

# JURNAL RISET

## TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI

Vol. 8, No. 1, Mei 2017

Pengolahan air permukaan di Banyuasin menggunakan membran keramik  
berbahan batubara dan nano clay  
**Tri Susanto, Chasri Nurhayati**

Integrasi teknologi koagulasi-flokulasi dengan filter silika-karbon aktif up flow  
sebagai unit pengolahan air limbah industri karpet  
**Aris Mukimin, Agus Purwanto, Cholid Syahroni, Misbachul Moenir, Rame,  
Agung Budiarto**

Metode permukaan respon dan aplikasinya pada pengolahan air limbah lindi  
hitam dengan menggunakan reaksi Fenton  
**Ajeng Arum Sari, Muryanto, Hasbi Yasin**

*Low cost particulate* sensor sebagai unit kontrol untuk meningkatkan  
efisiensi penggunaan air proses *wet scrubber*  
**Januar Arif Fatkhurrahman, Ikha Rasti Julia Sari, Nur Zen**

Stimulasi fitostabilisasi logam berat Pb dan Cd menggunakan  
inokulan kapang terpapar radiasi gamma dosis 250 Gy  
**Nana Mulyana, Tri Retno Dyah Larasati, Srikandi**

JURNAL RISET Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri	Vol. 8	No. 1	Halaman 1 - 54	Semarang, Mei 2017	ISSN No. 2087-0965
---	--------	-------	-------------------	-----------------------	--------------------



# Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Volume 8 No. 1, Mei 2017

## TUJUAN DAN RUANG LINGKUP

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (JRTPPPI) adalah majalah ilmiah yang berdedikasi sebagai media diseminasi dari hasil penelitian atau kajian teknologi. Makalah yang dipublikasikan adalah makalah dari hasil penelitian yang original, dan kajian/review artikel yang fokus pada :

**Teknologi Lingkungan** : teknologi yang dibuat untuk pencegahan pencemaran air, udara, serta pengelolaan limbah padat dan B3.

**Teknologi Proses dan Simulasi** : teknologi dan atau simulasi mengenai proses produksi yang dapat meminimisasi limbah atau dampak kerusakan lingkungan.

**Desain Peralatan** : rekayasa alat yang dapat meningkatkan efisiensi proses, akurasi pengukuran dan deteksi polutan.

**Fabrikasi Material** : pembuatan material untuk substitusi, bahan alternative yang lebih ramah lingkungan hingga penyusunan teknologi baru.

**Sumber Daya** : rekayasa proses/teknologi/konservasi untuk menghasilkan energi  
JRTPPPI mempunyai visi menuju jurnal internasional yang bereputasi dengan

kontribusi keilmuan yang bermanfaat untuk komunitas global.

## PENANGGUNG JAWAB

**Ir. Titik Purwati Widowati, MP**  
Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

## PENGARAH

**Drs. Krus Haryanto, M.Si**  
Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

**Ir. Didik Harsono**  
Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

## CHIEF EDITOR

**Dr. Aris Mukimin, S.Si., M.Si**  
Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

## MITRA BESTARI

**Prof. Dr. Ir. Eddy Hermawan, M.Sc**  
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

**Prof. Dr.rer.nat. Karna Wijaya, M.Eng**  
Universitas Gadjah Mada

**Prof. Dr. Ir. Muhammad Nasikin, M.Eng**  
Universitas Indonesia

**Prof. Dr. Ir. Purwanto, Dipl.EP., DEA**  
Universitas Diponegoro

**Prof. Dr.Eng. Eniya Listiani Dewi, B.Eng., M.Eng**

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

**Dr. Bambang Cahyono, M.Sc**  
Universitas Diponegoro

**Dr. Ir. Edwan Kardena**  
Institut Teknologi Bandung

**Dr. Oman Zuas**  
Pusat Penelitian Kimia-LIPI

## REVIEWER

**Dr. Ir. Nani Harihastuti, M.Si**  
Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

**Drs. M. Moenir, M.Si**  
Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

**Ir. Djarwanti**  
Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

**Dra. Muryati, Apt**  
Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

**Ir. Nilawati**  
Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

**Cholid Syahroni, S.Si., M.Si**  
Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

# Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Volume 8 No. 1, Mei 2017

## DESKRIPSI

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (JRTPPI) diterbitkan oleh Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (BBTPPI) – Badan Penelitian dan Pengembangan Industri, Kementerian Perindustrian. JRTPPI dipublikasikan secara online dua kali dalam setahun.

ISSN edisi cetak : 2087-0965

ISSN edisi elektronik : 2503-5010

Edisi elektronik tersedia pada :

[ejournal.kemenperin.go.id/jrtpi](http://ejournal.kemenperin.go.id/jrtpi)

## INDEKSASI

Terindeks di Directory Of Open Access Journals (DOAJ), Crossref, Indonesian Scientific Journal Database (ISJD), Mendeley, Infobase Index, Indonesian Publication Index (IPI), Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Google Scholar, Directory of Research Journals Indexing (DRJI).

## ALAMAT REDAKSI

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (BBTPPI).

Jalan Ki Mangunsarkoro No. 6 Semarang, Jawa Tengah, 50136 Indonesia.

Telp. +62 24 8316315

Fax. +62 24 8414811

e-mail: [jurnalrisettpi@kemenperin.go.id](mailto:jurnalrisettpi@kemenperin.go.id)

Jam kerja : Senin – Jum'at

07.30 – 16.00 GMT+7

## EDITORIAL BOARD

**Rame, S.Si, M.Si**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

**Bekti Marlana, ST, M.Si**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

**Novarina I. Handayani, S.Si, M.Si**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

**Ikha Rasti Julia Sari, ST, M.Si**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

**Hanny Vistanty, ST, MT**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

**Silvy Djayanti, ST, M.Si**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

**Moch. Syarif Romadhon, S.Si, M.Sc**

University of Cambridge, London

## MANAGING EDITOR

**Nur Zen, ST**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

**Januar Arif Fatkhurrahman, ST**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

## SEKRETARIS

**Farida Crisnaningtyas, ST**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

**Syarifah Arum K., ST., M.Si., MAIE**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

## COPY EDITOR

**Rustiana Yuliasni, ST, M.Sc**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

**Kukuh Aryo Wicaksono, ST**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

## LAYOUT EDITOR

**Agus Purwanto, ST**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

**Rizal Awaludin Malik, S.Si**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

## PROOFREADER

**Nanik Indah Setianingsih, STP**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

**Agung Budiarto, ST**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

## DISTRIBUSI

**Eko Widowati**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

**Santoso**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

# Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Volume 8 No. 1, Mei 2017

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil ‘alamin atas segala curahan nikmat, barakah dan hidayah-Nya sehingga kita semua dapat berkarya dan tetap dalam lindungan Allah SWT. Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (JRTPPI) kembali mempublikasikan makalah ilmiah terpilih untuk volume 8 no 1 di tahun 2017. Apresiasi yang tinggi kami tujukan kepada editorial JRTPPI dan pihak-pihak terkait yang telah mampu mempertahankan konsistensi terbitan berkala tanpa mengurangi kualitas tulisan sedikitpun.

JRTPPI telah mendiklarasikan bahwa OJS menjadi sistem yang baku untuk seluruh proses publikasi karya ilmiah yang dimuatnya. Opsi ini menuntut dedikasi di semua posisi termasuk author. Konsekuensi yang paling nyata dengan sistem ini berupa alur proses yang bersifat *daring*. Terbitan JRTPPI dari volume 7 no 1 hingga volume 8 no 1 telah meyakinkan bahwa jurnal ini mampu menjalankan sistem secara sepenuhnya dan author telah dapat mengikuti *round* ini secara rapi. Fakta tersebut menjadi modal penting yang meyakinkan bahwa JRTPPI semakin optimisi menuju jurnal yang beriputasi.

Selama periode Desember 2016 hingga Mei 2017, jumlah naskah yang masuk ke JRTPPI sebanyak 13 (tiga belas). 4 (empat) naskah ditolak, 4 (empat) naskah lain masih dalam proses review dan 5 (lima) naskah diterima. Kelima naskah yang diterima itu kemudian diterbitkan dalam volume 8 no 1 dengan asal penulis cukup beragam, yaitu 2 (dua) naskah dari BBTPPI, 1 (satu) naskah dari balai riset dibawah Kemenperin, 1 (satu) naskah dari LIPI dan 1 (satu) naskah dari BATAN. Semoga makalah ilmiah ini dapat menambah sumber pengetahuan dan pengalaman bagi para pembaca baik dari kalangan akademisi, peneliti, industri maupun masyarakat luas. Kami menyadari bahwa tidak ada sesuatu yang sempurna maka peningkatan dari semua pihak yang terlibat senantiasa terus dilakukan.

Semarang, Mei 2017



Chief Editor

**Jurnal Riset**  
**Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri**

Volume 8 No. 1, Mei 2017

**DAFTAR ISI**

Pengolahan air permukaan di Banyuasin menggunakan membran keramik berbahan batubara dan <i>nano clay</i> <b>Tri Susanto, Chasri Nurhayati</b>	1-12
Integrasi teknologi koagulasi-flokulasi dengan filter silika-karbon aktif up flow sebagai unit pengolahan air limbah industri karpet <b>Aris Mukimin, Agus Purwanto, Cholid Syahroni, Misbachul Moenir, Rame, Agung Budiarto</b>	13-22
Metode permukaan respon dan aplikasinya pada pengolahan air limbah lindi hitam dengan menggunakan reaksi Fenton <b>Ajeng Arum Sari, Muryanto, Hasbi Yasin</b>	23-34
<i>Low cost particulate</i> sensor sebagai unit kontrol untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air proses <i>wet scrubber</i> <b>Januar Arif Fatkhurrahman, Ikha Rasti Julia Sari, Nur Zen</b>	35-42
Stimulasi fitostabilisasi logam berat Pb dan Cd menggunakan inokulan kapang terpapar radiasi gamma dosis 250 Gy <b>Nana Mulyana , Tri Retno Dyah Larasati , Srikandi</b>	43-54

# Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Volume 8 No. 1, Mei 2017

## LEMBAR ABSTRAK

e-ISSN 2503-5010  
p-ISSN 2087-0965

Tanggal diterbitkan 29 Mei 2017

Tri Susanto, Chasri Nurhayati (Resesarch Center and Standardization of Industry, Palembang)

Surface water treatment in Banyuasin using ceramic membranes utilized mineral coal fly ash and nano clay

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Mei 2017, Vol. 8, No. 1, p. 1-12, 4 ill, 3 tab, 27 ref

Clean water supply in the industrial areas, mining and plantations in areas, e.g. swamps based region such as Banyuasin, South Sumatera, is a serious problem. Currently, the necessity of water treatment techniques to purify highly metal content and acidic water into clean water could be achieved by using membrane technology. The research is aimed to study the optimum composition of fly ash (FA): nano clay (NC) and the combustion temperature to produce qualified ceramic tubular membrane, which is used as a part of water treatment plants in Banyuasin. The performance of membrane ceramics is determined by the separation levels of Fe, Mn and hardness ( $\text{CaCO}_3$ ). Composition of FA: NC was varied 2: 3, 1: 1, 3: 2, 7: 3 (by weight), while the combustion temperature was varied 700; 800 and 900 °C. The results showed that the composition of the FA: NC 1: 1 with a combustion temperature of 800 °C could reduce the content of Fe level around 90-93%, Mn level 62-71% and hardness level 75-82%. Based on XRD and SEM photographs, permeability level, fracture toughness, and its efficiency, the ceramic membrane with that composition is recommended to be used in water treatment unit in Banyuasin.

(Author)

Keywords : coal fly ash, nano clay, Fe and Mn, ceramic membranes, Banyuasin

Aris Mukimin, Agus Purwanto, Cholid Syahroni, Misbachul Moenir, Rame, Agung Budiarto (Center of Industrial Pollution Prevention Technology, Semarang)

The implementation of integrated coagulation-flocculation and silica activated carbon technology for carpet industry wastewater treatment

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Mei 2017, Vol. 8, No. 1, p. 13-22, 2 ill, 4 tab, 28 ref

Latex, lime and water are the main ingredients in the production of industrial carpet. The composition of these three materials are 30%, 50% and 20%, respectively, so the characteristic of wastewater is dominated by COD and TDS. Integrated method of coagulation-flocculation and silica-activated carbon filter is the appropriate choice as pollutant processing unit. Coagulation basin was made in form of cylindrical tube with 2.5 m<sup>3</sup> capacity, while the silica-activated carbon filter was packed in two vertical tubes with 50 L capacity per tube. Coagulation-flocculation process was carried out by addition of alum and anion in batch system and subsequently followed by sedimentation and aeration. Silica-activated carbon vertical filter, as the last stage of processing unit, was operated with an upflow continuous system. COD and DHL reductions were 92% and 74%, respectively, at a dose of 0.8 Kg/m<sup>3</sup> alum, 0.35 Kg/m<sup>3</sup> lime and 0.4 g/m<sup>3</sup> anion, aeration with HRT of 15 minutes and flow rate of 6 L / min in silica-activated carbon filter.

(Author)

Keywords : carpet, wastewater, latex, coagulation, activated carbon

Ajeng Arum Sari<sup>1</sup>, Muryanto<sup>1</sup>, Hasbi Yasin<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Research Center for Chemistry, Tangerang; <sup>2</sup>Departement of Statistics, UNDIP, Semarang)

Response surface methodology and its application for black liquor wastewater treatment using Fenton reactions

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Mei 2017, Vol. 8, No. 1, p. 23-34, 2 ill, 5 tab, 28 ref

Bioethanol production from oil palm empty fruit bunches generated black liquor with high chemical oxygen demand (COD) and low dissolved oxygen (DO). Lignin as the main compound in black liquor can be destructed by using high oxidation from OH radical system such as Fenton method. Thereafter, black liquor can be decolorized. The aim of this research was to determine an optimum condition for black liquor decolorization by using central composite design.  $\text{FeSO}_4$  and  $\text{H}_2\text{O}_2$  were used for Fenton-like's reagent. The process was conducted in jar test at 200 rpm for 10 minutes and after that slowly mixed at (50 rpm) for 2 hours, and left for sedimentation for 24 hours. The highest decolorization of black liquor 52 % was obtained at pH 13 with volume ratio  $\text{H}_2\text{O}_2$  and  $\text{FeSO}_4$  1:1. Response surface methodology (RSM) was used to

optimize the variables so the efficiency of wastewater decolorization of black liquor can be increased. Decolorization of black liquor can be increased up to 73% when the pH, the concentration of FeSO<sub>4</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> concentrations were used by 6.64; 0.1 M, and 3.68 M, respectively, using RSM method. This optimum value was applied to decolorize black liquor wastewater and obtained removal efficiency of 68.78%. This suggests that the Fenton method has the potential to overcome the problems of black liquor wastewater in the production of bioethanol.

(Author)

Keywords : black liquor decolorization, Fenton, response surface method, central composite design

Januar Arif Fatkhurrahman, Ikha Rasti Julia Sari, Nur Zen (Center of Industrial Pollution Prevention Technology, Semarang)

Low cost particulate sensor as unit control for process efficiency optimization in wet scrubber

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Mei 2017, Vol. 8, No. 1, p. 35-42, 7 ill, 4 tab, 10 ref

Wet scrubber technology has being used as particulate handling on air pollution in general industrial process. In small medium scale industry, wet scrubber is commonly inequipped with air adsorption controlling process, in hand it delivered inefficiency on water utilization, that led to water contamination spreading to environment. For those reasons, research activity had been conducted based on emission mechanism modification on particulate emission with data analysis review in non-controlled water utilization in particulate handling. Microcontroller based wet scrubber application in controlling water utilization of particulate handling was used to measure water saving and increase water efficiency. It was measured by how many water could be saved in three level particulate concentration variation. The result from this research, both 100-300-600 and 200-400-600 formulations delivered insignificant difference in water efficiency, but those both formulations increased water efficiency until 59,8%. On the other hand, it greatly saved 32,3 litres/hour in water that usually was discarded into an environment. This entire particulate simulation process on wet scrubber was held by < 2,5 µm particulate diameter and 1 m/s particulate flowrate.

(Author)

Keywords : wet scrubber, particulate pollution, microcontroller, water process efficiency, water adsorption

Nana Mulyana<sup>1</sup>, Tri Retno Dyah Larasati<sup>1</sup>, Srikandi<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Center of Application Isotope and Radiation, Jakarta; <sup>2</sup>Departement of Biology, UNB, Bogor)

Stimulation of Pb and Cd phytostabilization using mold inoculants exposed gamma-radiation with 250 Gy dosage

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Mei 2017, Vol. 8, No. 12, p. 43-54, 11 ill, 1 tab, 30 ref

Phytostabilization is a part of the phytoremediation process on metal heavy contaminated soil using combination between plants and mold inoculants. The utilization of low-dose radiation Gamma rays to stimulate mold that can improve the ability of some molds in the accumulation of heavy metals. Prior to exposed by Gamma radiation at 0 Gray and 250 Gy, mold inoculants of *Trichoderma viridie*, *Trichoderma harzianum* and *Aspergillus niger* were incubation at 28 °C for 7 days. The inoculants of mold consortia with different dose of Gamma radiation were used as a stimulant for Pb and Cd phytostabilization by sorghum plant mold consortia was significant to increase the dry weight of sorghum and soybean biomass about 42% and 31%. This mold inoculants also able to increase Pb and Cd uptake by root of sorghum about 44 and 31%, Pb and Cd uptake by root of soybean about 58% and 27%. Application of Gamma irradiated mold inoculants as a stimulant of Pb phytostabilization by soybean for 35 days were able to increase the index of bio-concentration factors from 1.749 ppm to 2.391 ppm and they would increase the concentration of Pb on soil leachate from 0.781 ppm to 1,337 ppm. While the Gamma irradiated mold inoculants as a stimulant of Cd phytostabilization were able to increase the index of bio-concentration factors from 8.166 ppm to 8.907 ppm. The inoculants of mold consortia were able to reduce the index of transfer factors from 0.158 to 0.131 and concentration of Cd on soils leachate from 0.274 ppm to 0.190 ppm. The results show that Gamma irradiated-mold inoculants consortia were suitable and potential to use as a stimulant of Cd phytostabilization by soybean.

(Author)

Keywords : phytostabilization, heavy metal, mold inoculants, gamma radiation

Tri Susanto, Chasri Nurhayati (Balai Riset dan Standardisasi Industri, Palembang)

Pengolahan air permukaan di Banyuasin menggunakan membran keramik berbahan batubara dan nano clay

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Mei 2017, Vol. 8, No. 1, p. 1-12, 4 ill, 3 tab, 27 ref

Pemenuhan air bersih di sekitar kawasan industri, tambang dan perkebunan di daerah berbasis rawa seperti Banyuasin, Sumatera Selatan merupakan permasalahan yang serius. Saat ini diperlukan teknik purifikasi air dengan kandungan logam tinggi dan asam menjadi air bersih dengan memanfaatkan teknologi membran. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi optimum penggunaan *fly ash* (FA) dan *nano clay* (NC) batu bara serta pengaruh suhu pembakaran terhadap karakteristik kinerja membran keramik tubular pada unit pengolahan air di wilayah Banyuasin. Untuk kerja membrane keramik dinyatakan dalam penurunan kadar Fe, Mn dan kesadahan (CaCO<sub>3</sub>). Komposisi FA: NC divariasikan 2:3, 1:1, 3:2, 7:3 (berat), sedangkan suhu pembakaran divariasikan 700; 800 dan 900°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi FA:NC 1:1 dengan suhu pembakaran 800 °C mampu menurunkan kadar Fe sekitar 90-93%, kadar Mn 62-71% dan kadar CaCO<sub>3</sub> 75-82%. Berdasarkan fotografer XRD dan SEM, tingkat permeabilitas, kekuatan retak dan efisiensi, maka membran keramik dengan komposisi tersebut direkomendasikan untuk digunakan pada



---

unit pengolahan air di Banyuasin.

(Author)

Kata kunci : fly ash batu bara, nano clay, Fe and Mn, membran keramik, Banyuasin

---

Aris Mukimin, Agus Purwanto, Cholid Syahrone, Misbachul Moenir, Rame, Agung Budiarto (Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang)

Integrasi teknologi koagulasi-flokulasi dengan filter silika-karbon aktif up flow sebagai unit pengolahan air limbah industri karpet

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Mei 2017, Vol. 8, No. 1, p. 13-22, 2 ill, 4 tab, 28 ref

Lateks, kapur dan air merupakan bahan utama dalam proses produksi industri karpet. Komposisi dari ketiga bahan tersebut secara berurutan 30%, 50% dan 20% sehingga karakteristik air limbahnya dominan mengandung COD dan TDS. Integrasi koagulasi-flokulasi dengan filter silika-karbon aktif menjadi pilihan yang tepat sebagai unit pengolah polutan tersebut. Unit koagulasi dibuat dalam bentuk tabung silinder dengan kapasitas 2,5 m<sup>3</sup>, adapun filter silika-karbon aktif ditempatkan dalam dua tabung vertikal dengan kapasitas masing-masing 50 L. Proses koagulasi-flokulasi dilakukan dengan sistem *batch* menggunakan tawas dan anion yang dilanjutkan dengan sedimentasi dan aerasi. Filter vertikal silika-karbon aktif dioperasikan dengan sistem alir kontinyu secara *up flow* sebagai tahap akhir dari unit pengolahan. Reduksi COD dan DHL telah mampu mencapai 92% dan 74% dengan dosis tawas 0,8 Kg/m<sup>3</sup>, kapur 0,35 Kg/m<sup>3</sup>, anion 0,4 g/m<sup>3</sup> dan aerasi dengan waktu tinggal 15 menit, serta laju alir 6 L/menit di filter silika-karbon aktif.

(Author)

Kata kunci : karpet, air limbah, lateks, koagulasi, karbon aktif

---

Ajeng Arum Sari<sup>1</sup>, Muryanto<sup>1</sup>, Hasbi Yasin<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Pusat Penelitian Kimia, Tangerang; <sup>2</sup>Departemen Statistika, UNDIP, Semarang)

Metode permukaan respon dan aplikasinya pada pengolahan air limbah lindi hitam dengan menggunakan reaksi Fenton

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Mei 2017, Vol. 8, No. 1, p. 23-34, 2 ill, 5 tab, 28 ref

Pembuatan bioetanol dari tandan kosong kelapa sawit menghasilkan lindi hitam dengan karakteristik nilai COD yang tinggi dan nilai kelarutan oksigen yang rendah. Lignin sebagai senyawa utama dalam lindi hitam dapat didegradasi dengan menggunakan oksidasi tinggi dari sistem radikal OH seperti metode Fenton. Setelah itu, lindi hitam tersebut dapat didekolorisasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi optimum variabel pH, konsentrasi FeSO<sub>4</sub>, dan konsentrasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> untuk mendekolorisasi lindi hitam dengan menggunakan metode desain komposit pusat. FeSO<sub>4</sub> dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> digunakan untuk reagen Fenton. Proses pengadukan dilakukan di *jar test* dengan kecepatan 200 rpm selama 10 menit, kemudian kecepatan pengadukan diturunkan hingga 50 rpm selama 2 jam, dan disedimentasi 24 jam. Dekolorisasi tertinggi lindi hitam dengan metode Fenton diperoleh sebesar 52% pada pH 13 dengan

---

perbandingan volume H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dan FeSO<sub>4</sub> 1:1. Metode permukaan respon merupakan metode yang baik untuk mengoptimasi variabel-variabel sehingga mampu meningkatkan efisiensi dekolorisasi air limbah lindi hitam. Dekolorisasi air limbah lindi hitam dapat ditingkatkan hingga mencapai 73% apabila pH, konsentrasi FeSO<sub>4</sub>, dan konsentrasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang digunakan masing-masing sebesar 6,64; 0,1 M, dan 3,68 M dengan menggunakan metode permukaan respon. Konsentrasi optimum ini diaplikasikan untuk mendekolorisasi air limbah lindi hitam dan didapatkan efisiensi penyisihan sebesar 68,78%. Hal ini menunjukkan bahwa metode Fenton mempunyai potensi dalam mengatasi permasalahan air limbah lindi hitam pada proses pembuatan bioetanol.

(Author)

Kata kunci : dekolorisasi lindi hitam, Fenton, metode permukaan respon, desain komposit pusat

---

Januar Arif Fatkhurrahman, Ikha Rasti Julia Sari, Nur Zen (Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang)

*Low cost particulate* sensor sebagai unit kontrol untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air proses *wet scrubber*

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Mei 2017, Vol. 8, No. 1, p. 35-42, 7 ill, 4 tab, 10 ref

Teknologi *wet scrubber* sebagai pengendali cemaran udara terutama partikulat telah banyak digunakan pada berbagai peralatan proses di berbagai industri. Umumnya, kondisi *wet scrubber* pada industri kecil dan menengah tidak dilengkapi dengan unit kontrol air proses, sehingga terjadi in-efisiensi penggunaan air proses yang berakibat pada cemaran air yang dibuang ke lingkungan. Dirancang sebuah kegiatan penelitian dengan mengacu pada modifikasi mekanisme penyerapan cemaran partikulat emisi, review data analisis cemaran partikulat di industri pada pengendalian partikulat tanpa kontrol penggunaan air proses. Penerapan kontrol proses berbasis mikrokontroler pada operasional penggunaan air proses digunakan untuk mengetahui kinerja penghematan air proses sebagai air penjerap. Beban partikulat divariasikan sebagai tiga tingkatan beban partikulat dan digunakan sebagai penentu efisiensi pengikatan terhadap beban partikulat. Hasil ujicoba peralatan dengan perangkat kontrol yang dilakukan dalam dua variasi formulasi proses yaitu 100-300-600 dan 200-400-600 tidak menunjukkan perbedaan nyata, namun efisiensi antar kedua formulasi tersebut mampu meningkatkan penghematan air proses rata-rata sebesar 59,8%, dengan kata lain mampu mengurangi cemaran ke badan lingkungan sebesar 32,3 l/h. Simulasi pembebanan partikulat dilakukan dengan *wet scrubber* dengan sampel partikel berdiameter <2,5 µm dan laju partikulat 1 m/s.

(Author)

Kata kunci : *wet scrubber*, cemaran partikulat, mikrokontroler, efisiensi air proses, penyerapan air

---

Nana Mulyana<sup>1</sup>, Tri Retno Dyah Larasati<sup>1</sup>, Srikandi<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Jakarta; <sup>2</sup>Jurusan Biologi, UNB, Bogor)

Stimulasi fitostabilisasi logam berat Pb dan Cd menggunakan inokulan kapang terpapar radiasi gamma dosis 250 Gy

---

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Mei 2017,  
Vol. 8, No. 12, p. 43-54, 11 ill, 1 tab, 30 ref

Fitostabilisasi merupakan bagian dari proses fitoremediasi pada tanah tercemar logam berat menggunakan kombinasi antara tanaman dan inokulan kapang. Pemanfaatan radiasi sinar Gamma dosis rendah bersifat stimulus terhadap kapang dapat meningkatkan kemampuan beberapa *strain* kapang dalam mengakumulasi logam berat. Inokulan kapang *Trichoderma viridie*, *Trichoderma harzianum* dan *Aspergillus niger* diinkubasi pada 28°C selama 7 hari, kemudian dilakukan radiasi Gamma pada dosis 0 Gray dan 250 Gray. Inokulan konsorsia kapang tersebut digunakan sebagai stimulan dalam fitostabilisasi cemaran Pb dan Cd. Tanaman sorgum (*Sorghum bicolor* L.) dan kedelai (*Glycine max* L.) digunakan sebagai akumulator logam Pb dan Cd. Inokulasi konsorsia kapang yang diradiasi Gamma berpengaruh nyata terhadap peningkatan bobot kering biomassa tanaman sorgum dan kedelai masing-masing sekitar 42% dan 31%. Inokulan konsorsia kapang ini juga dapat meningkatkan serapan Pb dan Cd oleh akar tanaman sorgum sekitar 44% dan 31%, serapan Pb dan Cd oleh akar tanaman kedelai sekitar 58% dan 27%. Penggunaan inokulan kapang yang diradiasi Gamma sebagai stimulan fitostabilisasi Pb dengan tanaman kedelai selama 35 hari dapat meningkatkan indek faktor bio-konsentrasi Pb dari 1,749 menjadi 2,391 dan dapat meningkatkan konsentrasi Pb dalam lindi tanah dari 0,781 ppm menjadi 1.337 ppm sedangkan fitostabilisasi Cd dapat meningkatkan indek faktor bio-konsentrasi Cd dari 8,166 ppm menjadi 8,907 ppm. Inokulan konsorsia kapang ini dapat menurunkan indek faktor transfer Cd dari 0,158 ppm menjadi 0,131 ppm dan konsentrasi Cd di dalam lindi tanah dari 0,274 ppm menjadi 0,190 ppm. Hasil ini menunjukkan bahwa inokulan konsorsia kapang yang diradiasi Gamma 250 Gray sesuai dan berpotensi untuk digunakan sebagai stimulan fitostabilisasi Cd dengan tanaman kedelai.

(Author)

Keywords : fitostabilisasi, logam berat, inokulan kapang, radiasi gamma

---



JRT PPI 8 (1) (2017)

Jurnal Riset  
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Journal homepage : [ejournal.kemenperin.go.id/jrtppi](http://ejournal.kemenperin.go.id/jrtppi)

Kementerian  
Perindustrian  
REPUBLIK INDONESIA

## Stimulasi fitostabilisasi logam berat Pb dan Cd menggunakan inokulan kapang terpapar radiasi gamma dosis 250 Gy

*Stimulation of Pb and Cd phytostabilization using mold inoculants exposed gamma-radiation with 250 Gy dosage*

Nana Mulyana <sup>1\*</sup>, Tri Retno Dyah Larasati <sup>1</sup>, Srikandi <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jln. Lebak bulus raya No. 49, Jakarta 12440, Indonesia

<sup>2</sup>Fakultas MIPA Jurusan Biologi, Universitas Nusa Bangsa Bogor, Jln. KH Sholeh Iskandar KM 4, Tanah sereal, Bogor 16166, Indonesia

### INFO ARTIKEL

#### Sejarah Artikel :

Diterima 10 April 2017

Direvisi 05 Mei 2017

Disetujui 05 Mei 2017

Dipublikasikan online 29 Mei 2017

#### Keywords :

Phytostabilization

Heavy metal

Mold inoculants

Gamma radiation

### ABSTRAK

Fitostabilisasi merupakan bagian dari proses fitoremediasi pada tanah tercemar logam berat menggunakan kombinasi antara tanaman dan inokulan kapang. Pemanfaatan radiasi sinar Gamma dosis rendah bersifat stimulus terhadap kapang dapat meningkatkan kemampuan beberapa *strain* kapang dalam mengakumulasi logam berat. Inokulan kapang *Trichoderma viridie*, *Trichoderma harzianum* dan *Aspergillus niger* diinkubasi pada 28°C selama 7 hari, kemudian dilakukan radiasi Gamma pada dosis 0 Gray dan 250 Gray. Inokulan konsorsia kapang tersebut digunakan sebagai stimulan dalam fitostabilisasi cemaran Pb dan Cd. Tanaman sorgum (*Sorghum bicolor* L.) dan kedelai (*Glycine max* L.) digunakan sebagai akumulator logam Pb dan Cd. Inokulasi konsorsia kapang yang diradiasi Gamma berpengaruh nyata terhadap peningkatan bobot kering biomassa tanaman sorgum dan kedelai masing-masing sekitar 42% dan 31%. Inokulan konsorsia kapang ini juga dapat meningkatkan serapan Pb dan Cd oleh akar tanaman sorgum sekitar 44% dan 31%, serapan Pb dan Cd oleh akar tanaman kedelai sekitar 58% dan 27%. Penggunaan inokulan kapang yang diradiasi Gamma sebagai stimulan fitostabilisasi Pb dengan tanaman kedelai selama 35 hari dapat meningkatkan indek faktor bio-konsentrasi Pb dari 1,749 menjadi 2,391 dan dapat meningkatkan konsentrasi Pb dalam lindi tanah dari 0,781 ppm menjadi 1.337 ppm sedangkan fitostabilisasi Cd dapat meningkatkan indek faktor bio-konsentrasi Cd dari 8,166 ppm menjadi 8,907 ppm. Inokulan konsorsia kapang ini dapat menurunkan indek faktor transfer Cd dari 0,158 ppm menjadi 0,131 ppm dan konsentrasi Cd di dalam lindi tanah dari 0,274 ppm menjadi 0,190 ppm. Hasil ini menunjukkan bahwa inokulan konsorsia kapang yang diradiasi Gamma 250 Gray sesuai dan berpotensi untuk digunakan sebagai stimulan fitostabilisasi Cd dengan tanaman kedelai.

### ABSTRACT

Phytostabilization is a part of the phytoremediation process on metal heavy contaminated soil using combination between plants and mold inoculants. The utilization of low-dose radiation Gamma rays to stimulate mold that can improve the ability of some molds in the accumulation of heavy metals. Prior to exposed by Gamma radiation at 0 Gray and 250 Gy, mold inoculants of *Trichoderma viridie*, *Trichoderma harzianum* and *Aspergillus niger* were incubation at 28 °C for 7 days. The inoculants of mold consortia with different dose of Gamma radiation were used as a stimulant for Pb and Cd phytostabilization by sorghum plant mold consortia was significant to increase the dry weight of sorghum and soybean biomass about 42% and 31%. This mold inoculants also able to increase Pb and Cd uptake by root of sorghum about 44 and 31%, Pb and Cd uptake by root of soybean about 58% and 27%. Application of Gamma irradiated mold inoculants as a stimulant of Pb phytostabilization by soybean for 35 days were able to increase

the index of bio-concentration factors from 1.749 ppm to 2.391 ppm and they would increase the concentration of Pb on soil leachate from 0.781 ppm to 1,337 ppm. While the Gamma irradiated mold inoculants as a stimulant of Cd phytostabilization were able to increase the index of bio-concentration factors from 8.166 ppm to 8.907 ppm. The inoculants of mold consortia were able to reduce the index of transfer factors from 0.158 to 0.131 and concentration of Cd on soils leachate from 0.274 ppm to 0.190 ppm. The results show that Gamma irradiated-mold inoculants consortia were suitable and potential to use as a stimulant of Cd phytostabilization by soybean.

© 2017 BBT PPI. All rights reserved.

\*Alamat korespondensi :

E-mail : nanamulyana@batan.go.id (N. Mulyana)

## 1. PENDAHULUAN

Pencemaran logam berat seperti Cd dan Pb menjadi perhatian serius karena dapat menjadi potensi cemaran pada air permukaan dan air tanah, serta dapat menyebar ke daerah sekitarnya melalui air, angin dan penyerapan oleh tumbuhan "bioakumulasi" pada rantai makanan (Hidayat, 2005; Aydinal dkk., 2009). Sumber utama pencemaran logam berat adalah aktivitas antropogenik seperti pembakaran bahan bakar fosil, pertambangan dan peleburan bijih logam, industri metalurgi, penggunaan pupuk anorganik dan pestisida, serta sampah kota (Hidayat, 2005; Mohebbi dkk., 2012; Ahmadpour dkk., 2012; Marquez dkk., 2009). Pencemaran logam berat dapat menyebabkan kerusakan permukaan tanah, pencemaran lahan pertanian, serta kerusakan beberapa fungsi tanah seperti kapasitas penyangga (*buffering*), penyaringan (*filtering*) dan pengubahan (*transforming*) tanah (Vamerali dkk., 2010; Gisbert dkk., 2003). Pencemaran logam berat di dalam tanah juga dapat menyebabkan hilangnya keanekaragaman hayati (Yanqun dkk., 2005).

Toksisitas logam berat menjadi masalah yang serius karena dapat bertahan dalam kurun waktu yang lama di lingkungan (Ahmadpour dkk., 2012; Marquez dkk., 2009). Logam berat tidak dapat dimusnahkan dan hanya dapat diubah dari satu tahap oksidasi atau kompleks organik ke bentuk yang lain (Marquez dkk., 2009). Respon terhadap kebutuhan mengatasi pencemaran logam berat, telah banyak dikembangkan teknologi remediasi terutama

dengan metode mekanis atau fisika-kimia seperti pencucian, penggalian dan penguburan tanah (Vamerali dkk., 2010). Namun, teknologi tersebut memerlukan sumber daya eksternal yang mahal dan menyebabkan tanah menjadi tidak layak untuk aktivitas lebih lanjut seperti pertumbuhan tanaman (Karimi, 2013). Teknologi remediasi tanah tercemar logam berat yang sederhana, efisien, murah dan ramah lingkungan adalah metode fitoremediasi (Mangkoedihardjo dkk., 2008; Kumar dkk., 2012). Metode fitoremediasi yang paling handal dalam penanganan tanah tercemar logam berat adalah fitoekstraksi dan fitostabilisasi (Vamerali dkk., 2010). Fitoekstraksi adalah strategi remediasi yang berlandaskan kemampuan tanaman dalam mengakumulasi cemaran, sedangkan fitostabilisasi adalah strategi remediasi yang berlandaskan immobilisasi logam berat oleh eksudat akar tanaman (Hidayat, 2005).

Pada tanah dengan kandungan cemaran logam berat yang tinggi, penggunaan tanaman untuk menghilangkan logam berat merupakan pendekatan yang kurang tepat karena memerlukan waktu yang sangat lama. Salah satu alternatif mengurangi resiko lingkungan yang ditimbulkan oleh logam berat adalah penggunaan tanaman untuk menstabilkan permukaan tanah sehingga dapat menurunkan erosi dan pencucian logam berat pada lapisan tanah yang lebih dalam. Pilihan ini disebut fitostabilisasi dengan tanaman yang toleran untuk inaktivasi logam berat di dalam tanah, menurunkan mobilitas dan mengurangi potensi masuknya logam berat ke dalam rantai makanan

(Wong dkk., 2012). Fitostabilisasi menggunakan spesies tanaman tertentu untuk inaktivasi cemaran di dalam tanah dan air melalui penyerapan dan akumulasi dalam jaringan tanaman, adsorpsi ke permukaan akar atau pembentukan senyawa yang tidak larut sebagai akibat interaksi cemaran dengan eksudat tanaman di *rhizosfer* (Soudek dkk., 2012).

Logam berat berdampak negatif terhadap pertumbuhan tanaman, tutupan tanah dan mikroflora di dalam tanah (Roy dkk., 2005). Logam berat dapat menggantikan unsur logam penting dalam pigmen atau mengganggu fungsi enzim yang menyebabkan tanah menjadi tidak sesuai untuk pertumbuhan tanaman (Ghosh dkk., 2005). Ketika logam berat terakumulasi di dalam jaringan tanaman sering menyebabkan keracunan baik secara langsung dengan merusak struktur sel maupun tidak langsung melalui penggantian nutrisi penting lain (Marquez dkk., 2009). Salah satu upaya untuk mengurangi dampak toksisitas logam berat dan meningkatkan pertumbuhan tanaman adalah melalui penggunaan inokulan mikroba *rhizosfer* (Kumar dkk., 2012).

Beberapa fungi *rhizosfer* *Trichoderma* sp. dan *Aspergillus* sp. memiliki keunggulan dalam menghasilkan berbagai jenis protein ekstraselular, asam organik dan enzim. Biomassa selnya dapat digunakan sebagai bio-absorben yang efektif untuk menurunkan dan detoksifikasi polutan termasuk logam berat (Dwivedi dkk., 2013; Anastasi dkk., 2011). Penggunaan inokulan *Trichoderma virens* berpengaruh nyata terhadap peningkatan bobot kering biomassa akar dan tajuk tanaman jagung masing-masing sekitar 64% dan 56%. Inokulasi *Trichoderma virens* juga dapat meningkatkan konsentrasi logam berat Cd di dalam akar dan Pb di dalam tajuk tanaman jagung masing-masing sampai 62% dan 64% (Babu dkk., 2014).

Perlakuan radiasi Gamma merupakan salah satu upaya yang bersifat fisik untuk meningkatkan kemampuan beberapa *strain* kapang dalam mengakumulasi logam berat (Das dkk., 2013). Perlakuan radiasi Gamma dosis rendah bersifat menstimulus kapang seperti peningkatan daya tumbuh spora dan pertumbuhan sedangkan pada dosis yang lebih tinggi dapat memusnahkan kapang tersebut (Geweely dkk., 2006). Pada radiasi Gamma dosis 250 Gy

diperoleh peningkatan bobot kering miselia *Trichoderma harzianum* dan *Trichoderma viridie* yang optimal masing-masing sekitar 22,8% dan 16,2% (Afify dkk., 2012). *Aspergillus* sp. yang diradiasi sinar Gamma dengan dosis 20 Gy – 100 Gy menunjukkan peningkatan pertumbuhan dan efisiensi yang tinggi dalam mengakumulasi dan membersihkan cemaran logam berat Cd. (Das dkk., 2013). Biomassa sel mikroba baik hidup atau mati memiliki kemampuan untuk menyerap logam berat (Ann dkk., 2012).

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas inokulan konsorsia kapang yang diradiasi Gamma sebagai stimulan fitostabilisasi cemaran Cd dan Pb di dalam tanah. Pada penelitian terdahulu inokulan kapang tunggal tanpa radiasi Gamma sering digunakan untuk fitostabilisasi logam berat, sedangkan inokulan kapang tunggal yang diradiasi Gamma banyak digunakan untuk pengendali hayati dan pengurai residu pestisida (Afify dkk., 2012; Das dkk., 2013). Dengan demikian, penggunaan konsorsia kapang yang diradiasi Gamma sebagai stimulan fitostabilisasi Pb dan Cd belum pernah dilakukan sebelumnya. Inokulan konsorsia kapang yang diradiasi Gamma dosis rendah diharapkan sesuai untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman dan akumulasi logam berat pada akar tanaman serta menurunkan konsentrasi logam berat di dalam lindi tanah.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Inokulan Kapang yang Diradiasi Gamma

*Strain* *Trichoderma viridie*, *Trichoderma harzianum* dan *Aspergillus niger* dikultivasi dalam media *Potatoes Dextrose Broth* (PDB) menggunakan shaker mekanis pada 150 rpm selama 4 hari. Kultur cair *strain* kapang ini digunakan untuk pembuatan 3 jenis inokulan kapang berbasis kompos, yaitu inokulan *Trichoderma viridie*, *Trichoderma harzianum* dan *Aspergillus niger*. Bahan pembawa berbasis kompos disterilkan dengan radiasi Gamma pada dosis 25 kGy, sebelum digunakan pada pembuatan inokulan kapang. Sterilisasi bahan pembawa organik dengan radiasi Gamma pada dosis 20 kGy dapat memusnahkan sebagian besar mikroorganisme tanah

termasuk aktinomiset dan kapang (Mc Namara dkk., 2003). Pada penelitian ini, bahan pembawa berbasis kompos disterilkan dengan radiasi Gamma pada dosis 25 kGy untuk memperoleh jaminan sterilitas yang baik (Mulyana dkk., 2013). Ke dalam bahan pembawa yang steril ini diinokulasikan kultur cair *strain* kapang sebanyak 10% v/b, sehingga diperoleh tiga jenis inokulan kapang dengan konsentrasi masing-masing sekitar  $10^9$  cfu/g. Semua inokulan kapang berbasis kompos diinkubasi pada 28 °C selama 7 hari, sebelum perlakuan radiasi Gamma pada dosis 250 Gy. Hasil penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa kapang *Trichoderma viridie*, *Trichoderma harzianum* dan *Aspergillus niger* yang dipapar sinar Gamma 250 Gy memiliki tampilan pertumbuhan dan kemampuan mereduksi Pb dan Cd pada medium cair yang lebih baik dibandingkan kontrol (0 Gy), 125 Gy dan 500 Gy (Mulyana dkk., 2013). Sterilisasi bahan pembawa dan perlakuan radiasi gamma dosis rendah masing-masing dilakukan di fasilitas iradiator IRKA dan Gamma Chamber 4000A di Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Pasar Jum'at Jakarta.

## 2.2. Perlakuan Fitostabilisasi Cemaran Pb dan Cd

Perlakuan fitostabilisasi cemaran Pb dan Cd terdiri dari M0T1, M1T1, M2T1, M0T2, M1T2 dan M2T2 di dalam pot plastik berdiameter 22,5 cm, masing-masing 3 kali ulangan. M0 = tanpa inokulasi kapang (kontrol), M1 = inokulan kapang yang tidak diradiasi Gamma, M2 = inokulan kapang yang diradiasi Gamma 250 Gy, T1 = tanaman sorgum (*Sorghum bicolor* L.) dan T2 = tanaman kedelai (*Glycine max* L.).

Tanah tercemar secara artifisial dengan menambahkan larutan Pb dan Cd yang dibuat  $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  dalam akuades steril, sehingga diperoleh konsentrasi cemaran Pb dan Cd masing-masing sekitar 20 ppm. Ke dalam 1800 g (berat kering) tanah tercemar Pb dan Cd ini ditambahkan 200 g pupuk kandang, 5 g pupuk NPK Phonska (15:15:15) dan 2,5 g inokulan kapang berbasis kompos. Pada media tanam yang digunakan sebagai kontrol (tanpa inokulan kapang), ditambahkan bahan pembawa berbasis kompos steril sekitar

2,25 g/pot. Semua media tanam diinkubasi selama 24 jam, sebelum penanaman benih sorgum dan kedelai.

Benih sorgum ditanam sebanyak 5 biji/pot pada tanah yang dicemari Pb dan Cd dengan perlakuan M0T1, M1T1 dan M2T1. Benih kedelai ditanam sebanyak 5 biji/pot pada tanah tercemar Pb dan Cd dengan perlakuan M0T2, M1T2 dan M2T2. Pada 14 hari setelah tanam, dilakukan penjarangan dan disisakan 2 tanaman/pot. Selama 35 hari pemeliharaan tanaman sorgum dan kedelai, dilakukan penyiraman setiap 2 hari dengan air bersih sebanyak 100 ml/pot.

## 2.3. Penentuan Total Kapang

Total kapang di dalam bahan pembawa dan tanah ditentukan dengan metode *Total Plate Count* (TPC). Ke dalam 1 g sampel ditambahkan 9 ml air fisiologis (0,85% NaCl) steril untuk memperoleh suspensi sampel. Suspensi tersebut diencerkan sampai  $10^7$  dengan air fisiologis steril dan dituangkan ke atas lempeng *Potatoes Dextrose Agar* (PDA). Kemudian diinkubasi pada suhu 25°C selama 5-7 hari, dan dilakukan penghitungan jumlah koloni fungi di dalam media tersebut (Saraswati dkk., 2007).

## 2.4. Penentuan Karakteristik Tanah dan Kesuburan

Pemeliharaan tanaman sorgum (*Sorghum bicolor* L.) dan kedelai (*Glycine max* L.) dilakukan selama 35 hari. Sebelum dan setelah penanaman tanaman uji, dilakukan evaluasi karakteristik fisika dan kimia tanah yang meliputi pH, nisbah C/N, kadar  $\text{P}_2\text{O}_5$  (fosfat terlarut), serta konsentrasi Pb dan Cd dalam tanah dan lindi tanah. Pada 35 hari setelah tanam, dilakukan evaluasi pertumbuhan dan respon tanaman terhadap cemaran Pb dan Cd yang meliputi bobot biomassa tanaman, serapan N dan P, serapan Pb dan Cd, faktor bio-konsentrasi dan faktor transfer Pb dan Cd. Penentuan pH tanah dilakukan dengan pH meter digital terhadap filtrat yang diperoleh dari pengocokan campuran sampel dan akuades (1:2,5) dengan shaker mekanis pada 150 rpm selama 30 menit (Alidadi dkk., 2007). Analisis total N, nisbah C/N, total P dan kadar fosfat terlarut ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) dilakukan di Laboratorium Kimia, Universitas Nusa Bangsa, Bogor.

### 2.5. Penentuan Cd dan Pb

Sampel tanah dikering anginkan pada suhu kamar selama 6 hari, kemudian dihaluskan dan diayak dengan saringan nylon 0,25 mm (Yanqun dkk., 2005). Sampel ini digunakan untuk analisis total Cd dan Pb di dalam tanah. Preparasi lindi dilakukan dengan menambahkan 100 ml akuades ke 10 g sampel padat, kemudian dikocok dengan shaker mekanis pada 180 rpm selama 24 jam. Suspensi sampel disaring dengan kertas saring Whatman No. 42. Untuk menyisihkan partikel halus yang tersuspensi, dilakukan pemisahan menggunakan sentrifus (merk HITACHI seri Himac CR21GII) pada 3000 rpm selama 15 menit sehingga diperoleh supernatan yang jernih (Kumar dkk., 2012). Supernatan ini digunakan untuk analisis Cd dan Pb di dalam lindi. Sebelum analisis Cd dan Pb dalam sampel tanaman, tajuk dan akar dicuci dengan air kran yang mengalir dan akuades untuk membersihkan tanah atau debu, kemudian dikeringkan pada suhu 105 °C selama 24 jam. Sampel tanaman kering dihaluskan dan diayak dengan saringan nylon 1 mm (Yanqun dkk., 2005). Analisis Cd dan Pb di dalam sampel tanah, lindi tanah, akar dan tajuk tanaman dilakukan dengan AAS (*Flame Atomic Absorption Spectrophotometer*) di Laboratorium Kimia, Universitas Islam Negeri, Jakarta.

### 2.5. Analisis Statistik

Analisis statistik data menggunakan program SPSS Versi 13.0. Pada evaluasi total kapang terlebih dahulu diubah ke dalam bentuk logaritma, sebelum analisis statistik. Komparasi rerata data menggunakan ANOVA satu arah untuk menunjukkan beda nyata dari beberapa perlakuan. Hasilnya dianggap signifikan jika  $p < 0,05$ .

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sterilisasi bahan pembawa organik dengan radiasi Gamma pada dosis 20 kGy dapat memusnahkan sebagian besar mikroorganisme tanah termasuk aktinomiset dan kapang (Yardin dkk., 2000). Perlakuan radiasi Gamma pada dosis 25 kGy, dimaksudkan untuk memperoleh jaminan sterilitas dan kualitas bahan pembawa berbasis kompos. Radiasi Gamma pada dosis 25 kGy dapat membersihkan

mikroorganisme *indigeneous* di dalam bahan pembawa berbasis kompos seperti disajikan pada Tabel 1. Total bakteri aerob dan kapang yang semula masing-masing  $2,90 \times 10^8$  dan  $1,38 \times 10^7$  cfu/g dapat dibersihkan sampai tidak terdeteksi pada  $10^1$  cfu/g.

**Tabel 1.** Pengaruh iradiasi gamma terhadap kandungan bakteri aerob dan kapang di dalam bahan pembawa berbasis kompos

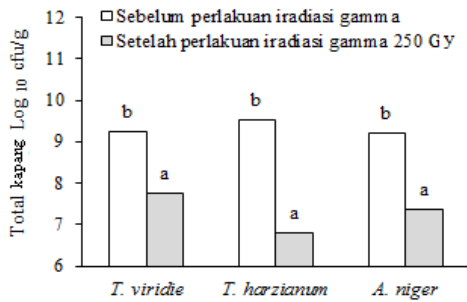
No	Radiasi Gamma, kGy	Sterilisasi radiasi Gamma 25 kGy	
		Sebelum	Setelah
1	Total bakteri aerob	$2,90 \times 10^8$	$< 10^1$
2	Total kapang	$1,32 \times 10^7$	$< 10^1$

Keterangan : cfu = *colony forming units*.

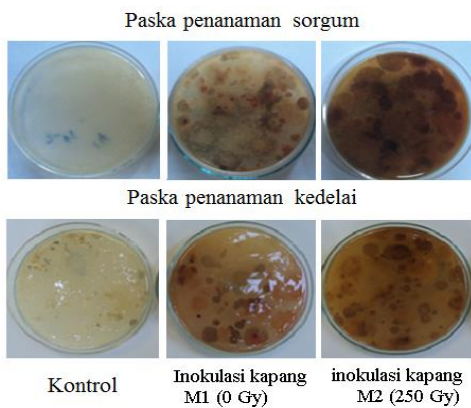
Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kapang dalam medium standar yang diradiasi Gamma dengan dosis 250 Gy memberikan kemampuan optimal dalam mereduksi logam berat Pb dan Cd (Nana dkk., 2013). Perlakuan radiasi Gamma pada dosis 250 Gy dapat menurunkan populasi kapang target di dalam bahan pembawa berbasis kompos seperti disajikan pada Gambar 1. Radiasi Gamma pada dosis 250 Gy menyebabkan penurunan populasi *Trichoderma viridie* dari  $3,78 \times 10^9$  menjadi  $5,78 \times 10^7$  cfu/g, *Trichoderma harzianum* dari  $3,33 \times 10^9$  menjadi  $6,65 \times 10^7$  cfu/g dan *Aspergillus niger* dari  $1,58 \times 10^9$  menjadi  $2,25 \times 10^7$  cfu/g. Ketika populasi mikroorganisme diradiasi Gamma dengan dosis rendah, hanya sebagian sel yang mengalami kerusakan atau termusnahkan. Peningkatan dosis radiasi Gamma berpengaruh terhadap jumlah organisme yang mampu bertahan hidup dan akan menurun secara eksponensial (Moussa dkk., 2003).

Pemberian inokulan kapang M1 dan M2 sebanyak 2,5 g/pot, tidak berpengaruh nyata terhadap peningkatan total kapang di dalam media tanam. Sebelum penanaman benih sorgum dan kedelai, total kapang di dalam media tanam M0 (kontrol), M1 dan M2 masing-masing sekitar  $4,95 \times 10^6$ ,  $9,77 \times 10^6$  dan  $5,02 \times 10^6$  cfu/g. Setelah 35 hari pemeliharaan tanaman sorgum dan kedelai, semua perlakuan inokulasi kapang berpengaruh nyata terhadap pengayaan kapang seperti disajikan pada Gambar 2 dan 3. Total kapang di dalam media tanam M0 (kontrol), M1 dan M2 paska penanaman sorgum masing-masing sekitar

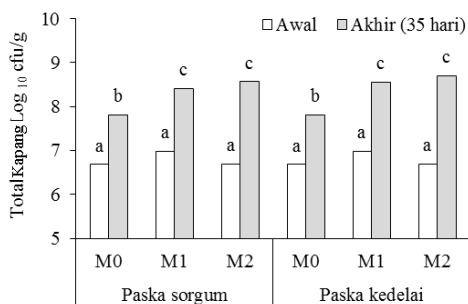
6,38x10<sup>7</sup>, 3,13x10<sup>8</sup> dan 4,26x10<sup>8</sup> cfu/g. Total kapang di dalam media tanam M0 (kontrol), M1 dan M2 paska penanaman kedelai masing-masing sekitar 6,78x10<sup>7</sup>, 3,71x10<sup>8</sup> dan 5,07x10<sup>8</sup> cfu/g. Hasil ini menunjukkan bahwa populasi kapang M2 kurang dari M1 tetapi mampu berperan lebih baik dalam pengayaan populasi kapang di dalam media tanam.



**Gambar 1.** Pengaruh iradiasi gamma terhadap total kapang target di dalam Bahan Pembawa berbasis kompos (indek huruf a dan b menunjukkan beda nyata pada p < 0,05)

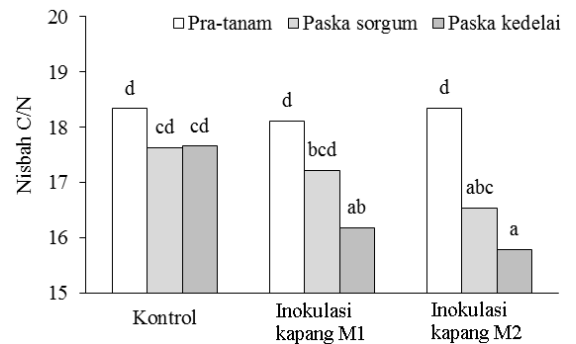


**Gambar 2.** Tampilan kapang dalam media *potatoes dextrose agar* dari sampel tanah paska penanaman sorgum dan kedelai

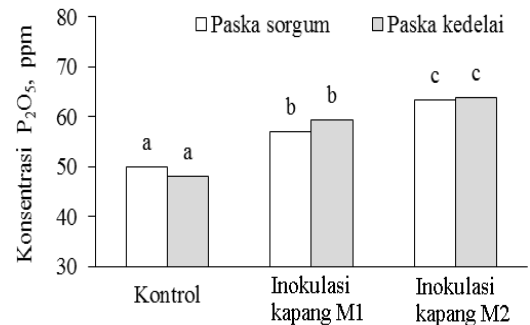


**Gambar 3.** Total kapang di dalam tanah pada pra-tanam dan paska penanaman sorgum dan kedelai (indek huruf a, b dan c menunjukkan beda nyata pada p < 0,05)

Pengayaan populasi kapang di dalam tanah berpengaruh terhadap perubahan nisbah C/N di dalam tanah seperti disajikan pada Gambar 4. Penurunan nisbah C/N dalam tanah yang signifikan diperoleh pada media tanaman kedelai yang diinokulasi kapang M2, yaitu dari 18,34 menjadi 15,78. Inokulasi kapang M2 juga lebih mampu meningkatkan konsentrasi fosfat tersedia (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) di dalam tanah seperti disajikan pada Gambar 5. Pemberian inokulan kapang M2 dapat meningkatkan konsentrasi P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> di dalam media tanaman sorgum sekitar 27% dari 50 ppm menjadi 63,5 ppm. Perlakuan ini juga dapat meningkatkan konsentrasi P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> di dalam media tanaman kedelai sekitar 33% dari 48 ppm menjadi 64 ppm.



**Gambar 4.** Pengaruh inokulasi kapang terhadap perubahan nisbah C/N media tanam (indek huruf a, b, c dan d menunjukkan beda nyata pada p < 0,05)



**Gambar 5.** Pengaruh inokulasi kapang terhadap peningkatan konsentrasi P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> media tanah (indek huruf a, b dan c menunjukkan beda nyata pada p < 0,05)

Di dalam media tanam dengan perlakuan inokulasi kapang terjadi perbaikan tampilan pertumbuhan tanaman sorgum dan kedelai seperti disajikan pada Gambar 6. Perlakuan inokulasi kapang M2 lebih mampu meningkatkan tampilan pertumbuhan tanaman sorgum dan kedelai dibandingkan inokulasi kapang M1 seperti



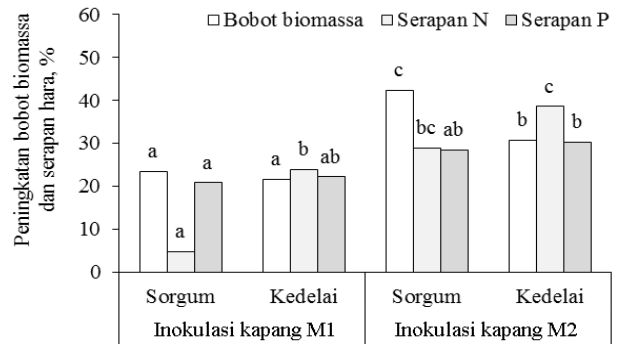
disajikan pada Gambar 7. Percepatan dekomposisi bahan organik dan peningkatan kadar  $P_2O_5$  (fosfat terlarut) di dalam media tanam yang diinokulasi kapang M2 dapat meningkatkan tampilan pertumbuhan tanaman sorgum dan kedelai. Inokulasi kapang M2 berpengaruh nyata terhadap peningkatan bobot kering biomassa tanaman sorgum 42% dari 11 g menjadi 14 g, serapan N sekitar 29% dari 350 mg/pot menjadi 452 mg/pot, serapan P sekitar 28% dari 384 mg/pot menjadi 493 mg/pot. Perlakuan ini juga dapat meningkatkan bobot kering biomassa tanaman kedelai sekitar 31% dari 6 g menjadi 8 g, serapan N sekitar 39% dari 191 mg/pot menjadi 265 mg/pot, serapan P sekitar 30% dari 195 mg/pot menjadi 254 mg/pot.



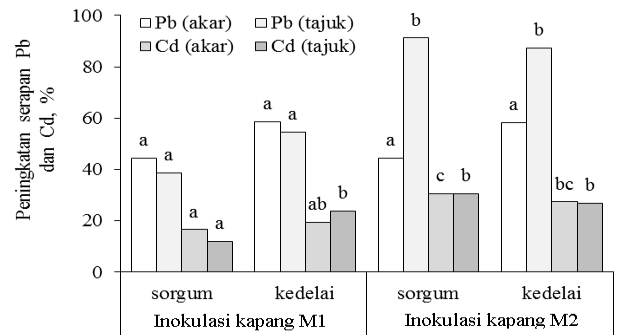
Gambar 6. Tampilan Tanaman Sorgum dan Kedelai pada 35 Hari Setelah Tanam

Semua perlakuan inokulasi kapang menyebabkan perubahan serapan Pb dan Cd oleh tanaman sorgum dan kedelai seperti disajikan pada Gambar 8. Inokulan kapang M1 dan M2 memiliki kemampuan yang tidak berbeda nyata dalam peningkatan serapan Pb oleh akar tanaman sorgum dan kedelai. Kedua perlakuan ini dapat meningkatkan serapan Pb oleh akar tanaman sorgum sekitar 44% dari 75  $\mu\text{g/pot}$  menjadi 108  $\mu\text{g/pot}$  dan serapan Pb oleh akar tanaman kedelai sekitar 58 % dari 86  $\mu\text{g/pot}$  menjadi 136  $\mu\text{g/pot}$ . Peningkatan serapan Pb tertinggi oleh tanaman sorgum dan kedelai diperoleh pada perlakuan inokulasi kapang M2. Perlakuan ini dapat meningkatkan serapan Pb oleh tajuk tanaman sorgum sekitar 91% dari 94  $\mu\text{g/pot}$  menjadi 131  $\mu\text{g/pot}$  dan serapan Pb oleh tajuk tanaman kedelai sekitar 87% dari 37  $\mu\text{g/pot}$  menjadi 58  $\mu\text{g/pot}$ . Adanya perubahan kondisi fisik dan kimia dari tanaman sorgum dan kedelai menyebabkan kemampuan kedua tanaman uji tersebut untuk menyerap Pb. Hal ini disebabkan meningkatnya kemampuan interaksi positif

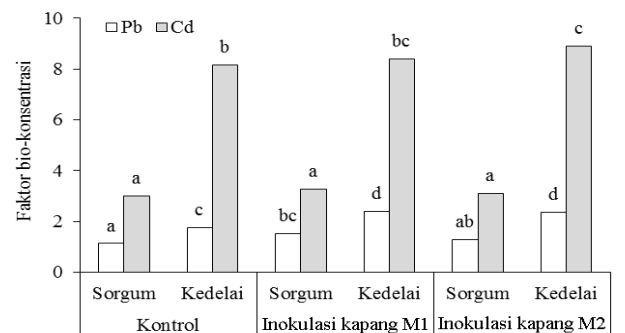
antara bagian tertentu dari kedua tanaman uji dengan logam Pb. Hasil ini mengindikasikan bahwa inokulan kapang M1 dan M2 berpotensi untuk stimulan fitoekstraksi tetapi tidak sesuai sebagai stimulan fitostabilisasi Pb dengan tanaman sorgum dan kedelai.



Gambar 7. Pengaruh inokulasi kapang terhadap peningkatan bobot biomassa dan serapan hara oleh tanaman sorgum dan kedelai (indek huruf a, b dan c menunjukkan beda nyata pada  $p < 0,05$ )



Gambar 8. Pengaruh inokulasi kapang terhadap peningkatan serapan Pb dan Cd oleh tanaman sorgum dan kedelai (indek huruf a, b dan c menunjukkan beda nyata pada  $p < 0,05$ )



Gambar 9. Pengaruh inokulasi kapang terhadap indek bio-konsentrasi Pb dan Cd pada tanaman sorgum dan kedelai (indek huruf a, b, c dan d menunjukkan beda nyata pada  $p < 0,05$ )

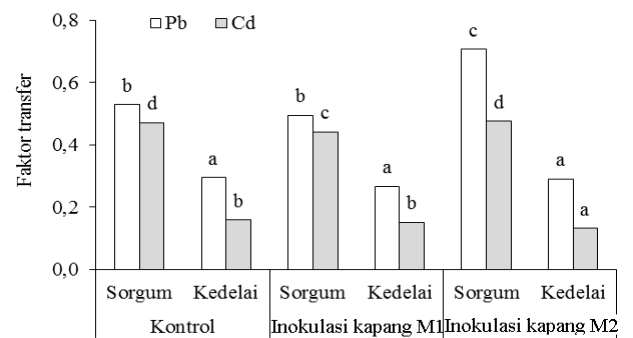
Inokulasi kapang M1 dan M2 juga berpengaruh terhadap peningkatan serapan Cd oleh tanaman sorgum dan kedelai. Perlakuan inokulasi kapang M1 dapat meningkatkan serapan Cd oleh akar tanaman sorgum sekitar 17% dari 199  $\mu\text{g}/\text{pot}$  menjadi 232  $\mu\text{g}/\text{pot}$ , tajuk tanaman sorgum sekitar 12% dari 224  $\mu\text{g}/\text{pot}$  menjadi 151  $\mu\text{g}/\text{pot}$ , akar tanaman kedelai sekitar 19% dari 401  $\mu\text{g}/\text{pot}$  menjadi 479  $\mu\text{g}/\text{pot}$  dan tajuk tanaman kedelai sekitar 24% dari 94  $\mu\text{g}/\text{pot}$  menjadi 116  $\mu\text{g}/\text{pot}$ . Peningkatan serapan Cd tertinggi oleh tanaman sorgum dan kedelai diperoleh pada perlakuan inokulasi kapang M2.

Peningkatan luas permukaan di bagian tertentu pada tanaman menyebabkan kemampuannya untuk menyerap logam berat tertentu juga semakin meningkat. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya serapan Cd oleh akar tanaman sorgum sekitar 31% dari 199  $\mu\text{g}/\text{pot}$  menjadi 260  $\mu\text{g}/\text{pot}$ , tajuk tanaman sorgum sekitar 30% dari 224  $\mu\text{g}/\text{pot}$  menjadi 292  $\mu\text{g}/\text{pot}$ , akar tanaman kedelai sekitar 27% dari 401  $\mu\text{g}/\text{pot}$  menjadi 511  $\mu\text{g}/\text{pot}$  dan tajuk tanaman kedelai 27% dari 94  $\mu\text{g}/\text{pot}$  menjadi 119  $\mu\text{g}/\text{pot}$ .

Indek faktor bio-konsentrasi adalah nisbah konsentrasi logam berat di dalam akar tanaman dan tanah (Yoon dkk., 2006). Tanaman sorgum dan kedelai memiliki indek bio-konsentrasi Pb dan Cd yang berbeda seperti disajikan pada Gambar 9. Inokulasi kapang M1 berpengaruh nyata terhadap peningkatan indek faktor bio-konsentrasi Pb pada tanaman sorgum dari 1,128 menjadi 1,528 serta Cd pada tanaman kedelai dari 1,749 menjadi 2,391. Penggunaan inokulan kapang M2 sebagai stimulan fitostabilisasi dengan tanaman kedelai berpengaruh nyata terhadap peningkatan faktor bio-konsentrasi Pb dari 1,749 menjadi 2,370 dan Cd dari 8,166 menjadi 8,907. Dengan demikian, inokulan kapangi M1 dapat mengoptimalkan akumulasi Pb di dalam akar tanaman sorgum sedangkan inokulan kapang M2 dapat mengoptimalkan akumulasi Pb dan Cd di dalam akar tanaman kedelai.

Indek faktor transfer adalah kemampuan tanaman untuk mengambil logam berat dari akar dan mentranslokasikannya ke bagian tanaman di atas tanah (Yoon J dkk., 2006). Tanaman sorgum dan kedelai tanpa inokulasi kapang (kontrol) memiliki indek faktor transfer

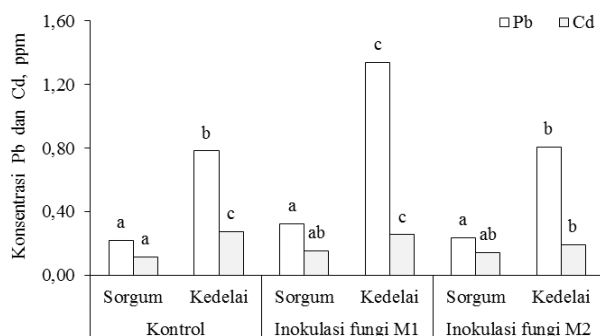
Pb sekitar 0,529 dan 0,294 serta indek faktor transfer Cd sekitar 0,472 dan 0,158. Kedua jenis tanaman ini memiliki indek faktor transfer kurang dari 1 (satu) atau bersifat ekskluder (Ahmadpour dkk., 2012). Tanaman sorgum dan kedelai menunjukkan respon yang berbeda terhadap inokulasi kapang M1 dan M2 seperti disajikan pada Gambar 10. Inokulasi kapang M1 berpengaruh nyata terhadap penurunan indek faktor transfer Cd pada tanaman sorgum dari 0,472 menjadi 0,442. Inokulasi kapang M2 berpengaruh nyata terhadap penurunan indek faktor transfer Cd pada tanaman kedelai dari 0,158 menjadi 0,131.



**Gambar 10.** Faktor transfer Pb dan Cd pada tanaman sorgum dan kedelai dengan stimulan inokulan kapang (indek huruf a, b, c dan d menunjukkan beda nyata pada  $p < 0,05$ )

Pengaruh inokulasi kapang terhadap perubahan konsentrasi Pb dan Cd dalam lindi tanah disajikan pada Gambar 11. Penggunaan inokulan kapang M1 dan M2 sebagai stimulan fitostabilisasi dengan tanaman sorgum tidak berpengaruh nyata terhadap penurunan konsentrasi Pb dan Cd dalam lindi tanah. Pada fitostabilisasi dengan tanaman kedelai, inokulasi kapang M1 dapat meningkatkan konsentrasi Pb dalam lindi tanah dari 0,781 ppm menjadi 1.337 ppm sedangkan inokulasi kapang M2 tidak berpengaruh nyata terhadap penurunan konsentrasi Pb dalam lindi tanah. Penurunan konsentrasi Cd dalam lindi tanah yang signifikan dari 0,274 ppm menjadi 0,190 ppm, diperoleh pada fitostabilisasi dengan tanaman kedelai yang diinokulasi kapang M2. Hasil ini menunjukkan bahwa inokulan konsorsia *Trichoderma viridie*, *Trichoderma harzianum* dan *Aspergillus niger* yang diradiasi Gamma 250

Gy sesuai untuk menurunkan konsentrasi Pb dalam lindi tanah pada fitostabilisasi dengan tanaman kedelai.



**Gambar 11.** Konsentrasi Pb dan Cd di dalam lindi tanah paska penanaman sorgum dan kedelai dengan stimulan inokulan kapang (indek huruf a, b dan c menunjukkan beda nyata pada  $p < 0,05$ )

Penggunaan inokulan konsorsia *Trichoderma viridie*, *Trichoderma harzianum* dan *Aspergillus niger* yang diradiasi Gamma 250 Gy mampu meningkatkan bobot kering biomassa tanaman kedelai dan indek faktor bio-konsentrasi Cd, serta menurunkan indek faktor transfer Cd dan konsentrasi Cd dalam lindi tanah. Fitostabilisasi merupakan pendekatan remediasi untuk mengurangi resiko lingkungan yang ditimbulkan oleh logam berat menggunakan tanaman untuk menstabilkan permukaan tanah, inaktivasi dan immobilisasi logam berat oleh eksudat akar, penurunan ketercucian logam berat, serta mengurangi masuknya logam berat ke dalam rantai makanan (Wong dkk., 2012; Liu dkk., 2010). Hal ini menunjukkan bahwa inokulan konsorsia *Trichoderma viridie*, *Trichoderma harzianum* dan *Aspergillus niger* yang diradiasi Gamma 250 Gy sesuai untuk digunakan sebagai stimulan fitostabilisasi Cd dengan tanaman kedelai.

#### 4. KESIMPULAN

Inokulasi kapang *Trichoderma viridie*, *Trichoderma harzianum* dan *Aspergillus niger* yang diradiasi Gamma 250 Gy berpengaruh nyata terhadap peningkatan tampilan pertumbuhan tanaman sorgum (*Sorghum bicolor* L.) dan kedelai (*Glycine max* L.) di dalam tanah tercemar Pb dan Cd, dibandingkan perlakuan lain. Pemberian inokulan kapang ini dapat meningkatkan bobot

kering biomassa tanaman sorgum sekitar 42% dari 11 g menjadi 14 g dan tanaman kedelai sekitar 31% dari 6 g menjadi 8 g. Inokulasi kapang ini juga dapat meningkatkan serapan Pb akar tanaman sorgum sekitar 44% dari 75  $\mu\text{g}/\text{pot}$  menjadi 108  $\mu\text{g}/\text{pot}$ , serapan Cd akar tanaman sorgum sekitar 31% dari 199  $\mu\text{g}/\text{pot}$  menjadi 260  $\mu\text{g}/\text{pot}$ , serapan Pb akar tanaman kedelai sekitar 58% dari 86  $\mu\text{g}/\text{pot}$  menjadi 136  $\mu\text{g}/\text{pot}$  dan serapan Cd akar tanaman kedelai sekitar 27% dari 401  $\mu\text{g}/\text{pot}$  menjadi 511  $\mu\text{g}/\text{pot}$ . Penggunaan inokulan kapang yang diradiasi Gamma 250 Gy pada fitostabilisasi cemaran Cd dengan tanaman kedelai, berpengaruh nyata terhadap peningkatan indek faktor bio-konsentrasi Cd dari 8,166 menjadi 8,907 dan penurunan indek faktor transfer Cd dari 0,158 menjadi 0,131 serta penurunan konsentrasi Cd di dalam lindi tanah dari 0,274 ppm menjadi 0,190 ppm. Hasil ini menunjukkan bahwa inokulan konsorsia kapang *Trichoderma viridie*, *Trichoderma harzianum* dan *Aspergillus niger* yang diradiasi Gamma 250 Gy sesuai dan berpotensi untuk digunakan sebagai stimulan fitostabilisasi logam berat Cd dengan tanaman kedelai.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR-BATAN) yang telah mendanai kegiatan penelitian ini melalui DIPA tahun 2015, Fakultas MIPA Universitas Nusa Bangsa yang membantu analisa karakteristik tanah serta pihak Laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah yang membantu dalam analisa kadar logam berat Pb dan Cd menggunakan AAS.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Afify AEMR., Mabo-El-Seoud., Ibrahim GM., Helal IMM., Kassem BW., 2012, Exposing of *Trichodermaspp.* to gamma radiation for stimulating its pesticide biodegradation activity, J Rad Res Appl Sci 5(2):440-454.
- Ahmadpour P., Ahmadpour F., Mahmud TMM., Abdul A., Soleimani M and Tayefeh FH., 2012, phytoremediation of heavy metals: A green

- technology, *African Journal of Biotechnology* 11(76):14036-14043.
- Alidadi H., Parvaresh AR, Shahmansouri MR., 2007, Combine compost and vermicomposting process in the treatment and bioconversion of sludge, *Pakistan Journal of Biological Science* 10(21):3944-3947.
- Anastasi A., Parato B., Spina F., Tigini V., Prigione V, Varese GC., 2011, Decolourisation and detoxification in the fungal treatment of textile wastewaters from dyeing processes, *New Biotechnology* 29(1):38-45.
- Ann WC., Ab Rahman NNN., Ab Kadir MO., Chen CC., 2012, Dried and wet *Trichoderma* sp. biomass adsorption capacity on Ni, Cd and Cr in contaminated groundwater, 2012, *International Conference on Environmental Science and Technology IPCBEE*, 30:51-57.
- Aydinalp C and Marinova S., 2009, The effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant (*Medicago sativa*), *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15 (4):347-350.
- Babu AG., Shim J., Bang KS., Shea PJ and Oh BT., 2014, *Trichoderma virens* PDR-28: A heavy metal-tolerant and plant growth-promoting fungus for remediation and bioenergy crop production on mine tailing soil, *Journal of Environmental Management*, 132:129-134.
- Das D., Chakraborty A., Bhar S., Sudarshan M Santra SC., 2013, Gamma irradiation in modulating cadmium bioremediation potential of *Aspergillus* sp, *Journal of Environmental Science*, 3(6):51-55.
- Dwivedi S., Mishra A and Saini D., 2013, Removal of heavy metals in liquid media through fungi isolated from wastewater, *International Journal of Science and Research*, 1(3):181-185.
- Geweely SIN., Nawar LS., 2006, Sensitivity to gamma irradiation of post-harvest pathogens of pear, *International Journal of Agriculture & Biology* 8(6):710-716.
- Ghosh M., Singh SP., 2005, A review on phytoremediation of heavy metal and utilization of its byproducts, *Applied Ecology and Environmental Research*, 3(1):1-18.
- Gisbert G., Ros R., Haro AD., Walker DJ., Bernal MP., Serrano R., 2003, A plant genetically modified that accumulates Pb is especially promising for phytoremediation, *Biochem. Biophys. Commun* 303:440-445.
- Hidayati N., 2005, Ulasan : Fitoremediasi dan potensi tumbuhan hiperakumulator, *Hayati*, 2(1):35-40.
- Karimi N., 2013, Comparative phytoremediation of chromium-contaminated soils by alfalfa (*Medicago sativa*) and *Sorghum bicolor* (L) Moench, *International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences*, 1(3):44-49.
- Kumar M., Kaushik A., Chaidhary S., Sumit., Pal K., 2012, Studies on phytoremediation of heavy metal contaminated soil by *Arbuscular Mycorrhizal Fungus*, *International Journal of Pharma Professional's Research* 3(2):616-621.
- Liu W., Zhou Q., Sun AJY., Liu R., 2010, Variations in cadmium accumulation among Chinese cabbage cultivars and screening for Cd-safe cultivars, *J Hazard Mater* 173(1-3):737-743.
- Mangkoedihardjo S., Surahmida., 2008, *Jatropha curcas* L. for phytoremediation of Lead and Cadmium polluted soil, *World Applied Sciences J* 4(4):519-522.
- Marquez APGC., Rangel AOSS., Castro PML., 2009, Remediation of heavy metal contaminated soils: Phytoremediation as a potentially promising clean-up technology, *Environmental Science and Technology*, 39:622-654.
- Mcnamara NP., Black HIJ., Beresford NA., Parekh NR., 2003, Effect of acute gamma irradiation on chemical, physical and biological properties of soils, *Applied Soil Ecology* 24(2):117-132.
- Mohebbi AH., Harutyunyan SS., Chorom SM., 2012, Phytoremediation potential of three plant grown in monoculture and intercropping with date palm

- in contaminated soil, *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 4 (20):1523-1530.
- Moussa TAA., Rizk MA., 2003, Impact of gamma irradiation stresses: control of sugarbeet pathogens *Rhizoctonia solani* Kuhn and *Sclerotium rolfsii* Sacc, *Pakistan Journal of Plant Pathology* 2(1):10-20.
- Mulyana N., Larasati TRD., Adhari A., 2013, Stimulasi degradasi hidrokarbon dan reduksi logam berat dalam medium cair menggunakan inokulan fungi teriradiasi gamma dosis rendah, *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, Pusat Sains dan Teknologi Akselerator, BATAN*
- Roy S., Labelle S., Mehta P., 2005, Phytoremediation of heavy metal and PAH-contaminated brownfield sites, *Plant and Soil* 272(1-2): 277–290.
- Saraswati R., Husen E., Simanungkalit RDM., 2007, Metode analisis biologi tanah,, *Sumber daya Lahan Pertanian* : 10-18.
- Soudek P., Petrova S., Vanek T., 2012, Phytostabilization or accumulation of heavy metals by using of energy crop *Sorghum sp*, 3rd International Conference on Biology, Environment and Chemistry 46(6):25-29.
- Vamerali T., Bandiera M., Mosca G., 2010, A review: Field crops for phytoremediation of metal-contaminated land, *Environ Chem Lett* 8:1–17.
- Wong MW., 2003, Ecological restoration of mine degraded soils with emphasis on metal contaminated soils, *Chemosphere* 50:775–780.
- Yanqun Z., Yuan L., Jianjun C., Haiyan C., Li Q., Schvart C., 2005, Hyperaccumulation of Pb, Zn and Cd in herbaceous grown on lead–zinc mining area in Yunnan, China, *Environment International* 31: 755–762.
- Yardin MR., Kennedy IR., Thies JE., 2000, Development of high quality carrier for field delivery of key microorganisms used as bio-fertilizers and bio-pesticides, *Radiation Physics and Chemistry*, 57(3-6) Pages 565-568.
- Yoon J., Cao X., Zhou Q., Ma LQ., 2006, Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site, *Sci Total Environ* 368(2-3):456-464.





JRT PPI 8 (1) (2017)

**Jurnal Riset  
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri**

Journal homepage : [ejournal.kemenperin.go.id/jrtppi](http://ejournal.kemenperin.go.id/jrtppi)

**Kementerian  
Perindustrian**  
REPUBLIK INDONESIA

## Low cost particulate sensor sebagai unit kontrol untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air proses wet scrubber

*Low cost particulate sensor as unit control for process efficiency optimization in wet scrubber*

Januar Arif Fatkhurrahman\*, Ikha Rasti Julia Sari, Nur Zen

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Jl. Ki Mangunsarkoro No 6 PO Box: 829, Semarang 50136, Indonesia

### INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel :

Diterima 25 Agustus 2016

Direvisi 2 Desember 2016

Disetujui 7 Februari 2017

Dipublikasikan online 29 Mei 2017

Keywords :

Wet Scrubber

Particulate pollution

Microcontroller

Water process efficiency

Water adsorption

### ABSTRAK

Teknologi *wet scrubber* sebagai pengendali cemaran udara terutama partikulat telah banyak digunakan pada berbagai peralatan proses di berbagai industri. Umumnya, kondisi *wet scrubber* pada industri kecil dan menengah tidak dilengkapi dengan unit kontrol air proses, sehingga terjadi in-efisiensi penggunaan air proses yang berakibat pada cemaran air yang dibuang ke lingkungan. Dirancang sebuah kegiatan penelitian dengan mengacu pada modifikasi mekanisme penyerapan cemaran partikulat emisi, review data analisis cemaran partikulat di industri pada pengendalian partikulat tanpa kontrol penggunaan air proses. Penerapan kontrol proses berbasis mikrokontroler pada operasional penggunaan air proses digunakan untuk mengetahui kinerja penghematan air proses sebagai air penjerap. Beban partikulat divariasi sebagai tiga tingkatan beban partikulat dan digunakan sebagai penentu efisiensi pengikatan terhadap beban partikulat. Hasil ujicoba peralatan dengan perangkat kontrol yang dilakukan dalam dua variasi formulasi proses yaitu 100-300-600 dan 200-400-600 tidak menunjukkan perbedaan nyata, namun efisiensi antar kedua formulasi tersebut mampu meningkatkan efisiensi penghematan air proses rata-rata sebesar 59,8%, dengan kata lain mampu mengurangi cemaran ke badan lingkungan sebesar 32,3 Liter/jam. Simulasi pembebanan partikulat dilakukan dengan *wet scrubber* dengan sampel partikel berdiameter <math><2,5 \mu\text{m}</math> dan laju partikulat 1 m/detik.

### ABSTRACT

Wet scrubber technology has been used as particulate handling on air pollution in general industrial process. In small medium scale industry, wet scrubber is commonly inequipped with air adsorption controlling process, in hand it delivered inefficiency on water utilization, that led to water contamination spreading to environment. For those reasons, research activity had been conducted based on emission mechanism modification on particulate emission with data analysis review in non-controlled water utilization in particulate handling. Microcontroller based wet scrubber application in controlling water utilization of particulate handling was used to measure water saving and increase water efficiency. It was measured by how many water could be saved in three level particulate concentration variation. The result from this research, both 100-300-600 and 200-400-600 formulations delivered insignificant difference in water efficiency, but those both formulations increased water efficiency until 59,8%. On the other hand, it greatly saved 32,3 litres/hour in water that usually was discarded into an environment. This entire particulate simulation process on wet scrubber was held by <math><2,5 \mu\text{m}</math> particulate diameter and 1 m/s particulate flowrate.

© 2017 BBT PPI. All rights reserved.

\*Alamat korespondensi :

E-mail : [januarfa@kemenperin.go.id](mailto:januarfa@kemenperin.go.id) (J A. Fatkhurrahman)

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri di Indonesia beberapa tahun terakhir ini menunjukkan peningkatan yang cukup pesat. Berdasarkan data BPS selama kurun waktu 2010 – 2015, perkembangan industri di Indonesia mengalami kenaikan rata – rata sebesar 4,2 % (BPS, 2016). Seiring perkembangan industri, unit – unit proses dengan teknologi yang makin kompleks ikut berkembang, baik unit produksi maupun unit pengendali cemaran terhadap lingkungan. *Wet scrubber* merupakan salah satu teknologi proses yang banyak digunakan sebagai unit pengendali cemaran udara, terutama partikulat yang diemisikan oleh unit proses boiler, *heater*, maupun tungku pemanas (Lee dkk., 2013). Cemaran dari partikulat merupakan salah satu faktor emisi yang memberikan dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Gozzi dkk., 2015). Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) menyebutkan, paparan partikulat baik di dalam maupun luar ruangan menyebabkan 2 juta kematian tiap tahun yang diakibatkan oleh infeksi saluran pernafasan atas (ISPA) maupun kanker paru – paru (WHO, 2011). Penggunaan teknologi *wet scrubber* pada pengendalian cemaran partikulat pada unit proses di industri kecil menengah umumnya melupakan kontrol proses penggunaan air sebagai air penjerap yang adaptif terhadap beban partikulat yang diemisikan. Data analisis partikulat sebuah industri tekstil kecil menengah selama 2 tahun terakhir menunjukkan fluktuasi cemaran partikulat pada unit proses yang dikendalikan dengan *wet scrubber* tanpa adanya kontrol proses tersebut.

**Tabel 1.** Data Analisis Partikulat pada Sampel IKM Tekstil

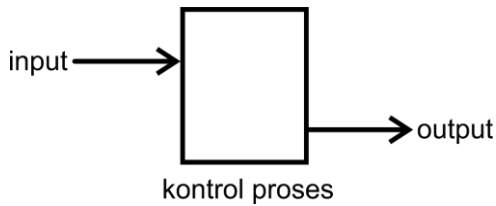
No	Periode	Emisi Partikulat (mg/Nm <sup>3</sup> )
1	Semester 1 - 2014	52,9
2	Semester 2 - 2014	82,21
3	Semester 1 - 2015	25,26
4	Semester 2 - 2015	106,35

Sumber : Data Analisis Laboratorium Pengujian BBTPI Semarang; 2014 - 2015

Rentang data partikulat selama empat kali periode pengukuran menunjukkan perbedaan nilai maksimum sebesar empat kali nilai minimum pengukuran. Sementara penggunaan air proses dalam *wet scrubber* pada keseluruhan periode relatif tetap sesuai dengan spesifikasi unit *scrubber* yang beroperasi, hal ini menyebabkan inefisiensi penggunaan air penjerap dalam *wet scrubber* pada saat beban cemaran partikulat relatif minimum, yang mampu meningkatkan buangan sisa air proses ke badan lingkungan. Sisa air proses yang dibuang ke badan lingkungan tersebut kaya dengan *slurry* pembakaran batubara yang mempunyai komposisi senyawa logam dan zat organik yang berbahaya bagi kesehatan (WV-DEP, 2016).

Untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air proses sebagai air penjerap, air proses yang digunakan perlu dikontrol sesuai dengan beban cemaran partikulat yang diemisikan sebuah unit proses. (Fatkhurrahman dkk., 2016) menyebutkan peluang dan verifikasi penggunaan *low cost particulate sensor* sebagai unit pembaca partikulat berbasis mikrokontroler dengan korelasi linier mencapai 0,88 yang dapat digunakan sebagai langkah modifikasi kontrol proses pada *wet scrubber*. Pada penelitian tersebut, *low cost particulate sensor* hanya digunakan sebagai unit pembaca, bukan sebagai unit kontrol. Penggunaan *low cost particulate sensor* tersebut, dengan harga relatif murah, namun secara prinsip kerja identik dengan kontrol proses pada teknologi *wet scrubber* di industri skala besar (Averdieck, 2011) sehingga *aplicable* digunakan pada industri skala kecil dan menengah. Dengan demikian efisiensi pengikatan partikulat terhadap laju air penjerap dapat dihitung sebagai penghematan air proses dan pengurangan beban cemaran air ke lingkungan. *Low cost particulate sensor* membaca beban partikulat tiap periode waktu tertentu yang dapat digunakan untuk mengontrol laju air penjerap dengan kendali mikrokontroler. Mikrokontroler merupakan sebuah sistem komputer fungsional dalam sebuah chip. Dapat digambarkan, pada kontrol proses berbasis mikrokontroler terdapat input, kontrol proses, dan output (Perangin-Angin, 2010).



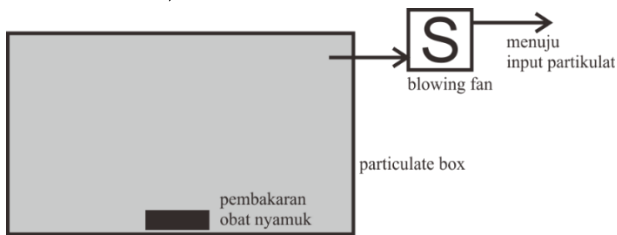


Gambar 1. Desain Mikrokontroler

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini berupa partikel dari hasil pembakaran asap obat nyamuk dengan dimensi partikulat <math><2,5 \mu\text{m}</math> (Liu dkk., 2003) yang ditampung dan disalurkan melalui saluran partikulat. Dimensi partikulat <math><2,5 \mu\text{m}</math> digunakan untuk mempermudah keseragaman ukuran partikulat, jika dibandingkan dengan ukuran partikulat yang lebih besar. Pembakaran asap obat nyamuk ditempatkan dalam sebuah *particulate box* sehingga memberikan beban partikulat yang konstan selama uji coba.



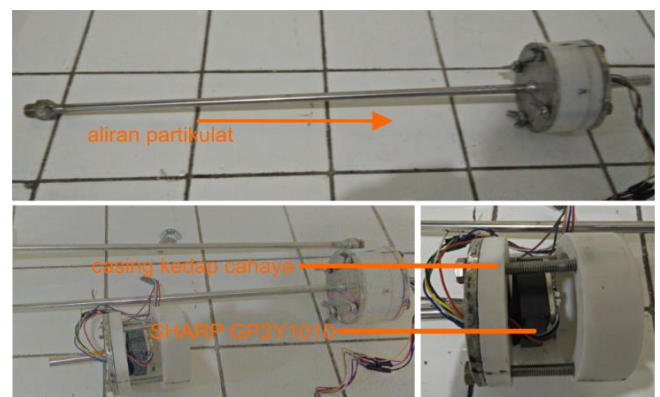
Gambar 2. Perangkat Partikulat Generator

Peralatan utama yang digunakan dalam kegiatan penelitian ini meliputi :

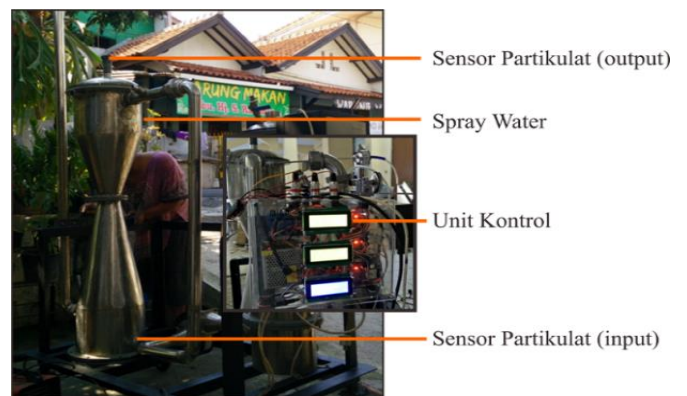
1. Sensor partikulat (Gambar 3); SHARP GP2Y1010. Sensor ini mampu membaca konsentrasi partikulat dengan resolusi <math><1</math> detik. Konsentrasi partikulat tiap waktu merupakan perbedaan tegangan keluar yang dibaca sebagai sinyal analog 0 volt – 5 volt.
2. Unit simulasi *wet scrubber* (Gambar 4), peralatan pada unit ini digunakan untuk mensimulasikan kondisi operasi pada teknologi *wet scrubber*, dengan partikulat uji berdimensi <math><2,5 \mu\text{m}</math>. Pada unit simulasi *wet scrubber* dipasang dua unit sensor partikulat, masing – masing pada bagian partikulat input dan partikulat output. Sensor partikulat pada partikulat input digunakan sebagai pembaca konsentrasi atau

beban partikulat yang masuk ke dalam *wet scrubber*, sekaligus mengontrol laju air penjerap sesuai dengan konsentrasi partikulat yang masuk. Sensor partikulat pada partikulat output digunakan sebagai kontrol untuk mengukur penurunan konsentrasi partikulat setelah melalui pengendalian berbasis *wet scrubber*.

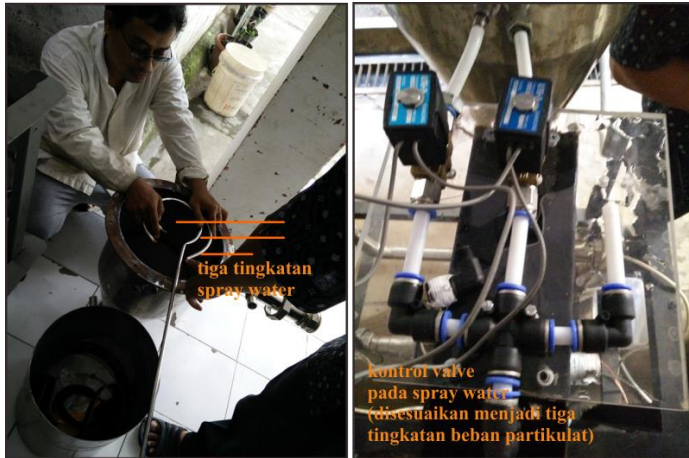
3. Unit air penjerap (Gambar 5), peralatan pada unit ini meliputi pompa air, spray nozzle dan valve kontrol. Terdapat tiga tingkatan valve kontrol menyesuaikan beban partikulat yang dihasilkan untuk mengontrol bukaan spray nozzle. Tiga tingkatan valve kontrol tersebut menyesuaikan beban partikulat rendah, sedang, dan tinggi dengan range partikulat tersebut menyesuaikan spesifikasi teknis sensor partikulat yang dipakai. Dalam hal ini, SHARP GP2Y1010 yang digunakan sebagai sensor partikulat mempunyai rentang pembacaan dari 0 – 700  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , sehingga variasi pembobotan partikulat rendah, sedang, dan tinggi diatur sebagai berikut;



Gambar 3. Casing dan set sensor partikulat (Fatkhurrahman dkk., 2016)



Gambar 4. Unit simulasi wet scrubber

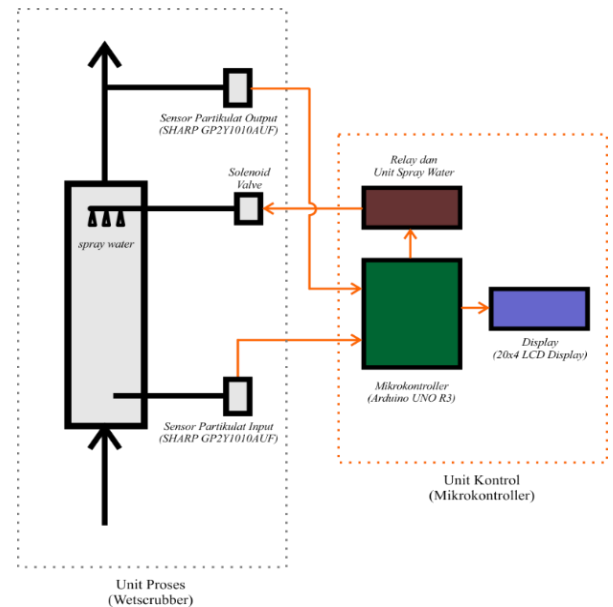


Gambar 5. Unit alat penjerap

- a. Variasi 1 : Formulasi 100-300-600,  
Pada formulasi ini, saat partikulat di bawah angka  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , keseluruhan valve kontrol akan mati dan air tidak digunakan untuk air penjerap, pada saat konsentrasi input partikulat diantara  $101 - 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  hanya 1 (satu) valve kontrol yang akan mengalirkan air dengan total debit 3 mL/detik, selanjutnya pada saat konsentrasi partikulat input diantara  $301 - 600 \mu\text{g}/\text{m}^3$  hanya 2 (dua) valve kontrol yang akan mengalirkan air dengan total debit 8 mL/detik, dan pada saat konsentrasi partikulat input lebih dari  $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$  keseluruhan 3 (tiga) valve kontrol akan mengalirkan air dengan debit maksimal sebesar 15 mL/detik.
- b. Variasi 2 : Formulasi 200-400-600  
Pada formulasi ini, saat partikulat di bawah angka  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , keseluruhan valve kontrol akan mati dan air tidak digunakan untuk air penjerap, pada saat konsentrasi input partikulat diantara  $201 - 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  hanya 1 (satu) valve kontrol yang akan mengalirkan air dengan total debit 3 mL/detik, selanjutnya pada saat konsentrasi partikulat input diantara  $401 - 600 \mu\text{g}/\text{m}^3$  hanya 2 (dua) valve kontrol yang akan mengalirkan air dengan total debit 8 mL/detik, dan pada saat konsentrasi partikulat input lebih dari  $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$  keseluruhan 3 (tiga) valve kontrol akan mengalirkan air dengan debit maksimal sebesar 15 mL/detik.

## 2.2. Prosedur Penelitian

Uji coba dimulai dengan membakar obat nyamuk sehingga dihasilkan partikulat dengan dimensi  $< 2,5 \mu\text{m}$ , rata – rata pembakaran obat nyamuk akan menghasilkan durasi uji coba selama 5 – 7 jam. Partikulat yang dihasilkan dialirkan melalui saluran partikulat menuju input partikulat di *wet scrubber* dengan bantuan *blowing fan* sehingga kecepatan alir partikulat stabil pada 1 m/detik. Kinerja mikrokontroler menentukan banyaknya debit air penjerap yang digunakan sesuai dengan konsentrasi partikulat yang dihasilkan pada pembakaran obat nyamuk. Hal ini dapat digambarkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kerangka Proses Kerja Peralatan

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan air pada peralatan simulasi *wet scrubber* jika tidak dilaksanakan kontrol pada laju air penjerap dihitung sebagai kondisi keseluruhan kontrol valve terbuka mengeluarkan debit air sebesar 54 Liter/jam (data penggunaan air jika tidak dilaksanakan kontrol dapat dilihat pada tabel. 2, pada baris dengan *shading orange*). Analisis data penggunaan air proses yang digunakan sebagai air penjerap didasarkan pada debit air tiap tingkatan *nozzle spray* yang berlangsung selama uji coba.

Banyaknya data penggunaan tingkatan *nozzle spray* (tiap tingkatan terlihat pada baris 0 - 3 di tabel. 2). Data

direkam dalam mikrokontroler, kolom sistem kontrol menunjukkan jumlah kejadian valve kontrol di tiap tingkatan terbuka (ON) yang menunjukkan valve mengalirkan air penjerap, sementara itu, kolom sistem

konvensional menunjukkan total volume air yang dialirkan pada tiap tingkatan selama uji coba dan selanjutnya dianalisis sebagai contoh terlihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Contoh Analisis Penggunaan Air

Tingkatan Nozzle	Waktu Uji Coba (detik)	Sistem Konvensional Kebutuhan Air (mL)	Sistem Kontrol (Scrubber berbasis Mikrokontroler) Kebutuhan Air (mL)
0			0
1			13.584
2			20.580
3			63.889
	17.795	266.925	98053
	4,94 jam	266,925 Liter	98,053 Liter

Kebutuhan air untuk tiap tingkatan *nozzle spray* dihitung berdasarkan periode *valve nozzle spray* terbuka. Sebagai contoh, jika pada tingkat 1, *nozzle spray* terbuka selama 4528 detik, dengan laju air 1mL/detik, maka pada tingkat 1 dibutuhkan air sebanyak 13584 mL atau 13,584 Liter. Kenaikan efisiensi penggunaan air akan mengurangi kinerja pompa yang digunakan untuk menyalurkan air penjerap dan pada akhirnya akan mengurangi penggunaan daya listrik, sebanding dengan peningkatan efisiensi penggunaan air. Analisis perhitungan kebutuhan air penjerap jika dilaksanakan kontrol proses dibagi menjadi dua formulasi, yaitu formulasi 100-300-600 dan 200-400-600, variasi formulasi ini dimaksudkan untuk mengetahui perbedaan efisiensi penggunaan air proses jika batas / tingkatan pengikatan partikulat divariasi, sebagai berikut:

### Formulasi 100-300-600

Pada formulasi ini, saat partikulat di bawah angka 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , keseluruhan valve kontrol akan mati dan air tidak digunakan sebagai air penjerap, pada saat konsentrasi input partikulat diantara 101 – 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  hanya 1 (satu) valve kontrol yang akan mengalirkan air dengan total debit 3 mL/detik, selanjutnya pada saat konsentrasi partikulat input diantara 301 – 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  hanya 2 (dua) valve kontrol yang akan mengalirkan air dengan total debit 8 mL/detik, dan pada saat konsentrasi partikulat input lebih dari 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  keseluruhan 3 (tiga) valve kontrol akan mengalirkan air dengan debit maksimal sebesar 15 mL/detik. Data penggunaan air proses pada formulasi ini terlihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Penggunaan Air pada Formulasi 100-300-600

No	Kebutuhan Air (Liter/jam)	Periode Ujicoba (jam)	Total Kebutuhan Air (Liter)	Penghematan Air (Liter/jam)	Total Penghematan Air (Liter)	Efisiensi
1	23,95	2,94	70,4	30,05	88,3	55,6
2	20,26	3,37	68,3	33,74	113,7	62,5
3	22,59	2,38	53,8	31,41	74,8	58,2
4	21,98	5,25	115,4	32,02	168,1	59,3
5	19,84	4,94	98,0	34,16	168,8	63,3
6	24,07	3,63	87,4	29,93	108,6	55,4
7	18,74	5,84	109,4	35,26	205,9	65,3

**Formulasi 200-400-600**

Pada formulasi ini, saat partikulat di bawah angka 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , keseluruhan valve kontrol akan mati dan air tidak digunakan untuk air penjerap, pada saat konsentrasi input partikulat diantara 201 – 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  hanya 1 (satu) valve kontrol yang akan mengalirkan air dengan total debit 3 mL/detik, selanjutnya pada saat konsentrasi partikulat input

diantara 401 – 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  hanya 2 (dua) valve kontrol yang akan mengalirkan air dengan total debit 8 mL/detik, dan pada saat konsentrasi partikulat input lebih dari 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  keseluruhan 3 (tiga) valve kontrol akan mengalirkan air dengan debit maksimal sebesar 15 mL/detik. Data penggunaan air proses pada formulasi ini terlihat pada Tabel 4.

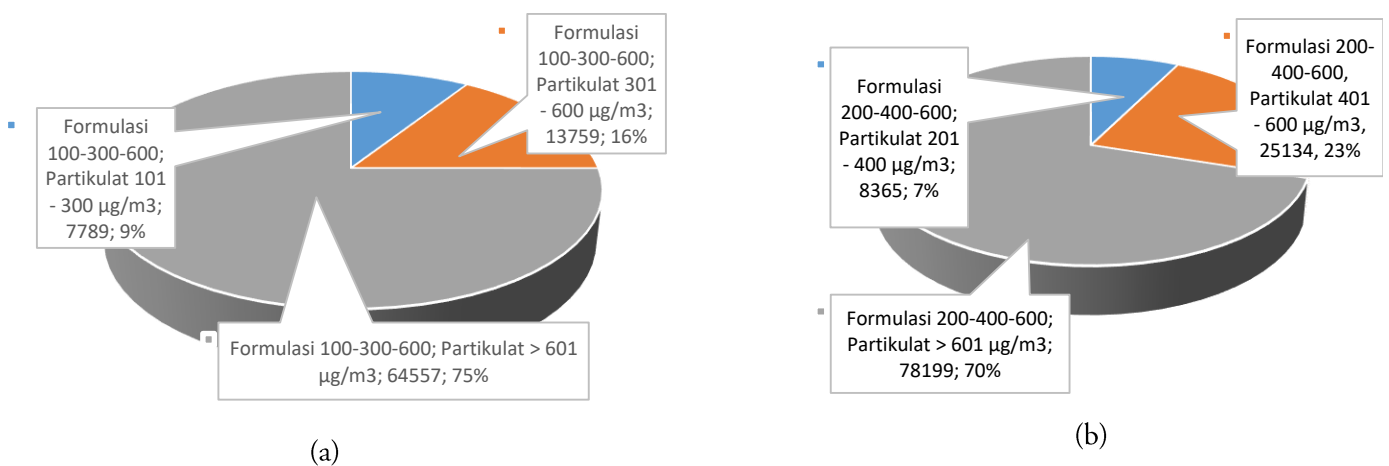
**Tabel 4.** Penggunaan Air pada Formulasi 200-400-600

No	Kebutuhan Air (Liter/jam)	Periode Ujicoba (jam)	Total Kebutuhan Air (Liter)	Penghematan Air (Liter/jam)	Total Penghematan Air (Liter)	Efisiensi
1	20,33	4,96	100,8	33,67	167,0	62,4
2	20,29	5,89	119,5	33,71	198,6	62,4
3	24,19	2,59	62,7	29,81	77,2	55,2
4	20,64	6,91	142,6	33,36	230,5	61,8
5	23,39	7,21	168,6	30,61	220,7	56,7
6	23,76	5,12	121,7	30,24	154,8	56,0
7	19,96	4,67	93,2	34,04	159,0	63,0

Penggunaan formulasi ini secara rata – rata mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air sebesar 59,6% jika dibandingkan operasional peralatan *wet scrubber* yang tidak dilakukan kontrol air penjerap atau sebesar 32,2 Liter/jam.

Jika dilihat kedua formulasi tersebut tidak memberikan hasil efisiensi penggunaan air yang berbeda nyata, hal ini disebabkan batasan spesifikasi teknis sensor partikulat yang digunakan cukup sempit di kisaran 0 – 700

$\mu\text{g}/\text{m}^3$  dengan sinyal yang dikeluarkan dari 0 – 5 volt, sehingga perbedaan 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  akan terbaca sebagai perbedaan tipis beda tegangan sebesar 0,7 volt yang dibaca oleh mikrokontroler (D'Ausilio, 2012). Selain itu, kedua formulasi proses yang tidak memberikan perbedaan nyata pada efisiensi penggunaan air proses disebabkan rata – rata konsentrasi partikulat berada pada rentang > 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , hal ini seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Sebaran Konsentrasi Partikulat pada Hasil Ujicoba; (a) formulasi 100-300-600, (b) formulasi 200-400-600

Konsentrasi partikulat rata – rata selama uji coba di atas 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , sehingga variasi formula di tingkatan kedua

(100 – 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) hanya mencakup sekitar 16 % - 23 % data uji coba, sehingga kedua formulasi tersebut tidak

mampu memberikan beda peningkatan efisiensi proses secara signifikan.

Rata – rata peningkatan efisiensi penggunaan air dari kedua formulasi proses tersebut sebesar 59,8%, yang berarti sebanyak 59,8% atau 32,3 Liter/jam air yang pada proses pengendalian cemaran udara dengan *wet scrubber* tanpa proses kontrol beban partikulat terhadap laju air penjerap dibuang ke badan lingkungan dapat dikurangi. Namun, jika melihat spesifikasi teknis peralatan yang digunakan merupakan skala prototype, perlu dibuat sebuah formulasi teknis dari acuan formulasi pembagian beban partikulat yang telah dilaksanakan jika peralatan ini akan di *scale up* ke skala pilot plant. Variasi dimensi partikulat yang lebih besar diperlukan untuk melihat pengaruhnya terhadap efisiensi *wet scrubber* terhadap pengikatan partikulat dan kinerja sensor partikulat. Penggunaan sensor partikulat dengan rentang kerja yang lebih lebar juga diperlukan untuk mengakomodasi beban partikulat yang lebih besar.

#### 4. KESIMPULAN

Efisiensi penggunaan air pada simulasi perangkat *wet scrubber* berbasis mikrokontroler dengan bantuan *low cost particulate sensor* dapat ditingkatkan sebesar 59,8% yaitu sebanyak 32,3 Liter/jam, dari 54 Liter/jam kebutuhan air proses jika tidak dikontrol menjadi rata – rata sebesar 21,7 Liter/jam air kebutuhan air proses. Sementara itu, sebaran rata – rata konsentrasi partikulat yang berada di atas spesifikasi sensor partikulat yang digunakan (lebih dari 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), menyebabkan tidak ada perbedaan nyata antara kedua variasi formulasi dengan kisaran formulasi 100 – 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , yang digunakan dalam ujicoba, sehingga penggunaan sensor partikulat dengan rentang pembacaan partikulat yang lebih lebar dapat digunakan sebagai langkah aplikatif terhadap peralatan untuk mengukur sejauh mana efisiensi penggunaan air proses dapat dimaksimalkan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana melalui anggaran DIPA BBTPPI.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Averdieck, William, 2011, Selection of particulate monitor, Technical Paper PCME. Cambridge.
- BPS, 2016, Pertumbuhan Indeks Produksi Bulanan Industri Besar dan Sedang, 2010 - 2015. <https://www.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/1062>. Diakses tanggal 28 Maret 2016.
- D'Ausilio, 2012., Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment, Behav Res Methods 44(2): 305 – 313.
- Fatkhurrahman JA., Sari IRJ., Zen N, 2016, Verifikasi low cost particulate sensor sebagai sensor partikulat pada modifikasi teknologi *wet scrubber*. Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri 7(1): 31 – 38.
- Lee BK., Mohan BR., Byeon SH., Lim KS., Hong EP, 2013, Evaluating the performance of a turbulent *wet scrubber* for scrubbing particulate matter, J Air Waste Manag Assoc. 63(5):499-506.
- Liu Weili, Zhang Junfeng, Hashim, Jamal H. Jalaludin, Juliana, Hashim, Zailina, Goldstein, Bernard D., 2003, Mosquito coil emissions and health implications, Environmental Health Perspectives 111(12):1454-1460.
- Gozzi, Fernando, Ventura, Giancarlo Della. Maarcelli, Augusto, 2015, Mobile monitoring of particulate matter: State of art and perspectives, Atmospheric Pollution Research 7(2) : 1-7
- Perangin Angin B., 2010, Rancangan alat pengukur kecepatan kendaraan di jalan tol berbasis mikrokontroler AT89S51. USU. Retrieved from <http://repository.usu.ac.id/handle/123456789/1863>
- West Virginia Department of Environmental Protection (WV-DEP)., 2016, An evaluation of the underground injection of coal slurry in West Virginia: Phase I, Environmental Investigation.
- World Health Organization (WHO).,2011, [http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2011/air\\_pollution\\_20110926/en/index.html](http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2011/air_pollution_20110926/en/index.html). Diakses tanggal 28 Maret 2016.





JRT PPI 8 (1) (2017)

Jurnal Riset  
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Journal homepage : [ejournal.kemenperin.go.id/jrtppi](http://ejournal.kemenperin.go.id/jrtppi)

Kementerian  
Perindustrian  
REPUBLIK INDONESIA

## Pengolahan air permukaan di Banyuasin menggunakan membran keramik berbahan batubara dan *nano clay*

*Surface water treatment in Banyuasin using ceramic membranes utilized mineral coal fly ash and nano clay*

Tri Susanto\*, Chasri Nurhayati

Balai Riset dan Standarisasi Industri Palembang, Jl. Perindustrian II KM. 9 No. 12, Sukarni, Palembang 30961, Indonesia

### INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel :

Diterima 06 Desember 2016

Direvisi 01 Februari 2017

Disetujui 22 Februari 2017

Dipublikasikan online 29 Mei 2017

Keywords :

Coal fly ash

Nano clay

Fe and Mn

Ceramic membranes

Banyuasin

### ABSTRAK

Pemenuhan air bersih di sekitar kawasan industri, tambang dan perkebunan di daerah berbasis rawa seperti Banyuasin, Sumatera Selatan merupakan permasalahan yang serius. Saat ini diperlukan teknik purifikasi air dengan kandungan logam tinggi dan asam menjadi air bersih dengan memanfaatkan teknologi membran. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi optimum penggunaan *fly ash* (FA) dan *nano clay* (NC) batu bara serta pengaruh suhu pembakaran terhadap karakteristik kinerja membran keramik tubular pada unit pengolahan air di wilayah Banyuasin. Untuk kerja membrane keramik dinyatakan dalam penurunan kadar Fe, Mn dan kesadahan ( $\text{CaCO}_3$ ). Komposisi FA: NC divariasikan 2:3, 1:1, 3:2, 7:3 (berat), sedangkan suhu pembakaran divariasikan 700; 800 dan 900°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi FA:NC 1:1 dengan suhu pembakaran 800 °C mampu menurunkan kadar Fe sekitar 90-93%, kadar Mn 62-71% dan kadar  $\text{CaCO}_3$  75-82%. Berdasarkan fotografer XRD dan SEM, tingkat permeabilitas, kekuatan retak dan efisiensi, maka membran keramik dengan komposisi tersebut direkomendasikan untuk digunakan pada unit pengolahan air di Banyuasin.

### ABSTRACT

Clean water supply in the industrial areas, mining and plantations in areas, e.g. swamps based region such as Banyuasin, South Sumatra, is a serious problem. Currently, the necessity of water treatment techniques to purify highly metal content and acidic water into clean water could be achieved by using membrane technology. The research is aimed to study the optimum composition of fly ash (FA): nano clay (NC) and the combustion temperature to produce qualified ceramic tubular membrane, which is used as a part of water treatment plants in Banyuasin. The performance of membrane ceramics is determined by the separation levels of Fe, Mn and hardness ( $\text{CaCO}_3$ ). Composition of FA: NC was varied 2: 3, 1: 1, 3: 2, 7: 3 (by weight), while the combustion temperature was varied 700; 800 and 900 °C. The results showed that the composition of the FA: NC 1: 1 with a combustion temperature of 800 °C could reduce the content of Fe level around 90-93% , Mn level 62-71% and hardness level 75-82%. Based on XRD and SEM photographs, permeability level, fracture toughness, and its efficiency, the ceramic membrane with that composition is recommended to be used in water treatment unit in Banyuasin.

© 2017 BBT PPI. All rights reserved.

\*Alamat korepondensi :

E-mail : [3trisantanto87@gmail.com](mailto:3trisantanto87@gmail.com) (T. Susanto)

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan air bersih di Indonesia merupakan masalah mendesak dikawasan padat industri, perkebunan, hutan, rawa dan pertambangan, sebagai contoh wilayah Sumatera yang mempunyai luas rawa sekitar 10 juta ha (Djaenudin, 2008; Tjahjono, 2006). Penelitian ini mengangkat kasus di Banyuasin, Sumatera Selatan dikarenakan wilayah ini berbasis lahan rawa dan gambut dengan aktivitas perkebunan dan pertambangan yang cukup tinggi. Sifat air permukaan di wilayah tersebut mempunyai tingkat keasaman yang tinggi, berwarna cokelat tua, kadar Mangan dan Besi yang tinggi, sehingga air tersebut tidak layak untuk air kebutuhan industri maupun rumah tangga (Nasir dkk., 2014).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, berbagai teknologi pengolahan air secara kimiawi, fisika maupun biologis telah dilakukan untuk meningkatkan kualitas air dengan menurunkan cemaran logam, mikroba, organik maupun anorganik. Alternatif pengolahan secara kimiawi banyak digunakan karena biaya proses yang relatif murah, tetapi efektivitas dan selektivitasnya rendah dan juga menghasilkan produk sisa samping (Gupta dkk., 2012).

Teknologi *reverse osmosis* mempunyai selektivitas dan efisiensi yang tinggi akan tetapi dibutuhkan biaya operasional yang cukup tinggi (Said, 2008). Saat ini, teknologi membran berbahan polimer (etil selulosa, polivinil alcohol, selulosa asetat) dikembangkan untuk ultra filtrasi air (Agmalini dkk., 2013; Noor, 2001; Notodarmojo dan Deniva, 2004; Said, 2008) juga memiliki kendala yang sama. Mengingat sifat fisik yang lemah, ketersediaan yang rendah dan harga yang cukup tinggi membran polimer hanya digunakan untuk keperluan khusus. Membran keramik dikembangkan sebagai alternative pengolahan air yang lebih mudah, proses kontinyu, konsumsi energi yang rendah dan biaya operasional yang rendah. Keunggulan membran keramik yaitu stabilitas kimia, kekuatan mekanik dan ketahanan yang tinggi terhadap panas, asam dan basa (Khemakhem dkk., 2006). Membran keramik diaplikasikan untuk proses filtrasi, desalinasi maupun purifikasi baik air limbah, air asam tambang, air gambut, air tanah

permukaan, dimana karakteristik (porositas, densitas, luas permukaan gugus aktif), kemampuan (selektivitas dan efektivitas) dan unjuk kerjanya bergantung pada jenis material, komposisi, kondisi pembuatan maupun kondisi operasi (tekanan, gradien konsentrasi, pH larutan *inlet*, dan suhu operasi) (Dong dkk., 2006; Khemakhem dkk., 2007)

Mineral utama penyusun membran menentukan karakteristiknya, sebagai gambaran formula dengan komposisi bahan:  $Al_2O_3$  dapat menghasilkan pori dengan ukuran 0,1 - 1 $\mu$ m dapat diaplikasikan pada penghilangan virus (Khemakhem dkk., 2006); *diatomaceous earth* mampu memfiltrasi bakteri patogen (Dong dkk., 2006); zeolit H dan Y mampu mengolah air asam tambang (Nasir dkk., 2013); dan *nano clay* terlapis  $AgNO_3$  mampu mempurifikasi air menjadi air minum (Jedidi dkk., 2009).

Bahan utama penyusun membran keramik seperti alumina, *zirconia*, zeolit, titania dan *silica*, ketersediaannya rendah dan harga bahan tersebut relatif mahal. Oleh karena itu, mineral alternatif seperti *fly ash* dan *nano clay* perlu dikaji dan dikembangkan sebagai material substitusi dalam pembuatan membran keramik beserta aplikasinya untuk pengolahan air bersih.

*Fly ash* merupakan limbah padat industri pembangkit listrik berbahan baku batubara (Wardani, 2008) yang cukup banyak. Kandungan mineral *fly ash* seperti  $SiO_2$  (52,0%),  $Al_2O_3$  (31,9%),  $Fe_2O_3$ (5%),  $CaO$ (3%) dan  $MgO$  (5%) mampu meningkatkan kemampuan fisik membran keramik (Iyer dan Scott, 2001; Jedidi dkk., 2009; Kutchko dan Kim, 2006). Hal tersebut dikarenakan ukuran *fly ash* batu bara bervariasi dari sekitar 1  $\mu$ m sampai dengan 100  $\mu$ m dan luas permukaannya berkisar antara 200 maupun hingga 700  $m^2/kg$  (Brigatti dkk., 2006), sehingga penggunaannya dapat meningkatkan permeabilitas dan kinerja membran keramik.

*Fly ash* bersifat *amorf*, maka dalam pembuatan membran keramik ditambahkan *clay* untuk memperbaiki sifat fisiknya. *Clay* adalah mineral silikat berlapis (pilosilikat) dengan satu lembaran  $Al_2O_3/MgO_2$ , partikel mineralnya berdiameter 0,002mm, sedangkan partikel *clay* berukuran kurang dari 0,004 mm (Brigatti dkk., 2006). *Clay* akan mengumpul keras dan kaku dalam keadaan



kering, lebih plastis dan melekat apabila terkena air, dan bersifat *viterius* pada suhu pembakaran yang tinggi, sehingga *clay* berfungsi sebagai perekat dan membentuk gumpalan keras dan kaku setelah dibakar pada aplikasi membran keramik (Kodikara dkk., 1999). Membran keramik berbahan dasar *fly ash* dan *nano clay* mempunyai kinerja yang rendah karena perbedaan ukuran partikel (Zevenbergen dkk., 1999). Mengingat kajian mikrofiltrasi berbahan baku *nano clay* masih jarang dilakukan, maka penelitian ini mencoba untuk meningkatkan porositas, densitas dan luas permukaan membran menggunakan *nano clay*.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui komposisi optimum *nano clay* dan *fly ash* serta suhu pembakaran pembuatan membran keramik tubular terhadap unjuk kerja maupun karakteristik fisik permukaannya. Membran keramik tubular di ujicobakan untuk filtrasi pengolah air permukaan di Banyuwasin. Analisa unjuk kerja efektifitas membran keramik dikaji melalui penurunan kadar (persentase permeabilitas) Fe, Mn dan  $\text{CaCO}_3$ . Diharapkan hasil penelitian ini dapat berkontribusi pada pengembangan teknologipenggunaan membran keramik untuk penyediaan air bersih.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Alat dan Bahan

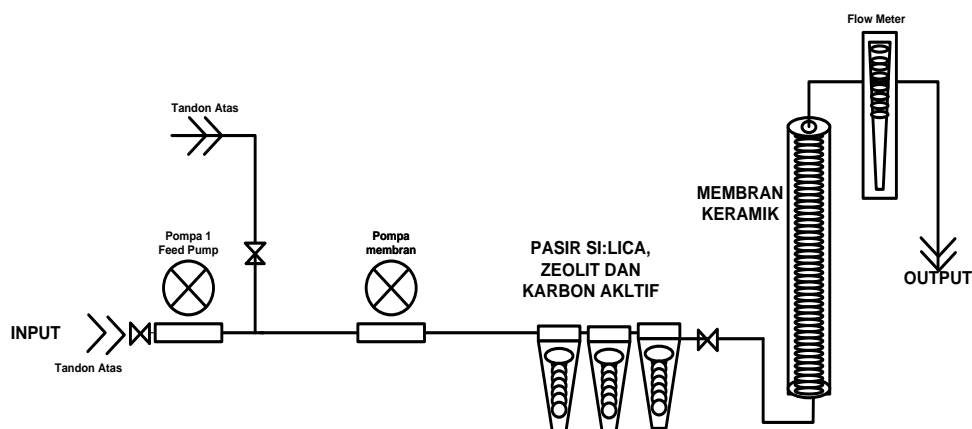
*Fly ash* batu bara diambil di PLTU Muara Enim pada bulan Maret 2013, *Nano clay* dari PT Tunas Inti

Makmur Semarang, cetakan membran, furnace, alat pengolah air (*membrane housing*), pH meter, dan *Atomic Absorption Spectrometer* (AAS). Untuk membuat *nano clay* digunakan *Planetary ball mill*, sedangkan karakteristik morfologi permukaan di analisa menggunakan SEM (JEOL 330) dan XRD (Shimadzu model X-RD 6000).

### 2.2. Metode

Pengambilan contoh dilakukan di daerah Tanjung Siapi api, Kabupaten Banyuwasin, Sumatera Selatan pada bulan Juni 2013 di 3 lokasi yaitu air sumur, air sungai dan daerah rawa. Metode pengambilan contoh sesuai SNI 6989.59:2008.

Preparasi pembuatan membran keramik tubular dilakukan sesuai metode *slip casting* (Baker, 2000; Jedidi dkk., 2009) dengan memvariasikan perbandingan berat *fly ash:nano clay* sebanyak 4 level yaitu (2:3), (1:1), (3:2), (7:3) dan suhu pembakaran divariasikan 3 level yaitu  $700^\circ\text{C}$ ,  $800^\circ\text{C}$  dan  $900^\circ\text{C}$ . Campuran *fly ash* dan *nano clay* ditambahkan air sekitar 25%, kemudian pencetakan bentuk tubular dengan ukuran diameter dalam 3,5 cm; diameter luar 4,5 cm; ketebalan 1 cm; panjang 75 cm. Bahan dicetak, dikeringkan pada suhu kamar selama 7 hari, kemudian dibakar dengan *furnace* sesuai dengan variasi suhu pembakaran tersebut. Pembakaran dilakukan selama 12 jam yaitu 4 jam pengeringan pada suhu  $120^\circ\text{C}$ , dan dilanjutkan dengan kenaikan laju pemanasan  $3^\circ\text{C}/\text{menit}$ .



Gambar 1. Desain teknik unit pengolah air menggunakan

Pengujian unjuk kerja dilakukan menggunakan unit alat pengolah air sesuai pada Gambar 1 pada tiap varian yaitu 12 membran keramik dengan 2 replikasi. Alat dikondisikan beroperasi pada tekanan 0,05 atm, suhu kamar dan debit air inlet 0,1 mL/s, dilakukan *backwash* (pencucian terbalik menggunakan 0,1N asam klorida dan akuades dengan laju alir yang tinggi). *Permeat* diuji pH, kadar Fe, Mn dan  $\text{CaCO}_3$  (triplo) sesuai metode SNI 01-3554-2006. Efektivitas kinerja membran keramik dinyatakan dengan penurunan kadar Fe, Mn dan  $\text{CaCO}_3$ . Permeabilitas/persentase penurunan kadar dihitung dengan membandingkan selisih antara konsentrasi inlet dan permeat dengan konsentrasi outlet membran keramik.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Analisa Kualitas Air Permukaan

Kualitas air permukaan pada Tabel 1 menunjukkan kemiripan dengan air asam tambang, pH berkisar antara 2 - 4, kandungan Mn antara 0,5-1,0 mg/L dan kandungan Fe berkisar antara 6-17 mg/L. Hal serupa juga ditemukan pada penelitian (Afrianty dkk., 2012; Wibisono dkk., 2009) yang telah mengkaji kualitas air rawa di daerah Sumatera Selatan dan menyatakan bahwa secara umum belum memenuhi persyaratan air bersih sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan No: 416/MEN/KES/PER/XI/1990. Banyuasin merupakan lahan gambut yang dikembangkan untuk aktivitas perkebunan kelapa sawit dan karet dengan tingkat pemupukan yang cukup tinggi. Hasil pengukuran kekeruhan (*Total Dissolved Solid*) yang tinggi pada ketiga lokasi mengkonfirmasi bahwa kandungan asam organik seperti asam humat, asam fulvat dan humin dalam air menaikkan nilai kekeruhan air. Hal tersebut didukung dengan hasil pengukuran pH air pada lokasi yang cukup asam, hal ini sejalan dengan hasil pengamatan oleh Notodarmojo dan Deniva (2004). Sedangkan pengamatan lain oleh Nasir dkk., (2014) menyatakan bahwa kegiatan pertambangan batu bara dan proses resapan air asam

tambang tersebut berpengaruh secara tidak langsung terhadap kandungan Fe dan Mn di air permukaan.

**Tabel 1.** Hasil Uji Kualitas Air

No	Parameter	Unit	Air Rawa	Air Sumur	Air Sungai
1	pH	-	2,58	4,68	3,55
2	Fe	mg/L	6,4	16,8	6,6
3	Mn	mg/L	0,7	0,6	0,7
4	$\text{CaCO}_3$	mg/L	3170	3150	3090

#### 3.2. Efektivitas Mikrofiltrasi Membran Keramik

Unit alat pengolah air di desain dengan kemampuan mikrofiltrasi membran keramik, sehingga input proses harus dikondisikan (*pretreatment*) agar kinerja mikrofiltrasi lebih optimum. Hal ini dilakukan dengan menambahkan kapur tohor ( $\text{CaCO}_3$ ) serta aerasi selama 1 jam untuk menaikkan pH dan mengurangi kadar Fe, Mn dan  $\text{CaCO}_3$ . Selain menaikkan pH melalui penambahan kapur dan proses hidrolisis air, *pretreatment* juga berperan dalam pengendapan Mn dan Fe menjadi oksida  $\text{MnO}_2$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  karena pengaruh oksidasi udara selama proses aerasi (Nasir dkk., 2014). Fe lebih bersifat reaktif dibandingkan Mn terhadap oksidasi dalam air (hidrolisis) karena  $K_{sp}$   $\text{Fe}(\text{OH})_3$  lebih kecil dibandingkan  $K_{sp}$   $\text{Mn}(\text{OH})_2$ . Tingginya konsentrasi Fe akan menaikkan laju reaksi pengendapan  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Di sisi lain, aerasi dan agitasi asam – asam organik dalam air akan mengubahnya menjadi flokulan dan mengendap. Sedangkan pengurangan kadar kesadahan terjadi akibat naiknya konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  sehingga dengan cepat jenuh menjadi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  segera teroksidasi selama aerasi menjadi endapan  $\text{CaO}$ . *Pretreatment* menghasilkan air inlet unit alat pengolah air dengan spesifikasi pH sekitar 7-8; Kadar Fe 6-8 mg/L; Kadar Mn 0,4-0,7; dan Kadar  $\text{CaCO}_3$  190-250 mg/L.

#### 3.3. Desain Unit Pengolah Air

Gambar 1 menunjukkan satu unit set pengolahan air mulai dari unit adsorpsi pasir silika, *zeolit*, karbon aktif dan unit mikrofiltrasi membran keramik. Urutannya

didesain untuk mengoptimalkan kinerja pengolahan air, mulai dari adsorpsi menggunakan adsorben dengan pori besar dan mikrofiltrasi. Pemisahannya akan didasarkan pada distribusi ukuran molekul maupun ion, dimana yang berukuran lebih besar seperti flokulan organik, residu asam organik, nitrat, nitrit, sulfat dan klorida akan tersaring terlebih dahulu, sedangkan mikrofiltrasi dilakukan oleh membran keramik akan memfiltrasi ion yang berukuran lebih kecil melalui mekanisme adsorpsi yang disebabkan oleh adanya tumbukan partikel dengan *fly ash* yang bergantung dengan jumlah pori pada filter keramik dan luas permukaannya (Baker, 2000).

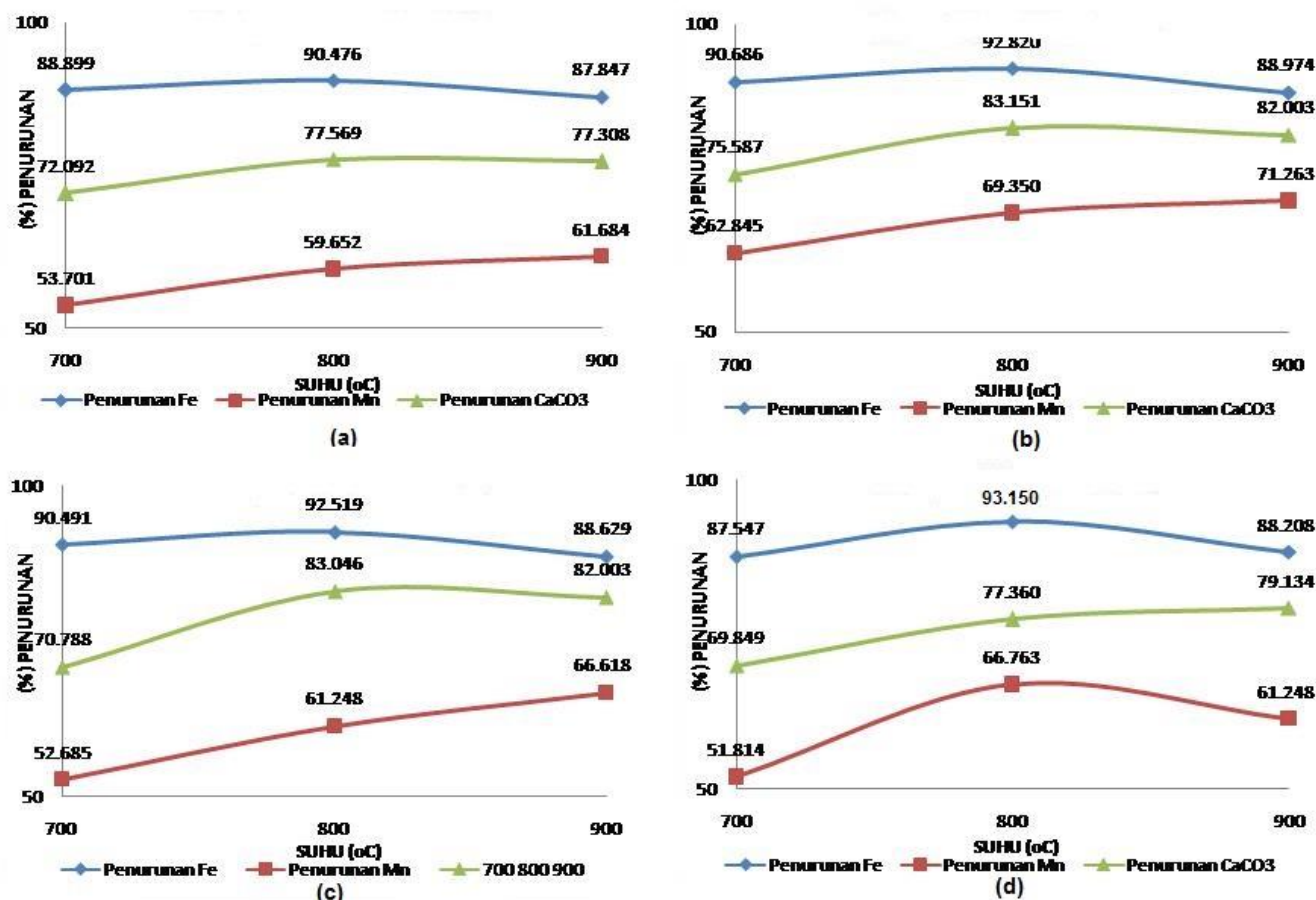
Tabel 2 menunjukkan kinerja permeabilitas membran keramik pada variasi komposisi *fly ash:nano clay* dan suhu pembakaran, sedangkan Gambar 2 menunjukan kinerja unit pengolahan air menggunakan 12 membran keramik tersebut. Penurunan kadar Fe, Mn dan  $\text{CaCO}_3$  pada unit pengolah air adalah cukup besar yaitu berturut-turut berkisar antara 87-93%, 50-66% dan 68-82%. Dilihat dari persentase penurunannya, dapat dikatakan kinerja membran keramik unit pengolah air mempunyai efektivitas / permeabilitas yang cukup tinggi. Selain itu, variasi komposisi *fly ash* dan *nano clay* berpengaruh terhadap besarnya penurunan Fe, Mn dan  $\text{CaCO}_3$ , hal ini mengindikasikan bahwa membran keramik dengan komposisi tertentu akan menghasilkan permeabilitas, selektivitas dan porositas yang berbeda-beda.

### 3.4. Permeabilitas

Permeabilitas merupakan indikator kecepatan suatu spesi (kation atau anion) melewati membran per satuan luas dan waktu dengan gradient tekanan sebagai gaya pendorong (Dong dkk., 2006; Gupta dkk., 2012). Permeabilitas dipengaruhi oleh jumlah, ukuran pori dan porositas. Penambahan NC berpengaruh terhadap kekerasan dan tahan retak membran secara visual, dimana semakin banyak NC maka semakin kokoh dan kristalin, walaupun akan berpengaruh terhadap retak akibat tingginya pemanasan. Berdasarkan data pada Gambar 2 setiap penambahan jumlah NC pada membran keramik akan mengindikasikan semakin rendahnya persentase penurunan Fe, Mn dan  $\text{CaCO}_3$ . Hal serupa diungkapkan oleh (Afrianty dkk., 2012 ; Nasir dkk., 2014) bahwa ukuran FA dan Clay adalah berbeda, sehingga apabila pencampurannya kurang homogen maka membran yang dihasilkan cenderung mempunyai porositas, jumlah pori dan luas permukaan yang terbatas. Dibandingkan dengan kinerja membran dengan komposisi lain seperti tanah lempung dan *fly ash* oleh Agmalini dkk., (2013) untuk aplikasi air rawa atau tanah lempung dan *zeolit* oleh Nasir (2013) untuk pengolah air limbah laundry, 12 jenis membran keramik yang diujicobakan dalam penelitian ini mempunyai permeabilitas yang lebih bagus untuk penurunan kadar Fe dan Mn yaitu setidaknya-tidaknya 50% Fe, Mn dan  $\text{CaCO}_3$  dapat diadsorpsi maupun terfiltrasi dalam penelitian ini.

Tabel 2. Kinerja membrane keramik pada variasi komposisi FA: NC dan suhu pembakaran

	Inlet	Pembakaran Suhu 700 °C				Pembakaran Suhu 800 °C				Pembakaran Suhu 900 °C			
		D1	E1	F1	G1	D2	E2	F2	G2	D3	E3	F3	G3
		FA:NC	FA:NC	FA:NC	FA:NC	FA:NC	FA:NC	FA:NC	FA:NC	FA:NC	FA:NC	FA:NC	FA:NC
		2:3	1:1	3:2	7:3	2:3	1:1	3:2	7:3	2:3	1:1	3:2	7:3
pH	7.33	6,5	6,6	6,86	7,04	6.51	7.43	6,67	6.56	6.56	6.82	7.13	7.01
Fe	6.657	0.739	0.620	0.633	0.829	0.634	0.478	0.498	0.456	0.809	0.734	0.757	0.785
Mn	0.689	0.319	0.256	0.326	0.332	0.278	0.288	0.267	0.229	0,264	0.198	0.230	0.267
CaCO <sub>3</sub>	19.17	5.35	4.68	5.6	5.78	4.30	3.23	3.25	4.34	4.35	3.45	3.45	4.00



Gambar 2. Efektivitas Penurunan Fe, Mn dan CaCO<sub>3</sub> pada rasio FA : NC (a) 2 : 3, (b) 1 : 1, (c) 3 : 2, dan (d) 7 : 3

### 3.5. Selektivitas

Melihat kecenderungan besarnya persentase penurunan kadar Fe, Mn dan CaCO<sub>3</sub>, 12 membran keramik lebih selektif terhadap Fe, Mn dan Ca berurutan. Selektivitas berkaitan dengan kemampuan membran untuk menahan suatu spesi melalui interaksi spesi tersebut dengan permukaan membran serta kesesuaian ukuran partikel spesi dengan pori membran (Jedidi dkk., 2009). Dalam desain alat ini, mikrofiltrasi ion Fe, Mn dan Ca dengan permukaan membran keramik dapat terjadi melalui proses adsorpsi melalui gaya Van Der Waals, ikatan hidrogen, pertukaran kation maupun terjebakannya dalam pori dan rongga membran secara fisik. Ukuran partikel yang besar (Fe) akan menutupi pori permukaan membran, sehingga partikel ukuran yang lebih kecil tidak dapat tertahan dan lolos, untuk itu komposisi *fly ash* dan *nano clay* dengan ukuran tertentu akan lebih selektif terhadap Fe dibanding Ca dan Mn. Hal ini juga akan mengakibatkan terjadinya *fouling*

(terakumulasinya spesi Fe secara permanen pada membran), efek *fouling* harus dihilangkan dengan *backwashing*. Dari selisih koefisien pemisahan, membran keramik bersifat lebih selektif terhadap Fe dibandingkan dengan Mn, hal serupa juga ditemukan oleh (Jedidi dkk., 2009) dan (Afrianty dkk., 2012) yang memanfaatkan *fly ash* sebagai bahan utama membran keramik.

### 3.6. Fracture toughness

Data lain yang diamati pada penelitian ini adalah ketahanan mekanik fisik membran keramik selama proses uji kerja. Secara visual selama proses uji coba, membran dengan komposisi *fly ash* : *nano clay* 2:3 bersifat lebih kokoh dan tidak gampang retak selama uji coba pengolahan air apabila dibandingkan dengan membran *fly ash* : *nano clay* 7:3 untuk perlakuan suhu pembakaran yang sama. Sedangkan pada saat uji coba dengan tekanan yang sama, membran dengan komposisi *fly ash* : *nano clay* 1:1

beroperasi dalam housing jauh lebih lama dan tidak retak dibandingkan dengan *fly ash : nano clay* 3:2. Dapat dikatakan bahwa semakin banyak volume *fly ash* dalam membran, maka akan bersifat semakin rapuh, hal ini terbukti bahwa *fly ash : nano clay* 7:3 mempunyai kekokohan paling lemah. Untuk perlakuan suhu, semakin tinggi suhu, maka akan memicu retaknya membran dengan jumlah *clay* yang lebih banyak. Hal tersebut juga diungkapkan pada penelitian sebelumnya oleh (Khemakhem dkk., 2007; Kodikara dkk., 1999). Oleh karena itu, membran dengan fracture strength yang perlu dipertimbangkan adalah komposisi *fly ash:nano clay* 2:3 dan 1:1 pada suhu pembakaran 800°C.

### 3. 7. Karakterisasi membran keramik dengan XRD dan SEM

Difraktogram sampel *fly ash* batubara menunjukkan oksida utama penyusunnya adalah SiO<sub>2</sub>, alumina oksida dan sodium calcium aluminum silicate (*albite*) yang bersifat amorf. Difraktogram sampel *nanoclay* menunjukkan bahwa mineral yang dominan adalah montmorilonit dengan impurities kuarsa dan feldspar. Pada saat proses pengempaan terjadi proses kompaksi antarmuka partikel, senyawa *montmorilonit* maupun *kaolinite* dari *clay* meningkatkan daya lekat antar partikel senyawa lainnya (*fly ash*) sehingga dapat mempermudah proses *sintering* pada suhu rendah (Wardani, 2008; Wibisono dkk., 2009; Zaharah dkk., 2015). Penambahan *nano clay montmorilonit* juga ditujukan untuk memperbaiki sifat fisik membran keramik termasuk ketahanan tekan, plastisitas, porositas dan resistensi terhadap pembakaran membran (Vercauteren dkk., 1998).

Gambar 3 adalah difraktogram membran keramik yang dihasilkan dalam penelitian ini, sedangkan tabel 3 menunjukkan bahwa membran keramik dengan jumlah *nano clay* lebih sedikit dari *fly ash* mempunyai intensitas Quartz SiO<sub>2</sub> hexagonal (4,74) yang lebih kuat dan juga

intensitas mineral dominant andalusite Al<sub>2</sub>O<sub>5</sub>Si yang cukup lebih tinggi. Berdasarkan tabel 3 puncak *kaolinite clay* tidak muncul dengan jelas secara dominan, hal ini menunjukkan bahwa *kaolinite* bukan senyawa dominan di *clay*. Selain itu, pembakaran pada suhu 800°C juga dapat menyebabkan senyawa *kaolinite* terdekomposisi menjadi senyawa *metakaoline* yang bersifat *amorf* atau non kristal, dan senyawa *magnetite* juga mulai terdekomposisi menjadi *hematite* (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Dapat dikatakan bahwa komposisi *fly ash:nano clay* dan suhu pembakaran tidak berpengaruh terhadap jenis mineral keramik.

Berdasarkan hasil uji potograf SEM pada Gambar 3, dapat dilihat perbedaan permukaan yang cukup jelas kehalusan permukaan membran keramik. Semakin sedikit *nano clay* yang ditambahkan pada membran keramik maka permukaan semakin homogen dan halus, gambar D mengandung *fly ash* 70% sehingga densitasnya tinggi dan permukaannya paling rata dan homogen. *Fly ash* adalah partikel yang lebih halus dan ukuran lebih kecil dibandingkan dengan *nano clay*, sehingga membran keramik D akan bersifat sangat homogen dan lebih halus.

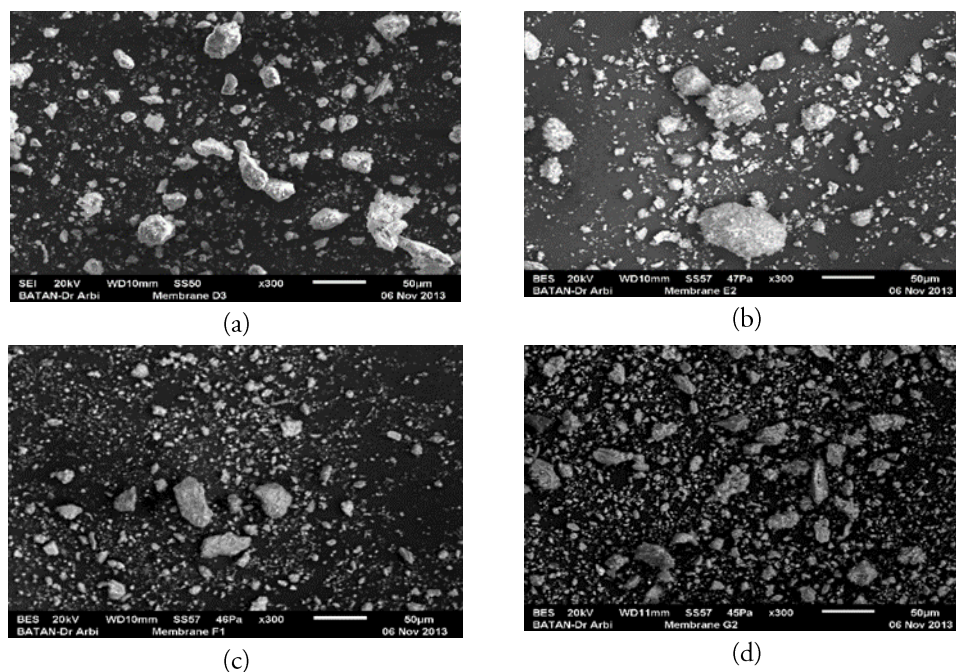
Gambar A dan B menunjukkan ukuran partikel mikron yang tidak halus, cenderung kasar dan kurang homogen. Menurut (Dong dkk., (2006); Jedidi dkk., (2009)) ketidakhomogenan dalam membran keramik tersebut menunjukkan bahwa beberapa partikel terlepas dari badan membran sehingga menutupi luasan pori di permukaan, dan proses *sintering* pada suhu kurang dari 800°C (*densification and coarsening*) belum matang sempurna. Hasil uji F1 menunjukkan bahwa *sintering* belum terjadi sempurna yaitu tidak terlihatnya pori-pori di permukaan secara jelas. Hal ini dikarenakan adanya partikel terlepas sehingga menutupi luasan pori-pori permukaan membran. Keadaan ini akan mempengaruhi permeabilitas dan selektivitas membran keramik.



Gambar 3. Difraktogram Membran Keramik D3, F1, E2 dan G2

Table 3. Ringkasan Difraktogram Varians Membran Keramik

	FA: NC = 2:3 Suhu 900°C	FA: NC = 1:1 Suhu 800°C	FA: NC = 3:2 Suhu 700°C	FA: NC = 7:3 Suhu 800°C
Bar Mineral	Andalusite	Andalusite	Andalusite	Andalusite
Aluminum Silicate Oxide	$Al_2(SiO_4)O$ (Orthorombic)	$Al_2(SiO_4)O$ (Orthorombic)	$Al_2O_5Si$ (Orthorombic)	$Al_2O_5Si$ (Orthorombic)
Intensitas (I/Ic)	0,73	0,73	0,82	0,77
Mineral Silikon Oksida	Quartz $SiO_2$	Quartz $SiO_2$	Quartz $SiO_2$	Quartz $SiO_2$
Intensitas (I/Ic)	0,61	0,61	4,74	4,74



**Gambar 4.** Fotograf SEM (perbesaran x 300) Membran Keramik pada Berbagai Variasi Komposisi FA: NC dan Suhu Pembakaran: (a) 2:3, 900°C; (b) 1:1, 800°C; (c) 3:2, 700°C; dan (d) 7:3, 800°C

#### 4. KESIMPULAN

Dari 12 varians membran keramik yang dipreparasi dan diujicobakan untuk pengolahan air permukaan dari wilayah Banyuasin, komposisi *fly ash:nano clay* 1:1 dengan suhu pembakaran 800°C mempunyai permeabilitas yang cukup tinggi. Membran keramik tersebut mampu menurunkan kadar Fe sekitar 90-93%, kadar Mn 62-71% dan kadar  $\text{CaCO}_3$  75-82%. Komposisi *fly ash:nano clay* 1:1 akan meningkatkan efisiensi sintesis membran dikarenakan penggunaan *nano clay* yang relatif lebih mahal dapat ditekan dan komposisi ini juga cukup tahan retak selama proses operasional pengolahan air. Berdasarkan fotograf SEM dan XRD, membran keramik ini mempunyai permukaan yang cukup halus, homogen dengan sebaran permukaan pori yang cukup jelas pada suhu pembakaran 800°C, sehingga dalam proses pembuatannya energi yang dibutuhkan lebih efisien.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Kepala Pusat Pengkajian Teknologi dan HKI, Kementerian Perindustrian yang telah memberikan hibah

dana DIPA BPKIMI TA 2013, Kepala Baristand Industri Palembang atas penyediaan fasilitas dan sarana pada penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Afrianty C., Gustin L., Dewi TK., 2012, Pengolahan Limbah Air Asam Tambang Menggunakan Teknologi Membran Keramik, *Jurnal Teknik Kimia* 18(3): 16-25.
- Agmalini S., Lingga NN., Nasir S., 2013, Peningkatan kualitas Air Rawa Menggunakan Membran Keramik Berbahan Tanah liat Alam dan Abu terbang batubara, *Jurnal Teknik Kimia* 19(2): 59-68
- Baker RW., 2000, *Membrane technology*, Wiley Online Library.
- Brigatti M., Galan E., Theng B., 2006, Structures and mineralogy of clay minerals, *Developments in clay science* 1: 19-86.
- Djaenudin D., 2008, *Prospek Penelitian Potensi Sumber Daya Lahan di Wilayah Indonesia*, Makalah Orasi

- Pengukuhan Profesor Riset Bidang Pedologi dan Penginderaan Jarak Jauh. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta.
- Dong Y., Liu X., Ma Q., Meng G., 2006, Preparation of cordierite-based porous ceramic micro-filtration membranes using waste fly ash as the main raw materials, *Journal of membrane science*, 285(1): 173-181.
- Gupta VK., Ali I., Saleh TA., Nayak A., Agarwal S., 2012, Chemical treatment technologies for waste-water recycling—an overview. *Rsc Advances*, 2(16): 6380-6388.
- Iyer R., Scott J., 2001, Power station fly ash—a review of value-added utilization outside of the construction industry. *Resources, Conservation and Recycling* 31(3): 217-228.
- Jedidi I., Khemakhem S., Larbot A., Amar RB., 2009, Elaboration and characterisation of fly ash based mineral supports for microfiltration and ultrafiltration membranes, *Ceramics International* 35(7): 2747-2753.
- Jedidi I., Saïdi S., Khemakhem S., Larbot A., Elloumi-Ammar N., Fourati A., Amar RB., 2009, Elaboration of new ceramic microfiltration membranes from mineral coal fly ash applied to waste water treatment, *Journal of hazardous materials* 172(1): 152-158.
- Jedidi I., Saïdi S., Khmakem S., Larbot A., Elloumi-Ammar N., Fourati A., Amar RB., 2009, New ceramic microfiltration membranes from mineral coal fly ash, *Arabian Journal of Chemistry* 2(1): 31-39.
- Khemakhem S., Amar RB., & Larbot A., 2007, Synthesis and characterization of a new inorganic ultrafiltration membrane composed entirely of Tunisian natural illite clay, *Desalination* 206(1): 210-214.
- Khemakhem S., Larbot A., Amar RB., 2006., Study of performances of ceramic microfiltration membrane from Tunisian clay applied to cuttlefish effluents treatment, *Desalination* 200(1): 307-309.
- Kodikara J., Barbour S., Fredlund D., 1999, Changes in clay structure and behaviour due to wetting and drying, Paper presented at the Proceedings 8th Australia New Zealand Conference on Geomechanics: Consolidating Knowledge.
- Kutchko BG., Kim AG., 2006, Fly ash characterization by SEM-EDS, *Fuel* 85(17): 2537-2544.
- Nasir S., 2013, Aplikasi Filter Keramik Berbasis Tanah Liat Alam dan Zeolit pada Pengolahan Air Limbah Hasil Proses Laundry, *Bumi Lestari* 13(1): 29-37
- Nasir S., Ibrahim E., Arief, AT, 2014, Perancangan Plant Pengolahan Air Asam Tambang Dengan Proses Sand Filtrasi, Ultrafiltrasi dan Reverse Osmosis, *Prosiding SNaPP: Sains, Teknologi, dan Kesehatan* 4(1): 194-200.
- Noor M., 2001, Pertanian Lahan Gambut, Potensi dan Kendala: Kanisius.
- Notodarmojo S., Deniva A., 2004, Penurunan Zat Organik dan Kekeruhan Menggunakan Teknologi Membran Ultrafiltrasi dengan Sistem Aliran Dead-End (Studi Kasus: Waduk Saguling, Padalarang), *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences* 36(1): 63-82.
- Said N., 2008, Teknologi pengolahan air minum: Teknologi pengolahan air gambut sederhana, BPPT Press.
- Tjahjono E., 2006, Kajian potensi endapan gambut di Indonesia berdasarkan aspek lingkungan, Jakarta: Pusat Sumber Daya Geologi 4.
- Vercauteren S., Keizer K., Vansant E., Luyten J., & Leysen R., 1998, Porous ceramic membranes: preparation, transport properties and applications, *Journal of Porous Materials* 5(3-4): 241-258.
- Wardani SPR., 2008, Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly ash) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan, Skripsi Universitas Diponegoro.
- Wibisono A., Syafnil S., Sigit M., 2009, Kajian Penggunaan Arang Aktif Sebagai Penyerap Fe, Mn dan Warna Dalam Air Gambut, Fakultas Pertanian UNIB.



Zaharah TA., Wahyuni N., & Suprihatin E., 2015, Pembuatan Membran Silika dari Fly Ash dan Aplikasinya Untuk Menurunkan Kadar COD dan BOD Limbah Cair Kelapa Sawit, Jurnal Kimia Khatulistiwa 4(3): 48-53.

Zevenbergen C., Bradley JP., Van Reeuwijk LP., Shyam A., Hjelmar O., & Comans R N., 1999, Clay formation and metal fixation during weathering of coal fly ash, Environmental science & technology 33(19): 3405-3409.





JRT PPI 8 (1) (2017)

Jurnal Riset  
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Journal homepage : [ejournal.kemenperin.go.id/jrtppi](http://ejournal.kemenperin.go.id/jrtppi)

Kementerian  
Perindustrian  
REPUBLIK INDONESIA

## Metode permukaan respon dan aplikasinya pada pengolahan air limbah lindi hitam dengan menggunakan reaksi Fenton

*Response surface methodology and its application for black liquor wastewater treatment using Fenton reactions*

Ajeng Arum Sari<sup>1\*</sup>, Muryanto<sup>1</sup>, Hasbi Yasin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pusat Penelitian Kimia, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan, Banten 15314, Indonesia

<sup>2</sup> Departemen Statistika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Tembalang, Semarang, Indonesia

### INFO ARTIKEL

*Sejarah Artikel :*

Diterima 06 Februari 2017

Direvisi 21 Maret 2017

Disetujui 22 Maret 2017

Dipublikasikan online 29 Mei 2017

*Keywords :*

Black liquor decolorization

Fenton

Response surface method

Central composite design

### ABSTRAK

Pembuatan bioetanol dari tandan kosong kelapa sawit menghasilkan lindi hitam dengan karakteristik nilai COD yang tinggi dan nilai kelarutan oksigen yang rendah. Lignin sebagai senyawa utama dalam lindi hitam dapat didegradasi dengan menggunakan oksidasi tinggi dari sistem radikal OH seperti metode Fenton. Setelah itu, lindi hitam tersebut dapat didekolorisasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi optimum variabel pH, konsentrasi  $\text{FeSO}_4$ , dan konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}_2$  untuk mendekolorisasi lindi hitam dengan menggunakan metode desain komposit pusat.  $\text{FeSO}_4$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  digunakan untuk reagen Fenton. Proses pengadukan dilakukan di *jar test* dengan kecepatan 200 rpm selama 10 menit, kemudian kecepatan pengadukan diturunkan hingga 50 rpm selama 2 jam, dan disedimentasi 24 jam. Dekolorisasi tertinggi lindi hitam dengan metode Fenton diperoleh sebesar 52% pada pH 13 dengan perbandingan volume  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan  $\text{FeSO}_4$  1:1. Metode permukaan respon merupakan metode yang baik untuk mengoptimasi variabel-variabel sehingga mampu meningkatkan efisiensi dekolorisasi air limbah lindi hitam. Dekolorisasi air limbah lindi hitam dapat ditingkatkan hingga mencapai 73% apabila pH, konsentrasi  $\text{FeSO}_4$ , dan konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang digunakan masing-masing sebesar 6,64; 0,1 M, dan 3,68 M dengan menggunakan metode permukaan respon. Konsentrasi optimum ini diaplikasikan untuk mendekolorisasi air limbah lindi hitam dan didapatkan efisiensi penyisihan sebesar 68,78%. Hal ini menunjukkan bahwa metode Fenton mempunyai potensi dalam mengatasi permasalahan air limbah lindi hitam pada proses pembuatan bioetanol.

### ABSTRACT

Bioethanol production from oil palm empty fruit bunches generated black liquor with high chemical oxygen demand (COD) and low dissolved oxygen (DO). Lignin as the main compound in black liquor can be destructed by using high oxidation from OH radical system such as Fenton method. Thereafter, black liquor can be decolorized. The aim of this research was to determine an optimum condition for black liquor decolorization by using central composite design.  $\text{FeSO}_4$  and  $\text{H}_2\text{O}_2$  were used for Fenton-like's reagent. The process was conducted in jar test at 200 rpm for 10 minutes and after that slowly mixed at (50 rpm) for 2 hours, and left for sedimentation for 24 hours. The highest decolorization of black liquor 52 % was obtained at pH 13 with volume ratio  $\text{H}_2\text{O}_2$  and  $\text{FeSO}_4$  1:1. Response surface methodology (RSM) was used to optimize the variables so the efficiency of wastewater decolorization of black liquor can be increased. Decolorization of black liquor can be increased up to 73% when the pH, the concentration of  $\text{FeSO}_4$  and  $\text{H}_2\text{O}_2$  concentrations were used by 6.64; 0.1 M, and 3.68 M, respectively, using RSM method. This optimum value was applied to decolorize black liquor wastewater and obtained removal efficiency of 68.78%. This suggests that the Fenton method has the potential to overcome the problems of black liquor wastewater in the production of bioethanol.

© 2017 BBT PPI. All rights reserved.

\*Alamat korepondensi :

E-mail : [ajen001@lipi.go.id](mailto:ajen001@lipi.go.id)/[ajeng\\_as@yahoo.co.id](mailto:ajeng_as@yahoo.co.id) (A.A. Sari)

## 1. PENDAHULUAN

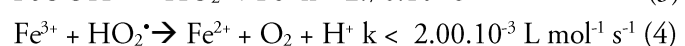
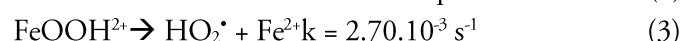
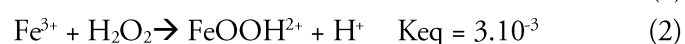
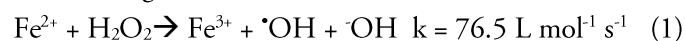
Pengembangan energi baru dan terbarukan menjadi hal serius di Indonesia karena semakin menipisnya cadangan bahan bakar minyak dari fosil. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar cair bioetanol, dinamakan bioetanol generasi 2 atau bioetanol G2. Tahapan proses pembuatan bioetanol adalah perlakuan awal untuk menghilangkan lignin, hidrolisis selulosa untuk menghasilkan glukosa, fermentasi glukosa menjadi etanol, dan distilasi untuk mendapatkan etanol murni. Proses perlakuan awal dapat dilakukan secara kimia dengan menggunakan larutan alkali (NaOH).

Proses perlakuan awal dengan basa mampu menghilangkan lignin dalam TKKS secara efektif, namun proses ini juga menghasilkan air limbah lindi hitam. Produksi bioetanol di Pusat Penelitian Kimia LIPI sebanyak 76,46 kg diperoleh dari TKKS sebanyak 600 kg akan menghasilkan air limbah lindi hitam sebanyak 3000 liter (Sari dkk., 2016). Karakteristik air limbah lindi hitam secara umum terdiri dari senyawa organik dengan kandungan karbon 22,76%, hidrogen 5,16%, oksigen 31,27%, dan lignin 51,23% serta senyawa anorganik seperti NaOH 7-8% (Risanto dkk., 2014, Muryanto dkk., 2015). Air limbah lindi hitam dapat membahayakan ekosistem perairan jika langsung dibuang ke perairan karena air limbah tersebut mengandung konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang tinggi, berwarna, dan *Total Suspended Solid* (TSS) yang tinggi pula (Hewitt dkk., 2006).

Beberapa metode yang umum digunakan untuk mengolah air limbah lindi hitam adalah koagulasi-flokulasi, ultrafiltrasi, *reverse osmosis* (RO), pertukaran ion, adsorpsi, karbon aktif, reaktor membran, elektrokoagulasi, sistem *lagoon*, padatan aktif, anaerob serta pengolahan jamur untuk menghilangkan TSS dan bahan organik terlarut (Bajpai, 2001; Chandra, 2001; Irfan dkk., 2013; Sari dkk., 2015; Sari dkk., 2016; Amriani dkk., 2017; Barlianti dkk., 2017; Burhani dkk., 2017). Metode konvensional seperti koagulasi-flokulasi terkadang memiliki beberapa kelemahan seperti penggunaan bahan kimia banyak, efisiensi rendah

untuk konsentrasi air limbah sangat tinggi, dan terbentuk padatan yang membutuhkan pihak ketiga untuk mengolahnya lebih lanjut. Oleh karena itu, dibutuhkan teknologi maju yang mampu mengatasi permasalahan-permasalahan di atas.

Metode oksidasi tinggi yang diperoleh dari OH radikal seperti teknologi *advanced oxidation processes* (AOPs), fotokatalisis, dan Fenton sedang menjadi salah satu teknologi yang populer digunakan untuk mengolah air limbah lindi hitam (Torrades dkk., 2011; Torrades dan Garcia-Montano, 2014; Muryanto dkk., 2017). Teknologi Fenton banyak digunakan untuk mengolah air limbah organik karena mampu mendestruksi polutan organik, pengurangan toksisitas, peningkatan efisiensi biodegradasi, penyisihan Biochemical Oxygen Demand (BOD)/COD, dan penyisihan bau serta warna (Araujo dkk., 2002). Teknologi Fenton dibutuhkan untuk menyisihkan konsentrasi tinggi COD dan mendestruksi struktur lignin yang terkandung dalam air limbah lindi hitam. Reagen Fenton yang umum digunakan adalah besi sulfat ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) dan hidrogen peroksida karena *high reaction yields*, mudah didapat dan ekonomis. Reaksi yang berkaitan dengan radikal hidroksil dan regenerasi ion  $\text{Fe}^{2+}$  adalah sebagai berikut:



Efisiensi penyisihan COD pada *white liquor* dengan menggunakan sistem ini adalah 62,4% (Sevimli dkk., 2014). Araujo dkk. (2002) menyebutkan bahwa dengan sistem Fenton, degradasi lignin dapat mencapai 95-100%. Proses Fenton untuk menyisihkan COD dan komponen organik lainnya tergantung pada beberapa variabel proses seperti pH, temperatur serta konsentrasi  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  (Ahmadi dkk., 2005).

Banyaknya variabel yang mempengaruhi proses Fenton ini menyebabkan diperlukan desain eksperimen yang tepat sehingga hasil optimasi didapat dalam waktu singkat dan tidak membutuhkan banyak proses eksperimen. *Response Surface Methodology* (RSM) atau metode respon

permukaan merupakan kompilasi desain eksperimental dan beberapa metode berbasis regresi untuk menganalisa masalah di mana beberapa variabel independen mempengaruhi variabel respon dan bertujuan akhir untuk mengoptimalkan respon (Wang dkk., 2007). Metode respon permukaan menggunakan desain eksperimental seperti desain pusat komposit (*Central Composite Design / CCD*), matriks Doehlert, desain Box-Behnken, dan faktorial desain tiga tingkat penuh untuk mengoptimasi data dengan teknik kuadrat (Ferreira dkk., 2007).

Desain eksperimental menyediakan cara yang sistematis untuk memperoleh variabel kombinasi dan interaksi antara variabel dengan jumlah percobaan seminimum mungkin. Plot respon permukaan dapat digunakan untuk mempelajari permukaan dan menemukan kondisi optimum. Optimasi proses Fenton atau foto-Fenton pada air limbah sintetik zat warna seperti Acid Blue 193 dan Reaktif Black 39 dengan menggunakan metode desain pusat komposit telah banyak dilakukan (Arslan-Alaton dkk., 2009; Arslan-Alaton dkk., 2010). Di sisi lain, teknik Box-Behnken telah digunakan untuk optimasi proses Fenton dan foto-Fenton dalam mendegradasi pewarna Direct Red 28 (Ay dkk., 2008; Ay dkk., 2009).

Di dalam penelitian ini, metode desain pusat komposit dengan model linier kuadratik (*Full Quadratic*) dalam bentuk 17 desain faktorial penuh digunakan untuk mengembangkan persamaan matematika, dalam rangka dekolonisasi air limbah lindi hitam dengan menggunakan metode Fenton. Metode ini dipilih karena data pengamatan yang diperlukan untuk membuat model tidak terlalu banyak tanpa menghilangkan informasi tentang efek utama. Selain itu, titik optimum yang diperoleh tidak dipengaruhi oleh range percobaan.

Konsentrasi hidrogen peroksida, konsentrasi besi sulfat, dan pH larutan digunakan sebagai parameter yang mempengaruhi dekolonisasi telah dievaluasi. Ini merupakan penelitian pertama tentang optimasi proses degradasi lindi hitam dengan menggunakan mekanisme Fenton. Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi kondisi optimum proses dekolonisasi lindi hitam dengan menggunakan CCD.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Degradasi air limbah lindi hitam dengan metode Fenton

Air limbah lindi hitam diambil dari proses perlakuan awal pembuatan bioetanol dari TKKS di *pilot plant* Pusat Penelitian Kimia LIPI, Serpong, Tangerang Selatan. Saat akan digunakan, air limbah lindi hitam diaduk hingga tercampur rata. Besi sulfat ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) dan hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) digunakan sebagai reagen Fenton yang menghasilkan hidroksil radikal. Parameter optimasi proses yang digunakan dalam penelitian ini tertera pada Table 1. Variasi pH lindi hitam dilakukan dengan menambahkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  76% ke dalam lindi hitam. Campuran ini diaduk pada *jar test* dalam 2 tahap. Tahap pertama yaitu putaran cepat 200 rpm selama 10 menit, sedangkan tahap kedua yaitu putaran lambat 50 rpm selama 2 jam. Campuran kemudian didiamkan selama 24 jam untuk kemudian dipisahkan larutan dan endapannya dengan cara sentrifugasi pada 10.000 rpm selama 10 menit. Sebagai kontrol, disertakan pula lindi hitam yang ditambahkan  $\text{H}_2\text{O}_2$  atau  $\text{FeSO}_4$  saja

### 2.2. Analisis sampel lindi hitam

Endapan yang masih basah dikeringkan di dalam oven bertemperatur  $100^\circ\text{C}$  selama 24 jam untuk kemudian diukur massanya. Dekolorisasi lindi hitam dan degradasi lignin pada supernatan yang telah disaring diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Agilent Technology Inc Cary 60 UV/Vis, US) pada panjang gelombang masing-masing 575 nm dan 430 nm.

### 2.3. Desain eksperimen dan analisis data

Metode yang digunakan adalah desain pusat komposit dengan model linier kuadratik (*Full Quadratic*) sebagai berikut:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 \quad (5)$$

Proses Fenton ini akan mengoptimasi 3 jenis variabel yaitu pH,  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  dan  $[\text{Fe}^{2+}]$  (Tabel 2).

**Tabel 1.** Parameter Proses Fenton

pH	Rasio volume	Reagen Fenton	
		0.7M FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	3M H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
7	1 : 3	1.25 mL	3.75 mL
	1 : 1	2.5 mL	2.5 mL
	3 : 1	3.75 mL	1.25 mL
10	1 : 3	1.25 mL	3.75 mL
	1 : 1	2.5 mL	2.5 mL
	3 : 1	3.75 mL	1.25 mL
13	1 : 3	1.25 mL	3.75 mL
	1 : 1	2.5 mL	2.5 mL
	3 : 1	3.75 mL	1.25 mL

**Tabel 2.** Kode Level dan Nilai Level dari Variabel Optimasi Proses Fenton

Variabel	Kode Variabel				
	-1.68	-1	0	+1	+1,68
pH	6.64	8	10	12	13.36
[Fe <sup>2+</sup> ] (M)	0.10	0.20	0.35	0.50	0.60
[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] (M)	0.32	1	2	3	3.68

**Tabel 3.** Variabel Optimasi Proses Fenton

pH (x1)	[Fe <sup>2+</sup> ](x2)	[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ]( x3)
-1 (8.00)	-1 (0.20)	-1 (1.00)
-1 (8.00)	-1 (0.20)	+1 (3.00)
-1 (8.00)	+1 (0.50)	-1 (1.00)
-1 (8.00)	+1 (0.50)	+1 (3.00)
+1 (12.00)	-1 (0.20)	-1 (1.00)
+1 (12.00)	-1 (0.20)	+1 (3.00)
+1 (12.00)	+1 (0.50)	-1 (1.00)
+1 (12.00)	+1 (0.50)	+1 (3.00)
-1.68 (6.64)	0 (0.35)	0 (2.00)
+1.68 (13.36)	0 (0.35)	0 (2.00)
0 (10.00)	-1.68 (0.10)	0 (2.00)
0 (10.00)	+1.68 (0.60)	0 (2.00)
0 (10.00)	0 (0.35)	-1.68 (0.32)
0 (10.00)	0 (0.35)	+1.68 (3.68)
0 (10.00)	0 (0.35)	0 (2.00)
0 (10.00)	0 (0.35)	0 (2.00)
0 (10.00)	0 (0.35)	0 (2.00)

Berdasarkan 3 variabel tersebut, maka banyaknya percobaan yang akan dilakukan (N) adalah 15 buah ( $N=3^2+3+3$  dengan C0 sebanyak 3). Selain itu, pada proses ini juga ditambahkan 2 buah titik diluar variabel yang dibatasi. Variabel optimasi proses Fenton ini dapat dilihat pada Tabel 3.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Pemilihan konsentrasi Reagen Fenton

Reagen Fenton dipengaruhi oleh beberapa variabel, diantaranya adalah pH proses, konsentrasi  $H_2O_2$  dan konsentrasi  $Fe^{2+}$  (Torrades dkk., 2011). Variasi konsentrasi  $Fe^{2+}$  dan  $H_2O_2$  serta pH berkontribusi pada proses pembentukan radikal hidroksil (Neyens dan Baeyens, 2003). Pengaruh konsentrasi  $H_2O_2$  dan  $FeSO_4$  dilakukan dengan variasi rasio 1:3, 1:1, dan 3:1. Pengaturan pH larutan dilakukan dengan penambahan  $H_2SO_4$  kedalam lindi hitam sebelum reagen Fenton dimasukkan ke dalam lindi hitam. Pemilihan pH berkisar antara 7-13 dilakukan untuk menjaga pH air limbah lindi hitam setelah diolah berada di kisaran pH netral. Proses Fenton umumnya membutuhkan pH asam (Muryanto dkk., 2017) Akan tetapi, proses netralisasi dibutuhkan setelah proses Fenton tersebut. Hal ini dapat menimbulkan masalah lain berupa emisi gas serta berdampak negatif bagi ekologi tanah maupun air tanah (Lipczynska-Kochany and Kochany, 2008). Hasil dekolorisasi lindi hitam, degradasi lignin, dan pengukuran endapan kering ditampilkan pada gambar 1 a-c.

Pengaruh konsentrasi  $H_2O_2$  dan  $FeSO_4$  diamati untuk menentukan rasio optimal perbandingan reagen Fenton. Gambar 1a menunjukkan bahwa dekolorisasi lindi hitam pada rasio volume  $H_2O_2$  dan  $FeSO_4$  1:3 tidak terjadi. Hal ini disebabkan oleh rendahnya konsentrasi  $H_2O_2$  dan tingginya konsentrasi  $FeSO_4$ . Keberadaan  $FeSO_4$  yang berlebih berakibat pada sedikitnya radikal hidroksida yang dihasilkan sehingga menurunkan kemampuan pereaksi Fenton untuk mendegradasi lignin terlarut. Ahmadi dkk. (2005) menyebutkan bahwa senyawa fenolik kurang

mampu didegradasi oleh proses Fenton dengan konsentrasi  $FeSO_4$  rendah.

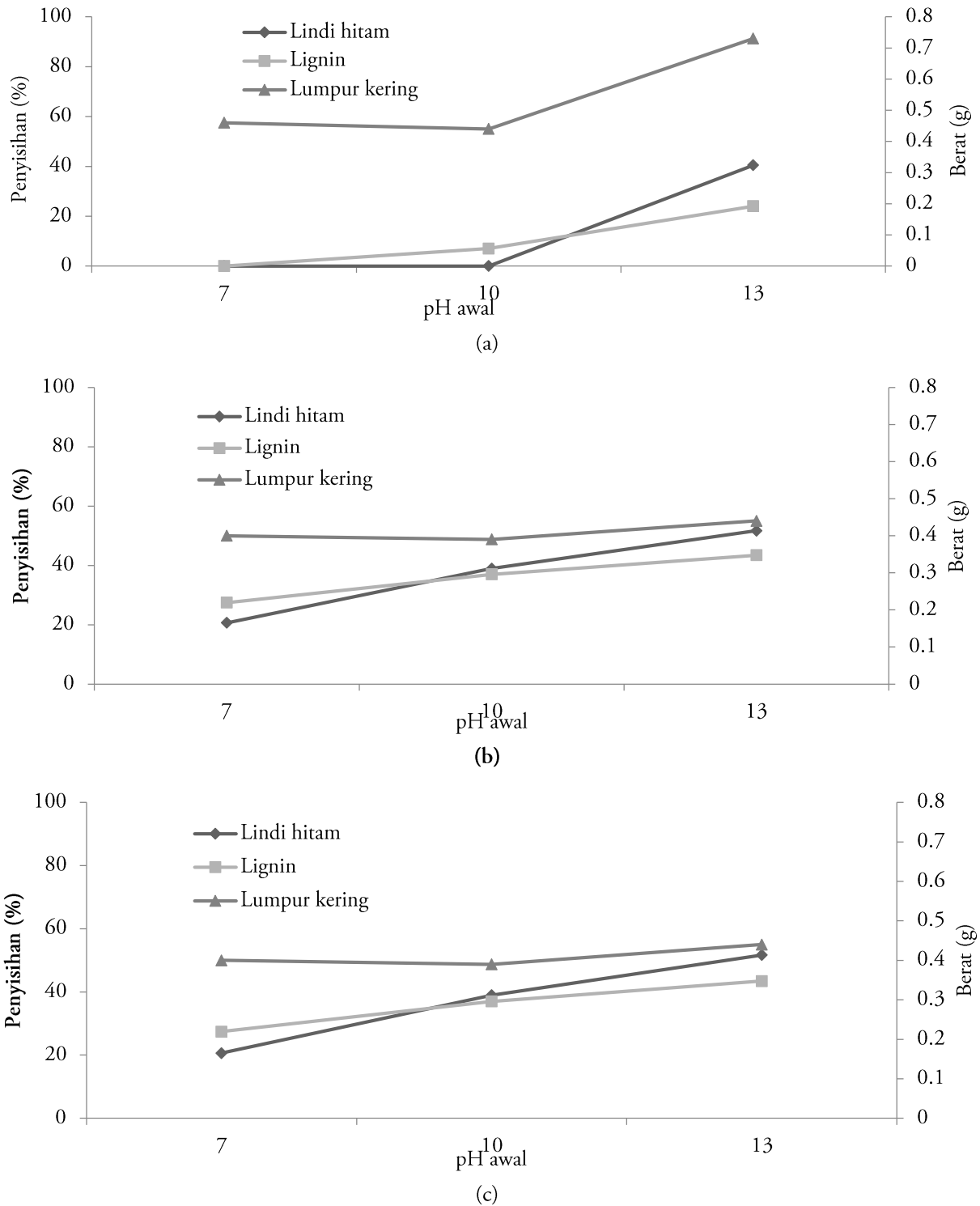
Dekolorisasi lindi hitam terbaik didapat saat proses Fenton dilakukan pada pH 13 dengan rasio volume  $H_2O_2$  dan  $FeSO_4$  1:1, yaitu sebesar 52% (Gambar 1b). Semakin tinggi konsentrasi  $H_2O_2$  maka dekolorisasi lindi hitam dan degradasi lignin semakin meningkat. Penambahan  $H_2O_2$  telah mempengaruhi dekomposisi senyawa organik kompleks karena peningkatan radikal OH yang tersedia saat reaksi Fenton (Cortez dkk., 2011). Selain itu, penambahan  $H_2O_2$  menyebabkan pH menurun karena adanya fragmentasi bahan organik menjadi asam organik (Araujo dkk., 2002).  $FeSO_4$  diperlukan dalam reagen Fenton karena ion  $Fe^{2+/3+}$  mampu menguraikan oksidan-oksidan menjadi radikal bebas sehingga meningkatkan konsentrasi radikal hidroksil yang dapat meningkatkan laju degradasi. Kemampuan metode Fenton untuk mendegradasi lignin sejalan dengan mendekolorisasi lindi hitam meskipun degradasi lignin kurang dari 30%.  $H_2O_2$  mampu menyerang grup fenol pada lignin, akan tetapi kompleksitas lindi hitam menyebabkan degradasi lignin kurang maksimal.

Degradasi lindi hitam dan lignin juga terjadi pada rasio volume  $H_2O_2$  dan  $FeSO_4$  3:1, meskipun hasilnya tidak sebaik rasio volume  $H_2O_2$  dan  $FeSO_4$  1:1 (Gambar 1c). Ketika konsentrasi  $H_2O_2$  ditambahkan lagi melebihi proses optimum, akan terjadi penurunan laju degradasi karena radikal hidroperoksil ( $HO_2^*$ ) kurang reaktif saat menyerang senyawa *recalcitrant* dalam fase cair (Cortez dkk., 2011). Hal ini disebabkan karena terjadinya proses rekombinasi dari radikal hidroksil yang berlebih (Devi dkk., 2010). Selain itu, penambahan  $H_2O_2$  berlebihan mengakibatkan penumpukan sisa  $H_2O_2$  yang dapat meningkatkan COD (Ahmadi dkk., 2005).

Hasil pengukuran dari berat endapan kering menunjukkan hasil yang semakin besar seiring naiknya pH awal lindi hitam. Setelah ditetesi  $H_2SO_4$ , lindi hitam dengan pH 13 akan mengandung ion  $H^+$ . Ketika pereaksi Fenton yang menghasilkan radikal hidroksida ditambahkan ke dalam larutan tersebut, ion  $H^+$  tersebut akan bereaksi dengan radikal hidroksida terlebih dahulu sehingga degradasi lignin

pada lindi hitam oleh pereaksi Fenton menjadi tidak optimal. Hal ini dibuktikan dengan pH akhir yang tidak berubah, yaitu pH 7-8. Di sisi lain, proses Fenton dapat bekerja optimal pada lindi hitam yang tidak mengalami

perubahan pH awal. Hal ini ditunjukkan dengan perubahan pH akhir, yaitu pH 10-11 serta produksi lumpur kering yang lebih banyak.



Gambar 1. Rasio volume H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dan Fe SO<sub>4</sub> (a) 1:3, (b) 1:1, dan (c) 3:1



Gambar 1a-c menunjukkan bahwa semakin besar berat lumpur kering seiring dengan naiknya rasio volume  $\text{FeSO}_4$ . Hal ini dikarenakan endapan yang didapat dari proses ini tidak hanya berasal dari senyawa-senyawa hasil degradasi lignin, tetapi juga sisa  $\text{FeSO}_4$  yang tidak bereaksi sehingga terbentuk endapan di dalam lindi hitam. Oleh sebab itu, diperlukan analisa komponen lebih lanjut pada lumpur kering.

### 3.2. Desain pusat komposit dan model regresi untuk dekolorisasi lignin

Variasi konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{FeSO}_4$ , dan pH larutan proses dipelajari untuk mengetahui pengaruhnya terhadap dekolorisasi lindi hitam. Gambar 1a-c menunjukkan bahwa masing-masing variabel tersebut berpengaruh terhadap hasil dekolorisasi lindi hitam dan degradasi lignin. Oleh karena itu, perlu dilakukan optimasi untuk menentukan kondisi optimal dari seluruh variabel terhadap dekolorisasi lindi hitam. Desain pusat komposit digunakan untuk mendapatkan persamaan matematika sehingga didapatkan nilai dekolorisasi lindi hitam terhadap fungsi konsentrasi

$\text{H}_2\text{O}_2$  ( $x_1$ ), konsentrasi  $\text{FeSO}_4$  ( $x_2$ ) dan pH larutan ( $x_3$ ) (Tabel 3).

Data yang diolah dengan menggunakan Minitab ditunjukkan pada Tabel 4 dan 5. Berdasarkan output ANOVA tersebut, dapat disimpulkan bahwa model yang tepat untuk kasus ini adalah model orde kedua (*Square*). Hal ini dilihat dari nilai *p-value* untuk model orde kedua (*Square*) kurang dari  $\alpha$  (5%). Nilai *p-value* dari regresi pada Tabel 5 adalah 0,000, lebih kecil dari derajat signifikansi  $\alpha = 5\%$ . Hal ini berarti variabel-variabel independen  $x_i$  memberikan sumbangan yang berarti dalam model. Selain itu, dapat dilihat pula *p-value* untuk komponen *Linear*, *Square* dan *Interaction* menunjukkan nilai yang kurang dari  $\alpha$  (5%), sehingga model orde kedua *Full Quadratic* sangat cocok untuk analisis model metode permukaan respon pada data ini. Hal ini juga didukung dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang sangat tinggi yaitu 97,52%, artinya semua prediktor yang digunakan dalam model memberikan kontribusi terhadap respon sebesar 97,52% sedangkan 2,48% ditentukan oleh variabel lain diluar variabel penelitian.

**Tabel 4.** Estimasi Koefisien Model untuk Respon y

The analysis was done using coded units.				
Estimated Regression Coefficients for y1				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.412575	0.003546	116.364	0
x1	-0.05655	0.001665	-33.965	0
x2	-0.03064	0.001665	-18.399	0
x3	0.019671	0.001665	11.814	0
x1*x1	0.030292	0.001833	16.53	0
x2*x2	-0.00069	0.001833	-0.374	0.711
x3*x3	0.009677	0.001833	5.281	0
x1*x2	0.008404	0.002175	3.863	0
x1*x3	0.007256	0.002175	3.335	0.002
x2*x3	-0.00742	0.002175	-3.412	0.001
S = 0.0106575 PRESS = 0.00729236				
R-Sq = 97.97% R-Sq(pred) = 96.82% R-Sq(adj) = 97.52%				

Tabel 5. ANOVA Model untuk Respon y

Analysis of Variance for y1						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0.224418	0.224418	0.024935	219.54	0
Linear	3	0.185331	0.185331	0.061777	543.89	0
x1	1	0.131027	0.131027	0.131027	1153.59	0
x2	1	0.038451	0.038451	0.038451	338.53	0
x3	1	0.015853	0.015853	0.015853	139.57	0
Square	3	0.034807	0.034807	0.011602	102.15	0
x1*x1	1	0.031174	0.031034	0.031034	273.23	0
x2*x2	1	0.000465	0.000016	0.000016	0.14	0.711
x3*x3	1	0.003167	0.003167	0.003167	27.89	0
Interaction	3	0.004281	0.004281	0.001427	12.56	0
x1*x2	1	0.001695	0.001695	0.001695	14.92	0
x1*x3	1	0.001264	0.001264	0.001264	11.12	0.002
x2*x3	1	0.001322	0.001322	0.001322	11.64	0.001
Residual Error	41	0.004657	0.004657	0.000114		
Lack-of-Fit	5	0.00075	0.00075	0.00015	1.38	0.254
Pure Error	36	0.003907	0.003907	0.000109		
Total	50	0.229075				

Uji kesesuaian model regresi (*Lack of Fit*) dilakukan berdasarkan hipotesis  $H_0$ : Model regresi cocok (tidak ada *lack of fit*) dan  $H_1$ : Model regresi tidak cocok (ada *lack of fit*). Hasil uji ini terhadap model diperoleh *p-value* = 0,254 atau lebih besar dibandingkan derajat signifikansi  $\alpha=0,05$  sehingga berarti model regresi yang digunakan cocok. Uji parameter regresi secara serentak dilakukan berdasarkan hipotesis:  $H_0: \beta_i = 0, i = 1, 2, 3, \dots, k$  dan  $H_1$ : Paling tidak ada satu  $\beta_i$  yang tidak sama dengan nol. Hasil pada Tabel 5 terlihat bahwa F-hitung = 219,54, dengan *p-value* = 0,000 lebih kecil dari derajat signifikansi  $\alpha = 5\%$ . Hal ini berarti bahwa variabel-variabel independen  $x_i$  memberikan sumbangan yang berarti terhadap model.

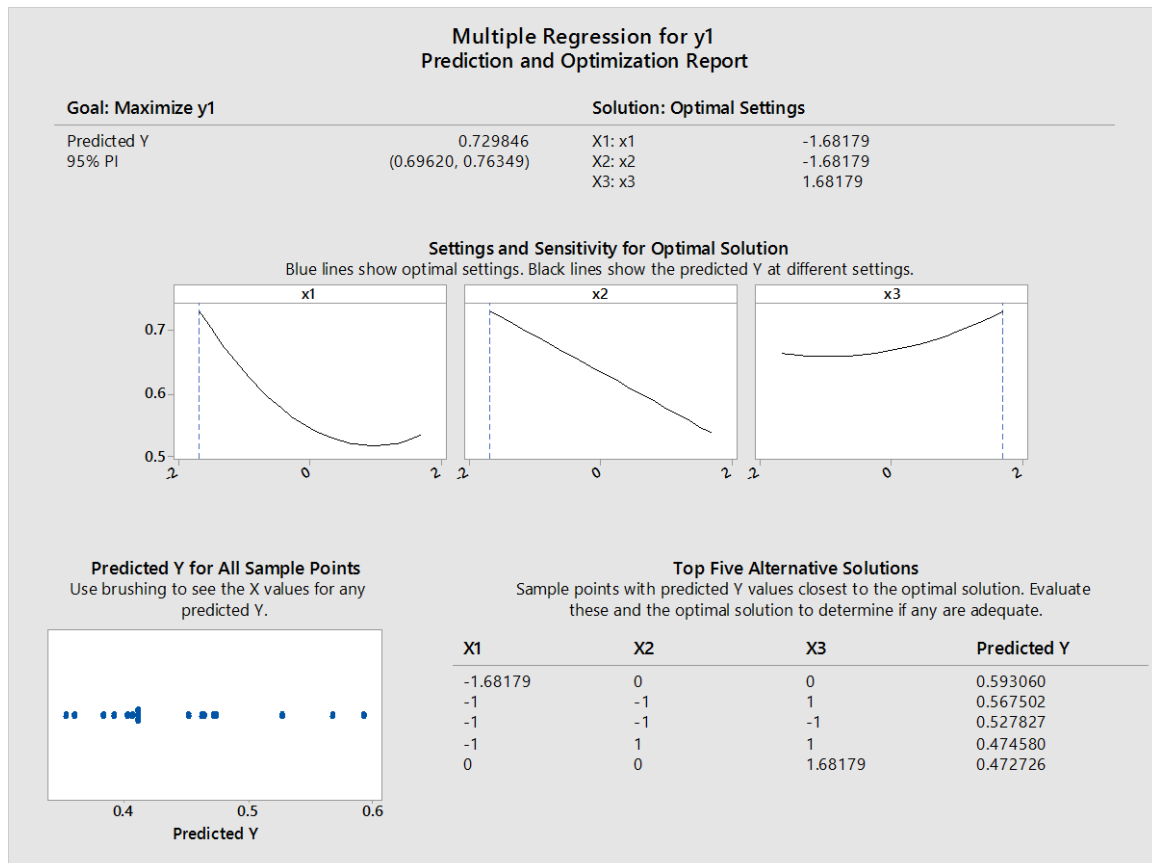
Tabel 5 juga menunjukkan hasil taksiran parameter model. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh model untuk variabel yang dikodekan adalah sebagai berikut :

$$y1 = 0.41258 - 0.05655 x 1 - 0.03063 x 2 + 0.01967 x 3 + 0.03029 x 1^2 - 0.00069 x 2^2 + 0.00968 x 3^2 + 0.00840 x 1 x 2 + 0.00726 x 1 x 3 - 0.00742 x 2 x 3$$

### 3.3. Penentuan Respon Optimum

Dengan menggunakan bantuan MINITAB diperoleh respon optimum untuk variabel respon y1 adalah seperti terlihat pada Gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan bahwa kondisi optimum untuk respon y adalah 0,729846 dengan interval keyakinan 95% antara 0,69620 sampai 0.76349. Kondisi optimum ini diperoleh pada level faktor  $x_1$  (pH) = -1.68 (6.64),  $x_2$  ( $[Fe^{2+}]$ ) = -1,68 (0.10) dan  $x_3$  ( $[H_2O_2]$ ) = 1.68 (3.68). Hal ini berarti bahwa dekolonisasi air limbah lindi hitam dapat ditingkatkan hingga mencapai 73% apabila pH, konsentrasi  $FeSO_4$ , dan konsentrasi  $H_2O_2$  yang digunakan masing-masing sebesar 6,64; 0,1 M, dan 3,68 M. Konsentrasi optimum ini diaplikasikan untuk mendekolorisasi air limbah lindi hitam. Efisiensi penyisihan air limbah lindi hitam tersebut sebesar 68,78%.



Gambar 2. Kondisi Optimum untuk Respon y

#### 4. KESIMPULAN

Metode Fenton mampu mendekolorisasi air limbah lindi hitam dari proses bioetanol sebesar 52% pada pH 13 dengan rasio volume  $H_2O_2$  dan  $FeSO_4$  1:1. Metode permukaan respon merupakan metode yang baik untuk mengoptimasi variabel-variabel sehingga mampu meningkatkan efisiensi dekolorisasi air limbah lindi hitam. Dengan menggunakan metode permukaan respon, dekolorisasi air limbah lindi hitam dapat diprediksi meningkat. Percobaan statistika menggunakan metode permukaan respon menghasilkan nilai dekolorisasi air limbah lindi hitam sebesar 73% apabila pH, konsentrasi  $FeSO_4$ , dan konsentrasi  $H_2O_2$  yang digunakan masing-masing sebesar 6,64; 0,1 M, dan 3,68 M. Konsentrasi optimum ini diaplikasikan untuk mendekolorisasi air limbah lindi hitam dan didapatkan efisiensi penyisihan sebesar 68,78%. Hal ini menunjukkan bahwa metode Fenton mempunyai potensi dalam mengatasi permasalahan

air limbah lindi hitam pada proses pembuatan bioetanol. Meskipun lumpur kering yang dihasilkan dari proses Fenton tidak berjumlah banyak, analisis komponen lumpur kering tetap perlu dilakukan untuk mengetahui produk metabolit lindi hitam yang terkandung di dalam lumpur kering.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Program Insentif Riset Sistem Inovasi Nasional (**Insinas**) Kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi Tahun Anggaran 2016-2017. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Widda Rahmah, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung yang telah membantu dalam eksperimen.

#### DAFTAR PUSTAKA

Ahmadi M., Vahabzadeh F., Bonakdarpour B., Mofarrah E., Mehranian M., 2005, Application of the central

- composite design and response surface methodology to the advanced treatment of olive oil processing wastewater using Fenton's peroxidation, *J Hazard Mater*, 123: 187-195.
- Amriani F., Sari AA., Anggraini RIF., Abimanyu H., Tachibana S., 2017, Evaluation of lignin-based black liquor decolorization by *Trametes versicolor* U80, *AIP Conf Proc* 1803, doi:10.1063/1.4973128.
- Araujo E., Rodriguez-Malaver AJ., Gonzalez AM., Rojas OJ., Penaloza N., Bullon J., Lara MA., Dmitrieva N., 2002, Fenton's reagent-mediated degradation of residual Kraft black liquor, *Appl Biochem Biotech* 97(2): 91-103.
- Arslan-Alaton I., Tureli G., Olmez-Hanci T., 2009, Treatment of azo dye production wastewaters using Photo-Fenton-like advanced oxidation processes: Optimization by response surface methodology, *J Photochem Photobiol A Chem* 202 (2-3): 142-153.
- Arslan-Alaton I., Gursoy BH., Akyol A., Kobya M., Bayramoglu M., 2010, Modeling and optimization of acid dye manufacturing wastewater treatment with Fenton's reagent: comparison with electrocoagulation treatment results and effects on activated sludge inhibition, *Water Sci Technol* 62 (1): 209-216.
- Ay F., Catalkaya EC., Kargi F., 2008, Advanced oxidation of Direct Red (DR 28) by Fenton treatment, *Environ Eng Sci* 25 (10): 1455-1462.
- Ay F., EC., Kargi F., 2009, A statistical experiment design approach for advanced oxidation of Direct Red azo-dye by photo-Fenton treatment, *J Hazard Mater* 162 (1): 230-236.
- Bajpai P., 2001, Microbial degradation of pollutants in pulp mill effluents, *Adv. Appl. Microbiol.*, 48: 79-134.
- Barlianti V., Triwahyuni E., Waluyo J., Sari AA., 2017, Decolorization of black liquor from bioethanol G2 production using iron oxide coating sands, *AIP Conf Proc* 1803, doi: 10.1063/1.4973130.
- Burhani D., Winarni A., Sari AA., 2017, Effect of coagulant/flocculant dosage and pH to water recovery of black liquor wastewater in bioethanol production from oil palm empty fruit bunch using response surface methodology, *AIP Conf Proc* 1803, doi: 10.1063/1.4973131.
- Chandra R., 2001, Microbial decolourisation of pulp mill effluent in presence of nitrogen and phosphorous by activated sludge process, *J. Environ. Biol.* 22(1): 23
- Cortez S., Teixeira P., Oliveira R., Mota M., 2011, Evaluation of Fenton and ozone-based advanced oxidation processes as mature landfill leachate pretreatments, *J Environ Manage* 92(3): 749-755.
- Devi LG., Kumar SG., Raju KSA., Rajashekhar, KE., 2010, Photo-Fenton and photo-Fenton-like processes for the degradation of methyl orange in aqueous medium: Influence of oxidation states of iron, *Chem Pap* 64 (3): 378-385.
- Ferreira SLC., Bruns RE., da Silva EGP., dos Santos WNL., Quintella CM., David JM., de Andrade JB., Breitekreitz MC., Jardim ICSF., Neto BB., 2007, Statistical design and response surface techniques for the optimization of chromatographic systems, *J Chromatogr A* 1158: 2-14.
- Hewitt L., Parrott JL., McMaster ME., 2006, A decade of research on the environmental impacts of pulp a paper mill effluents in Canada: sources and characteristics of bioactive substances, *J Toxicol Env Heal B* 9:341-356.
- Irfan M., Butt T., Imtiaz N., Abbas N., Khan RA., Shafique A., 2013, The removal of COD, TSS and colour of black liquor by coagulation-flocculation process at optimized pH, settling and dosing rate, *Arab J Chem* <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.08.007>
- Lipczynska-Kochany E., Kochany J., 2008, Effect of humic substances on the Fenton treatment of wastewater at acidic and neutral pH, *Chemosphere*, 73(5): 745-750.
- Muryanto, Triwahyuni E., Abimanyu H., Cahyono A., Cahyono ET., Sudiyani Y., 2015, Alkaline delignification of oil palm empty fruit bunch using black liquor from pretreatment, *Procedia Chem* 16: 99-105.
- Muryanto M., Sari AA., Abimanyu H., 2017, Degradation

- of black liquor from bioethanol process using coagulation and fenton-like methods, AIP Conf Proc 1803, doi: 10.1063/1.4973134.
- Neyens E., Baeyens J., 2003, A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique, *J Hazard Mater* 98: 33-50.
- Risanto L., Hermiati E., Sudiyani Y., 2014, Properties of lignin from oil palm empty fruit bunch and its application for plywood adhesive, *Makara J. Technol.* 18(2): 67-75.
- Sari AA., Kurniawan HH., Nurdin M, Abimanyu H., 2015, Decolorization of black liquor wastewater generated from bioethanol process by using oil palm empty fruit bunches, *Energy Procedia* 68: 254-262. doi:10.1016/j.egypro.2015.03.254.
- Sari AA., Amriani F., Anggraini RIF., 2016, Performance of *Ceriporiopsis* sp . in the Treatment of Black Liquor Wastewater, *J Teknol Lingkungan* 17:58-65.
- Sari AA., Ibadurrahman AF., Waluyo J., Muryanto, Amriani F., Burhani D., Sudiyani Y., Abimanyu H., 2017, Effective production of second generation bioethanol: Perspective study on wastewater pretreatment, In Press 'Toward the Future of Asia: Volume 3.
- Sevimli MF., Deliktas E., Sahinkaya S., Guclu D., 2014, A comparative study for treatment of white liquor by different applications of Fenton process, *Arab J Chem* 7(6): 1116-1123.
- Torades F., Saiz S., Garcia-Hortal JA., 2011, Using central composite experimental design to optimize the degradation of black liquor by Fenton reagent, *Desalination* 268: 97-102.
- Torrades F., Garcia-Montano J., 2014, Using central composite design to optimize the degradation of real dye wastewater by Fenton and photo-Fenton reactions, *Dyes Pigments*, 100: 184-189.
- Wang JP., Chen YZ., Ge XW, Yu HQ., 2007, Optimization of coagulation-flocculation process for a paper-recycling wastewater treatment using response surface methodology, *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp* 302: 204-210.





JRT PPI 8 (1) (2017)

Jurnal Riset  
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Journal homepage : [ejournal.kemenperin.go.id/jrtppi](http://ejournal.kemenperin.go.id/jrtppi)

Kementerian  
Perindustrian  
REPUBLIK INDONESIA

## Integrasi teknologi koagulasi-flokulasi dengan filter silika-karbon aktif up flow sebagai unit pengolahan air limbah industri karpet

*The implementation of integrated coagulation-flocculation and silica activated carbon technology for carpet industry wastewater treatment*

Aris Mukimin\*, Agus Purwanto, Cholid Syahroni, Misbachul Moenir, Rame, Agung Budiarto

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri. Jl. Ki Mangunsarkoro No 6 PO Box: 829, Semarang 50136, Indonesia

### INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel :

Diterima 09 Februari 2017

Direvisi 21 Maret 2017

Disetujui 21 Maret 2017

Dipublikasikan online 29 Mei 2017

Keywords :

Carpet

Wastewater

Latex

Coagulation

Activated carbon

### ABSTRAK

Lateks, kapur dan air merupakan bahan utama dalam proses produksi industri karpet. Komposisi dari ketiga bahan tersebut secara berurutan 30%, 50% dan 20% sehingga karakteristik air limbahnya dominan mengandung COD dan TDS. Integrasi koagulasi-flokulasi dengan filter silika-karbon aktif menjadi pilihan yang tepat sebagai unit pengolah polutan tersebut. Unit koagulasi dibuat dalam bentuk tabung silinder dengan kapasitas 2,5 m<sup>3</sup>, adapun filter silika-karbon aktif ditempatkan dalam dua tabung vertikal dengan kapasitas masing-masing 50 L. Proses koagulasi-flokulasi dilakukan dengan sistem *batch* menggunakan tawas dan anion yang dilanjutkan dengan sedimentasi dan aerasi. Filter vertikal silika-karbon aktif dioperasikan dengan sistem alir kontinyu secara *up flow* sebagai tahap akhir dari unit pengolahan. Reduksi COD dan TDS telah mampu mencapai 92% dan 74% dengan dosis tawas 0,8 Kg/m<sup>3</sup>, kapur 0,35 Kg/m<sup>3</sup>, anion 0,4 g/m<sup>3</sup> dan aerasi dengan waktu tinggal 15 menit, serta laju alir 6 L/menit di filter silika-karbon aktif.

### ABSTRACT

Latex, lime and water are the main ingredients in the production of industrial carpet. The composition of these three materials are 30%, 50% and 20%, respectively, so the characteristic of wastewater is dominated by COD and TDS. Integrated method of coagulation-flocculation and silica-activated carbon filter is the appropriate choice as pollutant processing unit. Coagulation basin was made in form of cylindrical tube with 2.5 m<sup>3</sup> capacity, while the silica-activated carbon filter was packed in two vertical tubes with 50 L capacity per tube. Coagulation-flocculation process was carried out by addition of alum and anion in batch system and subsequently followed by sedimentation and aeration. Silica-activated carbon vertical filter, as the last stage of processing unit, was operated with an upflow continuous system. COD and TDS reductions were 92% and 74%, respectively, at a dose of 0.8 Kg/m<sup>3</sup> alum, 0.35 Kg/m<sup>3</sup> lime and 0.4 g/m<sup>3</sup> anion, aeration with HRT of 15 minutes and flow rate of 6 L / min in silica-activated carbon filter.

© 2017 BBT PPI. All rights reserved.

\*Alamat korepondensi :

E-mail : [arismukimin@gmail.com](mailto:arismukimin@gmail.com) (A. Mukimin)

## 1. PENDAHULUAN

Proses pembuatan karpet tergolong dalam industri tekstil yang dicirikan pada penggunaan air berjumlah besar khususnya pada tahap persiapan dan pewarnaan (Demmin dan Uhrich, 1988). Jenis manufaktur karpet sangat bervariasi yang tergantung pada komoditas produk yang dihasilkan. Karpet otomotif menjadi salah satu jenis produk karpet yang dalam proses produksinya menggunakan bahan baku berupa latek, kapur dan air. Ketiga bahan itu mempunyai komposisi 30% lateks, 50% kapur dan 20% air sehingga berimplikasi pada karakteristik air limbah yang dihasilkan. Jenis dan formula bahan baku tersebut menjadikan COD dan TDS merupakan dua parameter yang dominan pada buangan limbah dari sisa produksi dan pencucian alat proses.

Teknologi koagulasi-flokulasi merupakan metode sederhana yang banyak dipakai untuk mengolah air limbah palm oil (Ahmad dkk., 2005), tekstil (Meric dkk., 2005; Sklokar dkk., 1998), abattoir (Amuda dan Alade, 2006), pulp kertas (Wang dkk., 2011), farmasi (Crisnaningtyas dan Vistanty, 2016). Keuntungan utama metode konvensional ini bahwa molekul polutan tidak didekomposisi sehingga senyawa berbahaya dan beracun tidak akan terbentuk di produk pengolahan (Golob dkk., 2005). Koagulan-flokulan digunakan dengan tujuan mendestabilisasi material koloid sehingga senyawa berukuran kecil itu beraglomerasi membentuk flok besar yang mudah mengendap (Amuda dan Amoo, 2007). Efisiensi proses koagulasi-flokulasi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis dan dosis (Desjardins dkk., 2002; Hu dkk., 2005; Nandy dkk., 2003; Spicer dan Pratsinis, 1996; Wang dkk., 2002), pH (Elmaleh dkk., 1996; Miller dkk., 2008; Syu dkk., 2003), kecepatan pengadukan dan waktu (Gurses dkk., 2003), temperatur (Howe dkk., 2006; Zhu dkk., 2004). Wang dkk (2007 dan 2009) menyebutkan bahwa tawas merupakan koagulan konvensional yang mempunyai banyak keuntungan. Selain harganya yang murah, koagulan ini mudah membentuk  $Al(OH)_3$  pada daerah pH 6 – 8 yang dapat berperan sebagai

netralisasi muatan dan *sweep-floc*. Koagulan tawas ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ) mempunyai kemampuan yang lebih baik dibanding ferro sulfat ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) ketika diaplikasikan untuk limbah dyebaths pada pH sekitar netral (Golob dkk., 2005). Kelemahan utama metode koagulasi-flokulasi yang terbesar yaitu terbentuknya produk sludge yang dihasilkan (Virma dkk., 2012).

Teknologi adsorpsi karbon aktif oleh Slokar & Marechal (1998) dan Koch dkk (2002) tergolong sebagai metode konvensional dalam pengolahan air limbah. Karbon aktif sangat efektif dalam penghilangan klorin, sedimen, organik volatil, bau dan rasa. Material karbon digunakan secara luas sebagai adsorben gas dan cair (Hameed dkk., 2007) karena kapasitas adsorpsi yang tinggi yang disediakan oleh sifat struktur porinya (Mukimin dkk., 2015). Adsorpsi pada karbon aktif efektivitasnya akan meningkat sebanding dengan luas permukaan yang menjadi tempat interaksi senyawa-senyawa polutan (Faria dkk., 2004). Proses interaksi polutan yang tergolong dalam kelompok senyawa anorganik juga dapat berlangsung tepatnya di bagian rongga pori-pori hingga batas kejenuhan (Hamidi dkk., 2011 dan Hariastuti dkk., 2016).

Pengolahan air limbah dengan integrasi telah banyak dipelajari dan diaplikasikan seperti penggabungan UASB dengan elektrokoagulasi (Vistanty dkk., 2015), koagulasi –SBR (Dosta dkk., 2008), koagulasi-karbon aktif (Dialynas dan Diamadopaulos, 2008; Quaissa dkk., 2012). Teknologi integrasi koagulasi dengan adsorpsi telah mampu menurunkan polutan dalam bentuk kekeruhan dan COD. Dialynas dan Diamadopaulos (2008) yang mengolah air limbah domestik dengan koagulasi-adsorpsi telah mampu menurunkan COD 25% dan kekeruhan 90%. Sementara itu Quaissa dkk (2012) dengan menggunakan teknologi integrasi yang sama untuk mengolah air limbah penyamaan kulit telah mampu menurunkan kekeruhan sebesar 96% dan COD 75%, berbeda jika hanya menggunakan koagulasi (25%) dan adsorpsi karbon aktif (50%).

Penelitian ini bertujuan untuk mengolah air limbah industri karpet menggunakan teknologi integrasi koagulasi-flokulasi dan filtrasi silika-karbon aktif. Jenis dan dosis



koagulan-flokulan serta konsentrasi kapur menjadi variabel pada proses *jar test* dengan kandungan COD dan TDS sebagai parameter indikator. Kondisi operasi optimum diimplementasikan pada unit IPAL skala penuh yang terpasang di industri. Parameter baku mutu digunakan untuk mengevaluasi kinerja IPAL terpasang tersebut.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Alat dan Bahan

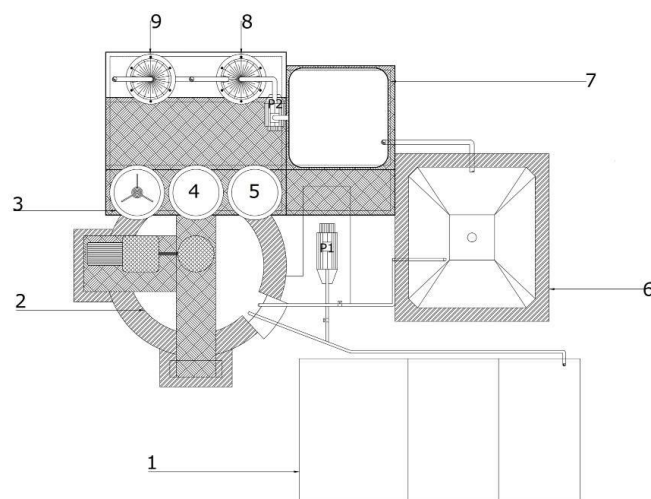
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: air limbah industri karpet di Semarang Jawa Tengah Indonesia, tawas 10% (w/v), ferri klorida 10% (w/v), kapur tohor 5% (w/v), polimer anion, silika, karbon aktif dan reagen-reagen kimia yang dipakai dalam analisis sampel. Semua bahan kimia tersebut berspesifikasi teknis kecuali untuk reagen analisis. Instrumen *jar test*, pH meter dan beker gelas merupakan peralatan yang digunakan selain unit IPAL dalam *full scale* sebagaimana disajikan dalam Gambar 1.

### 2.2. Prosedur Penelitian

Metode *jar-test* digunakan untuk menginvestigasi jenis dan dosis koagulasi-flokulasi hingga diperoleh kondisi optimum. Sampel air limbah dibagi ke beberapa beker gelas 1000 mL dan ditambahkan tawas 10% atau ferri klorida

10% dalam berbagai variasi volume. Larutan kapur tohor 5% ditambahkan pula dalam beberapa variasi volum sebelum dilakukan pengadukan dengan kecepatan 120 rpm selama 5 menit. Flokulan anion 0,01% ditambahkan ke masing-masing beker gelas kemudian diaduk dengan kecepatan 30 rpm selama 3 menit, dan didiamkan selama 2 jam sehingga koagulan mengendap sempurna. Air limbah terproses diukur kandungan COD, DHL, dan TDS menggunakan metode penentuan yang mengacu pada *standar method*.

Formula terbaik dari proses *jar-test* diaplikasikan untuk pengolahan air limbah dengan unit berdimensi *full scale*. Air limbah dipompa dari ekualisasi ke bak koagulasi hingga volume 2,45 m<sup>3</sup>, ditambahkan 20 L tawas 10% dan 17 L kapur 5% kemudian diaduk dengan kecepatan 120 rpm selama 10 menit. Flokulan 0,01% sebanyak 10 L ditambahkan dan diaduk dengan kecepatan 30 rpm selama 5 menit, lalu didiamkan selama 2-3 jam. Air limbah terproses dipompa ke bak aerasi dan dilakukan pemberian suplai udara selama 15 menit setelah itu dialirkan ke dalam tangki vertikal filter silika dan dilanjutkan ke karbon aktif dengan kecepatan 6 L/menit. Kualitas air limbah terolah diketahui dengan mengukur kandungan polutan berdasarkan baku mutu air limbah industri golongan I.



**Gambar 1.** Unit IPAL terintegrasi koagulasi-flokulasi dengan filter silika-karbon aktif pada skala penuh: ekualisasi (1), koagulasi-flokulasi (2), koagulasi tawas (3), nitrifikasi kapur (4), flokulan anion (5), sedimentasi (6), aerasi (7), filtrasi silika (8) dan filtrasi karbon aktif (9)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Karakterisasi Air Limbah Karpet

Industri karpet menggunakan bahan baku proses berupa latek, kapur dan air. Karakteristik effluen air limbah industri ini sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Karakterisasi air limbah industri karpet

NO	Parameter	Konsentrasi (mg/L)		
		I	II	III
Fisika				
1	Temperatur (°C)	30	30	30
2	pH	8,23	8,15	8,04
3	TSS	325	255	286
4	TDS	4302	3915	4288
Kimia				
5	Besi terlarut	1,86	2,11	2,01
6	Mangan	0,156	0,266	0,178
7	Sulfida	0,09	0,09	0,07
8	BOD	250	256	221
9	COD	747,2	816,9	702,4
10	Nitrit	5,51	6,12	4,56
11	MBAS	3,59	3,23	2,45

Kode I, II, III mewakili waktu pengambilan, yaitu I (20-09-2015), II (5-10-2015), III (2-11-2015)

Berdasarkan pada hasil karakterisasi air limbah di Tabel 1 TSS, TDS, BOD dan COD merupakan parameter dominan. Kisaran untuk parameter-parameter tersebut berada pada 255 – 325 mg/L untuk TSS, 3915-4302 mg/L untuk TDS, 221-256 mg/L untuk BOD dan 702-816 mg/L untuk COD. Tingginya kandungan TSS dan TDS dimungkinkan berasal dari penggunaan kapur pada proses produksi, sedangkan besarnya konsentrasi BOD dan COD disebabkan oleh pemakaian lateks. Hasil pengukuran Tabel 1 juga menunjukkan informasi fluktuasi kualitas air limbah yang tidak besar. Performa kandungan polutan yang tidak terlalu variatif ini dimungkinkan siklus produksi yang bersifat tetap dengan formula yang relatif sama. Kestabilan kandungan air limbah ini akan membantu pada proses pengolahan baik di aspek pemilihan teknologi maupun kondisi operasi yang diterapkan.

#### 3.2. Penentuan Jenis dan Dosis Koagulan-Flokulan Optimal

Karakter air limbah yang sangat keruh dengan sumber utama polutan berasal dari latek dan kapur menguatkan pilihan bahwa koagulasi dan flokulasi menjadi teknik pengolahan yang tepat. Pemilihan jenis koagulan dan dosis koagulan menjadi faktor yang menentukan terhadap optimalisasi proses. Data penurunan polutan oleh koagulan tawas dan ferri klorida dengan berbagai variabel disajikan pada Tabel 2.

Data analisis kandungan COD untuk berbagai macam variasi dosis pada Tabel 2 telah menunjukkan bahwa metode koagulasi sangat efektif mengolah polutan yang ada dalam air limbah. Hal ini berdasar pada besar reduksi COD direntang nilai 94,11 – 94,86%. Penurunan COD oleh koagulan tawas berlangsung melalui pembentukan  $Al(OH)_3$  sebagaimana reaksi yang telah dijelaskan oleh MetCalf dan Eddy (1991).  $Al(OH)_3$  yang terbentuk merupakan senyawa yang berperan dalam proses koagulasi melalui adsorpsi partikel-partikel penyumbang COD dan TDS. Wang dkk (2011) telah menjelaskan bahwa netralisasi muatan dan *sweep-floc* adalah dua mekanisme utama yang terpenting untuk agregasi partikel-partikel dalam proses koagulasi.

Reaksi pembentukan  $Al(OH)_3$  berlangsung karena adanya  $Ca(HCO_3)_2$  yang ditambahkan. Pada studi investigasi ini peran alkalinitas  $Ca(HCO_3)_2$  dilakukan oleh larutan kapur  $Ca(OH)_2$  yang ditambahkan ketika proses koagulasi berlangsung. Perubahan penambahan larutan kapur telah mempengaruhi hasil penurunan COD. Chang dkk (1993) menyampaikan bahwa pengaturan pH sebagai efek langsung dari penambahan larutan kapur, berimplikasi pada netralisasi muatan ketika proses koagulasi. pH 6-8 merupakan daerah untuk pembentukan  $Al(OH)_3$  amorphous, dimana pada Ph tersebut efektif mengadsorpsi partikel polutan kedalam endapan  $Al(OH)_3(s)$  berlangsung melalui mekanisme *sweep-floc*.

Berdasarkan data Tabel 2 pula diketahui bahwa antara koagulan tawas dengan ferri klorida mempunyai performa penurunan COD yang berhimpit atau relatif sama ( $S_R=0,17$ ). Ada kecenderungan hasil COD yang terproses

dengan menggunakan tawas sedikit lebih besar dari pada ferri klorida. Hasil yang sama juga diperoleh oleh Crisnangingtyas dan Vistanty (2016) dimana reduksi COD dengan menggunakan tawas mencapai 66%, sementara besi hanya 40%. Capaian hasil reduksi COD ini sangat memungkinkan dipengaruhi oleh ketepatan dosis kapur yang diberikan untuk masing-masing koagulan serta sifat suspensi air limbah.

Penurunan konsentrasi COD dari proses koagulasi-flokulasi oleh koagulan tawas sangat signifikan sehingga menarik untuk dilakukan optimalisasi dosis. Investigasi dosis tepat dilakukan untuk koagulan jenis tawas karena berdasar pada tinjauan ekonomis koagulan ini jauh lebih murah dibanding dengan ferri klorida, sementara itu nilai penurunan COD dari keduanya tidak terlalu beda jauh.

Hasil optimalisasi dosis koagulan tawas pada proses koagulasi air limbah karpet disajikan sebagaimana Tabel 3.

Optimalisasi dosis koagulasi-flokulasi ditentukan melalui parameter TDS, hal ini berdasar pada kandungan polutan air limbah yang besar untuk parameter tersebut selain COD. Variasi konsentrasi tawas 10% diinterval 8, 10, dan 12 mL mempunyai nilai perbedaan TDS yang tidak terlalu besar. Dosis terbaik berdasarkan hasil kandungan TDS diperoleh ketika dilakukan penambahan tawas 8 mL dan kapur 7 mL. Kecenderungan nilai TDS yang berkurang ketika dosis tawas yang diberikan relatif besar dimungkinkan oleh ketidakstabilan koloid yang terbentuk akibat penyerapan  $AL^{3+}$  berbalik dari negatif menjadi positif sehingga partikel tidak stabil dan flok akan pecah kembali sebagaimana hasil yang diperoleh (Ghaly dkk., 2006; Crisnangingtyas dan Vistanty, 2016).

**Tabel 2.** Penurunan COD pada proses koagulasi-flokulasi air limbah karpet untuk berbagai dosis tawas dan ferri klorida

No	Bahan	Percobaan						
		0	1	2	3	4	5	6
1	Sampel (mL)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
2	Tawas 10% (mL)	-	12	10	8	-	-	-
3	Ferri Klorida 10% (mL)	-	-	-	-	12	10	8
4	Kapur 5% (mL)	-	13	10	7	8	6	4
5	Anion 0,01% (mL)	-	4	4	4	4	4	4
	COD (mg/L)	747,2	38,4	40,0	40,4	43,2	39,2	44
	Penurunan COD (%)	0	94,86	94,65	94,59	94,22	94,75	94,11

**Tabel 3.** Data kualitas TDS air limbah industri karpet terolah dengan koagulan tawas pada berbagai dosis

No	Bahan	Percobaan								
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Sampel (mL)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
2	Tawas 10% (mL)	-	8	8	8	10	12	12	12	14
3	Kapur 5% (mL)	-	5	6	7	8	7	8	9	10
4	Anion 0,01% (mL)	-	4	4	4	4	4	4	4	4
	DHL (jtS/cm)	8540	1515	1508	1482	1545	1685	1628	1667	2065
	TDS (mg/L)	4302	742	739	730	759	819	802	817	1003

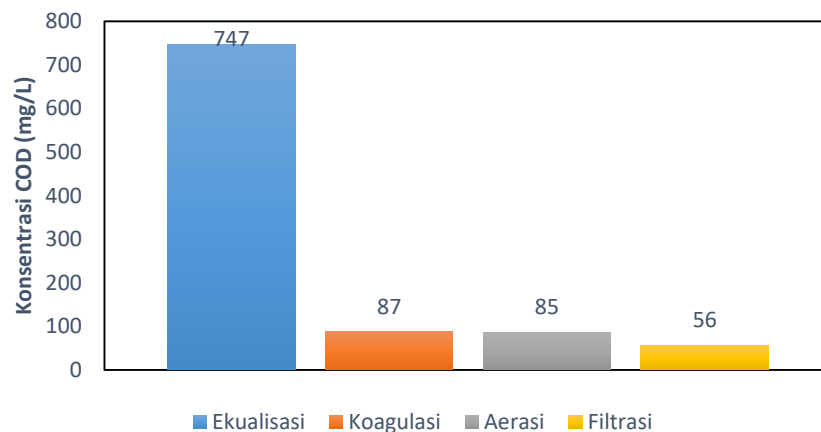
### 3.3. Aplikasi Koagulan-Flokulan pada Unit Pengolah Full Scale

Berdasarkan uji *jar-test* yang dilakukan maka tawas, kapur dan polimer anion menjadi pilihan terbaik untuk mengolah air limbah industri karpet. Dosis terbaik yang diperoleh kemudian diaplikasikan sehingga diperoleh tren perubahan konsentrasi polutan pada masing-masing tahap proses sebagaimana disajikan pada Gambar 2.

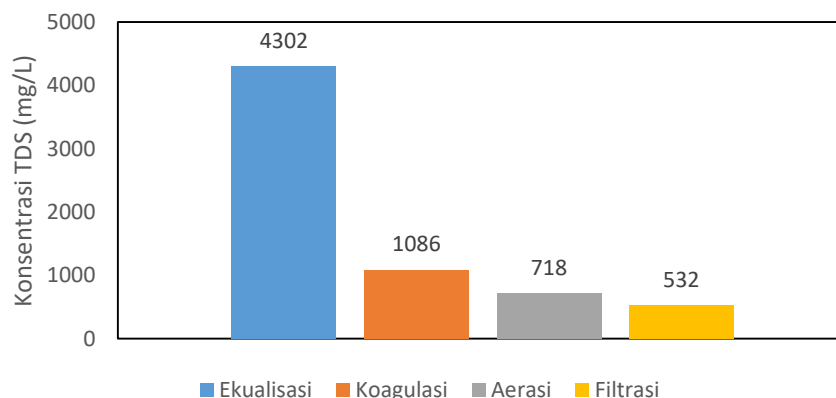
Data hasil uji sebagaimana termuat pada Gambar 2 menunjukkan secara jelas bahwa penurunan konsentrasi COD dan TDS cukup signifikan. Reduksi terbesar kandungan kedua polutan tersebut diperoleh dari tahap koagulasi yaitu sebesar 88% untuk COD dan 75% untuk TDS. Besarnya penurunan ini membuktikan bahwa proses koagulasi-flokulasi dapat berlangsung secara baik pada unit IPAL skala penuh, namun jika dibandingkan dengan hasil

dari skala *jar test* memang lebih rendah (94 % menjadi 75%). Hal ini kemungkinan dikarenakan oleh perbedaan rasio dimensi reaktor *jar test* dan reaktor skala penuh yang jauh lebih besar menyebabkan hambatan kesempurnaan proses (rasio perbesaran volume 1:2450).

Penurunan COD dan TDS pada proses aerasi tidak terlalu besar dibandingkan proses koagulasi-flokulasi. Hasil reduksi oleh proses tersebut sebesar 2,3% untuk COD dan 34% untuk TDS. Penurunan kandungan TDS yang relatif besar disebabkan oleh reaksi pengendapan ion kalsium oleh karbon dioksida yang terdapat dalam udara blower. Persamaan reaksi pengendapan kalsium oleh karbon dioksida telah disampaikan Morales-Florez dkk (2015). Kalsium karbonat yang terbentuk akan mengendap setelah melewati nilai hasil kali kelarutan senyawa tersebut ( $K_{sp}$ ) sebesar  $6,0 \times 10^{-9}$ .



(a)



(b)

Gambar 2. Tren penurunan COD (a) dan TDS (b) pada masing-masing tahapan proses pengolahan

Tahap filtrasi silika-karbon aktif juga telah menurunkan kandungan polutan sebesar 34% COD dan 34% TDS. Reduksi COD oleh karbon aktif berlangsung melalui adsorpsi partikel polutan di permukaan (Faria dkk., 2004). Begitu pula penurunan TDS, kation-anion yang ada akan teradsorpsi pada pori-pori material karbon aktif.

Efektivitas pengolahan air limbah oleh unit IPAL koagulasi-flokulasi terintegrasi filter silika-karbon menarik untuk diinvestigasi konsistensi kinerjanya. Data hasil pengolahan air limbah industri karpet oleh unit IPAL tersebut disajikan pada Tabel 4.

Data hasil pengukuran sebagaimana Tabel 4 telah menunjukkan konsistensi kinerja pengolahan IPAL. Semua kandungan polutan telah berada di bawah batas konsentrasi maksimum yang dipersyaratkan dalam PERDA Jateng NO 5 Tahun 2012 (BMAL Golongan I). Data hasil uji TDS Tabel 4 memberikan kecenderungan yang berbeda dibanding parameter yang lain. Kandungan TDS selalu naik dari monitoring pertama, kedua dan ketiga. Kenaikan TDS di setiap rentang monitoring disebabkan oleh penurunan ruang adsorpsi karbon aktif yang berada dalam filter. Pola peningkatan ini dapat digunakan sebagai alat prediksi umur pakai filter sehingga upaya regenerasi harus disiapkan.

**Tabel 4.** Hasil pengukuran kualitas air limbah terproses dari unit pengolah *full scale* berdasarkan beberapa parameter baku mutu yang berlaku

No	Parameter	Satuan	Hasil Pengukuran (bulan)			Baku Mutu
			1	2	3	
1	TDS	mg/L	864	1044	1211	2000
2	TSS	mg/L	23	19	18	100
3	pH	-	8,04	6,89	7,24	6,0-9,0
4	Besi terlarut	mg/L	<0,01	0,045	<0,01	5
5	Mangan terlarut	mg/L	0,024	<0,01	<0,01	2
6	Sulfida	mg/L	0,003	0,007	0,013	0,05
7	Nitrit	mg/L	0,006	0,004	0,004	1
8	BOD	mg/L	18,03	16,39	17,26	50
9	COD	mg/L	87,12	98,66	60,91	100
10	MBAS	mg/L	0,394	0,112	0,301	5

#### 3.4. Analisis biaya

Biaya pengolahan bersumber pada penggunaan bahan, listrik dan operator. Pada penelitian ini analisis biaya dihitung hanya berdasar pada pemakaian bahan yang terdiri dari tawas, kapur dan anion. Koagulan tawas yang dibutuhkan untuk satu meter kubik air limbah rata-rata sebesar 0,8 Kg, dimana 1 Kg nya seharga Rp 4.875 sehingga besar pengeluaran untuk bahan ini Rp 3.900/m<sup>3</sup>. Kuantitas kapur yang diperlukan sekitar 0,35 Kg yang berharga Rp. 19.428/Kg sehingga biaya yang muncul sebanyak Rp. 6.800/m<sup>3</sup>. Adapun anion jumlah konsumsinya kurang lebih 0,4 g/m<sup>3</sup> bila harga anion tersebut Rp. 180/g maka ongkos pembeliannya kurang lebih Rp. 72/m<sup>3</sup>. Berdasar hasil perhitungan-perhitungan tersebut maka total biaya dari

pembelian bahan sekitar Rp. 10.772/m<sup>3</sup> selain karbon filter yang secara periodik harus diregenerasi.

#### 4. KESIMPULAN

Air limbah industri karpet dominan mengandung polutan COD dan TDS yang disebabkan oleh penggunaan bahan baku latek dan kapur. Integrasi teknologi koagulasi dengan filtrasi merupakan pilihan metode pengolahan yang tepat untuk mengolah air limbah tersebut. Tawas dan polimer anion merupakan jenis koagulan dan flokulan yang tepat, sementara itu silika dan karbon aktif menjadi material filtrasi yang efektif. Teknologi integrasi ini telah mampu menurunkan COD dan TDS pada IPAL skala penuh

hingga 92% dan 74% dengan dosis tawas 0,8 Kg/m<sup>3</sup>, kapur 0,35 Kg/m<sup>3</sup>, anion 0,4 g/m<sup>3</sup> dan 15 menit HRT aerasi serta laju alir 6 L/menit di filter silika-karbon aktif.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana berkat dukungan dana kerjasama antara Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri dengan PT Herculon Carpet yang tertuang dalam Kontrak Kerja No 411/BPKIMI/BBTPPI/SPK/IV/2015.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad AL., Ismail S., Bhatia S., 2005, Optimization of coagulation-flocculation process for plan oil mill effluent using response surface methodology, *Environ Sci Technol* 39: 2828-2834.
- Amuda OS., Alade A., 2006, Coagulation/flocculation process in the treatment of abattoir wastewater, *Desalination* 196: 22-31.
- Chang Q., Fu JY., Li ZL., 1993, Principles of flocculation, Lanzhou University Press, Lanzhou, China.
- Demmin TR., Uhrich KD., 1988, Improving carpet wastewater treatment, Andco Environmental Processes Inc, Amherst, New York.
- Desjardins C., Koudjonou B., Desjardins R., 2002, Laboratory study of ballasted flocculation, *Water Res* 36: 744-754.
- Dosta J., Rovira J., Gali A., Mace S., Mata-Alvarez J., 2008, Integration of a Coagulation/Flocculation step in a biological sequencing batch reactor for COD and nitrogen removal of supernatant of anaerobically digested piggery wastewater, *Bioresource Technol* 99: 5722-5730.
- Elmaleh S., Yahi H., Coma J., 1996, Suspended solids abatement by pH increase-upgrading of an oxidation pond effluent, *Water Res* 30: 2357-2362
- Ghaly A., Snow A., Faber B., 2006, Treatment of grease filter wastewater by chemical coagulation, *Canadian Bio Eng* 48: 12-22.
- Golob V., Vinder A., Simonic M., 2005, Efficiency of the coagulation/flocculation method for the treatment of dyebath effluents, *Dye and Pigments* 67: 93-97.
- Gurses A., Yalcin M., Dogar C., 2003, Removal of remazol red RB by using Al(III) as coagulant-flocculant: effect of some variables on settling velocity, *Water Air Soil Poll* 146: 297-318.
- Hameed BH., Din ATM., Ahmad AL., 2007, Adsorption of methylene blue onto bamboo-based activated carbon: Kinetics and equilibrium studies, *J Hazard Mater* 141: 819-825.
- Hariastuti N., Djayanti S., Rame, 2016, Pengaruh waktu kontak terhadap daya adsorpsi karbon aktif pada pengembangan teknologi proses purifikasi biogas, *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri* 7: 57-65.
- Howe KJ., Marwah A., Chiu KP., Adham SS., 2006, Effect of coagulation on the size of MF and UF membrane foulants. *Environ Sci Technol* 40: 7908-7913.
- Hu C., Liu H., Qu J., Wang D., Ru J., 2005, Coagulation behavior of aluminum salts in eutrophic water: significance of Al<sub>13</sub> species and pH control, *Environ Sci Technol* 40: 325-331.
- MetCalf dan Eddy, 1991, Wastewater engineering treatment, disposal and reuse, McGraw-Hill, New York.
- Meric S., Selcuk H., Belgionrno V., 2005, Acute toxicity removal in textile finishing wastewater by fenton's oxidation, ozone and coagulation-flocculation processes, *Water Res* 39: 1147-1153.
- Miller SM., Fugate EJ., Craver VO., Smith JA., Zimmerman JB, 2008, Toward understanding the efficacy and mechanism of opuntia spp as a natural coagulant for potential application in water treatment, *Environ Sci Technol* 42: 4274-4279.
- Morales-Florez V., Santos A., Romero-Hermida I., Esquivias L., 2015, Hydration and carbonation reactions of calcium oxide by weathering: kinetics and changes in the nanostructure, *Cheml Eng J* 265: 194-200.

- Mukimin A., Vistanty H., Crisnaningtyas F., 2015, Physico-chemical treatment to enhancing electroactivity properties of coconut shell-based carbon electrode, *Int J Appl Chem* 11: 553-565.
- Nandy T., Shastry S., Pathe PP., Kaul SN., 2003, Pre-treatment of currency printing ink wastewater through coagulation-flocculation process, *Water Air Soil Poll* 148: 15-30.
- Quaissa YA., Chabani M., Amrane A., Bensmaili A., 2012, Integration of electro coagulation and adsorption for the treatment of tannery wastewater-the case of an Algerian factory Rouiba, *Procedia Engineering* 33: 98-101.
- Spicer PT., Pratsinis SE., 1996, Shear-induced Flocculation: the evaluation of floc structure and the shape of the size distribution at steady state, *Water Res* 30: 1049-1056.
- Syu M., Chen B., Chou S., 2003, A study on the sedimentation model and neural network online adaptive control of a benzoic acid imitated wastewater oxidation process. *Ind Eng Chem Res* 42: 6862-6871.
- Vistanty H., Mukimin A., Handayani NI., 2015, Pengolahan air limbah industri karton box dengan metode integrasi UASB dan elektrokoagulasi-flotasi, *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri* 6: 1-8.
- Wang DS., Tang HX., Gregory J., 2002, relative importance of charge neutralization and precipitation on coagulation of kaolin with PACl: effect of sulfate ion, *Environl Sci Techn* 36: 1815-1820.
- Wang JP., Chen YZ., Ge XW., Yu HQ., 2007, Optimization of coagulation-flocculation process for a paper-recycling wastewater treatment using response surface methodology, *Colloids Surfaces A* 302: 204-210.
- Wang JP., Chen YZ., Yuan SJ., Sheng GP., Yu HQ., 2009, Synthesis and characterization of a novel cationic chitosan-based flocculant with a high water-solubility for pulp mill wastewater treatment, *Water Res* 43: 5267-5275.
- Wang JP., Chen YZ., Wang Y., Yuan SJ., Yu HQ., 2011, Optimization of the coagulation-flocculation process for pulp mill wastewater treatment using a combination of uniform design and response surface methodology, *Water Res* 45: 5633-5640.
- Zhu K., El-Din MG., Moawad AK., Bromley D., 2004, Physical and chemical processes for removing suspended solids and phosphorus from liquid swine manure, *Environ Technol* 25: 1177-1187.





