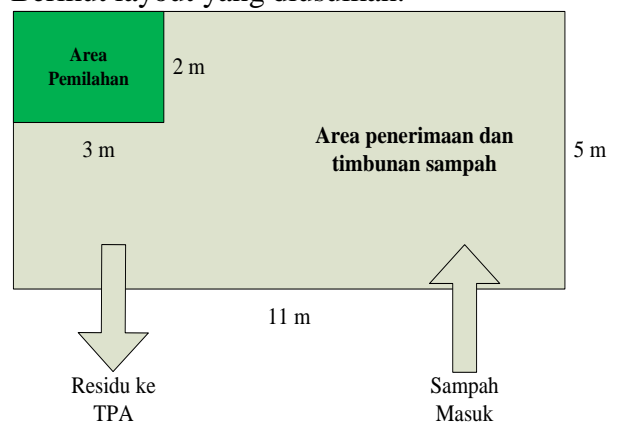
terpilah antara organik dan anorganik yang di tempatkan di area yang mudah dijangkau.

2. Menempatkan *banner* aturan pembuangan sampah antara organik dan an organik sebagai upaya sosialisasi terus menerus.
3. Pembentukan UKM pengelola Bank Sampah.
4. Bekerjasama dengan Dinas Kebersihan setempat terkait pebuangan residu ke TPA.

**Tabel 7.** Estimasi Kebutuhan lahan TPS

	Unit	Estimasi luas area penerimaan sampah
Volume sampah	m <sup>3</sup> /hari	1,68
Waktu timbunan	hari	30
Volume timbunan	m <sup>3</sup>	50,40
Tinggi timbunan	m	1
Luas area timbunan	m <sup>2</sup>	50,40
Pendekatan luas	m <sup>2</sup>	50
Dimensi		
Panjang		10
Lebar		5
	Unit	Estimasi luas area pemilahan
Material yang akan dipilah		
Botol plastik	%	0,24
Kertas	%	0,25
Plastik Lembaran	%	0,23
Total Volume		0,72
Waktu timbunan	hari	7
Volume timbunan	m <sup>3</sup>	5,05
Tinggi timbunan	m	1
Luas area timbunan	m <sup>2</sup>	5,05
Pendekatan luas	m <sup>2</sup>	5
Dimensi		
Panjang		3
Lebar		2
<b>Total kebutuhan area TPS</b>	m <sup>2</sup>	55
Panjang	m	11
Lebar	m	5

Berikut layout yang diusulkan.



**Gambar 9.** Usulan layout TPS

Usulan Teknis yang disarankan adalah dengan menambah dimensi ruang TPS eksisting dari 3 x 5 meter menjadi 5 x 11 meter, sebagaimana estimasi dan *layout* sederhana. Usulan *layout* pada gambar di atas membutuhkan persetujuan pihak Yayasan dan Rektorat karena hal tersebut terkait dengan *master plan* UBJ yang sudah ada.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

- a. Hasil sampling diperoleh bahwa volume timbulan sampah rerata 1,68 m<sup>3</sup>/hari (123,43 kg/hari).
- b. Secara umum komposisi persampahan UBJ yaitu 58,53% organik dan 41,47% an organik. Untuk sampah an organik, komposisi sampah yang dianggap berpotensi secara ekonomis terdiri dari 3 (tiga) jenis sampah dengan prosentase > 10% untuk bisa dimanfaatkan menjadi bahan bakar sintetis dan bahan kertas daur ulang. Bahan tersebut adalah Botol plastik 14,33%, Kertas 15,00% dan plastik lembaran 13,37% (jumlah sampah yang bisa dimanfaatkan 42,7%).
- c. Usulan tata kelola adalah dengan pemberdayaan unit kegiatan mahasiswa dalam pemilahan sampah yang bernilai ekonomis. Sedangkan untuk usulan teknis diharapkan bisa menampah *space* untuk area penerimaan, timbunan dan area pemilahan seluas ± 55 meter persegi.

### Saran

Sebagai institusi berkembang dan semakin tingginya peminat untuk kuliah di UBJ perlu dilakukan perencanaan tata kelola persampahan. Sebagaimana tujuan awal bahwa penelitian ini merupakan tahapan penelitian pendahuluan sebagai data dasar untuk penelitian lanjutan yang selanjutnya akan melibatkan mahasiswa. Berikut adalah bagan rencana lanjutan penelitian yang akan dilakukan:

- a) Tahap 2 : Penentuan karakteristik sampah
- b) Tahap 3 : Pembuatan digester portabel sebagai sarana energi alternative
- c) Tahap 4 : Solidifikasi plastik menjadi *cone block*
- d) Tahap 5 : Konversi sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif dengan metode pirolisis

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami berharap penelitian ini bermanfaat untuk tata kelola persampahan di UBJ Kampus II Bekasi. Terima kasih kami kepada Lemlit-UBJ yang sudah memfasilitasi pendanaan kegiatan ini, mahasiswa Teknik Lingkungan yang membantu dalam proses sampling: Sabrina, Suci, Anita, Aji, Nia, Mariati, Siti dan Iwan tanpa kalian sampling ini tidak akan terlaksana sebagaimana yang diharapkan. Mas Pras yang sudah membantu untuk editing jurnal ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Christiawan, Putu Indra, I Putu Ananda Citra. (2016). *Studi Timbulan sampah dan komposisi sampah perkotaan di Kelurahan Banyuning*. Jurnal Universitas Pendidikan Ganesha, Vol. 17, Nomor 2, Desember 2016. ISSN 0216-8138.
- Damanhuri, Prof. Enri, Dr. Tripadmi. (2010). DIKTAT KULIAH TL-3104 Pengelolaan Sampah. ITB.
- Diponegoro, Ahmad, PhD, Data primer. Tahun 2017. Data Akademik UBJ.
- Fitria, Yeni, Enri Damanhuri. Studi Sumber Timbulan Sampah di Pasar Simpang Dago.
- Masrida, Reni, M.T. Data primer. Tahun 2014. Survey persampahan Kota Tangerang Selatan.
- Peraturan Pemerintah Nomor 81 tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga.
- Peraturan Daerah Kota Bekasi Nomor 15 Tahun 2011 tentang Pengelolaan Sampah di Kota Bekasi.
- Ruslinda, Yenni, Shinta Indah, Widya Laylani, Studi Timbulan, Komposisi Dan Karakteristik Sampah Domestik Kota Bukittinggi (*Study Of Solid Waste Generation, Composition And*

*Characteristic Of Domestic Solid Waste In Bukittinggi City*, Jurnal Teknik Lingkungan UNAND (1) : 1-12 (Januari 2012) ISSN 1829-6084: 3-4.

SNI 19-3964-1994. (1994). Metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah perkotaan. Badan Standarisasi Nasional, BSN.

Undang-undang Nomor 18 tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah.

<http://www.bekasikota.go.id/read/6072/penanganan-sampah-atau-limbah-di-kota-bekasi>

<https://www.google.co.id/maps/@-6.2230945,107.0095892,282m/data=!3m1!1e3?hl=en>



## MODIFIKASI TANIN DARI BIOMASSA DAUN AKASIA (*Acacia mangium* Wild) DENGAN CARA POLIMERISASI SEBAGAI BIOSORBEN UNTUK LOGAM Pb (II)

Ana Nurkaromah<sup>1</sup> dan Sukandar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Environmental Engineering, President University, Jl. Ki Hajar Dewantara, Cikarang, 17550

<sup>2</sup>Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung, 40132

<sup>1</sup>ana.nurkaromah@yahoo.com, <sup>2</sup>sukandar11@gmail.com

**Abstrak:** Dalam penelitian ini, modifikasi tanin dari biomassa daun *Acacia mangium* Wild dimanfaatkan sebagai biosorben untuk menyerap kandungan ion Pb (II) pada larutan limbah artifisial. Biosorben yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tiga jenis: biosorben dari biomassa tanpa polimerisasi (BTP), biosorben polimerisasi dari biomassa daun (BDP), dan biosorben polimerisasi ekstrak tanin dari biomassa (BEP). Tujuan penelitian adalah memperoleh kondisi optimum penelitian pada kemampuan ketiga biosorben dalam penyerapannya terhadap ion Pb (II) pada larutan limbah artifisial. FTIR, XRD, SEM, kadar air, kadar abu, kadar volatil, dan kadar karbon terikat dilakukan untuk menentukan karakteristik fisik dan kimia biosorben. Untuk memperkirakan kapasitas penyerapan logam Pb (II), maka dilakukan percobaan secara sistem batch, dengan parameter yang mempengaruhi proses adsorpsi terdiri dari variasi ukuran biosorben, dosis biosorben, waktu kontak, serta konsentrasi awal limbah artifisial Pb(II). Mekanisme penyerapan Pb (II) dianalisis menggunakan model isoterm Langmuir dan Freundlich. Kondisi optimum pada penggunaan BTP antara lain dengan penggunaan dosis sebesar 2 g/50 mL, dengan ukuran pori 100 mesh dan waktu kontak optimum mencapai 45 menit, dengan konsentrasi awal Pb (II) 50 ppm dengan penyerapan logam Pb (II) yang terjadi mencapai 85,03%. Kondisi optimum pada penggunaan BDP antara lain dengan penggunaan dosis sebesar 2,5 g/20 mL, waktu kontak optimum mencapai 75 menit, dengan konsentrasi awal Pb (II) 50 ppm, dengan penyerapan logam Pb (II) yang terjadi mencapai 79,71%. Sedangkan kondisi optimum pada penggunaan BEP antara lain dengan penggunaan dosis sebesar 2 g/50 mL, waktu kontak mencapai 60 menit, konsentrasi awal Pb (II) 75 ppm, dengan penyerapan logam Pb (II) yang terjadi mencapai 70,81%. Performa BTP dalam penyerapan logam Pb (II) lebih baik daripada BDP dan BEP, dari segi lain modifikasi kedua biosorben tersebut berhasil dalam meningkatkan kekuatan struktur dalam kelarutannya. Studi isoterm adsorpsi untuk ketiga biosorben yang didapat mengikuti mekanisme isotherm Freundlich.

**Keywords:** biosorpsi, daun akasia, ekstraksi, isoterm adsorpsi, polimerisasi tanin

**Abstract:** In this research, the modification of tannin from the *Acacia* leaves biomass was utilized as an adsorbent material for the removal of Pb (II) from artificially contaminated solution. Biosorbent used in this study consists of three types: biosorbent from biomass without treatment (BTP), biosorbent treatment polymerization from the biomass (BDP), and biosorbent treatment polymerization from the tannin extract from biomass (BEP). FTIR, XRD and SEM, moisture content, ash content, volatile level, and carbon content was conducted to determine the physical and chemical characteristics of biosorbent. Batch experiments was used to predict the adsorption capacity of lead ion. Different parameters affecting the adsorption process were tested including initial adsorbent particle pore size, adsorbent doses, contact time and adsorbate dose. The adsorption process analysis for removal Pb (II) was tested with Langmuir and Freundlich model. Optimum conditions on the use of BTP was dose of 2 g / 50 mL, with a pore size of 100 mesh and at optimum contact time of 45 minutes, with the initial concentration of Pb (II) 50 ppm with removal efficiency of Pb (II) was reach 85,03%. Optimum conditions on the use of BDP was dose of 2,5 g / 50 mL, at optimum contact time of 75 minutes, with the initial concentration of Pb (II) 50 ppm with removal efficiency of Pb (II) was reach 79,71%. Optimum conditions on the use of BEP was dose of 2 g / 50 mL, at optimum contact time of 75 minutes, with the initial concentration of Pb (II) 75 ppm with removal efficiency of Pb (II) was reach 70,81%. BTP's performance is the best than BDP and BEP, otherwise the modification has success to change biosorbent into matriks form. Study of isotherms adsorption obtained for the third biosorben follow Freundlich isotherm mechanism.

**Keywords:** acacia leaves, biosorption, extraction, polymerization of tannin, isotherm adsorption

### PENDAHULUAN

Di Indonesia terdapat banyak sekali tumbuh berbagai jenis pohon akasia

(*Acacia mangium* Wild), yang merupakan salah satu jenis pohon Hutan Tanaman Industri (HTI) yang dikembangkan untuk

digunakan sebagai penunjang berbagai industri pengolahan kayu di Indonesia. Pada industri pengolahan kayu tersebut dihasilkan limbah berupa daun yang selama ini kurang dimanfaatkan secara optimal, oleh karena limbah daun akasia ini jumlahnya berlimpah, maka dapat dijadikan sebagai alternatif salah satu dari sumber biomassa.

Menurut Nyangaga (2001), salah satu bahan yang terkandung di dalam biomassa daun akasia adalah Tanin. Dilihat dari strukturnya, Tanin mempunyai potensi yang cukup besar untuk dijadikan sebagai adsorben karena gugus OH yang terikat dapat berinteraksi dengan komponen adsorbat. Pada penelitian Charter *et al.* (1978) dalam Hasfita (2011) tanin dan flavonoid dilaporkan memiliki gugus -OH yang dapat mengikat logam berat melalui pertukaran ion. Kondisi yang sama juga dilaporkan oleh Yantri (1998) yang menyatakan biomassa yang mempunyai gugus hidroksil (-OH) dan karboksilat dapat dipakai untuk mengadsorpsi ion-ion logam berat. Hal ini juga diperkuat dalam penelitian Djarot (2002) yang menggunakan Tanin untuk menyisihkan logam Cr(VI) dengan efisiensi hampir 99%. Menurut Malik *et al.* (2008) daun akasia mempunyai kandungan tanin yang cukup tinggi sekitar 13% hingga 22% dari bobot keringnya. Kadar tanin dalam daun akasia termasuk tinggi, bila dibandingkan dari sumber lainnya yang menurut hasil penelitian sebelumnya, seperti tanin dari kulit kayu bakau hanya sekitar 12,38% (Y C Danarto *et al.*, 2001), dari daun belimbing wuluh sebesar 10,87% (Sa'adah, 2010) dan dari daun jambu sebesar 11,37% (Mailoa *et al.*, 2013).

Tanin menghasilkan endapan bila kontak dengan logam berat, tetapi karena sifat tanin yang larut di dalam air, mudah rusak karena terdekomposisi oleh mikro organisme, dan pengaruh pH serta adanya kontribusi zat kimia, maka di dalam penggunaannya tanin kurang banyak dimanfaatkan sebagai sorben. Oleh karena

itu, banyak pendekatan penelitian tentang memperkuat tanin yang telah dilakukan agar senyawa tanin ini tidak mudah larut di dalam air dan tidak mudah terdekomposisi, salah satunya tanin harus dimodifikasi ke dalam bentuk matriksnya yang tidak mudah larut dalam air dengan cara polimerisasi membentuk "wattle tanin" (condensed tanins), yaitu direaksikan dengan senyawa formaldehida (Subiarto, 2000).

Pemanfaatan tanin yang terpolimerisasi sebagai adsorben dari biomassa daun akasia ini merupakan salah satu hal yang perlu dikaji lebih lanjut dalam rangka penyediaan jenis biosorben yang kuat. Pada penelitian kali ini akan dibandingkan tanin terpolimerisasi dari daun yang diekstrak (BEP), tanin terpolimerisasi dari daun tanpa diekstrak (BDP) serta tanin dari daun yang tanpa melalui proses polimerisasi (BTP) dan akan dibandingkan tingkat efisiensi diantara ketiganya dalam penyisihannya terhadap logam Pb (II) untuk sampel artifisial. Dengan demikian hasil penelitian ini diharapkan dapat mengatasi beberapa kekurangan pada penggunaan biomassa terdahulu dalam menyisihkan polutan di lingkungan.

## METODOLOGI

### Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Limbah Padat dan B3, Teknik Lingkungan ITB. Waktu pelaksanaan dari Bulan September 2013 sampai Bulan Januari 2014.

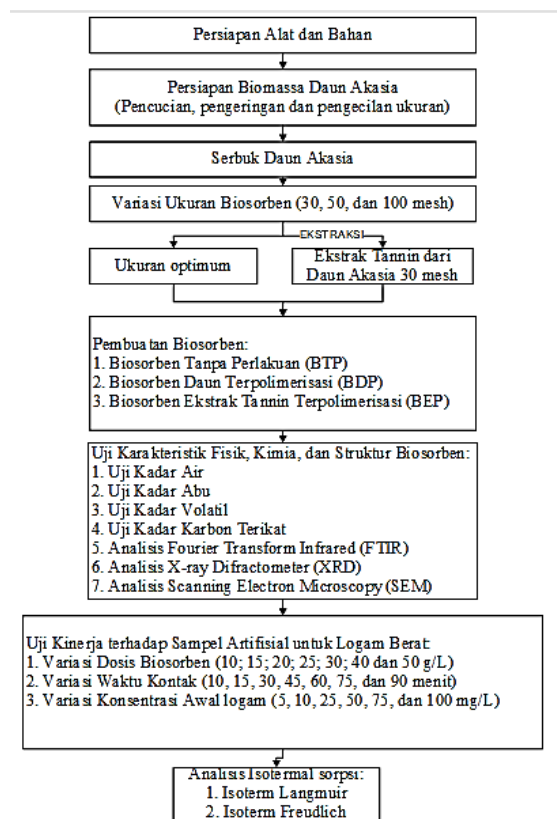
### Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium, dengan tahapan seperti pada **Gambar 1**.

### Persiapan Biomassa

Daun akasia dikumpulkan dari pohon akasia disekitar Nyomplong, Kota Sukabumi, Jawa Barat. Daun akasia dicuci bersih, dipotong-potong kecil dan dikeringkan dalam oven pada temperatur

105°C selama 16 jam, kemudian didinginkan di desikator. Metode persiapan biosorben tanpa perlakuan ini merujuk pada Kamal *et al.* (2010). Daun yang sudah kering dihaluskan dengan bantuan *blender* hingga menjadi serbuk halus tanpa perlakuan (Biosorben Tanpa Polimerisasi, *BTP*). Serbuk daun dipisahkan menjadi 30 *mesh* (0,595 mm), 50 *mesh* (0,30 mm), dan 100 *mesh* (0,149 mm) menggunakan *mechanical sieve analysis* untuk digunakan dalam optimasi variasi ukuran.



Gambar 1. Skema tahapan penelitian

### Ekstraksi Tanin dari Biomassa

Daun akasia yang berukuran 30 mesh ditimbang sebanyak 60 g dimasukkan dalam labu erlenmeyer 1 L dan ditambah pelarut aseton-air (7:3) sebanyak 300 mL, diaduk selama satu jam dengan menggunakan *shaker*. Selanjutnya, larutan dimaserasi selama 24 jam pada suhu kamar. Larutan dipisahkan dengan menggunakan kertas saring setelah 24 jam, residu dimaserasi ulang selama 24 jam lagi dan disaring dengan kertas saring, ulangan

dilakukan sampai tiga kali. Filtrat pertama, kedua, dan ketiga digabung dan dipisahkan dari pelarutnya menggunakan *soxlet* hingga diperoleh ekstrak larutan pekat, kemudian dikeringkan didalam oven pada suhu 70-80°C sampai diperoleh ekstrak kering. Metode ekstaksi tanin ini merujuk pada Luthana (2006) dalam Sa`adah (2010). Selanjutnya dilakukan uji kualitatif ekstrak daun akasia dengan reagen.

### Uji Kualitatif Tanin

Uji kualitatif tanin dengan reagen dilakukan dengan cara sedikit ekstrak kering tanin dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan dilarutkan dengan penambahan 10 mL aquades, kemudian direaksikan dengan 3 tetes larutan  $\text{FeCl}_3$  1%, jika ekstrak mengandung senyawa tanin akan menghasilkan warna hijau kehitaman atau biru tua. Pengujian dengan cara lainnya, yaitu direaksikannya dengan penambahan larutan formadehid 10% dan asam klorida (2:1) dan dipanaskan dalam air panas dengan suhu 90 °C jika terbentuk endapan merah muda berarti ekstrak fosfit terdapat tanin

### Polimerisasi Kondensasi Tanin

Pembuatan biosorben dengan modifikasi polimerisasi kondensasi dilakukan pada ekstrak tanin (Biosorben Ekstrak Polimerisasi, *BEP*) dan pada *BTP* ukuran 100 mesh (Biosorben Daun Polimerisasi, *BDP*), karena pada pada uji optimasi ukuran biosorben didapatkan 100 *mesh* sebagai ukuran optimum. Prosedur pembuatan *BEP* mengacu pada metode yang dikemukakan Hasfita (2011). Proses polimerisasi kondensasi dilakukan dengan menambahkan *BTP* 100 mesh atau ekstrak tanin dan formaldehid 37% ke dalam 100 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.5 N dengan rasio sebuk daun atau ekstrak tanin:formaldehid = 1:4 m/v. Kondensasi dilakukan selama 3 jam pada serangkaian alat pemanas, didinginkan, dan dicuci dengan aquades. Biosorben kemudian dikeringkan dalam oven pada temperatur 60°C.

### Uji Karakterisasi Biosorben

Karakterisasi biosorben terdiri atas dua jenis yaitu karakterisasi fisik dan kimia serta karakterisasi struktur. Analisis karakteristik fisik dan kimia biosorben meliputi: uji kadar air, uji kadar abu, uji kadar volatil, dan uji kadar karbon terikat. Analisis struktur morfologis biosorben meliputi analisis bentuk kristal menggunakan XRD, FTIR, dan SEM.

### Uji Kinerja Biosorben

Uji kinerja biosorben dilakukan dengan mode operasional *batch* skala laboratorium sesuai dengan percobaan menurut Vijayaraghavan dan Yun (2008). Adapun variasi faktor yang dipilih adalah ukuran biosorben, dosis biosorben, waktu kontak, dan konsentrasi awal logam berat Pb (II). Proses pengujian adsorpsi logam berat dilakukan dengan berbagai variasi ukuran biosorben (30; 50; dan 100 *mesh*) hanya dilakukan pada BTP, dosis biosorben (10; 15; 20; 25; 30; 40; dan 50 g/L), waktu kontak (10; 15; 30; 45; 60; 75; dan 90 menit), serta konsentrasi awal limbah artifisial Pb (II) (5; 10; 25; 50; 75; dan 100 mg/L) agar didapat nilai optimum dari masing-masing faktor. Limbah artifisial dibuat dengan mengencerkan larutan induk standar Pb (II) konsentrasi 1000 mg/L hingga didapat variasi konsentrasi yang dibutuhkan. Percobaan uji kinerja dilakukan dengan mengagitasi biosorben dalam 50 mL larutan Pb (II) dengan konsentrasi tertentu dalam labu erlenmeyer 250 mL pada temperatur ruang dan sebelumnya diukur untuk nilai pH nya. Sampel disaring dengan kertas saring, kemudian pada filtrat diukur nilai pH akhir dan ditambahkan 1 tetes HNO<sub>3</sub> untuk mempertahankan kekuatan ion larutan. Konsentrasi logam yang masih terkandung dalam filtrat diukur dengan alat *Atomic Absorption Spectrofotometer* (AAS).

Efisiensi penghilangan logam berat (R) dapat dihitung dengan **Persamaan (1)** (Notodarmojo, 2005).

$$R \equiv \frac{C_o - C}{C_o} \times 100\% \quad \text{Persamaan (1)}$$

dimana  $C_o$  dan  $C$  (mg/L) adalah konsentrasi logam awal dan konsentrasi logam setelah uji kinerja. Sedangkan kapasitas penyerapan logam ( $q$ ) dapat dihitung dengan **Persamaan (2)** (Notodarmojo, 2005).

$$q \equiv \frac{(C_o - C) \times V}{M} \quad \text{Persamaan (2)}$$

dimana  $q$  (mg/g) adalah kapasitas adsorpsi dari biosorben,  $M$  (g) adalah massa biosorben, dan  $V$  (L) adalah volume larutan.

### Uji Isotermal Adsorpsi

Mekanisme penyerapan dianalisis melalui uji isoterm adsorpsi berdasarkan model Langmuir dan model Freundlich. Dari parameter isoterm dapat diketahui mekanisme penyerapan logam berat oleh biosorben. Penentuan isoterm Langmuir digunakan **Persamaan (3)** (Notodarmojo, 2005).

$$q = \frac{q_m \times K_{ads} \times C_t}{1 + (K_L \times C_t)} \quad \text{Persamaan (3)}$$

Sementara model isoterm Freundlich digunakan **Persamaan (4)** (Notodarmojo, 2005).

$$q = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad \text{Persamaan (4)}$$

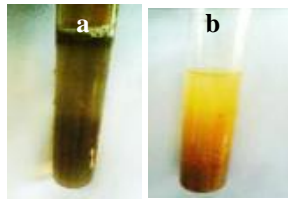
Sorpsi isoterm yang didapatkan akan digunakan untuk menjelaskan tipikal ikatan yang terjadi antara Pb (II) pada biosorben tanin termodifikasi dari daun akasia.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakterisasi Biosorben

Uji kualitatif ekstrak tanin dari daun akasia dengan reagen larutan FeCl<sub>3</sub> 1%, menghasilkan warna hijau kehitaman yang tersaji pada **Gambar 2a**. Pengujian dengan cara lainnya, yaitu direaksikannya dengan larutan formadehid 10%, dan

terbentuk endapan merah bata yang menandakan positif tanin, seperti terlihat pada **Gambar 2b**.



**Gambar 2.** Hasil Uji Kualitatif Tanin dengan (a) lar.  $\text{FeCl}_3$  1% dan (b) Formaldehid 10%

Karakterisasi fisik, kimia, dan struktur dilakukan untuk mengetahui sifat fisik, kimia, dan struktur dari biosorben. Hasil uji kadar air, volatil, abu, dan karbon terikat ditampilkan pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Karakteristik fisik dan kimia biosorben

Parameter	Biosorben		
	BTP	BEP	BDP
Kadar Air (%)	3,00	12,99	14,57
Kadar Abu (%)	5,32	5,32	1,18
Kadar Volatil (%)	3,76	0,44	1,33
Kadar Karbon (%)	87,92	85,75	82,92

### Kadar Air

Pada umumnya semakin besar luas permukaan akan meningkatkan daya serap biosorben terhadap suatu zat, sehingga molekul uap air dari udara akan semakin banyak teradsorpsi dan mengakibatkan meningkatnya kadar air (Hasfita, 2011). Berdasarkan **Tabel 1**, kadar air dari ketiga jenis biosorben berkisar antara 3,00%-14,57%. Kondisi ini menunjukkan bahwa perolehan kadar air dipengaruhi oleh struktur biomassa dan perlakuan terhadap biomassa pada saat awal preparasi.

### Kadar Abu

Kadar abu menunjukkan jumlah oksida-oksida logam yang tersisa pada pemanasan tinggi. Abu yang terbentuk berasal dari mineral-mineral yang terikat kuat pada arang, seperti kalsium, kalium, dan magnesium (Rumidatul, 2006). Keberadaan abu yang berlebih dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan

pori-pori pada permukaan biosorben, sehingga luas permukaan menjadi berkurang. Hasil analisis kadar abu ketiga jenis biosorben dapat dilihat pada **Tabel 1** dengan nilai berkisar 1,18%-5,32%.

### Kadar Volatil

Kadar zat menguap atau kadar volatil merupakan hasil dekomposisi zat-zat penyusun arang akibat proses pemanasan selama pembakaran dan bukan komponen penyusun arang (Pari *et al.*, 2008). Kadar volatil menunjukkan kandungan zat-zat mudah menguap yang hilang pada pemanasan  $950^\circ\text{C}$ . Zat menguap tersebut berupa senyawa karbon, sulfur, dan nitrogen yang dapat menutupi pori adsorben (Rumidatul, 2006). Pada **Tabel 1** dapat dilihat bahwa kadar volatil ketiga jenis biosorben berkisar antara 0,44%-3,76%.

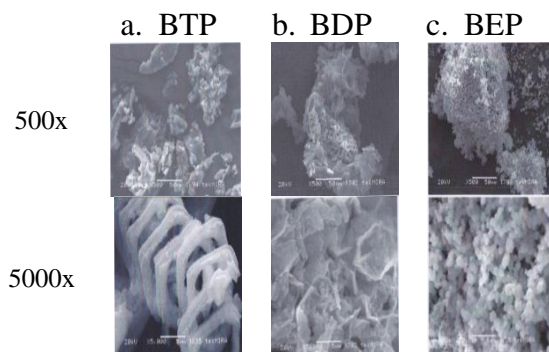
### Kadar Karbon Terikat

Kadar karbon terikat adalah fraksi karbon (C) yang terikat di dalam sorben selain fraksi air, zat menguap dan abu. Tinggi rendahnya kadar karbon terikat di dalam sorben dipengaruhi oleh nilai kadar abu, kadar zat menguap, dan senyawa hidrokarbon yang masih menempel pada permukaan arang (Pari *et al.*, 2008). Pada pembuatan arang aktif, kadar karbon terikat akan bertambah seiring dengan turunnya laju pemanasan yang terjadi.

Pada ketiga biosorben yang dibuat tidak dilakukan proses karbonasi, sehingga kadar karbon terikat yang dihasilkan bisa tinggi. Pada **Tabel 1** dapat dilihat bahwa kadar karbon terikat berkisar antara 82,92%-87,92%. Kadar karbon terikat yang diinginkan dalam pembuatan biosorben adalah setinggi mungkin. Karena kadar karbon terikat yang tinggi menandakan fraksi karbon yang terikat di dalam arang juga besar sehingga mengakibatkan luas permukaan arang semakin besar dan menambah kemampuan penyerapan (Fauziah, 2009).

**Karakterisasi Scanning Electron Microscopy (SEM)**

Pada **Gambar 3(a)** terlihat permukaan BTP yang memiliki rongga spiral yang memungkinkan sebagai tempat terjadinya proses penyerapan, dimana logam berat pada larutan akan memenuhi permukaan biosorben dan mengisi rongga kosong sehingga terjadi interaksi antara biosorben dan logam berat. Pada **Gambar 3(b)** terlihat permukaan BTP lebih memiliki banyak rongga dibandingkan BDP yang memiliki rongga yang berkumpul dan berlapis dan lebih rapat dibandingkan dengan BTP. Rongga yang terbentuk lebih kaku yang menunjukkan telah terjadi interaksi antara serbuk daun dan formaldehid. Perubahan struktur permukaan ini dipengaruhi oleh proses modifikasi biosorben. Reaksi polimerisasi kondensasi yang menghasilkan ikatan silang mengakibatkan ikatan antar partikel semakin kuat dan terbentuknya jaringan yang lebih kaku dan berlapis. Pada **Gambar 3(c)** terlihat permukaan BEP sangat rapat, terlihat rongga-rongga pada permukaan seperti serabut yang berkumpul merata dibandingkan dengan BTP dan BDP. Tidak banyak terdapat rongga yang terbentuk, namun lebih banyak terbentuk spesimen-spesimen kecil yang diindikasikan merupakan sisi aktif tempat proses penyerapan logam dimana logam berat pada larutan akan memenuhi permukaan biosorben sehingga terjadi interaksi antara biosorben dan logam berat.



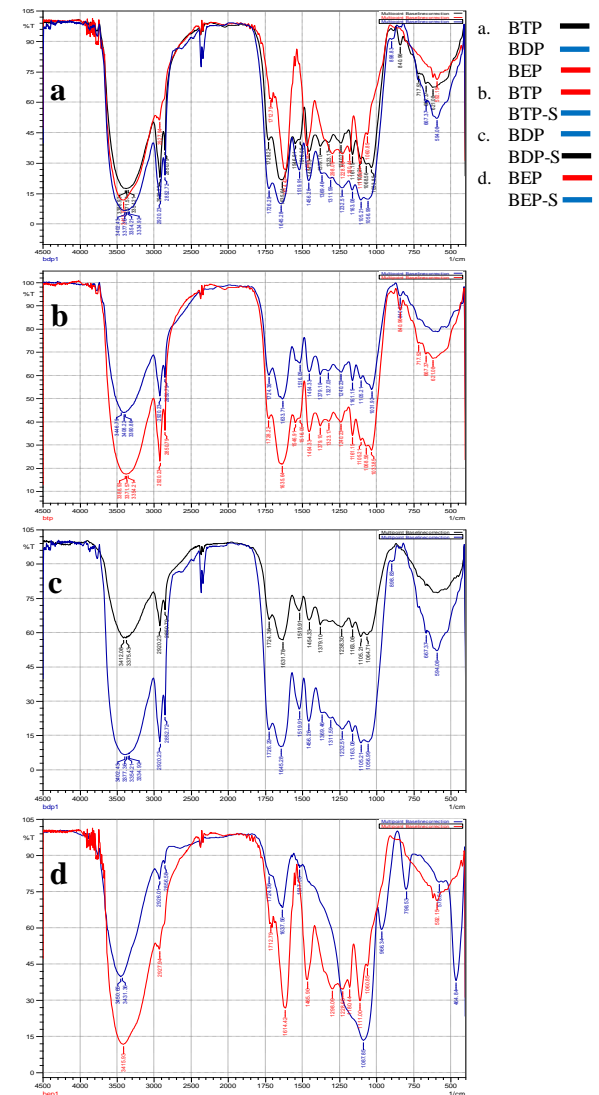
**Gambar 3.** Hasil analisa SEM

Perubahan struktur permukaan ini dipengaruhi oleh proses modifikasi

biosorben, dimana zat aktif pada biosorben yang berperan sebagai pengikat logam memang diisolasi secara tunggal dan dipolimerisasi membentuk matriks kuatnya.

**Karakterisasi Fourier Transform Infrared (FTIR)**

Analisa FTIR dilakukan untuk identifikasi material dan keberadaan gugus-gugus fungsi yang terkandung dalam biosorben. FTIR suatu mineral mempunyai pola yang khas, sehingga membuka kemungkinan untuk identifikasi mineral tersebut dan menyingkap keberadaan gugus fungsional utama dalam struktur senyawa yang diidentifikasi.



**Gambar 4.** Hasil analisa spektrofotometer FTIR

Dalam penelitian ini, analisa FTIR dilakukan untuk masing-masing biosorben, yaitu pada kondisi sebelum dan sesudah proses sorpsi. Hal ini dilakukan guna mengetahui ada atau tidaknya perbedaan material yang terkandung dalam biosorben sebelum dan sesudah proses, yang ditampilkan pada **Gambar 4**. Dilihat dari data spektra FTIR pada **Gambar 4(a)** pada BTP, BDP, dan BEP terdapat gugus fungsi berupa gugus fungsi O-H yang intensitasnya paling besar, sedangkan untuk gugus N-H, C=C dan gugus C=O dalam jumlah kecil. Perbedaan antara BTP dan BTP-S pada **Gambar 4(b)** dan perbedaan dari BDP dan BDP-S pada **Gambar 4(c)**, tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Hanya intensitasnya saja yang berkurang, yang menandakan proses sorpsi telah terjadi. Sedangkan perbedaan dari BEP dan BEP-S pada **Gambar 4(d)** menandakan proses sorpsi berlangsung pada gugus fungsi C-O dan C=C karena pada puncak tersebut terjadi perpindahan pita puncak.

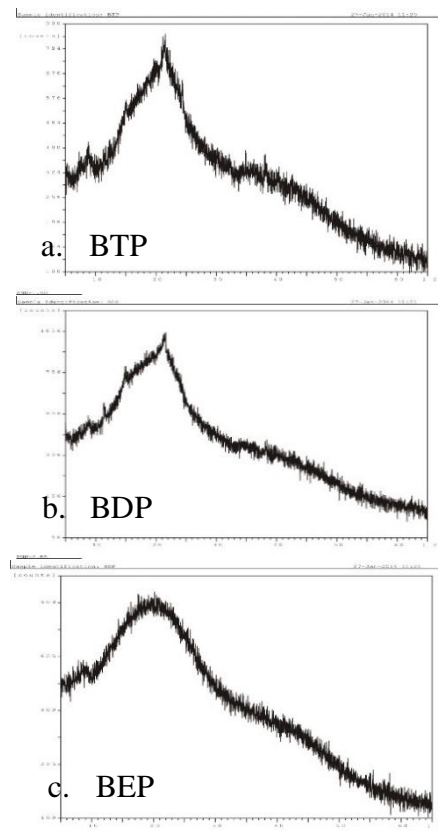
#### Karakterisasi X-Ray Diffractometer (XRD)

Prinsip dari XRD adalah difraksi gelombang sinar X yang mengalami *scattering* setelah bertumbukan dengan atom kristal. Pola difraksi yang dihasilkan merepresentasikan struktur kristal. Dari analisa pola difraksi dapat ditentukan parameter kisi, ukuran kristal, identifikasi fasa kristalin. Pola difraksi akan berbeda pada setiap materi sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan memberikan informasi mengenai kesimetrisan serta ukuran unit-unit molekuler (Wahyuni, 2003).

Analisa XRD terhadap tiga jenis biosorben, dilakukan hanya untuk melihat karakteristik kristal yang terbentuk serta menganalisa mekanisme proses modifikasi berdasarkan nilai  $d$ . Tidak terjadinya perubahan nilai  $d$  sebelum dan sesudah modifikasi biosorben memungkinkan adsorpsi secara outlayer dan sebaliknya bila terjadi perubahan nilai  $d$  berarti terjadi

adsorpsi interlayer. Karakterisasi secara kuantitatif ditunjukkan untuk mengetahui angka kristalinitas produk yang terbentuk. Angka kristalinitas produk diperoleh dengan cara membandingkan jumlah intensitas ( $I$ ) 3 puncak tertinggi dari difraktogram produk terhadap jumlah intensitas ( $I$ ) 3 puncak tertinggi dari difraktogram standar pada sudut  $2\theta$  yang sama.

Hasil analisa XRD untuk BTP diperlihatkan pada **Gambar 5(a)**. Pola difraksi BTP yang terlihat pada **Gambar 5 (a)** didapatkan intensitas tertinggi pada sudut  $2\theta = 21,470$  dengan  $I=100,0\%$ , diikuti dengan puncak kedua berada pada sudut  $2\theta = 24,385$  dengan  $I=67,3\%$ , dan puncak ketiga berada pada sudut  $2\theta = 14,945$  dengan  $I=29,9\%$ . Berdasarkan analisis kristalografi (American Mineralogist Crystal Structure Database), pada BTP ditemukan memiliki kristal tipe Whewellite membentuk senyawa  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  atau Kalsium Oksalat.



**Gambar 5.** Hasil analisa XRD

Adanya senyawa organik kalsium oksalat secara alami berasal dari daun akasia sebagai biomassa sorben. Grafik dengan intensitas 100% mengindikasikan serbuk BTP membentuk kristal yang sempurna, sedangkan grafik yang membentuk puncak lebih kecil dibawah intensitas 100% mengindikasikan struktur kristal amorf atau pembentukan kristal tidak sempurna. Analisa XRD untuk BDP diperlihatkan pada **Gambar 5(b)**. Pada difraksi BDP terlihat puncak gelombang yang hampir sama dengan BTP.

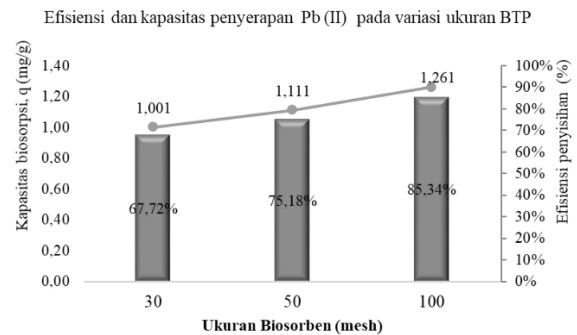
Berdasarkan pola difraksi BDP didapatkan intensitas tertinggi pada sudut  $2\theta = 21,470$  dengan  $I=100,0\%$ , diikuti dengan puncak kedua berada pada sudut  $2\theta = 23,870$  dengan  $I=32,5\%$ , dan puncak ketiga berada pada sudut  $2\theta = 14,930$  dengan  $I=31,8\%$ . Dan analisa XRD untuk BEP diperlihatkan pada **Gambar 5(c)**. terlihat puncak gelombang yang lebih banyak dibandingkan BTP dan BDP, dimana terdapat 12 sudut, dengan intensitas tertinggi pada sudut  $2\theta = 14,960$  dengan  $I=100,0\%$ , diikuti dengan puncak kedua berada pada sudut  $2\theta = 24,440$  dengan  $I=95,5\%$ , dan puncak ketiga berada pada sudut  $2\theta = 22,640$  dengan  $I=85,5\%$ .

### Uji Kinerja Biosorben

#### Pengaruh Variasi Ukuran Biosorben

Ukuran partikel biosorben akan mempengaruhi kapasitas adsorpsi yang terjadi. Tingkat adsorpsi akan meningkat dengan adanya penurunan ukuran partikel. Percobaan pengaruh ukuran biosorben hanya dilakukan pada BTP dengan variasi ukuran 30 mesh, 50 mesh, dan 100 mesh pada dosis biosorben sebesar 2 g/ 50 mL. Percobaan dilakukan pada 50 mL larutan Pb 50 ppm, kondisi suhu ruang  $\pm 25^{\circ}\text{C}$ , dengan agitasi menggunakan shaker sebesar 200 rpm selama 60 menit, pH awal sebelum proses sorpsi sebesar 2,18 dan setelah proses sorpsi menjadi 3,06. Pengaruh dari berbagai ukuran partikel biosorben dapat terlihat pada **Gambar 6**. Efisiensi tertinggi diperoleh pada ukuran

BTP 100 *mesh* dengan efisiensi penyisihan Pb (II) sebesar 85,34% dan kapasitas adsorpsi sebesar 1,261 mg/g, dibandingkan pada ukuran 30 mesh dan 50 mesh. Biosorben ukuran 100 mesh digunakan untuk membuat biosorben BDP serta untuk mendapat kondisi optimum dari variasi selanjutnya dari masing-masing biosorben yang digunakan.



**Gambar 6.** Pengaruh variasi ukuran BTP

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa biosorben berpartikel 100 *mesh* mempunyai efektifitas yang lebih besar dibandingkan dengan biosorben berpartikel 30 *mesh* dan 50 *mesh*. Biosorben berpartikel 100 mesh memiliki luas permukaan yang lebih besar di karenakan mempunyai ukuran yang kecil sehingga saat kontak dengan larutan Pb (II) dapat menyerap kandungan Pb (II) lebih optimal.

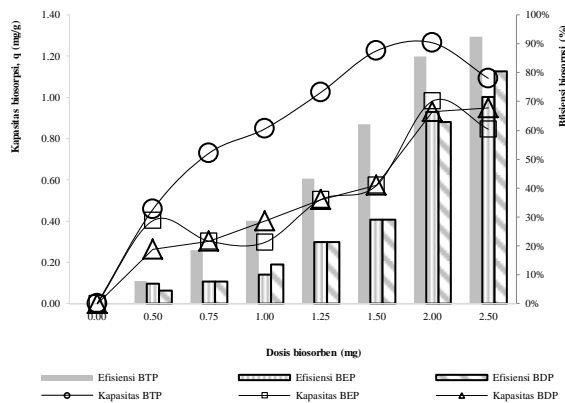
#### Pengaruh Variasi Dosis Biosorben

Penentuan dosis biosorben optimum dilakukan dengan melihat kondisi optimum biosorben yang diperoleh pada variasi ukuran. Persen adsorpsi terus meningkat dari 0,5 gram sampai 2,5 gram penambahan setiap masing-masing biosorben pada tiap 50 mL larutan Pb (II). Pada **Gambar 7** menunjukkan bahwa adsorpsi optimum pada BTP terjadi pada penambahan 2 g BTP, dengan persen penyisihan Pb (II) sebesar 85,58% dengan kapasitas penyerapan sebesar 1,265 mg/g, apabila dilakukan penambahan BTP sebesar 2,5 g, persen adsorpsi bertambah, namun kapasitas penyerapan menurun, hal



ini diduga bahwa BTP sudah jenuh untuk menyerap logam Pb (II) dalam larutan.

Adsorpsi optimum pada BDP terjadi pada penambahan 2,5 g BTP, dengan persen penyisihan Pb (II) sebesar 80,35% dengan kapasitas penyerapan sebesar 0,950 mg/g, kemungkinan apabila dilakukan penambahan range untuk dosis BDP, persen adsorpsi akan bertambah, namun untuk kapasitas penyerapannya belum diketahui penurunan atau peningkatannya. Hal ini tidak dilakukan agar BDP bisa tetap dibandingkan dengan biosorben lainnya, dengan kondisi yang disamakan.



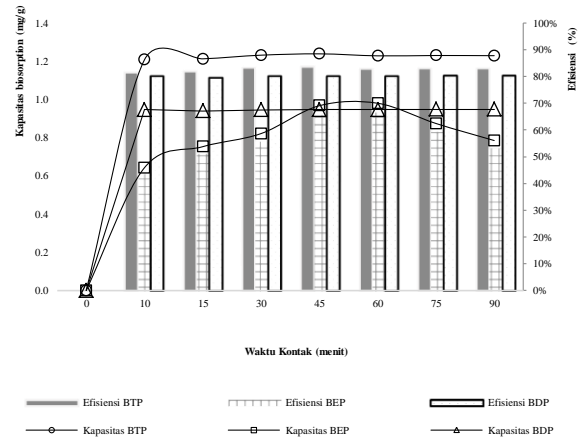
Gambar 7. Pengaruh variasi dosis biosorben

Adsorpsi optimum pada BEP terjadi pada penambahan 2 g BEP, dengan persen penyisihan Pb (II) sebesar 66,43% dengan kapasitas penyerapan sebesar 0,982 mg/g, apabila dilakukan penambahan BTP sebesar 2,5 g, persen adsorpsi bertambah, namun kapasitas penyerapan menurun, hal ini diduga bahwa BEP sudah jenuh untuk menyerap logam Pb (II) dalam larutan. Dari urutan penyisihan logam Pb (II) berdasarkan variasi dosis dari yang terbaik adalah BTP, BEP dan yang terakhir adalah BDP.

### Pengaruh Variasi Waktu Kontak

Penentuan optimasi waktu kontak ini bertujuan untuk mengetahui waktu untuk mencapai kesetimbangan yang optimum. Terlihat pada Gambar 8 diperoleh waktu kontak optimum untuk BTP pada waktu kontak 45 menit, BDP 75 menit dan pada

BEP pada waktu kontak 60 menit. Adsorpsi yang berlangsung cepat selama 45 menit pertama, 60 menit pertama dan 75 menit pertama tersebut disebabkan karena tersedianya situs-situs aktif pada permukaan adsorben. Setelah situs-situs tersebut terisi oleh logam Pb (II), maka laju adsorpsi menjadi lebih lambat hingga mencapai kesetimbangan (Mahmud, 2012; Mumin, *et al.*, 2007).



Gambar 4. Pengaruh variasi waktu kontak biosorben

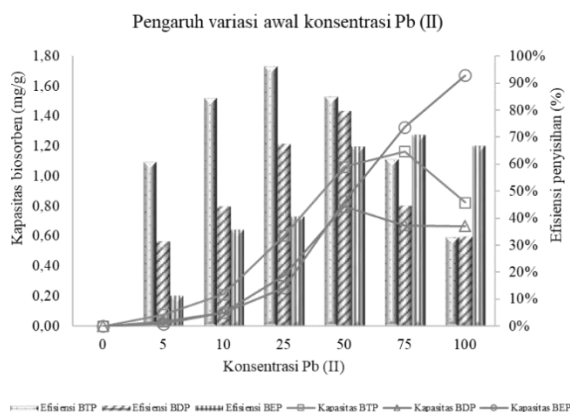
### Pengaruh Variasi Konsentrasi Awal Pb (II)

Terlihat pada Gambar 9 Untuk penggunaan BTP, efisiensi penyisihan Pb (II) pada konsentrasi awal Pb (II) yang digunakan adalah 5; 10; 25; 50; 75 dan 100 ppm berturut-turut antara lain: 60,83%; 84,58%, 96,33%, 85,03%; 62,06%; dan 32,97%. Dari hasil tersebut, terlihat bahwa penyisihan Pb (II) optimum pada konsentrasi awal Pb (II) sebesar 50 ppm. Kapasitas adsorpsi yang dihasilkan berturut-turut adalah sebesar 0,0760; 0,2115; 0,6021; 1,0628; 1,1635; dan 0,8241 mg/g. Untuk penggunaan BDP, efisiensi penyisihan Pb (II) pada konsentrasi awal Pb (II) yang digunakan adalah 5; 10; 25; 50; 75 dan 100 ppm berturut-turut antara lain: 31,53%; 44,38%, 67,44%, 79,71%; 44,69%; dan 33,31%.

Dari hasil tersebut, terlihat bahwa penyisihan Pb (II) optimum pada konsentrasi awal Pb (II) sebesar 50 ppm. Kapasitas adsorpsi yang dihasilkan

berturut-turut adalah sebesar 0,0315; 0,0888; 0,3372; 0,7971; 0,6704; dan 0,6663 mg/g. Untuk penggunaan BEP, efisiensi penyisihan Pb (II) pada konsentrasi awal Pb (II) yang digunakan adalah 5; 10; 25; 50; 75 dan 100 ppm berturut-turut antara lain: 11,39%; 35,90%, 40,61%, 66,49%; 70,81%; dan 66,85%. Dari hasil tersebut, terlihat bahwa penyisihan Pb (II) optimum pada konsentrasi awal Pb (II) sebesar 75 ppm. Kapasitas adsorpsi yang dihasilkan berturut-turut adalah sebesar 0,0142; 0,0898; 0,2538; 0,8311; 1,3276; dan 1,6714 mg/g. Dari data tersebut, seiring dengan meningkatnya konsentrasi awal dari logam Pb maka efisiensi penyisihan akan meningkat sampai konsentrasi optimum.

Pengaruh konsentrasi pada proses adsorpsi dapat dijelaskan dengan teori tumbukan. Semakin tinggi konsentrasi menandakan semakin banyak molekul dalam setiap satuan luas ruangan dengan demikian tumbukan antar molekul akan semakin sering terjadi. Semakin banyak tumbukan yang terjadi berarti kemungkinan untuk menghasilkan tumbukan yang efektif akan semakin besar sehingga reaksi berlangsung lebih cepat.

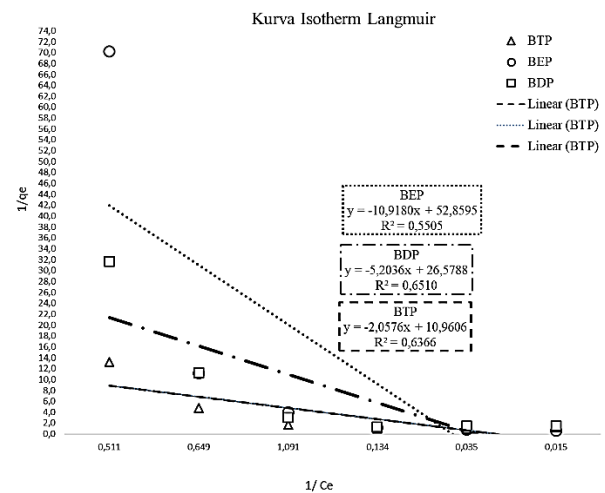


Gambar 9. Pengaruh variasi konsentrasi awal Pb (II)

## Penentuan Isoterm Adsorpsi

### Analisis Isoterm Langmuir

Penentuan model isoterm Langmuir adsorpsi logam Pb (II) dilakukan pada kondisi optimum masing - masing biosorben. Dari Gambar 10 dihasilkan persamaan garis lurus. Nilai  $q_m$  dapat ditentukan dari nilai intersep kurva, sementara nilai koefisien adsorpsi,  $K_L$  dapat dicari melalui informasi *slope* kurva. Penentuan koefisien dan konstanta adsorpsi ditampilkan pada Tabel 2.



Gambar 5. Isoterm Langmuir proses biosorpsi

Tabel 2. Rekapitulasi parameter isoterm Langmuir

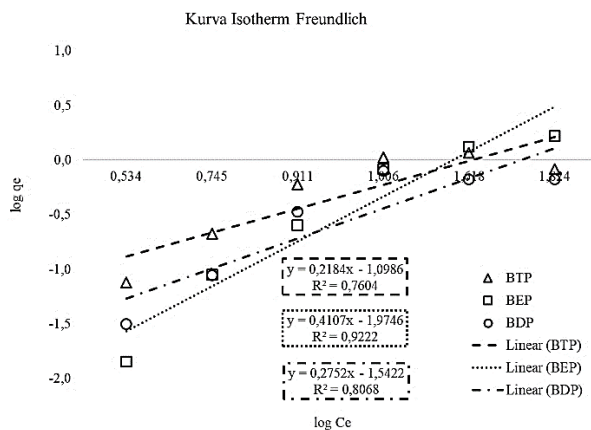
Biosorben	Persamaan	Langmuir				
		$1/q_{max}$	$q_{max}$	$1/(q_{max} \cdot K_L)$	$K_L$	$R^2$
BTP	$y = -2,0576x + 10,9606$	10,9606	0,0912	-2,0576	-5,3269	0,6366
BDP	$y = -5,2036x + 26,5788$	26,5788	0,0376	-5,2036	-5,1078	0,6510
BEP	$y = -10,9180x + 52,8595$	52,8595	0,0189	-10,9180	-4,8415	0,5305

Konstanta isoterm Langmuir menunjukkan pola ikatan yang terbentuk antara biosorben dan adsorbat. Nilai  $q_m$  dari Langmuir menggambarkan ikatan antara biosorben dan logam Pb (II) mampu membentuk lapisan *monolayer* dalam jumlah besar. Apabila biosorben mencapai nilai  $q_m$ , maka kapasitas adsorpsi mencapai angka maksimum atau mengalami titik jenuh dimana seluruh situs penyerapan telah penuh dan kemudian terbentuk lapisan pada permukaan adsorben. Nilai  $K_L$  mengindikasikan tingkat afinitas antara Pb (II) dengan permukaan biosorben. Nilai  $K_L > 1$  menunjukkan tingkat afinitas yang

kuat antara Pb (II) dan permukaan biosorben (Hasfita, 2011). Keberhasilan suatu proses adsorpsi dapat diketahui dari nilai K, yaitu nilai kapasitas adsorpsi dari larutan. Nilai K yang besar menunjukkan semakin besar tingkat penyisihan dalam larutan. Nilai  $K_L$  yang negatif pada ketiga biosorben menunjukkan bahwa energi ikatan antara logam dan biosorben tidak kuat.

**Analisis Isoterm Freundlich**

Penentuan model isoterm Freundlich adsorpsi logam Pb (II) dilakukan pada kondisi optimum masing - masing biosorben. Dari **Gambar 11** dapat diketahui data mengenai persamaan kurva linier beserta koefisien  $R^2$  yang dihasilkan persamaan garis tersebut.



**Gambar 6.** Isoterm Freundlich proses biosorpsi

Persamaan tersebut kemudian digunakan untuk menentukan konstanta adsorpsi isoterm Freundlich, dimana nilai  $K_{ads}$  diwakilkan oleh intercept kurva dan nilai  $\frac{1}{n}$  oleh *slope* kurva. Rekapitulasi hasil perhitungan konstanta-konstanta adsorpsi pada isoterm Freundlich ditampilkan pada **Tabel 3**.

**Tabel 8.** Rekapitulasi parameter isoterm Freundlich

Biosorben	Persamaan	Freundlich				
		1/n	n	log $K_F$	$K_F$	$R^2$
BTP	$y = 0,2184x - 1,0986$	0,2184	4,5788	-1,0986	0,079689	0,7604
BDP	$y = 0,2752x - 1,5422$	0,2752	3,6337	-1,5422	0,028695	0,8068
BEP	$y = 0,4107x - 1,9746$	0,4107	2,4349	-1,9746	0,010602	0,9222

Persamaan isoterm Langmuir dan Freundlich menggambarkan adsorpsi pada permukaan homogen, dengan konsentrasi maksimum sorbat yang teradsorpsi terjadi karena pembentukan lapisan monolayer, tanpa interaksi molekul lateral (Calvet, 1989). Penurunan kecepatan penyisihan logam Pb (II) menggambarkan pembentukan lapisan monolayer sorbat pada permukaan luar adsorben dan difusi pada pori adsorben ke lapisan bagian dalam partikel adsorben yang terjadi karena pengadukan yang diatur selama percobaan (Mumin, *et al.*, 2007).

Nilai  $R^2$  menunjukkan kecocokan model isoterm kinetik terhadap proses adsorpsi yang dilakukan. Dalam menggambarkan mekanisme adsorpsi logam Pb (II) menggunakan ketiga biosorben. Model isoterm Freundlich mampu mendeskripsikannya lebih baik dibandingkan dengan model isoterm Langmuir. Hal ini terlihat dari nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) isoterm Freundlich yang lebih mendekati nilai 1 daripada isoterm Langmuir. Nilai R (koefisien korelasi) yang besar (mendekati 1) menunjukkan kecocokan yang tinggi antara model dengan proses adsorpsi (Goswami dan Gosh, 2005 dalam Setiakurniasih, 2008).

Keberhasilan suatu proses adsorpsi dapat diketahui dari nilai K, yaitu nilai kapasitas adsorpsi dari larutan. Nilai K yang besar menunjukkan semakin besar tingkat penyisihan dalam larutan. Nilai  $K_L$  yang negatif pada isoterm Langmuir menunjukkan bahwa data percobaan yang diperoleh pada proses adsorpsi logam Pb (II) menggunakan ketiga biosorben yang dibuat tidak memiliki kesesuaian dengan model isoterm Langmuir. Percobaan adsorpsi yang dilakukan lebih cocok dengan model isoterm Freundlich dengan nilai  $K_F$  yang tinggi.

**KESIMPULAN**

Pada uji kinerja dari ketiga biosorben BTP, BDP dan BEP didapatkan efisiensi sebesar 85,58%, 80,35% dan 66,43 %, dengan

kapasitas adsorpsinya BTP sebesar 1,265 mg/g, BDP sebesar 0,950 mg/g dan BEP sebesar 0,982 mg/g. Waktu kontak optimum yang didapat untuk BTP pada waktu 45 menit, BDP pada waktu 75 menit dan BEP pada waktu 60 menit. Studi isothermal adsorpsi didapatkan mekanisme penyerapan biosorben untuk BTP, BDP, dan BEP mengikuti mekanisme isotherm Freundlich. Pada proses modifikasi pada biosorben tidak memberikan hasil performa yang lebih baik dibandingkan dengan biosorben tanpa modifikasi, namun proses modifikasi ini menambah kekuatan serbuk biosorben sehingga tidak ikut larut didalam air efluen dan dalam proses penyaringannya pun lebih mudah dibandingkan dengan yang dimodifikasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Calvet, R. (1989). Adsorption of Organic Chemicals in Soils. *Journal of Environmental Health Prespective*, Vol. 83, pp. 145-177.
- Djarot, S. W. (2002). Pengolahan Logam Berat dari Limbah Cair dengan Tanin. Pusat Pengembangan Pengelolaan Limbah Radiologi:BATAN.
- Fauziah, Nailul. (2009). Pembuatan Arang Aktif Secara Langsung Dari Kulit *Acacia mangium* Wild dengan Aktivasi Fisika dan Aplikasinya Sebagai Adsorben. *SKRIPSI Kehutanan*. Departemen Kehutanan IPB.
- Hasfita, Fikri. (2011). Pengembangan Limbah Daun Akasia (*Acacia mangium* Wild) sebagai Sorben untuk Aplikasi Pengolahan Limbah. *Tesis Teknik Lingkungan*. Program Studi Teknik Lingkungan ITB.
- Kamal, M.A., Hanafiah, M., Khalir, W.M., Azira, W.K., Kasmawati, M., Haslizardi, Z., dan Saime, W.N. (2010). Sequencing of toxic Pb (II) ions by chemically treated rubber. *Journal of Environmental Sciences*. 22(2). 248-256.
- Mahmud. (2012). Analisis dan Karakterisasi Bahan Organik Alami (BOA) Air Gambut dan Mekanisme Penyisihan BOA Menggunakan Tanah Lempung Gambut (TLG) Sebagai Adsorben dan Koagulan. Bandung: *Disertasi Program Studi Teknik Lingkungan*. Institut Teknologi Bandung
- Mailoa, M.N., Meta M., Amran L., Natsir D. (2013). Tannin Extract of Guava Leaves Variation with Concentration Organic Solvent. *International Journal Of Scientific & Technology Research*, Volume 2, Issue 9, September 2013, 106-110.
- Malik, J., Santoso A., dan Rachman O., (2008). *Sari Hasil Penelitian Mangium (Acacia mangium* Wild. Kementerian Kehutanan Republik Indonesia. Kinetics and equilibrium studies. *Journal of Hazardous Materials*. 174 (2009), 9-16.
- Mumin, M. A., M. M. R. Khan., K. F. Akhter., dan M. J. Uddin. (2007). Potentiality of Open Burnt Clay as an Adsorbent for the Removal of Congo Red from Aqueous Solution. *Int. Journal Environmental Science Technology*, 4 (4): 525-532.
- Notodarmojo, S. (2005). Pencemaran Tanah dan Air Tanah. Bandung: Penerbit Institut Teknologi Bandung.
- Nyangaga, Julius Nyabuto. (2001). The Nutritional Value Of Selected Acacia Leaves As Nitrogen Supplement. *Thesis Of Master Science In Animal Production* Egerton University.
- Pari, G, Hendra, D., dan Pasaribu, R. A. (2008). Peningkatan Mutu Arang Aktif Kulit Kayu Mangium. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 26(3), 214-227.
- Rumidatul, A. (2006). Efektivitas Arang Aktif sebagai Adsorben pada Pengolahan Air Limbah. *Tesis Departemen Teknologi Hasil Hutan*. IPB.
- Sa'adah, Lailis. (2010). Isolasi dan Identifikasi Senyawa Tanin dari Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.) . *SKRIPSI Jurusan Kimia*. Fakultas Sains dan Teknologi UIN : Malang.
- Setiakurniasih, Y. Pengaruh Penambahan Sodium Silika terhadap Adsorpsi Logam Tembaga (Cu<sup>2+</sup>) oleh Lumpur Sidoarjo dan Kualitas Solidifikasinya sebagai Bata Merah. Bandung: *Tesis Program Studi Teknik Lingkungan*, Institut Teknologi Bandung.
- Subiarto. (2000). Penyerapan Logam dengan Tanin, *Artikel Buletin Limbah* Vol. 5 No. 2 Tahun 2000. BATAN.
- Vijayaraghavan, K. dan Yun, Y. S. (2008). Bacterial Biosorbents and Biosorption. *Biotechnology Advances*. 26(3), 266-91.
- Wahyuni, S dan Widiastuti, N., (2003), Adsorpsi Ion logam Zn (II) pada Zeolit A yang Disintesis dari Abu Dasar Batu Bara PT. Ipmomi Paiton dengan Metode Batch, *Prosiding*, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Y.C, Danarto, Stefanus Ajie Prihananto, Zery Anjas Pamungkas. (2011). Pemanfaatan Tanin dari Kulit Kayu Bakau sebagai Pengganti Gugus Fenol pada Resin Fenol Formaldehid. *Jurnal Ilmiah Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"* ISSN 1693 – 4393.

## PENINGKATAN KUALITAS PENGOLAHAN AIR BERSIH DENGAN PERBAIKAN PROSES OKSIDASI

(Studi Kasus di Instalasi Pengolahan Air PT. Jababeka)

*Improvement of Water Treatment Plant with Optimalization of Oxidation Process  
(Case study at Water Treatment Plant PT. Jababeka)*

Istingani<sup>1</sup>, Erliza Noor<sup>2</sup>, Suprihatin<sup>3</sup>

Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Pascasarjana Institut Pertanian Bogor

Gedung Sekolah Pascasarjana Lt 1 Kampus IPB darmaga, Bogor 16680

<sup>1</sup>istingani@jababeka.com, <sup>2</sup>erlizanoor@yahoo.com, <sup>3</sup>suprihatin@indo.net.id

**Abstrak :** Penghilangan zat pencemar berupa senyawa organik, amonium, nitrit dan besi serta mangan pada proses pengolahan air dilakukan dengan proses oksidasi seperti dengan aerasi, maupun dengan bahan kimia. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan kinerja terbaik untuk proses oksidasi yaitu kemampuan mereduksi bahan pencemar pada konsentrasi dan waktu reaksi optimum dari penggunaan oksidator : klorin, ozon dan *peroxone* ( $H_2O_2/O_3$ ). Percobaan dirancang dengan *central composite design* (CCD) sementara untuk mendapatkan kondisi proses yang optimum dianalisa dengan *response surface method* (RSM). Percobaan untuk memperoleh komposisi konsentrasi dan waktu reaksi masing-masing bahan kimia oksidator (klorin, ozon dan *peroxone*) dilakukan sebanyak 13 percobaan. Optimasi pemakaian klorin menggunakan SRM menghasilkan reduksi senyawa organik ( $KMnO_4$ ) sebesar 75,1% pada konsentrasi 15,25 ppm dan waktu reaksi 17,07 menit. Optimasi pemakaian ozon menghasilkan reduksi senyawa organik ( $KMnO_4$ ) sebesar 26,9% pada konsentrasi ozon 4,04 ppm dan waktu reaksi 12,1 menit. Optimasi oksidator *peroxone* mampu mereduksi 41,5% senyawa organik ( $KMnO_4$ ) pada konsentrasi 4,04 ppm dan waktu reaksi 12,1 menit.

**Kata kunci :** klorin, oksidasi, ozon peroxone, pengolahan air

**Abstract :** The removal of contaminants in the water treatment process such as the organic compounds, ammonia, nitrite, iron and manganese are done by oxidation, by aeration, or chemical oxidation, include using chlorine, ozone, or peroxone. The purposes of this study were to get the best performance of the oxidation process (concentration and reaction time), as well as to get the financial feasibility of using oxidation agents : chlorine ( $Cl_2$ ), ozone ( $O_3$ ), or peroxone ( $H_2O_2/O_3$ ). The experimental sequences were designed by the central composite design, while the optimization was using the surface response method. To obtain the composition of the concentration and reaction time variables, each chemicals had been applied of 13 trials. The optimum oxidation in reducing the organic compound (as  $KMnO_4$ ) was achieved by applying chlorine of 15.25 ppm and 17.07 minutes of reaction time with the result of 75.1% reduction. The optimum of ozone was achieved by applying 4.04 ppm and reaction time of 12.1 minutes which could reduce 26.9% of the organic compound (as  $KMnO_4$ ). The optimum of peroxone was achieved by applying peroxone of 5.41 ppm and reaction time of 4.5 minutes which could reduce 41.5% of the organic compound (as  $KMnO_4$ ).

**Keywords :** chlorine, oxidation, ozone peroxone, improvement of water treatment

### PENDAHULUAN

Ketersediaan air bersih merupakan salah satu pertimbangan utama bagi pengelola kawasan industri. Pengembang kawasan industri memiliki kewajiban untuk menyediakan sarana air bersih dan fasilitas pengolahan air limbah industri yang diatur oleh Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 35/M-IND/PER/3/2010 tentang Pedoman Teknis Kawasan Industri. Instalasi pengolahan air bersih yang dimiliki oleh PT. Kawasan Industri Jababeka Tbk. menggunakan sistem proses oksidasi, flokulasi koagulasi, sedimentasi

filtrasi dan post klorinasi. Bahan baku yang digunakan adalah air sungai atau air permukaan yang bersumber dari waduk Jatiluhur yang mengalir di saluran Tarum Barat. Perkembangan pemukiman dan peningkatan kegiatan industri di hulu Sungai Citarum dan di sekitar saluran Tarum Barat menyebabkan penurunan kualitas air akibat pencemaran (Hartono 2009). Penurunan kualitas air dapat disebabkan oleh virus, bakteri patogen, parasit, dan zat kimia pada sumber air bakunya ataupun terjadi pada saat pengaliran air hasil olahan dari instalasi

pengolahan air ke konsumen (Said 2007). Bahaya atau resiko akibat mengkonsumsi air baik secara langsung diminum maupun melalui hasil produksi yang menggunakan air baku yang tercemar dapat mengganggu kesehatan penggunaannya. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 26/PRT/M/2014 tentang Prosedur Operasional Standar Pengolahan Sistem Penyediaan Air Minum mengatur pengolahan air yang tercemar zat organik tinggi atau besi dan mangan tinggi dengan cara preklorinasi yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan pencemar air baku.

Klorin adalah bahan disinfektan dan dalam pengolahan air juga bertujuan untuk mengontrol adanya organisme, mengoksidasi senyawa yang menyebabkan bau dan rasa, mengoksidasi besi dan mangan, menghilangkan warna, dan juga dalam berbagai pengolahan secara umum dalam proses filtrasi dan sedimentasi (White, 1992). Said (2007) menyatakan pengolahan air dengan pemberian klorin 1 mg/l dengan waktu kontak kurang dari 30 menit umumnya efektif untuk mengurangi bakteri dalam jumlah yang cukup besar. Proses klorinasi terhadap air baku yang memiliki kadar amonium tinggi akan terbentuk khloramin dan dapat menurunkan daya disinfeksi dan proses oksidasi membutuhkan waktu yang lama (White 1992). Pemakaian klorin pada air baku yang mengandung senyawa organik, humus dan *humic acid* menyebabkan terbentuknya senyawa Trihalometan (THM) dan senyawa halogen organik seperti khlorofenol yang bersifat karsinogen yang memicu penyakit kanker (Sawyer 2003). Sesuai SNI 7508:2011 tentang Tata cara penentuan jenis unit instalasi pengolahan air berdasarkan sumber air baku menunjukkan bahwa alternatif pengolahan air baku yang tidak memenuhi persyaratan terutama untuk parameter besi, mangan amonia, masih menggunakan bahan klorin, permanganat atau membran. Proses oksidasi pada pengolahan air, selain menggunakan gas klor juga dapat dilakukan dengan klorin

dioksida, ozon, kalium permanganat, sinar ultra violet (Black dan Veatch 2010). Pemakaian ozon di Indonesia sudah banyak dilakukan pada pengolahan air minum dalam kemasan. Kemampuan ozon untuk mengoksidasi lebih cepat dan lebih kuat, dan mengurangi terbentuknya THM (Said 2007) memberikan kesempatan kepada instalasi pengolahan air untuk menggunakan ozon sebagai bahan pengganti klorin.

Ozon dapat mengoksidasi besi dan mangan menjadi terpresipitasi dari sumber air, selain itu dapat pula mengkoagulasi partikulat, mengontrol pertumbuhan alga, dan mampu menghancurkan beberapa jenis pestisida. Suffet *et al.* (1986) mengatakan bahwa ozon adalah bahan oksidan yang efektif untuk menghilangkan bau dan rasa. Perkembangan teknologi pengolahan air bersih selama beberapa dekade terakhir memperkenalkan proses *Advance Oxidation Process* (AOP). Langleis *et al.* (1991) menyatakan bahwa AOP dapat mengurangi konsentrasi kontaminan dari beberapa ratus *part per million* (ppm) menjadi kurang dari 5 *part per billion* (ppb). AOP merupakan proses pengolahan air yang melibatkan pembangkitan hidroksil radikal (oksidan kuat) dalam jumlah yang cukup (Glaze *et al.* 1987). AOP merupakan kombinasi pemakaian bahan kimia  $H_2O_2/O_3$  (*peroxone*),  $O_3/UV$ , titanium/UV,  $Fe(II)/H_2O_2$  (*Fenton*) untuk membangkitkan hidroksil radikal (Black dan Veatch 2010). Mohajerani *et al.* (2009) menyatakan bahwa perpaduan teknologi AOP dan teknologi konvensional dapat memperbaiki efektifitas proses pengolahan sumber air minum yang terkontaminasi.

Perbaikan proses oksidasi untuk meningkatkan kualitas proses produksi air bersih dapat dilakukan berdasarkan beberapa aspek seperti waktu operasi, biaya operasi, dan energi yang dibutuhkan. Parameter yang mempengaruhi proses oksidasi adalah waktu reaksi, konsentrasi, Suhu, pH (White, 1992). Penelitian ini

difokuskan pada perbaikan oksidasi terutama pada pengaruh parameter konsentrasi oksidator dan waktu reaksi pada penurunan konsentrasi senyawa pencemar air baku. *Surface respons method* (SRM) merupakan metode yang digunakan untuk optimalisasi konsentrasi oksidator dan waktu reaksi dengan rancangan percobaan *Central Composite Design* (CCD). Metode SRM merupakan kumpulan teknik matematika dan statistika yang berguna untuk analisis dan permodelan dari suatu permasalahan (respons) dengan satu atau lebih perlakuan dalam penelitian (Montgomery 2001). Tujuan utama dari RSM adalah membantu peneliti untuk merancang percobaan agar mendapatkan hasil paling optimum dari percobaan tersebut (Montgomery 2001). Dewi (2013) menyatakan bahwa metode permukaan respons merupakan metode yang efisien digunakan untuk menentukan taraf-taraf peubah bebas yang dapat mengoptimalkan respons untuk peubah bebas yang bertaraf kuantitatif. Pertimbangan dalam pemilihan bahan kimia selain kemampuan untuk mereduksi konsentrasi bahan pencemar juga berdasarkan pertimbangan finansial. Penyediaan air bersih membutuhkan upaya perbaikan proses untuk mengurangi resiko kesehatan yang berhubungan dengan pencemaran pada bahan baku air minum. Penelitian ini mencari metode pengolahan air baku yang tercemar pada tahap oksidasi dengan optimasi bahan oksidator klorin dan alternatif oksidator yang lebih aman seperti ozon atau *peroxone* ( $H_2O_2/O_3$ ) dengan metode RSM. Adapun tujuan dari penelitian adalah mendapatkan kinerja terbaik untuk proses oksidasi (konsentrasi dan waktu reaksi) menggunakan: klorin, ozon dan *peroxone* ( $H_2O_2/O_3$ ).

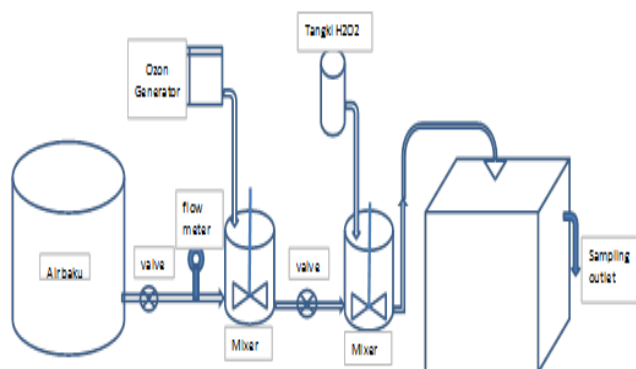
## METODE

### Alat dan bahan

Alat utama untuk penelitian ini adalah seperangkat miniplant yang ada di IPA Jababeka dengan diagram proses seperti pada **Gambar 1**. yang terdiri dari pompa

air baku, tangki air baku kapasitas 2000 liter, *static mixer*, *flowmeter* untuk air baku kapasitas 1 -30 liter/menit, kran pengatur, tangki penampung air baku yang sudah dioksidasi dengan dimensi 70cm x 50 cm x 100cm, tangki penampung bahan kimia kapasitas 20 liter yang dilengkapi *flowmeter* kapasitas 40 -400 ml/menit, *ozon generator* merk Luso type OZ-3G kapasitas 3 gr/jam, kompresor dan panel listrik.

Peralatan pembantu terdiri dari *stop watch*, botol sampel, dan peralatan laboratorium yang ada di laboratorium penguji di PT. Jababeka. Bahan dalam penelitian ini adalah air baku yang dipompa dari *intake* serta bahan oksidator berupa gas klorin yang diambil dari instalasi gas klorin di IPA PT. Jababeka dengan konsentrasi 527 mg/l. Ozon diproduksi dari *ozon generator* yang dimiliki oleh IPA PT. Jababeka.



**Gambar 1.** Skema Alat Percobaan

Oksidator *peroxone* adalah perbandingan  $H_2O_2/O_3 = 1 : 3$ . Ozon dihasilkan dari ozon generator dan hidrogen peroksida pa. konsentrasi 30% produk merk dengan nomor katalog 107209.1000 diambil dari laboratorium PT. Jababeka. Perancangan percobaan CCD dan analisa optimasi dengan SRM menggunakan perangkat lunak *Minitab 16*.

### Metode Penelitian

Masing-masing bahan kimia (klorin, ozon, *peroxone*) diaplikasikan ke dalam air baku dengan variasi konsentrasi dan waktu reaksi. Penentuan jumlah percobaan pada variabel konsentrasi dan waktu reaksi dirancang menggunakan rancangan percobaan *Central Composite Design* (CCD). Demiral M dan Kayan B (2012)

menggunakan metode RSM dan CCD untuk mendapatkan optimalisasi proses degradasi warna (*azo dye*) pada proses oksidasi pengolahan limbah cair tekstil. Jumlah percobaan yang dilakukan dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$2^k + 2k + n_0 \quad (1)$$

dimana:

$2^k$  = factorial design

$2k$  = star point

$k$  = jumlah variabel bebas

$n_0$  = jumlah pengulangan pada titik pusat

Nilai  $\alpha$  dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\alpha = (2^n)^{1/4} \quad (2)$$

dimana:  $n$  = jumlah variabel percobaan

Dalam penelitian ini digunakan 2 variabel peubah bebas, sehingga nilai  $\alpha = 1,414$  sebagai dasar penentuan nilai maksimal dan minimal pada rancangan percobaan CCD menggunakan *Minitab* 16. Nilai-nilai variabel acuan (*central*) bertitik tolak dari karakteristik proses oksidasi, berdasarkan hasil penelitian terdahulu, sehingga nilai-nilai sentralnya seperti pada **Tabel 1**. Said (2007) Pengolahan air dengan penambahan klor 1 mg/l dengan waktu kurang dari 30 menit umumnya efektif mengurangi bakteri dalam jumlah yang cukup besar.

**Tabel 1.** Nilai Variabel Acuan : Waktu reaksi dan konsentrasi bahan kimia

bahan kimia	waktu	konsentrasi
Cl <sub>2</sub>	5 - 15 menit	10 - 25 ppm
Ozon	5 - 15 menit	3- 5 ppm
<i>Peroxone</i> (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /O <sub>3</sub> = 0,3)	3-6 menit	3 - 5 ppm

Suffet *et al.* (1986) mengkonfirmasi bahwa ozon adalah bahan oksidan yang efektif untuk menghilangkan bau dan rasa, dengan konsentrasi 2,5 -2,7 mg/l dan waktu kontak 10 menit, menghasilkan sisa ozon 0,2 mg/L, sangat signifikan mengurangi bau dan rasa pada air yang diteliti. Penelitian Son *et al.* (2013)

penghilangan mikropolutan (geosmin) dengan perbandingan optimal H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub> 0,5 membutuhkan waktu 5,5 – 6,8 menit, dengan konsentrasi 1 -2 mg/l dosis ozon. Level-level eksperimen pada masing-masing variabel independen dikodekan sedemikian hingga level rendah berhubungan dengan -1 dan level tinggi berhubungan dengan 1 untuk mempermudah perhitungan.

Berdasarkan rancangan percobaan CCD menggunakan perangkat lunak *Minitab* 16, jumlah percobaan untuk masing-masing bahan kimia adalah 13 percobaan seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2**. Dengan CCD, kita dapat menghemat *runs* percobaan karena banyaknya data pengamatan yang diperlukan untuk membuat model jauh lebih sedikit, tanpa kehilangan informasi tentang efek utama. Selain itu juga CCD merupakan desain yang sangat efektif dan efisien untuk memperkirakan orde pertama dan orde kedua.

Sampel air baku dan air hasil perlakuan dianalisis di laboratorium untuk mendapatkan parameter senyawa organik (KMnO<sub>4</sub>), amonium (NH<sub>4</sub>-N), nitrit (NO<sub>2</sub>-N) serta besi terlarut (Fe) dan mangan terlarut (Mn). Setiap parameter hasil percobaan dianalisis efisiensi penurunan kadar cemarannya. Data prosentase penurunan relatif zat pencemar sebagai respon dihitung dan digunakan untuk dilakukan analisa statistik menggunakan SRM pada pengaruh 2 variabel konsentrasi dan waktu reaksi dengan persamaan :

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (3)$$

Dimana Y adalah respon pengamatan,  $\beta_0$  adalah intersep,  $\beta_i$  adalah koefisien linier,  $\beta_{ii}$  adalah koefisien kuadrat,  $\beta_{ij}$  adalah koefisien interaksi perlakuan,  $X_i$  adalah kode perlakuan untuk faktor ke-i,  $X_j$  adalah kode perlakuan untuk faktor ke-j dan k adalah jumlah faktor yang dicobakan.



**Table 2.** Rancangan Percobaan CCD pemakaian oksidator klorin, ozon dan *peroxone*

Percobaan	Klorin		Ozon		<i>Peroxone</i>	
	Konsentrasi (x1), ppm	Waktu (x2), menit	Konsentrasi (x1), ppm	Waktu (x2), menit	Konsentrasi (x1), ppm	Waktu (x2), menit
1	10	5	3	5	3	3
2	10	15	3	15	3	6
3	25	5	5	5	5	3
4	25	15	5	15	5	6
5	6,9	10	2,6	10	2,6	4,5
6	28,1	10	5,4	10	5,4	4,5
7	17,5	2,9	4	2,9	4	2,4
8	17,5	17,1	4	17,1	4	6,6
9	17,5	10	4	10	4	4,5
10	17,5	10	4	10	4	4,5
11	17,5	10	4	10	4	4,5
12	17,5	10	4	10	4	4,5
13	17,5	10	4	10	4	4,5

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas air baku yang bersumber dari saluran tarum barat di desa Pasirsari Kecamatan Cikarang Utara Kabupaten Bekasi pada pemantauan periode tahun 2014 sampai tahun 2016 menunjukkan penurunan kualitas. Kualitas tidak memenuhi baku mutu air baku air minum sesuai Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, terutama terjadi saat musim kemarau. Proses produksi yang dilakukan saat ini di IPA PT. Jababeka adalah air baku dilakukan pre-oksidasinya menggunakan gas klorin dengan konsentrasi 5-6 ppm, dan waktu kontak 2-5 menit. Pada kondisi tersebut konsentrasi senyawa organik ( $\text{KMnO}_4$ ) turun 71 %, amonium ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) turun 2 %, TKN (total kjedahl nitrogen) turun 96% dan mangan turun sebesar 53%. Kondisi proses tersebut memberikan kesempatan untuk melakukan optimasi proses oksidasi.

#### Hasil Optimasi Menggunakan Alternatif Oksidator

Percobaan ini untuk mengetahui konsentrasi oksidator dan waktu reaksi yang optimal dan menghasilkan penurunan kadar pencemar yang paling tinggi (maksimal). Hasil percobaan dari variasi konsentrasi dan waktu terhadap prosentase penurunan respon sesuai rancangan

percobaan CCD ditunjukkan pada **Tabel 3** **Tabel 4** dan **Tabel 5**.

**Tabel 3.** Hasil prosentase penurunan respon optimasi konsentrasi dan waktu konsentrasi dengan oksidator klorin

Konsentrasi, ppm (X1)	Waktu, menit (X2)	Respon (Y)	
		Mn	Organik
10	5	95,10%	38,80%
10	15	96,40%	59,80%
25	5	96,40%	67,60%
25	15	96,40%	71,50%
6,9	10	96,10%	59,20%
28,1	10	96,40%	66,20%
17,5	2,9	95,90%	55,70%
17,5	17,1	96,40%	74,70%
17,5	10	96,40%	67,90%
17,5	10	96,40%	63,70%
17,5	10	96,40%	68,70%
17,5	10	96,40%	64,40%

Metode RSM digunakan untuk membuat model persamaan optimasi yang melibatkan variabel bebas konsentrasi (X1) dan waktu reaksi (X2) terhadap penurunan senyawa respon (Y) dengan persamaan dan keragaman data diterangkan oleh besaran  $R^2$ . Masing-masing respon dianalisa menggunakan metode RSM untuk mendapatkan model persamaan optimasi seperti ditunjukkan pada **Tabel 6**.

**Tabel 4.** Hasil prosentase penurunan respon optimasi konsentrasi dan waktu reaksi dengan oksidator ozon

Konsentrasi, ppm (X1)	Waktu, menit (X2)	Respon (Y)	
		Mn	Organik
3	5	79,3%	10,2%
3	15	58,9%	14,3%
5	5	93,1%	16,3%
5	15	92,4%	15,6%
2,6	10	92,0%	12,2%
5,4	10	79,8%	15,0%
4	2,9	46,7%	23,1%
4	17,1	91,6%	27,2%
4	10	93,6%	26,5%
4	10	91,6%	33,3%
4	10	90,9%	25,9%
4	10	84,4%	24,5%

**Tabel 5.** Hasil prosentase penurunan respon optimasi konsentrasi dan waktu reaksi dengan oksidator *peroxone*

Konsentrasi, ppm (X1)	Waktu, menit (X2)	Respon (Y)	
		Mn	Organik
3	3	90,0%	28,9%
3	6	100,0%	33,4%
5	3	100,0%	35,4%
5	6	100,0%	36,5%
2,6	4,5	100,0%	38,2%
5,4	4,5	100,0%	39,8%
4	2,38	100,0%	23,1%
4	6,62	100,0%	24,3%
4	4,5	31,9%	35,2%

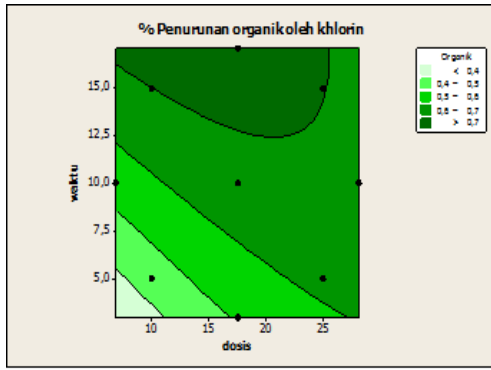
**Table 6.** Model persamaan optimasi penurunan respon terhadap konsentrasi dan waktu bahan oksidator klorin, ozon dan *peroxone* dengan RSM

Respon (Y)	Persamaan Regresi	R <sup>2</sup>	Pvalue	lack of fit	Uji Normalitas
<b>Pengaruh oksidator klorin</b>					
Mangan (Mn)	$Y = 0,9281 + 0,0017X_1 + 0,0032X_2 - 0,00002X_1^2 - 0,00006 X_2^2 - 0,00008 X_1X_2$	88,46	0	-	0,101 > 0,05
Organik (KMnO <sub>4</sub> )	$Y = - 0,01589 + 0,0339X_1 + 0,0483X_2 - 0,00047X_1^2 - 0,00057 X_2^2 - 0,00114 X_1X_2$	88,27	0,004	0,061	0,544 > 0,05
<b>Pengaruh oksidator ozon</b>					
Mangan (Mn)	$Y = 0,5880 - 0,0299X_1 + 0,0669X_2 - 0,0146X_1^2 - 0,0039X_2^2 + 0,009889 X_1 X_2$	95,83	0	0,334	0,609
Organik (KMnO <sub>4</sub> )	$Y = -1,2241 + 0,6553X_1 + 0,0288X_2 - 0,0778X_1^2 - 0,0008X_2^2 - 0,0024 X_1 X_2$	78,91	0,026	0,445	0,131
<b>Pengaruh oksidator <i>peroxone</i></b>					
Mangan (Mn)	$Y = 8,0894 - 2,5175 X_1 - 1,2275 X_2 - 0,0167X_1X_2 + 0,3256 X_1^2 + 0,1447 X_2^2$	99,61%	0	0,12	0,512 > 0,05
Organik (KMnO <sub>4</sub> )	$Y = 0,543 - 0,3184X_1 + 0,1626 X_2 - 0,0057 X_1X_2 + 0,04425X_1^2 - 0,01449X_2^2$	76,96	0,034	0,755	0,879 > 0,05

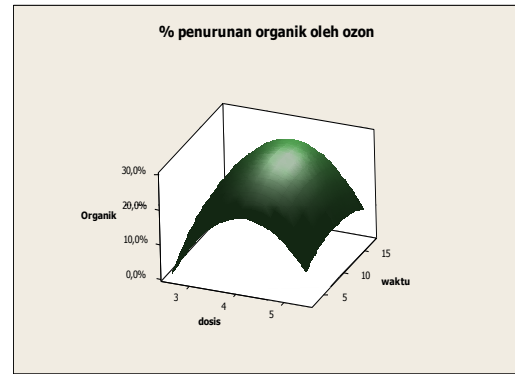
Konsentrasi, ppm (X1)	Waktu, menit (X2)	Respon (Y)	
		Mn	Organik
4	4,5	36,3%	29,5%
4	4,5	33,8%	26,1%
4	4,5	31,9%	35,2%

Uji varian untuk memeriksa signifikansi model dapat dilihat dari *Pvalue regresion* lebih kecil dari derajat signifikansi (=0,05) yang berarti variabel-variabel independen Xi memberikan sumbangan yang berarti dalam model.

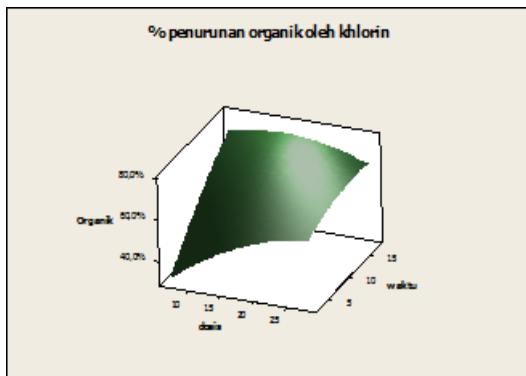
Prosedur pengujian persamaan yang dilakukan dalam metode permukaan respon diantaranya adalah uji kesesuaian model regresi (*Lack of Fit*), uji parameter regresi secara serentak dan pengujian asumsi kenormalan residual dilakukan dengan uji probabilitas seperti ditunjukkan pada **Tabel 6**. Sementara untuk menentukan kondisi optimum dari faktor-faktor yang signifikan dapat dilihat dari gambar *contour plot* dan *surface plot* seperti ditunjukkan pada **Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7**.



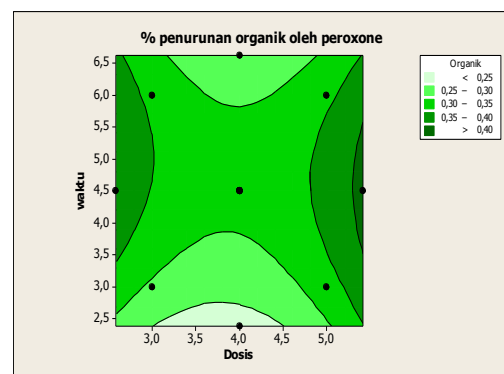
**Gambar 2** Countur plot optimasi konsentrasi dan waktu terhadap efisiensi penurunan senyawa organik dengan oksidator klorin



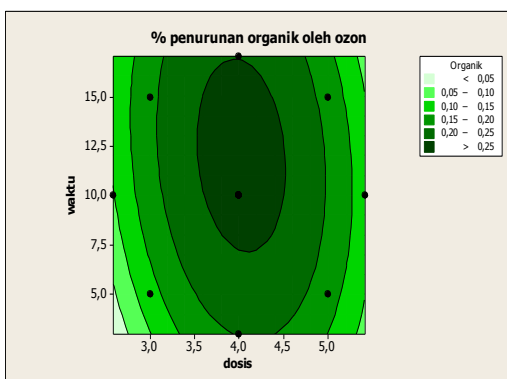
**Gambar 5** Surface plot optimasi konsentrasi dan waktu terhadap efisiensi penurunan senyawa organik dengan oksidator ozon



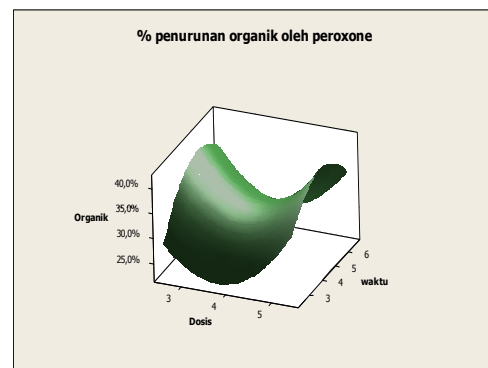
**Gambar 3** Surface plot optimasi konsentrasi dan waktu terhadap efisiensi penurunan senyawa organik dengan oksidator klorin



**Gambar 6** Countur plot optimasi konsentrasi dan waktu terhadap efisiensi penurunan senyawa organik dengan oksidator *peroxone*



**Gambar 4** Countur plot optimasi konsentrasi dan waktu terhadap efisiensi penurunan senyawa organik dengan oksidator ozon



**Gambar 7** Surface plot optimasi konsentrasi dan waktu terhadap efisiensi penurunan senyawa organik dengan oksidator *peroxone*

**Table 7.** Hasil pendugaan nilai optimum konsentrasi dan waktu reaksi dari oksidator klorin, ozon dan *peroxone* dengan metode SRM

Kriteria	Satuan	Klorin		Ozon		<i>Peroxone</i>	
		Organik (KMnO <sub>4</sub> )	Mangan (Mn)	Organik (KMnO <sub>4</sub> )	Mangan (Mn)	Organik (KMnO <sub>4</sub> )	Mangan (Mn)
Konsentrasi	ppm	15,25	7,75	4,04	3,21	5,41	5,41
Waktu	menit	17,07	17,07	12,07	12,49	4,56	2,38
Penurunan respon optimum	%	75,08	96,56	26,87	95,9	41,5	100
Desirabilitas	-	0,78	1	0,18	0,96	0,358	1

Metode optimasi yang digunakan adalah pendekatan *desirability function* dengan Minitab 16. Kriteria *desirability function* adalah *higher is better*. Kriteria ini digunakan untuk mengetahui prosentase penurunan respon dengan konsentrasi dan waktu reaksi yang berbeda. Untuk melakukan analisis dimasukkan nilai batas dari respon. Target yang akan dicapai adalah prosentase penurunan respon paling tinggi yang berarti nilai maksimal yang dikehendaki hampir tercapai. Pendugaan nilai optimum waktu reaksi dan konsentrasi oksidator dari masing-masing bahan kimia seperti ditunjukkan pada **Tabel 7**.

Analisa optimasi peubah bebas terhadap respon hanya akan dibahas terhadap parameter mangan (Mn) dan senyawa organik, sementara untuk senyawa amonium (NH<sub>4</sub>-N) dan nitrit tidak dapat dilakukan analisa, karena setelah dilakukan oksidasi pada beberapa percobaan menggunakan ozon justru kadarnya meningkat. Hal ini disebabkan adanya reaksi senyawa organik alami yang terdekomposisi menjadi amonium yang cenderung akan mengikat oksigen. Dengan adanya bakteri *Nitrosomonas* senyawa amonium dan oksigen dapat membentuk senyawa nitrit (NO<sub>2</sub>-N) sehingga kadar amonium dan nitrit meningkat dan dengan pembubuhan konsentrasi dan waktu reaksi yang dilaksanakan proses oksidasi belum selesai. Organik nitrogen terdekomposisi menjadi amonia sehingga meningkatkan konsentrasi amonia. Penghilangan organik nitrogen membutuhkan waktu satu jam,

sementara penghilangan nitrogen amino membutuhkan waktu berjam-jam (Black dan Veatch 2010) dengan kebutuhan konsentrasi klorin yang jauh lebih tinggi. Senyawa besi (Fe) sangat mudah dioksidasi walaupun tanpa ada bantuan bahan kimia.

Aplikasi oksidator klorin pada air baku yang diteliti menunjukkan bahwa kebutuhan optimal klorin untuk mengoksidasi masing-masing parameter cemaran berbeda-beda. Kebutuhan klorin untuk mengoksidasi senyawa organik paling tinggi dan waktu reaksi paling lama dibanding kebutuhan klorin untuk mengoksidasi mangan dan besi. Black and Veatch (2010) menyatakan bahwa besi dan mangan sangat mudah teroksidasi oleh klorin dan bahan oksidan lain yang umum digunakan di proses pengolahan air bersih maupun air limbah. Kebutuhan konsentrasi klorin secara stokhiometri untuk mengoksidasi besi adalah 0,64 mg/l per liter Fe<sup>2+</sup> sementara untuk mengoksidasi 1 liter mangan secara stokhiometri diperlukan 1,29 mg/l Cl<sub>2</sub>. Walaupun dalam kenyataannya kebutuhan klorin lebih rendah dari pada perhitungan stokhiometri, karena klorin dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa lain seperti amonia dan senyawa organik (Black dan Veatch 2010).

Dari hasil optimasi menunjukkan bahwa kebutuhan konsentrasi ozon untuk menurunkan senyawa organik lebih tinggi dari pada untuk menurunkan parameter mangan. Rakness (2005) menyatakan konsentrasi ozon yang dibutuhkan untuk

mengoksidasi organik lebih tinggi dari pada untuk oksidasi mangan dan besi. Kehadiran bahan organik menghambat oksidasi besi dan mangan dengan ozon, yang membutuhkan konsentrasi ozon yang lebih tinggi dan/ atau waktu kontak lebih lama untuk pengolahan yang efektif. Keberadaan senyawa organik akan menghambat proses oksidasi mangan sehingga membutuhkan konsentrasi ozon yang lebih tinggi (Black dan Veatch 2010). Reckow *et al.* (1991) menyatakan bahwa dengan adanya senyawa humus dalam air baku maka dibutuhkan ozon dua sampai lima kali lipat dibanding air tanpa adanya senyawa humus.

Suffet *et al.* (1986) mengkonfirmasi bahwa ozon adalah bahan oksidan yang efektif untuk menghilangkan bau dan rasa. Mereka menemukan bahwa konsentrasi ozon 2,5 - 2,7 dan waktu kontak 10 menit, menghasilkan sisa ozon 0,2 mg/L, sangat signifikan mengurangi bau dan rasa pada air yang diteliti. Konsentrasi yang tepat untuk mendapatkan tergantung pada kualitas air baku, suhu dan pH. Ozon yang dibutuhkan untuk oksidasi adalah 0,43 mg/mg besi dan 0,88 mg/mg Mn (Langlais *et al.* 1991).

Prendiville (1986) mengumpulkan data dari unit pengolahan air Los Angeles yang menunjukkan bahwa preozonisasi lebih efektif dibanding pre-klorinasi dalam mengurangi kekeruhan produk tersaring. Prendiville (1986) juga menyatakan bahwa ozon mampu mengurangi THM sebesar 50% mengurangi kebutuhan bahan koagulan meningkatkan pengurangan zat organik sehingga mengurangi kebutuhan klorin sehingga cukup efektif mengurangi biaya dalam penurunan bau rasa dan warna. Son *et al.* (2013) dalam penelitiannya skala laboratorium menyimpulkan bahwa untuk menyisihkan konsentrasi geosmin (mikropolutan) yang sama, kebutuhan ozon pada proses *peroxone* 30% lebih sedikit dibandingkan dengan penyisihan dengan proses ozon saja.

Kebutuhan *peroxone* dalam mengoksidasi mangan lebih tinggi dibanding kebutuhan ozon dalam mengoksidasi mangan. Penelitian terhadap air baku yang diaplikasikan *peroxone* untuk mengoksidasi senyawa organik dan mangan dibutuhkan konsentrasi *peroxone* yang sama, namun waktu reaksi oksidasi organik lebih lama dari pada oksidasi mangan.

EPA (1999) yang menyatakan bahwa kemampuan *peroxone* dalam mengoksidasi besi dan mangan lebih rendah dibanding ozon. Grote (2012) menyatakan AOP yang memiliki kekuatan oksidasi hidroksil radikal yang dapat mengurangi senyawa organik menjadi produk akhir yang tidak berbahaya seperti karbon dioksida dan air. Paillard *et al.* (1988) menyatakan pestisida dalam pengolahan air lebih mudah didegradasi dengan menggunakan kombinasi ozon–hidrogen peroksida jika dibanding hanya dengan ozon saja dengan rasio massa optimal  $H_2O_2/O_3$  antara 0,35 sampai dengan 0,45. Kinerja proses tergantung pada konsentrasi ozon, waktu kontak dan alkalinitas dari air.

Data pemantauan kualitas air baku yang diambil dari data IPA PT. Jababeka menunjukkan bahwa kandungan alkalinitas pada saat dilakukan percobaan penggunaan ozon cukup rendah (alkalinitas = 61,9 mg/l) dibanding kandungan alkalinitas saat dilakukan percobaan *peroxone* yang cukup tinggi (alkalinitas = 128 mg/l). Pada air permukaan yang kandungan alkalinitas tinggi akan lebih mudah dioksidasi oleh ozon (Rackness 2005). Hal ini menjelaskan bahwa oksidasi senyawa organik menggunakan *peroxone* lebih berhasil (41,5%) dibanding proses oksidasi dengan menggunakan ozon (26,87%).

## KESIMPULAN

Kinerja terbaik proses oksidasi dengan klorin menghasilkan penurunan organik sebesar 75% pada konsentrasi 15,25 ppm dan waktu reaksi 17,07 menit. Sementara

ozon menghasilkan penurunan organik 26,78% pada konsentrasi 4,04 ppm dan waktu reaksi 12,07 menit. *Peroxone* menghasilkan penurunan organik 41,5%, pada konsentrasi 5,4 ppm dan waktu reaksi 4,5 menit.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kami ucapkan kepada PT. Jababeka Infrastruktur yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini dalam penyediaan data, fasilitas penelitian dan analisa laboratorium.

### DAFTAR PUSTAKA

- Black, Veatch. 2010. *White's Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants*. New Jersey (US): John Wiley and Sons Hoboken.
- Demiral M dan Kayan B. 2012. *Application of response surface methodology and central composite design for optimization of textile dye degradation by wet air oxidation*. International Journal of Industrial Chemistry 3:24
- Dewi AK. 2013. Penerapan metode permukaan respon dalam masalah optimalisasi. *E-Jurnal Matematika*. 2 (2) : 32-36.
- Glaze, W. H., Joon-Wu K., Chapin DG. 1987. *The Chemistry of Water Treatment Processes Involving Ozone, Hydrogen Peroxide, and Ultraviolet Radiation*. Ozone Science Engineering. 9 : 335.
- Grote B. 2012. *Application of Advanced Oxidation Processes (AOP) in Water Treatment*. 37th Annual Qld Water Industry Operations Workshop Parklands, Gold Coast.
- Hartono DM. 2009. Penentuan Indikator Pencemaran Air Dengan Pendekatan Indeks Kualitas Air Pada Air Baku Air Minum Dari Saluran Tarum Barat. *Lingkungan Tropis*. 3 (1) : 11-22
- Langlais, B., D.A. Reckhow, and D.R. Brink. (editors). 1991. *Ozone in Drinking Water Treatment: Application and Engineering*. AWWARF and Lewis Publishing, Chelsea, MI.
- M. Mohajerani, M. Mehrvar, F. Ein-Mozaffari. 2009. *An Overview of The Integration of Advanced Oxidation Technologies and Other Processes for Water and Waste Water Treatment*, International Journal of Engineering (IJE). 3 : Issue (2)
- Montgomery DC. 2001. *Design and Analysis of Experiments* 5th ed. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Paillard, H., Brunet, R. & Dore, M. 1988. *Optimal conditions for applying an ozone/hydrogen peroxide oxidizing system*. *Water Res.*, 22: 91-103
- Prendiville. 1986. *Ozonation of 900 cfs Los Angeles Water Purification Plant*. Ozone Science and Engineering. 8 : 77.
- Rackness K.I. 2005. *Ozone in Drinking Water Treatment Process Design, Operation, and Optimization*. Denver US American Water Works Association.
- Reckhow DA, Knocke WR, Kearney MJ and Cynthia A. 1991 *Oxidation Of Iron And Manganese By Ozone*. Ozone Science and Engineering. 13: 675-695
- Said NI. 2007. Disinfeksi untuk Proses Pengolahan Air Minum. *Jurnal Air Indonesia*, 3 (1) : 15-28. BPPT Jakarta
- Son HJ, Kim SG, Yeam HS, Choi JT. 2013. *Evaluation of Applicability and Economical Efficiency of Peroxone Process for Removal of Micropollutants in Drinking Water Treatment*. Journal of Environmental Science International, 22(7) :905-913
- Sowyer Clair N, Mc Carthy Perry L, Parkin Gene F. 2003. *Chemistry For Environmental Engineering and Sciences*, 5th edition, Boston : Mc Grow Hill.
- Suffet, I.H., C. Anselme, and J. Mallevialle. 1986. "Removal of Tastes and Odors by Ozonation." Conference proceedings, AWWA Seminar on Ozonation: Recent Advances and Research Needs, Denver, CO.
- White GC. 1992. *Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants*. New York (US): Van Nostrand Reinhold.

## Journal of Environmental Engineering and Waste Management

Dewan redaksi menerima tulisan ilmiah yang merupakan karya orisinal penulis yang dapat berupa hasil penelitian, rekayasa atau telaah ilmiah di bidang keteknikan lingkungan, pengelolaan lingkungan, ilmu lingkungan dan pengelolaan limbah. Penulisan karya ilmiah yang akan diterbitkan mengacu pada aturan penulisan sebagai berikut :

1. **Judul (Title)**. Judul ditulis dengan huruf kapital dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris dalam kalimat lengkap secara jelas dan singkat. Judul menggambarkan apa yang menjadi pokok dalam tulisan. Penulisan dengan font Times New Roman ukuran 14.
2. **Nama Penulis (Author[s])**. Nama penulis ditulis dibawah judul secara lengkap tanpa menuliskan jabatan, struktural/fungsional ataupun gelar. Diikuti dengan menuliskan instansi serta alamat yang jelas untuk setiap penulis, termasuk e-mail. Penulisan dengan font Times New Roman ukuran 10 dengan jarak 1 spasi.
3. **Abstrak (Abstract)**. Abstrak ditulis dalam bahasa Inggris dan bahasa Indonesia (masing-masing dalam 1 paragraf). Abstrak mencakup apa yang dilakukan, bagaimana cara melakukannya, hasil yang diperoleh, serta informasi apa yang merupakan paparan dari hasil tersebut. Abstrak ditulis dengan Times New Roman ukuran font 10 dengan jarak 1 spasi, diikuti oleh kata kunci (*keywords*) 3-5 kata ditulis miring (*italic*). Kata kunci ditulis secara alfabetis.
4. **Pendahuluan (Introduction)**. Pendahuluan merupakan latar belakang serta permasalahan yang menjadi perhatian serta tinjauan ringkas tentang hal tersebut, boleh diisi dengan teori yang ringkas bila memang sangat menentukan dalam pembahasan (ditulis dengan jarak 1 spasi).
5. **Bahan dan Metode (Materials and Methods)**. Tuliskan semua bahan, peralatan dan metode yang digunakan dalam penelitian/rekayasa mengikuti peraturan umum penulisan secara jelas dan ringkas).
6. **Hasil dan Pembahasan (Results and Discussion)**. Hasil penelitian ditampilkan dalam bentuk tabel atau gambar dan harus dirujuk dalam pembahasan. Penomoran tabel dan gambar dilakukan secara berurutan dimulai dari nomor 1 dan seterusnya. Judul tabel/gambar ditulis dengan Times New Roman, ukuran huruf 10, spasi 1. Data dalam bentuk foto agar dikirim dengan resolusi tinggi. **Gambar, Grafik dan Diagram**. Keterangan gambar grafik dan diagram ditulis di bawahnya. Nomor gambar dicetak tebal (bold) sedangkan keterangannya normal. **Tabel**. Keterangan tabel ditulis di atas tabel (center alignment). Nomor tabel dicetak tebal (bold) sedangkan keterangan/judul tabel normal.
7. **Kesimpulan (Conclusion)**. Suatu ringkasan menyeluruh dari semua aspek hasil penelitian yang berkaitan langsung dengan tujuan penelitian. Ditulis dalam satu paragraf.
8. **Ucapan terima kasih (Acknowledgment [s])**. Disampaikan kepada yang berhak mendapatkannya, seperti penyandang dana, pihak yang membantu dalam penelitian ataupun penulisan serta narasumber/perorangan yang dipandang layak dihargai (opsional).
9. **Daftar Pustaka (References)**. Daftar pustaka ditulis dengan font Times New Roman ukuran 10 dengan jarak penulisan 1 spasi berurutan mulai dari nomor 1 dan seterusnya sesuai dengan urutan kemunculannya pada sitasi/pengacuan dalam tulisan (pendahuluan sampai dengan hasil dan pembahasan).
  - Apabila yang diacu adalah buku maka ditulis secara berurutan : Nama penulis (nama penulis yang pertama dibalik posisinya kemudian diikuti nama penulis kedua dan ketiga). (Tahun Terbit). *Judul Buku*. Edisi Terbitan. Tempat Terbit : Penerbit (Contoh : Sawyer Clair N, Mc Carty Perry L. and Parkin Gene F. (2003). *Chemistry for Environmental Engineering and Science, Fifth Edition*. Boston : Mc Graw Hill
  - Apabila yang diacu artikel dalam jurnal maka ditulis secara berurutan : Nama Penulis. (Tahun Terbit). *Judul Jurnal*. Jilid diikuti nomor jurnal : halaman (Contoh : Rytwo, G. (2012) The Use of Clay-Polymer Nanocomposites in Wastewater Pretreatment. *The Scientific World Journal*, 71 (12) : 48-60).
  - *Et al.* hanya berlaku bila penulis lebih dari 11 orang.
10. **Cara Penulisan Sitasi (Citation)**. Penulisan sitasi pada awal kalimat mengikuti : Menurut Sidjabat (2013), .... atau diakhir kalimat : .....(Sidjabat 2013)
11. Jumlah halaman minimal 7 dan maksimal 12 halaman A4 termasuk lampiran-lampiran. Seluruh isi artikel ditulis dalam font Times New Roman ukuran 12 dengan jarak penulisan 1 spasi. Semua judul bab ditulis dengan huruf kapital. Naskah ditulis dalam 2 kolom.