

JURNAL RISET

TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI

Vol. 7, No. 1, Mei 2016

Aplikasi Limbah Padat Batu Alam Sebagai Substitusi Fine Agregat Paving Blok, Batako dan Bahan Baku Produksi Semen
Aris Mukimin, Hanny Vistanty, Ikha Rasti Julia Sari, Januar Arif Fatkhurrahman, Agung Budiarto

Pengolahan Limbah Cair Industri Farmasi Formulasi dengan Metode Anaerob-Aerob dan Anaerob-Koagulasi
Farida Crisnaningtyas, Hanny Vistanty

Pemanfaatan Serutan Karet Ban Bekas sebagai Substitusi Pasir Silika pada CLC (Cellular Lightweight Concrete)
Agung Budiarto, Agus Purwanto

Verifikasi Low Cost Particulate Sensor sebagai Sensor Partikulat pada Modifikasi Teknologi Wet Scrubber
Januar Arif Fatkhurrahman, Ikha Rasti Julia Sari, Nur Zen

Isolasi Bakteri Heterotrofik Anaerobik pada Pengolahan AIR Limbah Industri Tekstil
Novarina Irnaning Handayani, Misbachul Moenir, Nanik Indah Setianingsih, Rizal Awaludin Malik

Potensi Tanaman Air sebagai Fitoakumulator Logam Kromium dalam Limbah Cair Tekstil
Rizal Awaludin Malik, Wahyu Surakusumah, Surtikanti Hertien Koosbandiah

JURNAL RISET Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri	Vol. 7	No. 1	Halaman 1 - 56	Semarang, Mei 2016	p-ISSN No. 2087-0965	e-ISSN No. 2503-5010
---	--------	-------	-------------------	-----------------------	----------------------	----------------------

Diterbitkan Oleh :

**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
BALAI BESAR TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI**

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Volume 7 No. 1, Mei 2016

TUJUAN DAN RUANG LINGKUP

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

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

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

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

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

Sumber Daya : termasuk rekayasa proses/teknologi/konservasi untuk menghasilkan energi
JRTPPI mempunyai visi untuk menjadi jurnal internasional dengan kontribusi keilmuan yang tinggi untuk komunitas global.

PENANGGUNG JAWAB

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

PENGARAH

Ir. Nasuka, MM
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

Dr. Bambang Cahyono, M.Sc
Universitas Diponegoro

Dr. Ir. Edwan Kardena
Institut Teknologi Bandung

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

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Volume 7 No. 1, Mei 2016

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/jrtppi

INDEKSING

Terindeks di Directory of Open Access Journal (DOAJ), Google Scholar, Indonesian Scientific Journal Database (ISJD), Indonesian Publication Index (IPI), Infobase Index, Directory of Research Journals Indexing (DRJI), Mendeley.

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

Jam kerja : Senin – Jum'at

07.30 – 16.00 GMT+7

EDITORIAL BOARD

Cholid Syahroni, S.Si, M.Si

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

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 Vistanti, ST, MT

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Silvy Djayanti, ST, M.Si

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

SECTION 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

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 7 No. 1, Mei 2016

KATA PENGANTAR

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (JRTPPI) telah menggunakan “Open Journal System” (OJS) untuk publikasi volume 7 no 1 tahun 2016. Jurnal ilmiah ini telah terindek oleh Google Scholar, Directory of Open Access Journal (DOAJ), Indonesian Scientific Journal Database (ISJD), Indonesian Publication Index (IPI)/Portal Garuda, Crossref, Mendeley, dan Infobase. Untuk memudahkan penemuan artikel yang tidak terpengaruh oleh lokasi simpan maka JRTPPI segera akan melakukan pengajuan “Digital Object Identifier” (DOI).

Pada Terbitan ini, redaksi menyampaikan enam artikel dengan jumlah total halaman 56 dan tata letak naskah (layout) yang beda dari edisi sebelumnya. Keenam artikel ini terpilih setelah melalui penilaian oleh editor dan peer-reviewer serta hasil revisi berdasarkan pada standar operasional prosedur jurnal. Tiga artikel berkaitan dengan pemanfaatan sumber daya alam, dua artikel berhubungan dengan teknologi lingkungan dan satu artikel berupa desain atau rekayasa peralatan.

Kebijakan yang diterapkan pada edisi kali ini bahwa baik penulis (author) atau pembaca tidak dikenai biaya. Rencana kedepan dewan redaksi akan meningkatkan jumlah artikel, muatan kualitas keilmuan dan indeksasi. Kami menyampaikan rasa terimakasih yang tak terhingga kepada semua anggota dewan redaksi, Kepala beserta staf Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri untuk perhatian dan dukungannya. Kami juga sampaikan rasa terimakasih kepada peer-reviewer (mitra bestari), reviewer, dan author (penulis).

Kami berharap publikasi ini akan berkontribusi pada pengembangan ilmu dan teknologi

Semarang, Mei 2016

Chief Editor

Jurnal Riset
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Volume 7 No. 1, Mei 2016

DAFTAR ISI

Aplikasi Limbah Padat Batu Alam Sebagai Substitusi Fine Agregat Paving Blok, Batako dan Bahan Baku Produksi Semen Aris Mukimin, Hanny Vistanty, Ikha Rasti Julia Sari, Januar Arif Fatkhurrahman, Agung Budiarto	1-12
Pengolahan Limbah Cair Industri Farmasi Formulasi dengan Metode Anaerob-Aerob dan Anaerob-Koagulasi Farida Crisnaningtyas, Hanny Vistanty	13-22
Pemanfaatan Serutan Karet Ban Bekas sebagai Substitusi Pasir Silika pada CLC (<i>Cellular Lightweight Concrete</i>) Agung Budiarto, Agus Purwanto	23-30
Verifikasi <i>Low Cost Particulate</i> Sensor sebagai Sensor Partikulat pada Modifikasi Teknologi <i>Wet Scrubber</i> Januar Arif Fatkhurrahman, Ikha Rasti Julia Sari, Nur Zen	31-38
Isolasi Bakteri Heterotrofik Anaerobik pada Pengolahan AIR Limbah Industri Tekstil Novarina Irnaning Handayani, Misbachul Moenir, Nanik Indah Setianingsih, Rizal Awaludin Malik	39-46
Potensi Tanaman Air sebagai Fitoakumulator Logam Kromium dalam Limbah Cair Tekstil Rizal Awaludin Malik, Wahyu Surakusumah, Surtikanti Hertien Koosbandiah	47-56

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Volume 7 No. 1, Mei 2016

LEMBAR ABSTRAK

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

Tanggal diterbitkan 12 Mei 2016

Aris Mukimin, Hanny Vistanty, Ikha Rasti Julia Sari, Januar Arif Fatkhurrahman, Agung Budiarto (Center of Industrial Pollution Prevention Technology, Semarang)

Application of natural stone waste as fine aggregate's substitution for paver block, concrete brick and cement raw material

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Mei 2016, Vol. 7, No. 1, p. 1-12, 4 ill, 14 tab, 15 ref

Application of natural stone waste is particularly important to maintain environmental balance as well as a new business opportunity, which will enhance the regional economy. Solid waste used in this research was taken from one of natural stone industry in Cirebon, which consists of raw stone powder came from the cutting process and sludge came from sedimentation tank, Type of natural stones used in the industrial process were Andesite and Palimanan. The solid waste was used as a replacement of fine aggregates to produce paving block and concrete block and as raw material of cement. The result showed that waste was able to be used as a substitute of fine aggregates for paving block, up to 30% for Andesite and 50% for Palimanan on level B, C, and D, and concrete brick, up to 50% for Andesite and Palimanan on level I, II, III, and IV. Palimanan waste was able to show a coarse surface image compared to Andesite. The main compositions of Andesite and Palimanan showed no significant differences; carbon, silica, alumina, calcium oxide, and ferro oxide. Natural stone waste was utilized in the production of cement with a waste : limestone ratio of 43%:56% with two sequencing heating at 800 °C for 2 h, then at 1450°C for 3 h.

(Author)

Keywords : natural stone, paver block, concrete brick, cement

Farida Crisnaningtyas, Hanny Vistanty (Center of Industrial Pollution Prevention Technology, Semarang)

Wastewater treatment technology using anaerobic-aerobic and anaerobic-coagulation on pharmaceutical formulation industry

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Mei 2016, Vol. 7, No. 1, p. 13-22, 7 ill, 2 tab, 21 ref

This study was aimed at evaluating the performance of a lab-scale anaerobic-aerobic and anaerobic-coagulation reactors treating pharmaceutical wastewater. Anaerobic process was conducted using Upflow Anaerobic Sludge Bed reactor (UASBr) at varied OLR of 0.5 – 2 kg COD/m³day, which was preceded by acclimation process using sugar as main substrate. The result showed a COD removal efficiency approximately 74%. The effluent of UASBr was then further treated using two processes : (1) aerobic and (2) coagulation-flocculation. The aerobic process was done at MLSS concentration of 4000 – 5000 mg/L with COD removal efficiency of 97%. Aluminum sulfate and cationic flocculant was able to reach the highest removal (73%) at velocity gradient of 700 s⁻¹ and 25 s⁻¹, respectively. Results showed that total COD removal efficiency of anaerobic-aerobic and anaerobic-coagulation flocculation systems were approximately 97% and 72.53%, respectively. This study showed that the combination of anaerobic-aerobic process had high potential to treat pharmaceutical wastewater.

(Author)

Keywords : pharmaceutical, anaerobic, aerobic, coagulation-flocculation, wastewater

Agung Budiarto, Agus Purwanto (Center of Industrial Pollution Prevention Technology, Semarang)

Application of shredded tires waste as silica substitution in cellular lightweight concrete (CLC)

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Mei 2016, Vol. 7, No. 1, p. 23-30, 6 ill, 2 tab, 9 ref

Cellular Lightweight Concrete (CLC) is described as environmentally friendly lightweight concrete because it uses less energy than red brick in the manufacturing process. Unfortunately, as one of concrete's derivative, CLC is naturally brittle. Considering ways to improve the properties of CLC brittle, the substitution of materials that can replace concrete material is required. One of the concrete material substitution is using rubber waste from shredded tires waste (± 2-3 cm long, dia. ± 2-4 mm). Rubber tires can enhance elastic properties and also prevent cracks because it has modulus elasticity of 0.77 to 1.33 MPa, and has a low weight contents ranging from 1.08 to 1.27 t/m³. In this experiment, 6 formulation of raw materials lightweight concrete were made and then gained 2 formulas which has potential to be modified. Sample P4 had the lightest unit weight, which was

approximately 903 kg / m³ with a ratio of SS:PC:LS:Al:W by 63%: 12% : 2.7%: 0.14%: 23% . P6 formula had the highest compressive strength, reached 6 N/mm², with formula SS:PC:LS:Al:W:PFA by 63%:6%:2.7%:0.14%:23%:6%. Modification was made out of sample P4 and P6, by changing the composition of silica sand with shredded rubber tires ranging from 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, up to 50%. The utilization of shredded tires waste was able to improve the compressive strength of lightweight brick up to 50% substitution of waste with a density of 1160-1330 kg / m³.

(Author)

Keywords : CLC, shredded rubber tires, compressive strength

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

Low cost particulate verification as particulate sensor on wet scrubber modification technology

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Mei 2016, Vol. 7, No. 1, p. 31-38, 6 ill, 16 ref

Particulate concentration determination on wet scrubber technology generally exploit light scattering principle. Similar principle with low cost particulate sensor unfold opportunity to utilize it as particulate concentration determination on wet scrubber modification technology. SHARP GP2Y1010 is used as low cost particulate sensor, while it has been correlated with Sensydine Nephelometer as reference. Particulate flow across both instruments simulated from mosquito coil burning, with data capture periods interval between 6-7 hours with 1 m/s particulate flowrate. Data reading from SHARP GP2Y1010 least square fitted and linearly correlated with Sensydine Nephelometer as high result on R2 reach 0,88 complied with identical particulate reading in graphical pattern.

(Author)

Keywords : low cost particulate sensor, particulate concentration, wetscrubber technology

Novarina Irnaning Handayani*, Misbachul Moenir, Nanik Indah Setianingsih, Rizal Awaludin Malik (Center of Industrial Pollution Prevention Technology, Semarang)

Isolation of anaerobic heterotrophic bacteria in textile industry waste water treatment

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Mei 2016, Vol. 7, No. 1, p. 39-46, 1 ill, 8 tab, 14 ref

Anaerobic wastewater treatment is regarded as one of the biological methods for treating textile wastewater. The dominating microorganisms in anaerobic reactor are facultative and obligate anaerobics, which produce gases, such as methane and carbon dioxide, as the end products. Anaerobically, organic compound's degradation involves many different species of anaerobic bacteria in the hydrolysis, acidogenesis and methanogenesis phase. The aim of this study is to determine the species of anaerobic microorganism that capable of textile waste decomposition. The research was done by isolation,

followed the ability to decompose the material contamination of wastewater textile industry which contained starch, cellulose, fat, and indigo dye. After isolation and degradability test of textile wastewater, 29 (twenty-nine) isolates were obtained. From those isolates, 12 (twelve) isolates of bacteria were chosen. Bacterias which had the highest degradation ability to decompose starch were BDLA 5, BDLA 4, BDLA 6, while BDLC 2, BDLC 5, BDLC 1 were able to degrade cellulose. Lastly, fat was able to be decomposed by species BDLP 3, BDLP 1, BDLP 2, and the indigo dye was decomposed by BDLW 3, BDLW 7 , BDLW 2.

(Author)

Keywords : textile wastewater, anaerobic, isolation, degradation

Rizal Awaludin Malik^{1*}, Wahyu Surakusumah², Hertien Koosbandiah Surtikanti² (¹ Center of Industrial Pollution Prevention Technology, Semarang, ² Indonesia University of Education , Bandung)

Potency of aquatic plants as phytoaccumulator of chromium in textile wastewater

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Mei 2016, Vol. 7, No. 1, p. 47-56, 8 ill, 3 tab, 20 ref

The use of wetlands in the process for treating textile industry wastewater has been widely applied in the industry. Wetlands unit is a processing unit that utilized plants as wastewater processing. This study aims to determine the potential of *Zantedeschia aethiopica*, *Pontederia lanceolata*, *Echinodorus palaefolius* as a chromium phytoaccumulator. The source of chromium metal that is used in this research was collected from textile wastewater that has been processed but yet still has high levels of chromium concentration. The method used in this study is a Microcosm of constructed wetlands by using sand and gravel as a substrate to grow. The study was conducted for 60 days and the parameters measured include chromium metal accumulation in plants, and morphological responses of plants including necrosis, chlorosis, wet weight and the number of the leaf. From the results obtained that decreased levels of chromium from textile wastewater reached 99%. The highest level of chromium concentration was found at *Echinodorus palaefolius*, the chromium concentration in its body has increased to 6.12 ppm, while the plant *Pontederia lanceolata* accumulating chromium as much as 2.45 ppm, and *Zantedeschia aethiopicah* has the lowest chromium accumulating it just have about 1.38 ppm. At the end of the study obtained data that *Echinodorus palaefolius* has greater regeneration ability than the two other test plants, this is indicated by the percentage of necrosis and chlorosis respectively 1.33% to 0% and the difference between the number of leaves about 0.44, while the plant *Zantedeschia aethiopica* has a percentage 3.6% for chlorosis, 18.55% for necrosis percentage and a difference in the amount of -1.0 leaves, and plants *Pontederia lanceolata* has 18.22% and 4.11% for necrosis and chlorosis, and have a difference of -0.44 for leaf number. It can be concluded that the three plants could be used as chromium accumulator, but *Echinodorus palaefolius* have the highest potential for accumulating chromium from textile wastewater.

(Author)

Keywords : *zantedeschia aethiopic*, *pontederia lanceolate*, *echinodorus palaefolius*, textile wastewater, phytoaccumulation, chromium

Aris Mukimin, Hanny Vistanty, Ikha Rasti Julia Sari, Januar Arif Fatkhurrahman, Agung Budiarto (Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang)

Aplikasi limbah padat batu alam sebagai substitusi *fine agregat* paving blok, batako dan bahan baku semen

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Mei 2016, Vol. 7, No. 1, p. 1-12, 4 ill, 14 tab, 15 ref

Pemanfaatan limbah padat batu alam menjadi penting dilakukan supaya keseimbangan lingkungan dapat dijaga dan dapat berpeluang menjadi sumber usaha baru yang akan berdampak pada sektor ekonomi masyarakat sekitar. Lokasi pengambilan limbah padat ditetapkan dari salah satu industri pengolahan batu alam di Kabupaten Cirebon. Sumber limbah tersebut berasal dari serbuk padat hasil pemotongan batu alam dan *sludge* hasil sedimentasi. Jenis batu alam yang menjadi obyek penelitian terdiri dari dua, yaitu batuan Andesit dan batuan Palimanan. Produk bahan bangunan yang dibuat dari limbah padat batu alam ada dua, yaitu paving dan batako, dimana dalam hal ini limbah difungsikan sebagai *fine agregat*. Pemanfaatan limbah sebagai bahan baku hanya dipelajari dan diaplikasikan untuk pembuatan semen. Limbah padat batu alam dapat digunakan sebagai substitusi *fine agregat* dalam pembuatan paving dan batako. Persen substitusi limbah padat batu alam untuk paving mencapai 30% untuk Andesit, dan 50% untuk palimanan dengan kualitas B, C dan D. Persen substitusi limbah padat batu alam untuk batako mencapai 50% untuk Andesit dan Palimanan dengan kualitas I, II, III dan IV. Limbah padat batuan Palimanan mempunyai *image* permukaan yang lebih kasar dibanding Andesit. Kandungan utama limbah padat batuan Andesit sama dengan Palimanan, yaitu: karbon, silika, alumina, kalsium oksida dan besi oksida. Limbah padat batu alam dapat dimanfaatkan untuk membuat semen dengan persen komposisi antara limbah dengan kapur sebesar 43%:56% dan dipanaskan pada suhu 800 °C selama 2 jam, dilanjutkan ke 1450 °C selama 3 jam.

(Author)

Kata kunci : batu alam, paving blok, batako, semen

Farida Crisnaningtyas, Hanny Vistanty (Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang)

Wastewater treatment technology using anaerobic-aerobic and anaerobic-coagulation on pharmaceutical formulation industry

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Mei 2016, Vol. 7, No. 1, p. 13-22, 7 ill, 2 tab, 21 ref

Studi ini membahas mengenai pengolahan limbah cair industri farmasi dalam skala laboratorium dengan menggunakan konsep anaerob-aerob dan anaerob-koagulasi. Proses anaerob dilakukan dengan menggunakan reaktor *Upflow Anaerobic Sludge Bed reactor* (UASBr) pada kisaran OLR (*Organic Loading Rate*) 0,5 – 2 kg COD/m³hari, yang didahului dengan proses aklimatisasi menggunakan substrat gula. Proses anaerob mampu memberikan efisiensi penurunan COD hingga 74%. Keluaran dari proses anaerob

diolah lebih lanjut dengan menggunakan dua opsi proses: (1) aerob, dan (2) koagulasi-flokulasi. Uji coba aerob dilakukan pada kisaran MLSS antara 4000-5000 mg/L dan mampu memberikan efisiensi penurunan COD hingga 97%. Koagulan aluminium sulfat dan flokulan kationik memberikan efisiensi penurunan COD tertinggi (73%) pada gradien kecepatan (G) masing-masing 700 detik⁻¹ dan 25 detik⁻¹. Hasil uji coba menunjukkan bahwa efisiensi penurunan COD total yang dapat dicapai dengan menggunakan teknologi anaerob-aerob adalah 97%, sedangkan kombinasi anaerob-koagulasi-flokulasi hanya mampu menurunkan COD total sebesar 72,53%. Berdasarkan hasil tersebut, kombinasi proses anaerob-aerob merupakan teknologi yang potensial untuk diaplikasikan dalam sistem pengolahan limbah cair industri farmasi.

(Author)

Kata kunci : farmasi, anaerob, aerob, koagulasi flokulasi, limbah cair

Agung Budiarto, Agus Purwanto (Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang)

Pemanfaatan serutan karet ban bekas sebagai substitusi pasir silika pada *CLC* (*Cellular Lightweight Concrete*)

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Mei 2016, Vol. 7, No. 1, p. 23-30, 6 ill, 2 tab, 9 ref

Cellular Lightweight Concrete (CLC) adalah jenis beton ringan ramah lingkungan dikarenakan proses pembuatannya menggunakan energi yang lebih sedikit daripada bata merah. Namun sebagai salah satu turunan beton, CLC juga memiliki sifat getas. Mempertimbangkan cara untuk memperbaiki sifat-sifat CLC yang getas, maka diperlukan substitusi bahan yang dapat menggantikan material dasar beton. Salah satu substitusi material beton adalah dengan menggunakan limbah karet dari ban bekas yang diserut (panjang ± 2-3 cm, dia. ± 2-4 mm). Ban karet dapat memberikan sifat elastis dan mencegah retak karena memiliki modulus elastisitas 0,77-1,33 MPa, dan memiliki berat isi antara 1,08-1,27 t/m³. Dalam percobaan ini, dibuat 6 formulasi bahan baku beton ringan dan memperoleh 2 formula dengan potensi untuk dimodifikasi. Formula P4 memiliki berat isi yang paling ringan sekitar 903 kg/m³ dengan perbandingan PS:PC:KP:Al:Air sebesar 63%:12%:2,7%:0,14%: 23% sedangkan formula P6 memiliki kuat tekan tertinggi mencapai 6 N/mm² dengan perbandingan PS:PC:KP:Al:Air:PFA sebesar 63%:6%:2,7%:0,14%:23%:6%. Modifikasi dibuat dari P4 dan P6 mengganti komposisi pasir silika dengan serutan ban karet mulai dari 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, sampai dengan 50%. Pemakaian limbah karet ban bekas yang diserut dapat meningkatkan kuat tekan blok beton ringan tersebut hingga substitusi 50% limbah dengan densitas antara 1.160 – 1.330 kg/m³.

(Author)

Keywords : *CLC*, serutan karet ban bekas, kuat tekan

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

Verifikasi *low cost particulate sensor* sebagai sensor partikulat pada modifikasi teknologi wet scrubber

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Mei 2016,
Vol. 7, No. 1, p. 31-38, 6 ill, 16 ref

Penentuan konsentrasi partikulat pada teknologi wet scrubber umumnya menggunakan prinsip *light scattering*. Kesamaan prinsip kerja dengan *low cost particulate sensor* membuka peluang pemanfaatan *low cost particulate sensor* sebagai unit pengukur konsentrasi partikulat dalam modifikasi proses teknologi wet scrubber. *Low cost particulate sensor* yang digunakan adalah SHARP GP2Y1010 dikorelasikan dengan Sensydine Nephelometer sebagai referensi. Laju partikulat yang melalui kedua peralatan tersebut disimulasikan dari hasil pembakaran obat nyamuk, dengan periode pengambilan data selama 6-7 jam dengan laju partikulat 1 m/detik. Data hasil pembacaan SHARP GP2Y1010 dianalisis secara least square fitting dan dikorelasi linier terhadap Sensydine Nephelometer dengan hasil R2 cukup tinggi mencapai 0,88 dan pola pembacaan partikulat yang identik secara grafik.

(Author)

Keywords : *low cost particulate sensor*, konsentrasi partikulat, teknologi wetscrubber

Novarina Irnaning Handayani*, Misbachul Moenir, Nanik Indah Setianingsih, Rizal Awaludin Malik (Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang)

Isolasi bakteri heterotrofik anaerobik pada pengolahan air limbah industri tekstil

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Mei 2016,
Vol. 7, No. 1, p. 39-46, 1 ill, 8 tab, 14 ref

Pengolahan air limbah secara anaerob merupakan salah satu metode pengolahan biologi untuk mengolah air limbah tekstil. Mikroorganisme yang mendominasi dalam proses tersebut adalah bakteri fakultatif dan anaerob obligat, dengan produk akhir gas-gas seperti karbondioksida dan metana. Dalam proses degradasi zat organik dalam air limbah industri tekstil secara anaerobik akan melibatkan berbagai jenis bakteri anaerobik baik dalam tahap hidrolisa, tahap asidogenesis maupun tahap metanogenesis. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kultur mikroorganisme anaerobik spesifik yang mampu mendegradasi limbah tekstil dan dilakukan dengan cara isolasi kemudian dilanjutkan dengan uji kemampuan mendegradasi bahan cemar dari air limbah industri tekstil yang mengandung amilum, selulosa, minyak, dan pewarna indigo. Secara keseluruhan dalam *sludge* anaerob terdapat 29 (dua puluh sembilan) isolat bakteri. Dari isolat tersebut 12 (dua belas) isolat terbaik yang mampu mendegradasi amilum yaitu BDLA 5, BDLA 4, BDLA 6, mendegradasi selulosa BDLC 2, BDLC 5, BDLC 1, mendegradasi minyak adalah BDLP 3, BDLP 1, BDLP 2, dan mendegradasi warna indigo adalah BDLW 3, BDLW 7, BDLW 2.

(Author)

Keywords : limbah tekstil, anaerob, isolasi, degradasi

Rizal Awaludin Malik^{1*}, Wahyu Surakusumah², Hertien Koosbandiah Surtikanti² (¹ Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang, ² Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung)

Potensi tanaman air sebagai fitoakumulator logam kromium dalam limbah cair tekstil

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Mei 2016,
Vol. 7, No. 1, p. 47-54, 8 ill, 3 tab, 20 ref

Penggunaan unit *wetlands* dalam proses pengolahan limbah cair industri tekstil telah banyak diterapkan di industri. Unit *wetlands* merupakan suatu unit proses pengolahan limbah cair yang memanfaatkan tanaman sebagai pengolah limbah cair. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi tiga jenis tanaman air yaitu *Zantedeschia aethiopica*, *Pontederia lanceolata*, *Echinodorus palaefolius* sebagai fitoakumulator logam kromium untuk dapat digunakan pada unit *wetlands*. Sumber logam kromium yang digunakan berasal dari limbah cair tekstil yang telah diolah namun masih memiliki kadar krom total yang masih cukup tinggi. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *microcosm constructed wetlands* dengan menggunakan pasir dan kerikil sebagai substrat tumbuh. Penelitian dilakukan selama 60 hari dan parameter yang diukur meliputi akumulasi logam kromium pada tanaman dan respon morfologis dari tanaman selama dipaparkan dengan limbah yang mengandung logam kromium meliputi nekrosis, klorosis, berat basah dan jumlah helaian daun. Hasil yang didapatkan memperlihatkan bahwa penurunan kadar logam kromium dari limbah cair mencapai 99%. Peningkatan jumlah konsentrasi logam kromium tertinggi terdapat pada tanaman *Echinodorus palaefolius*, peningkatan konsentrasi sebesar 6,12 ppm, sedangkan tanaman *Pontederia lanceolata* sebesar 2,45 ppm dan pada tanaman *Zantedeschia aethiopica* sebesar 1,38 ppm. Pada akhir masa penelitian didapatkan data bahwa tanaman *Echinodorus palaefolius* memiliki daya regenerasi yang lebih besar dibanding kedua tanaman uji lainnya. Hal ini ditunjukkan dengan persentase nekrosis sebesar 1,33% dan klorosis sebesar 0% dan selisih jumlah daun sebesar 0,44, sedangkan tanaman *Zantedeschia aethiopica* memiliki persentase klorosis 3,6% dan nekrosis 18,55% dan selisih jumlah daun -1,0, dan tanaman *Pontederia lanceolata* 18,22% dan 4,11% memiliki selisih jumlah daun -0,44. Dapat disimpulkan bahwa ketiga tanaman dapat digunakan sebagai akumulator logam kromium, namun tanaman *Echinodorus palaefolius* memiliki potensi paling tinggi dalam akumulasi logam kromium dari limbah cair tekstil.

(Author)

Keywords : *zantedeschia aethiopica*, *pontederia lanceolata*, *echinodorus palaefolius*, limbah cair tekstil, fitoakumulasi, kromium



JRT P P I 7 (1) (2016)

Jurnal Riset
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Journal homepage : ejournal.kemenperin.go.id/jrtppi

Kementerian
Perindustrian
REPUBLIK INDONESIA

Aplikasi limbah padat batu alam sebagai substitusi *fine agregat* paving blok, batako dan bahan baku semen

Application of natural stone waste as fine aggregate's substitution for paver block, concrete brick and cement raw material

Aris Mukimin*, Hanny Vistanty, Ikha Rasti Juliasari, Agung Budiarto, Januar Arif Fatkhurahman

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

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel :

Diterima 14 Maret 2016

Direvisi 13 April 2016

Disetujui 18 April 2016

Dipublikasikan online 11 Mei 2016

Keywords :

natural stone

paver block

concrete brick

cement

ABSTRAK

Pemanfaatan limbah padat batu alam menjadi penting dilakukan supaya keseimbangan lingkungan dapat dijaga dan dapat berpeluang menjadi sumber usaha baru yang akan berdampak pada sektor ekonomi masyarakat sekitar. Lokasi pengambilan limbah padat ditetapkan dari salah satu industri pengolahan batu alam di Kabupaten Cirebon. Sumber limbah tersebut berasal dari serbuk padat hasil pemotongan batu alam dan *sludge* hasil sedimentasi. Jenis batu alam yang menjadi obyek penelitian terdiri dari dua, yaitu batuan Andesit dan batuan Palimanan. Produk bahan bangunan yang dibuat dari limbah padat batu alam ada dua, yaitu paving dan batako, dimana dalam hal ini limbah difungsikan sebagai *fine agregat*. Pemanfaatan limbah sebagai bahan baku hanya dipelajari dan diaplikasikan untuk pembuatan semen. Limbah padat batu alam dapat digunakan sebagai substitusi *fine agregat* dalam pembuatan paving dan batako. Persen substitusi limbah padat batu alam untuk paving mencapai 30% untuk Andesit, dan 50% untuk palimanan dengan kualitas B, C dan D. Persen substitusi limbah padat batu alam untuk batako mencapai 50% untuk Andesit dan Palimanan dengan kualitas I, II, III dan IV. Limbah padat batuan Palimanan mempunyai *image* permukaan yang lebih kasar dibanding Andesit. Kandungan utama limbah padat batuan Andesit sama dengan Palimanan, yaitu: karbon, silika, alumina, kalsium oksida dan besi oksida. Limbah padat batu alam dapat dimanfaatkan untuk membuat semen dengan persen komposisi antara limbah dengan kapur sebesar 43%:56% dan dipanaskan pada suhu 800 °C selama 2 jam, dilanjutkan ke 1450 °C selama 3 jam.

ABSTRACT

Application of natural stone waste is particularly important to maintain environmental balance as well as a new business opportunity, which will enhance the regional economy. Solid waste used in this research was taken from one of natural stone industry in Cirebon, which consists of raw stone powder came from the cutting process and *sludge* came from sedimentation tank, Type of natural stones used in the industrial process were Andesite and Palimanan. The solid waste was used as a replacement of fine aggregates to produce paving block and concrete block and as raw material of cement. The result showed that waste was able to be used as a substitute of fine aggregates for paving block, up to 30% for Andesite and 50% for Palimanan on level B, C, and D, and concrete brick, up to 50% for Andesite and Palimanan on level I, II, III, and IV. Palimanan waste was able to show a coarse surface image compared to Andesite. The main compositions of Andesite and Palimanan showed no significant differences; carbon, silica, alumina, calcium oxide, and ferro oxide. Natural stone waste was utilized in the production of cement with a waste : limestone ratio of 43%:56% with two sequencing heating at 800 °C for 2 h, then at 1450°C for 3 h.

© 2016 BBTPPI. All rights reserved.

*Alamat korepondensi :

E-mail : mukiminaris@yahoo.com (A. Mukimin)

1. PENDAHULUAN

Aktivitas pengolahan batu alam selain menghasilkan produk yang akan mendatangkan keuntungan ekonomi juga telah mengakibatkan permasalahan lingkungan berupa timbunan limbah padat dan cair. Sumber limbah tersebut utamanya berasal dari proses pemotongan bahan baku yang dilakukan dengan bantuan air sehingga akan terbentuk selain produk juga limbah padat (serbuk batu alam) dan air limbah (Almeida dkk., 2005). Karakter air limbah ini mengandung total padatan dan total suspensi sangat tinggi (Almeida dkk., 2007), jika dibuang ke lingkungan maka akan menurunkan kualitas perairan (sungai) yang kemudian berdampak pada kualitas ekosistem yang terkait dengan perairan tersebut seperti pemukiman, pertanian dan peternakan.

Kondisi ini memerlukan penanganan yang tepat, baik untuk limbah padatnya maupun air limbah. Saat ini telah diterapkan teknologi pengolahan air limbah di beberapa industri dan terus akan diupayakan kesadaran dan kesediaan industri sehingga semua bisa menangani air limbahnya. Teknologi pengolahan yang saat ini digunakan berupa sedimentasi, koagulasi-flokulasi dan pengendapan. Sistem pengolahan seperti ini akan menghasilkan limbah padat yang berbentuk slurry. Allam dkk (2014) menyebutkan bahwa *stone slurry* merupakan *substance semi liquid* yang mengandung partikel alami dari proses pemotongan dan pemolesan. Fakta di lapangan menunjukkan bahwa volume *sludge* atau *slurry* dihasilkan sangat besar terutama pada proses sedimentasi. Prosentase volume *by product* tersebut sekitar 40% (Almaida dkk., 2007) atau >30% (Allam dkk., 2014).

Sementara itu, material bahan bangunan identik dengan komoditas yang mempunyai tingkat konsumsi material dasar yang tinggi. Pola produksi semacam ini akan menyebabkan penurunan ketersediaan sumber daya alam yang juga berakibat pada kerusakan lingkungan. Jenis bahan bangunan seperti paving blok, batako dan semen merupakan contoh komoditas yang memerlukan bahan baku besar selain cor beton (Alzboon dan Mahasneh, 2009). Substitusi bahan dasar bangunan dengan material limbah menjadi suatu strategi yang akan menguntungkan baik secara ekonomi maupun lingkungan. Turgut dan Agin (2007) telah

memanfaatkan limbah industri untuk digunakan sebagai material bangunan dan konstruksi. Balasubramanian dkk (1995) telah menggunakan *sludge* hasil pengolahan limbah tekstil pada beberapa material bangunan seperti *hollow bricks*, *solid bricks*, cor semen lantai keramik dan paving blok. Weng dkk (2003) telah menginvestigasi kemungkinan produksi *bricks* dari *sludge* kering dan mereka menemukan bahwa proporsi *sludge* dan temperatur pembakaran menjadi parameter kunci terhadap kualitas *bricks*. Kuswah (2015) menyebutkan sebanyak 30% penggunaan *slurry* batu alam dapat dimanfaatkan sebagai pengganti agregat (pasir) pada pembuatan beton cor dengan kekuatan yang sama. Dan referensi lain (Nemerow, 2009) menyebutkan pemanfaatan *slurry* batu sebagai pengganti agregat dengan konsentrasi sampai 20% tidak mempengaruhi kekuatan mekanis beton cor sehingga pemanfaatan limbah batu alam sebagai pengganti agregat pada beton cor dapat diterapkan untuk mengurangi volume limbah batu alam pada industri pengolahan batu alam.

Penelitian ini menyampaikan sebuah alternatif pemanfaatan limbah padat batu alam dan mendemonstrasikan solusi teknik pembuatan material bangunan berbahan baku dari limbah tersebut. Paving blok dan batako telah dipilih menjadi produk pemanfaatan melalui substitusi *fine agregat*. Adapun semen menjadi komoditas target dalam kapasitas limbah padat tersebut sebagai bahan baku utama. Uji kuat tekan dan analisis SEM-EDX digunakan sebagai parameter untuk mengukur kualitas produk.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini meliputi: limbah padat batu alam (Andesit dan Paliman), pasir muntiran, kapur tohor, air, semen, papan Kayu Kalimantan, multiplek, paku, ember, cetok, sekop, cetak, plastik, dan gelas takar. Beberapa peralatan digunakan untuk proses penyiapan, pencetakan atau pembuatan dan analisis kualitas atau kuantitas. Peralatan untuk penyiapan meliputi: tampah pengering, palu penggerus bongkahan limbah padat dan *mixer* (penghomogen bahan campuran). Proses pencetakan

dilakukan dengan mesin cetak yang dilengkapi proses tekan. Peralatan analisis yang digunakan meliputi: alat uji tekan, uji keausan dan SEM-EDX (JEOL JSM-6360LA).

2.2. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini meliputi: Penyiapan limbah padat batu alam, pembuatan paving, pembuatan batako, pembuatan semen dan analisis kualitatif atau kuantitatif bahan atau produk. Penyiapan limbah padat dilakukan dengan cara batu alam dijemur kemudian dihancurkan dengan menggunakan palu karet untuk penyeragaman ukuran partikel.

2.2.1. Pembuatan Paving

Limbah padat batu alam yang telah dijemur dan diseragamkan kemudian diukur untuk volume tertentu menggunakan ember dan gelas volum. Selain itu diukur pula kuantitas pasir, semen dan air dengan perbandingan keempat material tersebut sebagaimana pada Tabel 1-4.

2.2.2. Pembuatan Batako

Limbah padat batu alam yang telah dijemur dan diseragamkan kemudian diukur untuk volume tertentu menggunakan ember dan gelas ukur. Selain itu diukur pula kuantitas pasir, semen dan air dengan perbandingan keempat material tersebut sebagaimana pada Tabel 5-6.

Tabel 1. Formula pembuatan paving bersubstitusi limbah padat batuan Andesit

NO	PERSEN LBA (%)	VOLUME (L)			
		PASIR	LBA	SEMEN	AIR
1	10	14,4	1,6	2	1,6
2	20	25,6	6,4	4	2,55
3	30	16,8	7,2	3	1,75
4	40	14,4	9,6	3	3,5
5	50	12	12	3	4

Tabel 2. Formula pembuatan paving bersubstitusi bahan limbah padat batuan Palimanan

NO	PERSEN LBA (%)	VOLUME (L)			
		PASIR	LBA	SEMEN	AIR
1	10	21,6	2,4	3	1,5
2	20	19,2	4,8	3	1,6
3	30	16,8	7,2	3	1,7
4	40	14,4	9,6	3	5
5	50	12	12	3	5,5

Ket: LBA adalah limbah batu alam

Tabel 3. Formula pembuatan paving variasi rasio fine agregat terhadap semen dengan substitusi limbah batu alam 40%

NO	BATUAN	VOLUME (L)			
		PASIR	LBA	SEMEN	AIR
1	Andesit	14,4	9,6	3	3,5
		14,2	9,45	3,4	5,5
2	Palimanan	14,4	9,6	3	5
		14,2	9,45	3,4	4,5

Tabel 4. Formula pembuatan paving menggunakan limbah batu alam sebagai substitusi semen

NO	BATUAN	VOLUME (L)			
		PASIR	LBA	SEMEN	AIR
1	Andesit	24	0	3	1,5
		24	0,6	2,4	1,5

2.2.3. Pembuatan Semen

Untuk pemanfaatan limbah batu alam menjadi bahan dasar semen maka dilakukan uji kandungan anorganik dari limbah tersebut dengan menggunakan instrument SEM-EDX. Berdasarkan data kandungan anorganik dalam hal ini spesifik untuk parameter SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 dan CaO maka dibuat formula pembuatan semen adalah 1 g limbah batu alam dan 1,3 g kapur. Kedua bahan tersebut kemudian dicampur hingga homogen menggunakan blender. Bahan hasil campuran dikalsinasi hingga suhu 800°C dan ditahan

selama 2 jam kemudian disintering hingga temperatur 1300°C dan 1450°C ditahan selama 3 jam. Pemanasan ini dilakukan di cawan platina sehingga tahan terhadap suhu perlakuan. Segera setelah suhu dan waktu pemanasan tercapai kemudian sampel dikeluarkan supaya terjadi pendinginan cepat. Terak yang terbentuk kemudian dihancurkan sehingga diperoleh serbuk semen dan siap dianalisa kandungan anorganiknya dengan instrument SEM-EDX.

Tabel 5. Formula pembuatan batako bersubstitusi limbah padat batuan Andesit

NO	PERSEN LBA (%)	VOLUME (L)			
		PASIR	LBA	SEMEN	AIR
1	10	21,6	2,4	3	1
2	20	19,2	4,8	3	1,2
3	30	16,8	7,2	3	1,7
4	40	14,4	9,6	3	3,5
5	50	12	12	3	4

Tabel 6. Formula pembuatan batako bersubstitusi bahan limbah padat batuan Palimanan

NO	PERSEN LBA (%)	VOLUME (L)			
		PASIR	LBA	SEMEN	AIR
1	10	21,6	2,4	3	1,15
2	20	19,2	4,8	3	1,3
3	30	16,8	7,2	3	1,5
4	40	14,4	9,6	3	5
5	50	12	12	3	5,5

Tabel 7. Hasil uji kandungan mineral oksida batuan Andesit dan Palimanan

COMPOUND	MASSA (%)					
	ANDESIT	PALIMANAN	Torres, dkk (Granite)	Turgut, dkk (Limestone)	Ferreira, dkk (Granite)	Alzboon & Mahesneh
Karbon (C)	22,56	22,39	-	-	-	-
Na_2O	2,81	3,27	-	-	-	-
MgO	2,87	0,96	0,86	0	0,9	0,91
Al_2O_3	14,22	12,55	14,25	0,25	12,4	0,21
SiO_2	41,34	52,59	71,65	0,26	61,2	0,83
P_2O_5	0,66	0,34	-	-	-	-
K_2O	0,59	1,18	4,43	0	4,1	0
CaO	6,21	3,50	1,83	56,19	6,6	54,22
TiO_2	0,74	0,34	-	-	-	-
Cr_2O_3	0,09	0,05	-	-	-	-
FeO	6,71	2,77	2,83	0,3	12,4	0,11
CuO	1,20	-	-	-	-	-

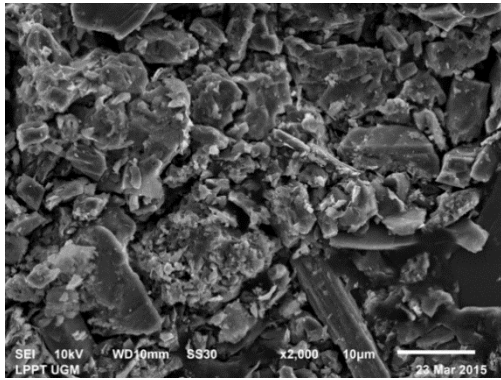
2.3. Analisis Kualitas

Produk paving, batako dan semen yang dibuat dengan bahan dasar yang salah satunya dari limbah padat

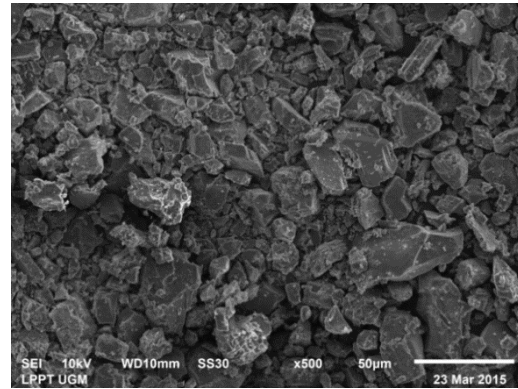
batu alam maka untuk menentukan kualitasnya dilakukan uji laboratorium. Uji kualitas untuk paving meliputi kuat tekan dan kadar air. Khusus uji kuat tekan dilakukan untuk

variasi waktu atau umur paving yaitu minimal 14 hari dan 28 hari. Uji kualitas batako dilakukan hanya untuk parameter kuat tekan. Hal ini didasarkan pada pertimbangan fungsi produk bangunan ini yang umumnya

sebagai dinding bangunan dengan beban tertentu. Adapun kualitas semen hasil pembuatan dikarakterisasi dengan analisis SEM-EDX. Metode uji ini akan memberikan data kuantitatif kandungan anorganik sampel yang dianalisis.



a



b

Gambar 1. SEM limbah padat (a) Andesit dan (b) Palimanan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Fisik dan Kimia Limbah Padat Batu Alam

Limbah padat batu alam yang menjadi obyek pada penelitian ini terdiri dari dua jenis, yaitu Andesit dan Paliman. Kedua limbah padat ini mempunyai perbedaan sifat fisik yang sangat jelas. Limbah padat dari batuan Andesit secara visual berwarna hitam mirip semen, sedangkan limbah padat Palimanan berwarna coklat kekuningan. Testur kedua limbah juga cenderung berbeda, limbah padat batuan Andesit relatif lebih halus dibanding Palimanan. Data hasil uji SEM dari limbah batu alam disajikan dalam Gambar 1.

Image permukaan antara limbah batu alam Andesit dan Palimanan menunjukkan perbedaan, dimana limbah batu alam Andesit cenderung lebih halus dengan ukuran partikel lebih beragam dari ukuran sekitar 1 – 20 µm. Sementara itu limbah batu alam Palimanan mempunyai image permukaan yang lebih kasar dengan tingkat ukuran partikel lebih seragam, yaitu sekitar 10 – 30 µm.

Perbedaan sifat fisik limbah batu alam juga dapat dijumpai berdasarkan sumber proses. Limbah padat yang diperoleh dari proses pemotongan cenderung lebih kasar

dibanding dari proses sedimentasi. Limbah padat yang berasal dari sedimentasi mempunyai kadar air yang sangat tinggi, sementara untuk limbah padat dari proses pemotongan relatif rendah. Proses sedimentasi cenderung menghasilkan limbah padat yang hampir sama ukuran partikelnya, sedangkan proses pemotongan menghasilkan limbah padat dengan homogenitas rendah. Bahkan tidak sedikit limbah padat dari proses pemotongan terdapat potongan batu alam yang relatif besar.

Sifat fisik limbah padat Paliman yang lebih kasar dibanding Andesit dimungkinkan karena kandungan SiO_2 yang berbeda dari kedua jenis batuan tersebut. Berdasarkan data analisa batuan Andesit mempunyai kandungan silika yang relatif lebih rendah dari Paliman, yaitu 41% sedang Paliman 52%. Ilustrasi komposisi kimia limbah batuan ini disajikan pada Tabel 7.

Hasil analisis komposisi kimia telah dibandingkan dengan hasil studi penelitian sebelumnya (Torres dkk, 2004; Turgut dkk, 2007; Ferreira dkk, 2004 dan Alzboon, 2009). Data analisis telah menunjukkan komposisi kimia yang berbeda dari setiap sumber batuan yang berlainan. Variasi dalam mineralogi dan komposisi kimia dari limbah padat (*sludge*) ini telah mencirikan variasi tipe dan asal usul batuan

(Colombo dkk, 2008). Berdasar nilai kandungan silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) dibanding kalsium oksida (CaO) membuktikan bahwa batuan Paliman dan Andesit lebih mirip dengan granit dari pada *limestone* atau *marble*.

3.2. Substitusi Limbah Batu Alam Dalam Pembuatan Paving

Paving hasil cetakan yang tersubstitusi limbah padat batu alam secara visual mempunyai perbedaan dengan paving yang tanpa substitusi. Perbedaan itu terjadi baik dalam

hal warna maupun tekstur permukaan. Untuk paving tersubstitusi limbah batu alam Andesit cenderung menghasilkan permukaan yang lebih halus dan berwarna gelap kehijauan, sedangkan substitusi limbah batu Palimanan menghasilkan paving dengan warna cenderung cerah dan sedikit kasar. Kualitas kuat tekan untuk paving tersebut disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil uji kuat tekan produk paving variasi persen substitusi limbah batu alam andesit dan umur penjemuran

NO	PERSEN SUBSTITUSI (%)	KUAT TEKAN (Kg/cm^2)		KUALITAS
		UMUR 14 HARI	UMUR 28 HARI	
1	10	245	251,7	B
2	20	212	241,7	B
3	30	90	148,1	C
4	40	76,5	98	Tidak memenuhi
5	50		97	Tidak memenuhi

Ket Kualitas: B untuk peralatan parkir, C untuk pejalan kaki dan D untuk taman

Tabel 9. Hasil uji kuat tekan produk paving variasi persen substitusi limbah batu alam palimanan dan umur penjemuran

NO	PERSEN SUBSTITUSI (%)	KUAT TEKAN (Kg/cm^2)		KUALITAS
		UMUR 14 HARI	UMUR 28 HARI	
1	10	217	275,3	B
2	20	184	162,7	C
3	30	76	122,5	D
4	40	104,6	117,4	D
5	50	-	94,4	D

Ket Kualitas: B untuk peralatan parkir, C untuk pejalan kaki dan D untuk taman

Tabel 10. Hasil uji kuat tekan produk paving variasi rasio *fine agregat* terhadap semen dengan substitusi limbah batu alam 40%

NO	JENIS LBA	KUAT TEKAN (Kg/cm^2)		KUALITAS
		RASIO 1:7	RASIO 1:8	
1	ANDESIT	80,5	76,5	Tidak memenuhi
2	PALIMANAN	107,0	117,4	D

Ket Kualitas: D untuk taman

Tabel 11. Hasil uji kuat tekan produk paving menggunakan limbah batu alam sebagai substitusi semen

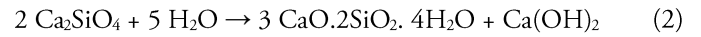
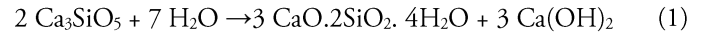
NO	PERSEN SUBSTITUSI (%)	KUAT TEKAN (Kg/cm^2)		KUALITAS
		UMUR 14 HARI	UMUR 28 HARI	
1	20	113	137,9	C

Ket Kualitas: C untuk pejalan kaki

Berdasar data kuat tekan dari produk paving yang dihasilkan maka terjadi peningkatan sifat kuat tekan equivalen dengan lama atau umur pengeringan. Peningkatan sifat fisik ini mencapai 2,7 % untuk substitusi

10% dan 28% untuk substitusi 40%. Neville dkk (1982) telah menjelaskan bahwa peningkatan kuat tekan produk cetak bahan bangunan oleh umur pembuatan disebabkan oleh penambahan konsentrasi senyawa semen terhidrat,

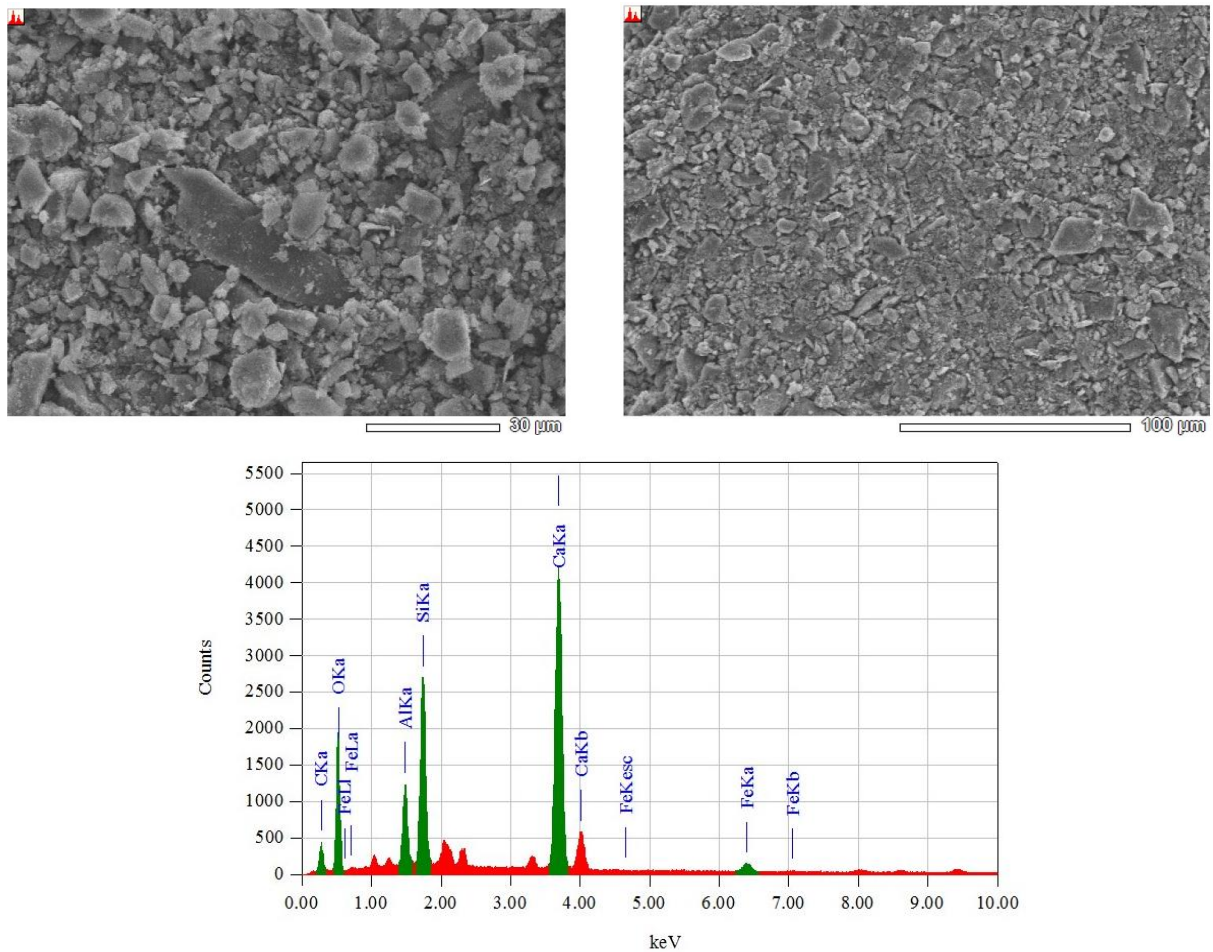
dimana senyawa ini akan menempati semua ruang yang tersedia di dalam produk. Sementara itu Munoz-Montano (2003) telah menyampaikan bahwa peningkatan kuat tekan oleh penambahan umur paving berhubungan dengan pertambahan konsentrasi senyawa semen terhidrat dalam ruang yang tersedia dalam produk ini untuk diisi. Reaksi hidrasi dua senyawa utama semen (trikalsium silikat dan dikalsium silikat) adalah:



Peningkatan kuat tekan oleh lama waktu penjemuran mengharuskan pada pemenuhan waktu pengeringan yang harus ditepati. Peningkatan kuat tekan yang dikarenakan oleh lamanya waktu penjemuran juga tergantung pada tepatnya waktu pengeringan.

Tabel 12. Hasil uji penyerapan air produk paving

NO	PERSEN SUBSTITUSI (%)	PENYERAPAN AIR (%)		KUALITAS
		UMUR 14 HARI	UMUR 28 HARI	
1	A 10	8,23	5,35	B
2	A 20	10,07	6,00	B
3	A 30	12,33	7,67	C
4	P 10	6,84	4,57	B
5	P 20	9,21	5,88	B
6	P 30	12,20	7,89	C



Gambar 2. Hasil SEM-EDX semen yang ada di pasaran

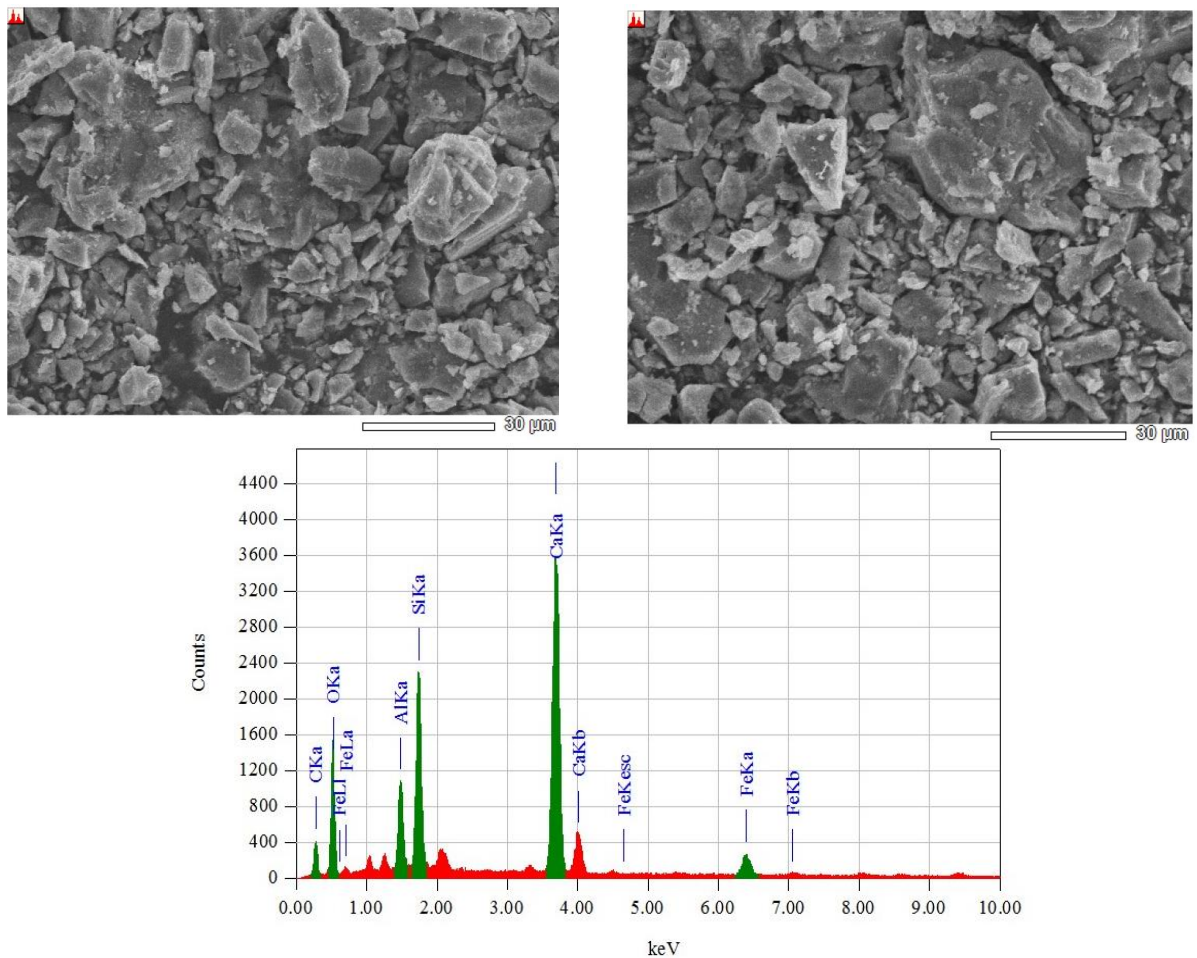
Berdasar data yang termuat pada Tabel 8 juga akan diketahui bahwa peningkatan persen substitusi akan menurunkan sifat kuat tekan paving. Substitusi sampai dengan 20% akan menghasilkan paving yang kualitasnya masih memenuhi kelas B atau paving peruntukan pelataran parkir. Namun pada substitusi 30% kuat tekan paving akan menurun sehingga hanya layak untuk pejalan kaki atau kualitas C. Substitusi di atas itu atau lebih dari 40% ternyata akan menghasilkan kualitas paving yang kuat tekannya

rendah sehingga tidak layak digunakan untuk spesifikasi fungsinya. Almeida dkk (2007) telah menjelaskan penurunan kuat tekan oleh peningkatan komposisi limbah batu atau *dust* akibat material halus tidak mampu menggantikan efek mikrofiller.

Kecenderungan sifat kuat tekan paving tersubstitusi limbah padat batu alam juga dijumpai untuk jenis batuan Palimanan. Data kualitas paving yang dimaksud telah disajikan pada Tabel 9.

Tabel 13. Hasil uji kuat tekan produk batako variasi persen substitusi limbah padat batu alam

NO	PERSEN SUBSTITUSI (%)	KUAT TEKAN (Kg/cm ²)		KUALITAS
		ANDESIT	PALIMANAN	
1	10	45,8	73,4	III, I
2	20	49,4	62,6	III,II
3	30	63,2	60,7	II, II
4	40	26,1	22,4	IV, IV
5	50	29,8	36,3	IV, III



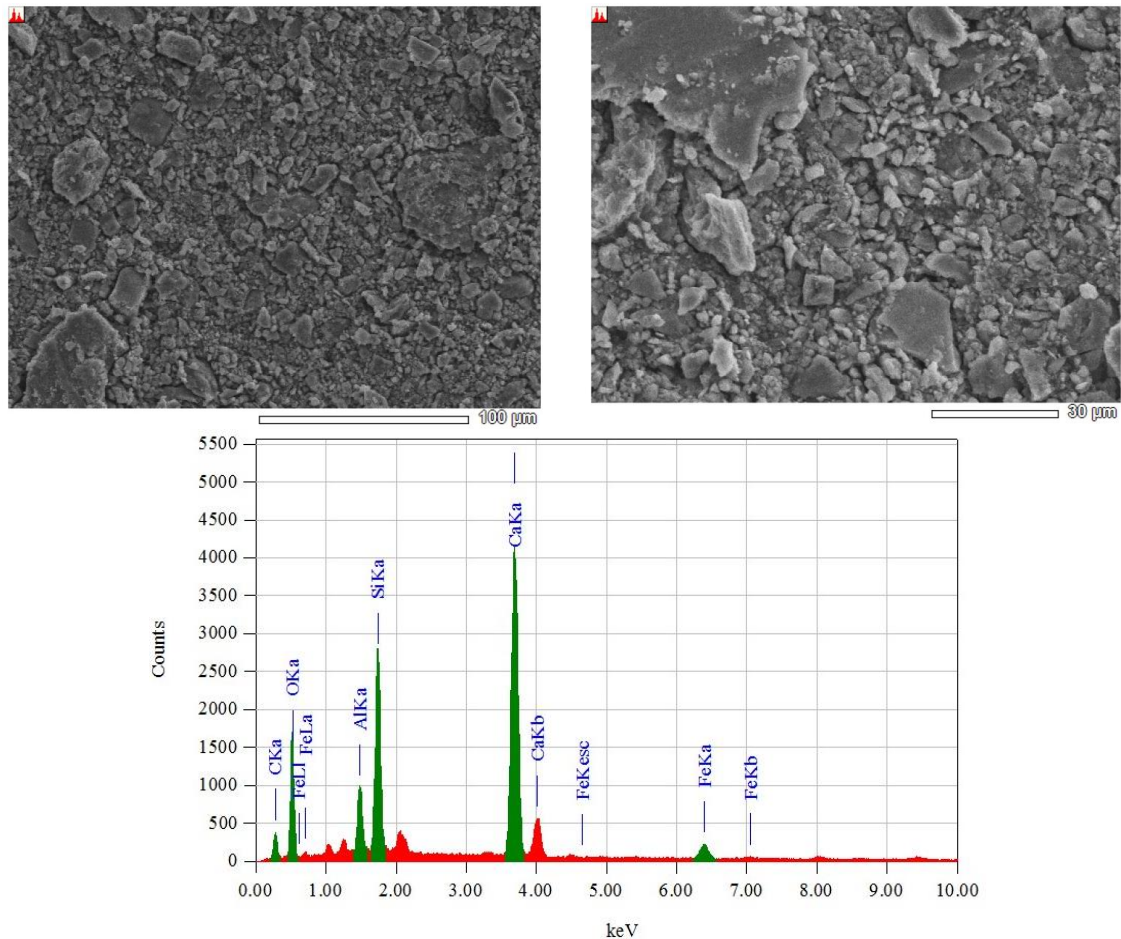
Gambar 3. Hasil SEM-EDX semen yang dibuat dari limbah padat batu alam dengan suhu sintering 1300 °C

Umur paving akan mempengaruhi sifat kuat tekan, semakin lama umurnya maka kuat tekannya akan semakin besar. Besar peningkatan kuat tekan sekitar 27% untuk substitusi 10% dan 12% untuk substitusi 40%. Peningkatan

yang cukup tinggi ini disebabkan oleh sifat limbah batu alam Palimanan yang cenderung lebih menyerap air sehingga potensi pembentukan semen terhidrat akan semakin besar.

Tabel 14. Hasil pengujian kandungan anorganik semen terbuat dari limbah batu alam

NO	UNSUR & MINERAL OKSIDA	MASSA (%)		
		SEMEN KOMERSIAL	SEMEN BATU ALAM TERPROSES T 1300°C	SEMEN BATU ALAM TERPROSES T 1450°C
1	Karbon	18,74	20,65	17,91
2	Al ₂ O ₃	9,1	9,33	7,72
3	SiO ₂	25,65	23,06	25,97
4	CaO	43,36	40,21	43,15
5	Fe ₂ O ₃	3,15	6,75	5,25



Gambar 4. Hasil SEM-EDX semen yang dibuat dari limbah padat batu alam dengan suhu sintering 1450 °C

Hanya jika dibandingkan dengan paving tersubstitusi limbah batu alam andesit maka paving tersubstitusi limbah batu alam Paliman lebih baik kuat

tekannya. Untuk komposisi substitusi sampai 50%, paving yang dihasilkan masih memenuhi peruntukan fungsi paving. Hal ini disebabkan oleh sifat fisik limbah batu alam

Palimanan yang cenderung lebih kasar dan keras sehingga efek mikrofillernya dapat terpenuhi.

Investigasi efek substitusi limbah batu alam terhadap produk paving menarik untuk didalami dengan memvariasi rasio *fine agregat* terhadap *blinder* (semen). Formula umum perbandingan *fine agregat* terhadap semen sebesar 8 banding 1. Perbandingan ini telah memberikan paving dengan kuat tekan yang rendah sebagaimana disampaikan pada Tabel 10.

Nilai kuat tekan yang rendah ini maka dicari solusi dengan memperbesar perbandingan semen terhadap *fine agregat* menjadi 1:7. Data yang diperoleh menunjukkan terjadi peningkatan sekitar 5,2% untuk batuan Andesit, namun fakta sebaliknya terjadi pada batuan Palimanan yaitu terjadi penurunan sebesar 9,7%. Hasil uji yang demikian ini bisa dinyatakan bahwa limbah padat batu alam andesit mempunyai potensi sifat seperti semen, sementara itu tidak demikian untuk limbah padat batu alam Palimanan. Berdasar pada sifat fisik limbah maka diketahui secara jelas bahwa limbah padat batu alam Palimanan cenderung berukuran partikel lebih besar dan bersifat kasar. Hal ini menjadi sifat yang semakin tidak sama dengan material semen. Penurunan kuat tekan oleh peningkatan rasio semen terhadap *fine agregat* oleh Uchikawa (1996) dijelaskan sebagai akibat kemampuan modulus elastisitas material semen yang ternyata hanya setengah dari modulus elastisitas *fine agregat*.

Penelusuran lebih lanjut terhadap potensi sifat semen pada limbah padat batu alam Andesit menarik untuk dilakukan. Data kuat tekan dari paving hasil substitusi semen dengan limbah batuan Andesit disajikan pada Tabel 11.

Berdasar hasil uji kuat tekan tersebut pada Tabel 11 maka potensi sifat semen dalam limbah padat batu alam Andesit sangat kecil. Substitusi semen oleh limbah batu alam jenis ini telah mereduksi kuat tekan dari 241,7 Kg/cm² menjadi 137,9 Kg/cm² atau sekitar 75%. Rendahnya nilai kuat tekan tersebut dimungkinkan oleh kuantitas ikatan hidrasi yang kecil akibat tidak berlangsungnya proses ini dalam limbah padat batu alam Andesit. Fakta ini menjadi dasar kesimpulan yang jelas bahwa limbah batu alam yang tanpa pengolahan belum bisa menggantikan semen.

Konsumsi air yang meningkat selain untuk keperluan reaksi hidrasi semen juga memperbesar peluang penguapan saat pengeringan. Transfer air saat pengeringan akan menjadi linier terhadap potensi penyerapan air.

Kadar penyerapan air yang relatif sama untuk paving terbuat dari limbah padat batu alam Andesit dengan paving yang terbuat batu alam Palimanan menarik untuk diuraikan. Berdasar volume kebutuhan air maka hampir di semua persen substitusi limbah batu alam Palimanan lebih besar. Kondisi ini mestinya nilai kadar air penyerapan paving berbahan substitusi limbah padat batu alam Palimanan akan besar tetapi dalam realitasnya kadar penyerapannya tidak berbeda nyata dengan paving tersubstitusi limbah padat batu alam Andesit. Jika diamati maka penyebab fenomena ini salah satu yang mungkin karena peluang reaksi hidrasi semen di limbah padat batu alam Palimanan lebih besar. Faktor penyebabnya bisa karena sifat fisik limbah tersebut yang cenderung kasar. Konsekuensi dari kecenderungan ini dapat dibuktikan dari nilai kuat tekan paving Palimanan yang lebih tinggi dari Andesit.

3.3. Substitusi Limbah Batu Alam Dalam Pembuatan Batako

Berdasar data kuat tekan pada Tabel 13 maka diperoleh sebuah kecenderungan bahwa substitusi *fine agregat* pasir oleh limbah batu alam akan menurunkan kualitas kuat tekan batako. Persen substitusi yang semakin besar maka penurunan kuat tekan batako juga semakin besar. Kecenderungan ini mempunyai sebab yang sama ketika limbah batu alam digunakan untuk membuat paving sebagaimana telah dijelaskan pada bagian sebelumnya.

Bila dibandingkan antara limbah padat jenis batuan (Andesit dengan Palimanan) maka hampir disemua persen substitusi menunjukkan bahwa kuat tekan batako dari limbah batu alam Palimanan lebih besar dari pada Andesit. Hal yang menyebabkan fakta tersebut tidak lain karena sifat fisik limbah padat batu alam Palimanan yang lebih kasar dibanding Andesit.

3.4. Pembuatan Semen Berbahan Dasar Limbah Batu Alam

Batu alam Andesit dan Palimanan merupakan bahan tambang non mineral yang tidak berbeda jauh dengan bahan baku semen. Fakta ini membuka peluang untuk pemanfaatan limbah kedua jenis batuan alam tersebut untuk bahan baku semen, apalagi secara fisik limbah batu alam khususnya Andesit mempunyai warna fisik yang sama dengan produk semen. Berdasar hasil uji EDX maka diketahui bahwa limbah batu alam Andesit dan Palimanan mengandung banyak jenis bahan kimia. Unsur utama penyusun limbah padat batuan Andesit dan Palimanan tidak berbeda, yaitu: karbon, oksigen, aluminium, silika, kalsium dan besi. Keenam unsur itu mempunyai *range* persen komposisi yang hampir sama kecuali silika, kalsium dan besi. Oksida mineral utama penyusun limbah tersebut adalah Al_2O_3 , SiO_2 , CaO dan FeO . Persen komposisi untuk Al_2O_3 dan SiO_2 cenderung sama yaitu sekitar 13% dan 45%, sedangkan persen CaO dan FeO relatif berbeda yaitu antara 6,2 dengan 3,5 dan 6,7 dengan 2,77.

Oleh karena kandungan kimia limbah padat batuan Andesit dan Palimanan hampir sama dengan bahan baku produksi semen, maka menarik untuk memanfaatkan limbah ini menjadi bahan baku semen. Indikator keberhasilan pemanfaatan ini dilakukan dengan membandingkan hasil uji SEM-EDX antara produk hasil pembuatan semen berbahan dasar limbah padat batuan dengan produk semen yang ada di pasaran. Data uji SEM-EDX untuk semen pasaran sebagaimana dimuat dalam Gambar 2. Data SEM-EDX produk semen telah menunjukkan bahwa material ini mempunyai ukuran partikel yang relatif seragam khususnya dengan perbesaran 100x. Material ini juga memiliki kandungan senyawa utama sebanyak empat dengan detail identitasnya disampaikan pada Tabel 14.

Data SEM-EDX limbah batu alam yang telah dicampur dengan kapur dan dipanaskan suhu 1300 °C mempunyai *image* dengan ukuran partikel yang kurang homogen dibanding produk semen. Namun material tersintesis ini juga terdiri dari empat unsur utama. *Image* permukaan yang lebih tegas telah ditunjukkan oleh material

semen tersintesis pada suhu 1450 °C. Namun dari aspek ukuran partikel masih kurang seragam bila dibanding dengan produk semen pasaran.

Hal ini disebabkan oleh proses *grinding* yang tidak dilakukan untuk material tersintesis. Unsur penyusun material ini tidak berbeda jauh dengan produk semen pasaran. Untuk mengetahui secara detail komparasi unsur penyusun semen pasaran dengan material semen tersintesis maka dapat dilihat pada Tabel 14.

4. KESIMPULAN

Limbah padat batu alam dapat digunakan sebagai substitusi *fine agregat* dalam pembuatan paving dan batako. Persen substitusi pembuatan paving mencapai 30% untuk Andesit dan 50% untuk palimanan dengan kualitas B, C dan D. Adapun pembuatan batako mencapai 50% untuk Andesit dan Palimanan dengan kualitas I, II, III dan IV. Limbah padat batuan Palimanan mempunyai *image* permukaan yang lebih kasar dibanding Andesit. Kandungan utama limbah padat batuan Andesit sama dengan Palimanan, yaitu: karbon, silika, alumina, kalsium oksida dan feri oksida. Limbah padat batu alam dapat dimanfaatkan untuk membuat semen dengan persen komposisi antara limbah dengan kapur sebesar 43%:56% dan dipanaskan pada suhu 800 °C selama 2 jam dilanjutkan ke 1450 °C selama 3 jam.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dapat terealisasi atas dukungan dana dari BBT PPI dan BLHD Kabupaten Cirebon. Data pengujian dapat diperoleh secara representatif oleh peran serta Laboratorium PPIK Propinsi Jawa Tengah dan Laboratorium LPT UGM Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Allam ME., Bakhom ES., Garas GL., 2014, Re-use of Granite Sludge in Producing Green Concrete, *Journal of Engineering and Applied Sciences* 9 (12), pp.2731-2737
- Almeida N., Branco F., Brito J., 2007, High-performance concrete with recycled stone slurry, *Cement and Concrete Research* 37, pp. 210–220

- Almeida NM., Branco F., Santos JR., 2005, Recycling of stone slurry in industrial activities: application to concrete mixtures, *building and environment* 42, pp. 810-819
- Alzboon KK., dan Mahasneh KN., 2009, Effect of Using Cutting Stone Waste on the Compression Strength and Slump Characteristics of Concrete, *Int. J. Env. Chem. Eco. Geo. Eng* 3 (3), pp. 83-88
- Balasubramanian J., Sabumon C., Lazar JU., dan Ilangovan R., 1995, Reuse of textile effluent treatment plant sludge in building materials, *journal of materials processing technology* 48 (1-4), pp. 379-384.
- Colombo A., Tunesi A., Barberini V., Galimberti L., Cavallo A., 2008, Chemical and mineralogical characterization of cutting process sludge, exploitation of sludge from stone working synthesis of the research., accessed 2008, http://www.aigt.ch/download/rapporto_INTERREGen.pdf.
- Ferreira JMF., Torres PMC., Silva MS., and Labrincha JA., 2004, Recycling of granite sludge in brick-type and floor tile-type ceramic formulation. *Journal of the European Ceramic Society* 24 (10-11), pp. 3177-3185.
- Kuswah RS., 2015, Utilization Of "Marble Slurry" In Cement Concrete Replacing Fine Aggregate. *American Journal of Engineering Research* 4 (1), pp. 55-58
- Munoz-Muntano J., 2003, Project Reference BRST985531, Recycling of waste originated in the process of cutting natural stone, In: BRITE/EURAM3
- Nemerow, Nelson L., 2009, *Environmental Engineering, Sixth Edition : Environmental Health And Safety For Municipal Infrastructure, Land Use And Planning, And Industry*. John Wiley & Sons. pp.50
- Neville AM., 1982, *Properties of Concrete*, Pini, SP, Brazil
- Turgut P., dan Algin HM., 2007, Limestone dust and wood sawdust as brick material. *Building and Environment Journal* 42 (9), pp. 3399-3403
- Torres P., Fernandes HR., Agathopoulos S., Tulyaganov DU., and Ferreira JMF., 2004, Incorporation of granite cutting sludge in industrial porcelain tile formulations, *Journal of the European Ceramic Society* 24 (10-11), pp. 3177-3185.
- Uchikawa H., Hanehara S., Hirao H., 1996, Influence of microstructure on the physical properties of concrete prepared by substituting mineral powder for part of fine aggregate, *Cement and Concrete Research* 26 (1), pp. 101-111.
- Weng C., Lin D., dan Chiang P., 2003, Utilization of sludge as brick materials. *Advances in Environmental Research*, 7 (3), pp. 679-68



JRT PPI 7 (1) (2016)

Jurnal Riset
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Journal homepage : ejournal.kemenperin.go.id/jrtppi

Kementerian
Perindustrian
REPUBLIK INDONESIA

Isolasi bakteri heterotrofik anaerobik pada pengolahan air limbah industri tekstil

Isolation of anaerobic heterotrophic bacteria in textile industry waste water treatment

Novarina Irnaning Handayani*, Misbachul Moenir, Nanik Indah Setianingsih, Rizal Awaludin Malik

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

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel :

Diterima 21 Maret 2016

Direvisi 29 April 2016

Disetujui 02 Mei 2016

Dipublikasikan online 12 Mei 2016

Keywords :

textile wastewater
anaerobic
isolation
degradation

ABSTRAK

Pengolahan air limbah secara anaerob merupakan salah satu metode pengolahan biologi untuk mengolah air limbah tekstil. Mikroorganisme yang mendominasi dalam proses tersebut adalah bakteri fakultatif dan anaerob obligat, dengan produk akhir gas-gas seperti karbondioksida dan metana. Dalam proses degradasi zat organik dalam air limbah industri tekstil secara anaerobik akan melibatkan berbagai jenis bakteri anaerobik baik dalam tahap hidrolisa, tahap asidogenesis maupun tahap metanogenesis. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kultur mikroorganisme anaerobik spesifik yang mampu mendegradasi limbah tekstil dan dilakukan dengan cara isolasi kemudian dilanjutkan dengan uji kemampuan mendegradasi bahan cemaran dari air limbah industri tekstil yang mengandung amilum, selulosa, minyak, dan pewarna indigo. Secara keseluruhan dalam *sludge* anaerob terdapat 29 (dua puluh sembilan) isolat bakteri. Dari isolat tersebut 12 (dua belas) isolat terbaik yang mampu mendegradasi amilum yaitu BDLA 5, BDLA 4, BDLA 6, mendegradasi selulosa BDLC 2, BDLC 5, BDLC 1, mendegradasi minyak adalah BDLP 3, BDLP 1, BDLP 2, dan mendegradasi warna indigo adalah BDLW 3, BDLW 7, BDLW 2.

ABSTRACT

Anaerobic wastewater treatment is regarded as one of the biological methods for treating textile wastewater. The dominating microorganisms in anaerobic reactor are facultative and obligate anaerobics, which produce gases, such as methane and carbon dioxide, as the end products. Anaerobically, organic compound's degradation involves many different species of anaerobic bacteria in the hydrolysis, acidogenesis and methanogenesis phase. The aim of this study is to determine the species of anaerobic microorganism that capable of textile waste decomposition. The research was done by isolation, followed the ability to decompose the material contamination of wastewater textile industry which contained starch, cellulose, fat, and indigo dye. After isolation and degradability test of textile wastewater, 29 (twenty-nine) isolates were obtained. From those isolates, 12 (twelve) isolates of bacteria were chosen. Bacterias which had the highest degradation ability to decompose starch were BDLA 5, BDLA 4, BDLA 6, while BDLC 2, BDLC 5, BDLC 1 were able to degrade cellulose. Lastly, fat was able to be decomposed by species BDLP 3, BDLP 1, BDLP 2, and the indigo dye was decomposed by BDLW 3, BDLW 7, BDLW 2.

© 2016 BBT PPI. All rights reserved.

*Alamat korepondensi :

E-mail : nova.bbtppi@yahoo.co.id (N.I. Handayani)

1. PENDAHULUAN

Industri tekstil di Indonesia banyak terdapat di beberapa daerah diantaranya terdapat di daerah Bandung, Jakarta dan Pekalongan. Industri tekstil merupakan salah satu

industri yang menghasilkan devisa yang cukup tinggi bagi negara dan dapat meningkatkan nilai GDP (Keane, 2008), selain itu banyaknya industri tekstil juga berdampak pada tingginya penyerapan tenaga kerja lokal. Selain berdampak positif, industri tekstil juga berdampak negatif yang berupa

pembuangan air limbah yang apabila tidak dikelola dengan baik dan benar berpotensi mencemari lingkungan.

Proses pembuatan tekstil meliputi beberapa proses yaitu *weaving, sizing, knitting, mercerizing, dyeing, dan finishing* (Savin dan Butnaru, 2008). Proses pembuatan tekstil umumnya menggunakan bahan-bahan penolong seperti kanji, mordant, pewarna dan bahan kimia lain yang disesuaikan bahan baku tekstil yang digunakan (Aslam et al., 2004). Proses pengolahan tekstil ini menghasilkan cemaran berupa air limbah dengan karakteristik cemaran yang berbeda-beda. Cemaran ini menimbulkan dampak yang sangat besar bagi lingkungan, pengolahan tekstil menghasilkan air limbah sebanyak 115-175 kg COD/ton bahan tekstil jadi (Savin dan Butnaru, 2008). Pengolahan air limbah dilakukan agar air limbah yang dibuang ke lingkungan dapat memenuhi baku mutu yang disyaratkan.

Saat ini pengolahan air limbah industri tekstil banyak menggunakan sistem gabungan antara Fisika-Kimia dan Biologi Lumpur Aktif. Kendala yang dijumpai industri tekstil dengan sistem tersebut adalah dihasilkannya sludge yang diklasifikasikan ke dalam limbah B-3 (PP 101/2014). Pengolahan air limbah secara anaerob merupakan salah satu metode alternatif pengolahan secara biologis untuk mengolah air limbah dengan kandungan organik tinggi. Menurut Simmi Goel (2010) dan Joanne Bell dan Chris A Buckley (2003), proses biologis anaerobik dapat digunakan untuk mengolah air limbah tekstil dengan proses pewarnaan dan tidak mengeluarkan sludge yang berlebihan. Pada penelitian Munir dkk (2015) tentang pengolahan air limbah tekstil *washing jeans* menggunakan reaktor anaerob berhasil menurunkan COD sebesar 82,97%.

Beberapa keuntungan proses pengolahan air limbah secara anaerob adalah *yield* biomass untuk proses anaerob lebih rendah dibanding sistem aerob, aerasi tidak diperlukan sehingga biaya investasi dan pemakaian energi rendah, gas metana yang dihasilkan proses anaerob bernilai ekonomis dan loading organik lebih tinggi pada sistem anaerob dibandingkan sistem aerob. Kelemahan proses anaerobik adalah kadang timbul bau yang tidak sedap karena dihasilkannya gas H₂S dan merkaptan serta start up membutuhkan waktu yang lama sekitar 8 – 12 minggu.

Organisme yang berperan penting dalam sistem pengolahan anaerob adalah bakteri. Bakteri ini dapat hidup dan berkembang biak tanpa membutuhkan oksigen (O₂), bakteri anaerobik mendapatkan energi dari reaksi fermentasi. Bakteri anaerob terbagi menjadi 3 jenis yaitu anaerob obligat, anaerob fakultatif, dan aerotoleran. Salah satu faktor yang mempengaruhi proses degradasi zat organik secara anaerob salah satunya adalah tersedianya bakteri yang cocok dengan bahan organik yang akan diolah selain faktor eksternal lainnya seperti pH, alkalinitas, temperatur dan nutrisi yang sesuai.

Dalam proses degradasi zat organik oleh mikroorganisme anaerob (tidak ada oksigen), akan dihasilkan produk akhir gas metan (CH₄), karbondioksida (CO₂), dan sebagian kecil hidrogen sulfida (H₂S) dan hidrogen (H₂). Menurut Stronach et al. (1986), proses konversi zat organik yang dapat terdegradasi dalam pengolahan limbah secara anaerobik berlangsung dalam 3 tahapan utama, yaitu :

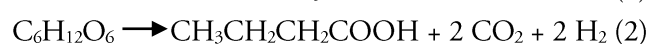
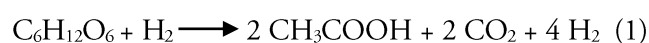
a. Tahap Hidrolisa

Pada tahap ini terjadi hidrolisa zat organik rantai panjang dan kompleks menjadi senyawa monomer seperti asam lemak, alkohol dan zat organik-organik terlarut lainnya.

b. Tahap Acidogenesis

Terjadi peruraian senyawa monomer hasil hidrolisa menjadi asam volatil seperti asam asetat, asam laktat, asam propionat serta melepas gas CO₂ dan H₂.

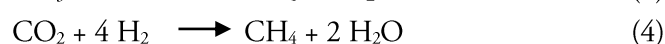
Reaksi pembentukan asam volatil adalah sebagai berikut:



c. Tahap Methanogenesis

Pada tahap ini bahan hasil peruraian tahap acidogenesis oleh bakteri methanogen diolah menjadi CH₄ dan CO₂

Reaksi pembentukan CH₄ dan CO₂ adalah sebagai berikut:



Dalam proses degradasi zat organik dalam air limbah industri tekstil secara anaerobik akan melibatkan berbagai jenis bakteri anaerobik baik dalam tahap hidrolisa, tahap acidogenesis maupun tahap methanogenesis. Menurut

Stronach et al. (1986) pada tahap hidrolisa terjadi peruraian protein oleh bakteri genus *Bacillus* dan *Vibrio*, peruraian karbohidrat oleh *Bacterioides*, *Staphylococcus*, dan *Clostridium*, sedangkan untuk lipid diurai oleh *Clostridium*, *Micrococcus* dan *Staphylococcus*. Pada tahap acidogenesis terdapat bakteri *Staphylococcus*, *Pseudomonas*, *Streptococcus* yang berperan. Pada tahapan methanogenesis yang dapat mengurai asetat menjadi metan adalah *Methanothrix*, *Methanosarcina*, dan *Methanospirillum*, sedangkan yang mendukung pembentukan metana dari hidrogen adalah *Methanobacterium*, *Methanobrevibacterium*, dan *Methanoplanus*.

Di alam, populasi bakteri merupakan populasi campuran dari berbagai jenis bakteri sehingga untuk mendapatkan suatu jenis bakteri yang kita kehendaki untuk suatu tujuan tertentu dilakukan isolasi jenis bakteri tersebut. Oleh karena itu untuk mendapatkan isolat bakteri yang mampu mendegradasi cemaran yang ada dalam limbah tekstil akan dilakukan isolasi. Isolasi bakteri merupakan proses memisahkan suatu bakteri dari habitatnya di alam dan menumbuhkannya sebagai biakan murni dalam medium buatan. Sebelum isolasi dilakukan perlu diketahui cara-cara menanam dan menumbuhkan bakteri pada medium biakan tertentu yang sesuai dengan jenisnya serta syarat-syarat lain untuk pertumbuhannya (Jutono, 1980). Memindahkan bakteri dari medium lama ke dalam medium yang baru diperlukan ketelitian dan sterilisasi alat-alat yang digunakan agar tidak terjadi kontaminasi. Pada pemindahan bakteri di cawan petri setelah agar baru, maka cawan petri tersebut harus dibalik, hal ini berfungsi untuk menghindari adanya tetesan air yang mungkin melekat pada dinding tutup cawan petri (Dwijoseputro, 1987).

Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam melakukan isolasi mikroorganisme, yaitu : sifat setiap jenis mikroorganisme yang akan diisolasi, media pertumbuhan yang sesuai, cara menginokulasi mikroorganisme, cara menguji mikroorganisme yang telah diisolasi sesuai dengan yang diinginkan, dan cara memelihara agar mikroorganisme yang telah diisolasi tetap merupakan kultur murni. Menurut Stolp dan Starr (1981), beberapa teknik isolasi mikrobial yang biasa dilakukan adalah Spread plate (agar tabur ulas), Pour

plate (agar tuang), streak (goresan), goresan sinambung, goresan T, dan goresan kuadran.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kultur mikroorganisme anaerobik spesifik yang mampu mendegradasi limbah tekstil dan dilakukan dengan cara isolasi bakteri dari sludge anaerob yang telah berfungsi dengan baik kemudian dilanjutkan dengan uji kemampuan mendegradasi bahan cemaran dari air limbah industri tekstil yang mengandung amilum, selulosa, minyak, dan pewarna. Dalam penelitian kali ini pewarna yang dipilih adalah pewarna indigo.

2. METODE PENELITIAN

Sampel sludge diambil dari reaktor anaerob IPAL dari industri tekstil terpilih untuk selanjutnya dilakukan pengkayaan. Pengkayaan dilakukan dengan cara menambahkan 1,6 ml asam sitrat sebagai perlakuan 1 dan 3,2 ml asam sitrat sebagai perlakuan 2 pada 1 liter *sludge* anaerob yang diinkubasi selama 15 hari. Pengamatan dilakukan pada hari ke 0, 4, 7, 11, dan 14.

Setelah dilakukan pengkayaan bakteri pada *sludge*, maka selanjutnya dilakukan isolasi. Teknik isolasi bakteri dilakukan dengan metode gores sinambung dalam media nutrient agar dengan tujuan untuk menghasilkan koloni-koloni bakteri yang terpisah dengan baik dari suspensi yang masih pekat. Sebelumnya, untuk mendapatkan gambaran jenis bakteri dalam *sludge* dilakukan isolasi baik untuk bakteri anaerob, aerob, maupun fakultatif. Bakteri aerob akan terdeteksi dengan pour plate *single layer* agar, sedangkan anaerob dan fakultatif dengan *double layer* agar. Inokulum pada kultur aerob diambil dari cairan pada sampel limbah, inokulum untuk anaerob diambil dari bagian terbawah cairan (daerah dekat *sludge*) dengan pengenceran 10^{-4} s.d. 10^{-6} . Teknik *pour plate* menurut Stolp dan Starr (1981) menggunakan agar yang belum padat dan dituang bersama suspensi bakteri ke dalam cawan petri dan dihomogenkan lalu dibiarkan memadat. Hal ini akan menyebabkan sel-sel bakteri tidak hanya terdapat pada permukaan agar saja, tapi juga di dalam atau dasar agar sehingga bisa diketahui sel yang dapat tumbuh di permukaan agar yang kaya O_2 dan di dalam agar

yang tidak begitu banyak mengandung O_2 . Prosedur kerjanya adalah penyiapan petridish dan tabung pengenceran, selanjutnya 1 ml suspensi bakteri diteteskan secara aseptis ke dalam cawan kosong. Pada *pour plate* diteteskan sebanyak 1 ml karena membutuhkan ruang yang lebih luas untuk penyebarannya sehingga diberikan lebih banyak dari pada *spread plate*.

Hasil isolasi bakteri anaerob kemudian dipilih berdasarkan kemampuan degradasi dan tumbuh kembali terhadap media yang mengandung amilum, mengandung selulose, mengandung minyak dan mengandung pewarna indigo.

Seleksi bakteri yang mampu mendegradasi amilum dilakukan dengan menumbuhkan bakteri pada media basal ditambah amilum (NA 50% ditambah *soluble starch*). Uji aktifitas amilolitik dilakukan dengan menumbuhkan kembali dalam media mengandung amilum dan dilihat kemampuan membentuk zona jernih menjadi penanda kemampuan bakteri mendegradasi amilum.

Untuk menyeleksi bakteri yang dapat mendegradasi selulosa dilakukan dengan memilih bakteri yang dapat tumbuh dalam media *methyl cellulose*. Setelah dipilih beberapa koloni dan diuji aktivitas selulolitiknya dengan menggunakan medium basal ditambah *methyl cellulose*. Semakin besar pembentukan zona jernih menunjukkan semakin tinggi kemampuan mendegradasi selulosa.

Seleksi bakteri yang dapat mendegradasi minyak dilakukan dengan menumbuhkan bakteri pada media mengandung parafin, dan dilihat tingkat kekeruhannya dengan menggunakan spektrofotometer uv vis pada panjang gelombang 600 nm. Semakin tinggi nilai absorbansi semakin tinggi pula kemampuan mendegradasi parafin.

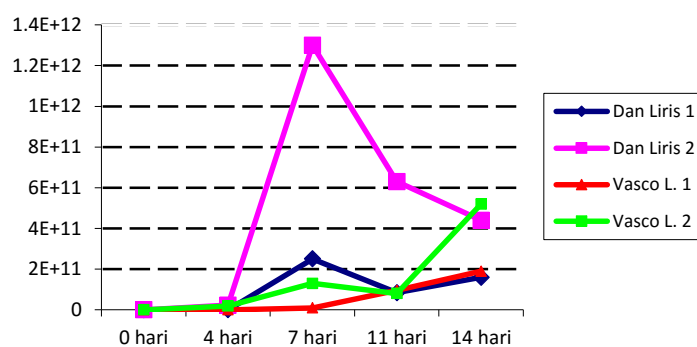
Seleksi bakteri pendegradasi pewarna indigo dilakukan dengan menambahkan zat pewarna indigo dalam media basal. Untuk mengetahui kemampuan mendegradasi warna digunakan spektrofotometer pada panjang gelombang terscan. Kemampuan degradasi ditunjukkan prosentase dekolorisasi. Semakin rendah absorbansinya berarti semakin jernih dan berarti telah terjadi dekolorisasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengkayaan Bakteri Anaerob

Sludge anaerob terpilih diambil dari PT. Dan Liris dan CV. Vasco Laundry. Pengkayaan bakteri anaerob ini dimaksudkan untuk meningkatkan jumlah total bakteri anaerob dalam *sludge* sebelum dilakukan isolasi bakteri.

Hasil percobaan pengkayaan bakteri disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Grafik hasil pengkayaan bakteri masing-masing perlakuan

Dari hasil percobaan pengkayaan bakteri anaerob tersebut dapat dilihat bahwa secara keseluruhan jumlah bakteri anaerob perlakuan Dan Liris 2 mencapai jumlah yang terbanyak yaitu $1,3 \times 10^{12}$ (pada penambahan 3,2 ml asam sitrat). Pada sampel Vasco jumlah terbanyak dicapai oleh perlakuan Vasco 2 dengan waktu inkubasi selama 14 hari. Hasil penghitungan jumlah bakteri untuk masing-masing sampel dan perlakuan mengalami fluktuasi, namun secara keseluruhan waktu pengkayaan bakteri anaerob yang optimal dicapai setelah 7 hari inkubasi.

Tabel 2 menunjukkan populasi bakteri anaerob dari *sludge* PT. Dan Liris yang tumbuh pada masing-masing media aerob (nutrien agar *single layer*) dan media anaerob (nutrien agar *double layer*).

Limbah industri tekstil mengandung bakteri selulolitik yang cukup signifikan, terbukti pada kultur pada medium CMC akibat aktivitas CMCase (Beguin et al., 1992; Leschine, 1995) populasi bakteri cukup tinggi ($2,0 \times 10^6$ CFU/mL) pada kondisi aerob dan pada kondisi anaerob sebanyak ($0,51 \times 10^6$ CFU/mL).

Komposisi *sludge* anaerob industri tekstil mempengaruhi keanekaragaman bakteri yang terkandung di dalamnya. Populasi bakteri pada *sludge* industri tekstil bervariasi tergantung pada komponen yang terkandung dalam limbah. Dua puluh sembilan tipe bakteri telah berhasil diisolasi secara tidak langsung dengan menggunakan teknik kultur diperkaya. Beberapa bakteri isolat mampu tumbuh pada sumber karbon yang sama dengan karakter yang hampir sama (dapat dilihat pada Tabel 3).

3.2. Uji Degradasi Amilum

Uji degradasi amilum dilakukan dengan penambahan amilum pada media basal dan ditandai dengan terbentuknya zona jernih. Dari hasil isolasi bakteri yang aktif dalam mendegradasi amilum dalam air limbah industri tekstil ditemukan 9 (sembilan) isolat yang diberi kode BDLA 1 s/d

BDLA 7 dan BVA 1 s/d BVA 2. Dari 9 (sembilan) isolat tersebut selanjutnya dilakukan uji kemampuan degradasinya kembali terhadap amilum, dan ternyata BDLA-5 mempunyai kemampuan degradasi yang tertinggi yang ditunjukkan dengan indeks zona jernih 3,79. Indeks zona jernih merupakan perbandingan antara diameter zona jernih dengan diameter koloni. Hasil selengkapnya uji kemampuan degradasi bakteri anaerob terhadap media selektif amilum tersaji pada Tabel 4.

Perombakan amilum terjadi akibat adanya akifitas enzim amilase yang ditunjukkan oleh isolat bakteri yang diisolasi, hasil yang paling tinggi ditunjukkan oleh isolat BDLA-5 dengan indeks zona jernih sebesar 3,79 disusul oleh BDLA-4, BDLA-6 dengan indeks zona jernih 2,29 dan BDLA-7 dengan indeks zona jernih 1,44 dan terakhir BDLA-1 dengan zona jernih 1,07.

Tabel 2. Hasil penghitungan populasi bakteri anaerobik pada tiap media spesifik

No	Media	Populasi (CFU/ml)	Keterangan
Deteksi Umum			
1,	Nutrien agar <i>single layer</i>	5×10^4	Koloni dominan berwarna krem mengkilat, berbentuk bulat dengan diameter 0,3-0,3 cm
2.	Nutrien agar <i>double layer</i>	$1,2 \times 10^3$	Koloni dominan berwarna putih, sangat kecil, berbentuk seperti perahu.
Deteksi keberadaan bakteri pendegradasi warna			
3.	Indigo <i>single layer</i>	$4,6 \times 10^5$	Koloni dominan berwarna hijau gelap dengan tepi berwarna krem, bentuk bulat, diameter 0,1 – 0,4 cm.
4.	Indigo <i>double layer</i>	$7,0 \times 10^4$	Koloni dominan berwarna putih, berinti, bentuk bulat, diameter 0,3 – 0,7 cm
Deteksi keberadaan bakteri Amilolitik			
5.	Amilum <i>single layer</i>	$1,08 \times 10^5$	Koloni dominan berwarna krem mengkilat, bentuk seperti kristal, diameter 0,2 – 0,5 cm
6.	Amilum <i>double layer</i>	$1,65 \times 10^8$	Koloni dominan berwarna putih, berbentuk perahu, panjang 0,1 cm
Deteksi keberadaan bakteri Selulolitik			
7.	CMC <i>single layer</i>	2×10^6	Koloni dominan berwarna krem
8.	CMC <i>double layer</i>	$5,1 \times 10^5$	Koloni dominan berwarna putih, transparan di tepinya, bentuk bulat, diameter 0,2 cm
Deteksi keberadaan bakteri pendegradasi wax			
9.	Parafin <i>single layer</i>	$1,4 \times 10^6$	Koloni dominan berwarna putih, bentuk bulat, diameter 0,1 cm
10.	Parafin <i>double layer</i>	$3,82 \times 10^4$	Koloni dominan berwarna putih, berinti, bentuk amoeboid, panjang 0,6 cm

Tabel 3. Bakteri yang mampu tumbuh pada media selektif

Amilum	Media selektif untuk		
	CMC	Parafin/Vaseline	Pewarna
BDLA 1	BDLC 2	BDLP 1 BVP 1	BDLW 1
BDLA 2	BDLC 1 BDLC 4 BVC 1	BDLP 3	BDLW 2
BDLA 3	BDLC 3	BDLP 2 BVP 2	BDLW 3 BDLW 9
BDLA 4			BDLW 6
BDLA 5	BDLC 5		BDLW 4
BVA 1			
BDLA 7			BDLW 5
BDLA 6			BDLW 8
BVA 2			BDLW 7
9 isolat	6 isolat	5 isolat	9 isolat

Keterangan:

BDLA: Bakteri Dan Liris Amilolitik;

BDLC: Bakteri Dan Liris Sellulolitik;

BDLP: Bakteri Dan Liris perombak parafin

BDLW: Bakteri Dan Liris peluntur warna

BVA ; Bakteri Vasco Amilolitik;

BVC : Bakteri Vasco Sellulolitik;

BVP : Bakteri Vasco perombak paraffin

BVW: Bakteri Vasco peluntur warna

Tabel 4. Hasil uji kemampuan degradasi terhadap amilum

Isolat	Paper disc		
	d. koloni	d. zona jernih	Indeks zona jernih
BDLA 1	5.00	8.00	1.07
	5.00	7.00	
	6.00	8.00	
	5.33	7.67	
	5.00	9.00	2.29
BDLA 4	5.00	10.00	
	6.00	10.00	
	5.33	9.67	
BDLA 5	5.00	14.00	3.79
	5.00	11.00	
	6.00	10.00	
	5.33	11.67	
BDLA 7	5.00	8.50	1.44
	5.00	8.00	
	6.00	8.50	
	5.33	8.33	
BDLA 6	5.00	10.00	2.29
	5.00	9.00	
	6.00	10.00	
	5.33	9.67	

3.3. Uji Degradasi Selulose

Uji degradasi selulose dilakukan dengan menambahkan *methyl cellulose* dalam media. Kemampuan degradasi terhadap selulose ditandai dengan terbentuknya zona jernih. Aktivitas bakteri isolat pada medium basal ditambah *methyl cellulose* membentuk zona jernih setelah 48 jam inkubasi tersaji pada Tabel 5.

Perombakan selulosa terjadi akibat adanya aktifitas enzim selulase yang ditunjukkan oleh adanya zona bening dari isolat bakteri yang ditumbuhkan pada media cair yang ditambahkan selulosa. Aktifitas selulase yang paling tinggi ditunjukkan oleh isolat BDLC 2 dengan indeks zona jernih sebesar 0,96 dan disusul oleh BDLC 5 dengan indeks zona jernih 0,78 dan BVC 1 dengan indeks zona jernih 0,78.

Tabel 5. Hasil uji degradasi selulose

Isolat	Paper Disc		
	d. koloni	d. zona jernih	Indeks zona jernih
BDLC 2	5.00	7.00	0.96
	5.00	7.00	
	5.00	7.00	
	5.00	7.00	
BDLC 3	5.00	6.00	0.60
	5.00	6.00	
	5.00	7.00	
	5.00	6.33	
BDLC 5	5.00	6.00	0.78
	5.00	7.00	
	5.00	7.00	
	5.00	6.67	
BDLC 1	5.00	6.00	0.78
	5.00	7.00	
	5.00	7.00	
	5.00	6.67	

3.4. Uji Degradasi Minyak

Uji degradasi minyak dilakukan dengan penambahan parafin pada media dan ditandai dengan peningkatan absorbansi.

Uji dalam media parafin menunjukkan kemampuan isolat dalam mendegradasi lemak dan minyak (*fat, oil and grease/FOG*). Dari Tabel 6 menunjukkan bahwa isolat BDLP-3 dalam rentang waktu 72 jam mampu mendegradasi FOG paling tinggi, yang ditunjukkan dengan absorbansi 0,080.

Degradasi FOG memang tidak mudah dilakukan oleh isolat bakteri dikarenakan degradasinya berjalan dengan sangat lambat. Hampir semua isolat limbah BDLP dapat mendegradasi FOG dengan mensintesis enzim lipase.

Tabel 6. Hasil pengukuran absorbansi kultur cair pada medium basal ditambah parafin cair

Isolat	Absorbansi (λ_{600nm}) pada jam ke-					Peringkat
	0	24	48	72	96	
BDLP 1	0,015	0,065	0,068	0,069	0,055	2
BDLP 2	0,017	0,025	0,038	0,036	0,023	3
BDLP 3	0,012	0,017	0,031	0,080	0,062	1

3.5. Uji Degradasi Warna Indigo

Hasil isolat bakteri yang aktif dalam mendegradasi zat warna indigo dalam air limbah industri tekstil ditemukan 9

isolat yang diberi kode BDLW 1 s/d BDLW 9. Dari hasil pengujian degradasi warna dapat dilihat pada Tabel 7.

Dari 9 isolat bakteri hasil seleksi bakteri menunjukkan bahwa dekolonisasi pewarna indigo dengan pola yang sesuai dengan pola pertumbuhan bakteri maksimum dekolonisasi ditunjukkan oleh strain BDLW 9, meskipun tidak berbeda nyata dengan isolat lainnya, diikuti dengan isolat BDLW 3, BDLW 1 dan BDLW 7, BDLW 6 dan terakhir BDLW 2. Namun ketika dilakukan pertumbuhan kembali, isolat BDLW 9, BDLW 1 dan BDLW 6 sulit untuk dikulturkan kembali, sehingga isolat yang diambil adalah BDLW 3, BDLW 7 dan BDLW 2

Dari hasil uji degradasi terhadap cemaran limbah industri tekstil (amilum, selulose, minyak dan pewarna indigo) didapatkan urutan kemampuan degradasi isolat bakteri anaerobik sebagai Tabel 8.

Tabel 7. Hasil aktivitas isolat bakteri pendegradasi warna limbah tekstil

Isolat	Persentase (%) Dekolorisasi Selama 96 Jam									
	0	4	10	24	34	48	58	72	82	96
BDLW 1	0	0	5,20	25,57	33,65	40,55	42,52	44,55	46,57	48,52
BDLW 2	0	0	5,51	28,64	26,60	23,62	35,60	37,62	38,64	40,55
BDLW 3	0	0	5,72	25,52	34,46	43,48	47,43	51,48	53,52	57,57
BDLW 4	0	0	4,50	24,71	26,04	26,70	28,68	29,70	30,71	32,45
BDLW 5	0	0	5,60	27,67	30,00	31,66	32,63	33,66	34,67	37,56
BDLW 6	0	0	5,04	23,61	31,02	36,60	38,55	39,60	41,61	45,50
BDLW 7	0	0	5,50	24,57	31,75	39,55	42,52	44,55	46,57	48,55
BDLW 8	0	0	5,72	25,68	29,30	31,67	31,65	32,67	33,68	35,57
BDLW 9	0	0	4,50	24,48	37,00	48,46	51,41	53,46	56,48	59,45

Tabel 8. Urutan kemampuan degradasi isolate bakteri anaerob

Ranking	Kode isolate Bakteri Pendegradasi			
	Amilum	CMC	Warna (Indigo)	Minyak (Parafin)
1	BDLA 5	BDLC 2	BDLW 3	BDLP 3
2	BDLA 4	BDLC 5	BDLW 7	BDLP 1
3	BDLA 6	BDLC 1	BDLW 2	BDLP 2

4. KESIMPULAN

Setelah melalui tahapan isolasi dan uji kemampuan mendegradasi bahan cemar dari air limbah industri tekstil yang mengandung amilum, selulosa, minyak dan pewarna indigo, maka didapatkan 29 (dua puluh sembilan) isolat bakteri.

Dari 29 (dua puluh sembilan) isolat tersebut dipilih 12 (dua belas) isolat bakteri berdasarkan 3 peringkat tertinggi dalam kemampuan mendegradasi. Bakteri yang mampu mendegradasi amilum adalah BDLA 5, BDLA 4, BDLA 6, mendegradasi selulosa adalah BDLC 2, BDLC 5, BDLC 1, mendegradasi minyak adalah BDLP 3, BDLP 1, BDLP 2, dan mendegradasi warna indigo adalah BDLW 3, BDLW 7, BDLW 2.

DAFTAR PUSTAKA

- Aslam MM., Baig MA., Hassan I., Qazi IA., Malik M., Saeed H., 2004, *Textile wastewater characterization and reduction of its BOD & COD by oxidation*, EJEAF Vol 3, pp. 804-811.
- Beguin P., Aubert JP., 1994, *The biological degradation of cellulose*, FEMS Microbiology Rev. 13, pp.25-58.
- Beguin P., Millet J., Chauvaux S., Salamitou, Tokatlidis K., 1992, *Bacterial cellulases*, Biochem. Soc Trans 20, pp. 42- 46.
- Dwijoseputro, 2005, *Dasar-dasar mikrobiologi*, Penerbit Djambatan, Jakarta.
- Joanne Bell, Chris A. Buckley, 2003, *Treatment of a textile dye in the anaerobic baffled reactor*, Journal Home 29(2).
- Jutono, 1980, *Pedoman praktikum mikrobiologi umum*, Departemen Mikrobiologi Fakultas Pertanian UGM, Yogyakarta.
- Keane J., D Verde, 2008, *The role of textile and clothing industries in growth and develeopment strategies*
- Leschine SB., 1995, *Cellulose degradation in anaerobic environments*, *Ann- Rev Microbiol.* 49, pp. 399-426.
- Moenir M., Djarwanti, Syahroni C., Rame, Marlina B., Budiarto A., 2015, *Teknologi hibrid anaerobic-wetland untuk pengolahan air limbah industri pencucian jean*, Prosiding Workshop Hasil Litbang Unggulan Kementerian Perindustrian
- Savin Irina, Butunaru Romen, 2008, *Wastewater characteristic in textile finishing mills*, *Env Eng and Management Journal* 7(6), pp. 859-864.
- Stolp H., Starr MP., 1981, *Principle of isolation, cultivation, and conservation of bacteria: The Prokaryots*, Springer, Verlag Berlin Heidleberg.
- Stronach SM., Rudd T., Lester JN., 1986, *Anaerobic digestion processes in industriall wastewater treatment*, Springer, Verlag Berlin Heidleberg.
- Simmi Goel, 2010, *Anaerobic baffled reactor for treatment of textile dye effluent*, *Journal of Scientific & Industrial Research* Vol 69, pp. 305-307.
- Volk WA., Wheeler MF., 1988, *Mikrobiologi Dasar*, Jilid II, Terjemahan Soenatomo Adispemarto, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Pengolahan limbah cair industri farmasi formulasi dengan metode anaerob-aerob dan anaerob-koagulasi

Wastewater treatment technology using anaerobic-aerobic and anaerobic-coagulation on pharmaceutical formulation industry

Farida Crisnaningtyas*, Hanny Vistanty

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

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel :

Diterima 28 Maret 2016

Direvisi 28 April 2016

Disetujui 29 April 2016

Dipublikasikan online 11 Mei 2016

Keywords :

pharmaceutical

anaerobic

aerobic

coagulation-flocculation

wastewater

ABSTRAK

Studi ini membahas mengenai pengolahan limbah cair industri farmasi dalam skala laboratorium dengan menggunakan konsep anaerob-aerob dan anaerob-koagulasi. Proses anaerob dilakukan dengan menggunakan reaktor *Upflow Anaerobic Sludge Bed reactor* (UASBr) pada kisaran OLR (*Organic Loading Rate*) 0,5 – 2 kg COD/m³hari, yang didahului dengan proses aklimatisasi menggunakan substrat gula. Proses anaerob mampu memberikan efisiensi penurunan COD hingga 74%. Keluaran dari proses anaerob diolah lebih lanjut dengan menggunakan dua opsi proses: (1) aerob, dan (2) koagulasi-flokulasi. Uji coba aerob dilakukan pada kisaran MLSS antara 4000-5000 mg/L dan mampu memberikan efisiensi penurunan COD hingga 97%. Koagulan aluminium sulfat dan flokulan kationik memberikan efisiensi penurunan COD tertinggi (73%) pada gradien kecepatan (G) masing-masing 700 detik⁻¹ dan 25 detik⁻¹. Hasil uji coba menunjukkan bahwa efisiensi penurunan COD total yang dapat dicapai dengan menggunakan teknologi anaerob-aerob adalah 97%, sedangkan kombinasi anaerob-koagulasi-flokulasi hanya mampu menurunkan COD total sebesar 72,53%. Berdasarkan hasil tersebut, kombinasi proses anaerob-aerob merupakan teknologi yang potensial untuk diaplikasikan dalam sistem pengolahan limbah cair industri farmasi.

ABSTRACT

This study was aimed at evaluating the performance of a lab-scale anaerobic-aerobic and anaerobic-coagulation reactors treating pharmaceutical wastewater. Anaerobic process was conducted using *Upflow Anaerobic Sludge Bed reactor* (UASBr) at varied OLR of 0.5 – 2 kg COD/m³day, which was preceded by acclimation process using sugar as main substrate. The result showed a COD removal efficiency approximately 74%. The effluent of UASBr was then further treated using two processes : (1) aerobic and (2) coagulation-flocculation. The aerobic process was done at MLSS concentration of 4000 – 5000 mg/L with COD removal efficiency of 97%. Aluminum sulfate and cationic flocculant was able to reach the highest removal (73%) at velocity gradient of 700 s⁻¹ and 25 s⁻¹, respectively. Results showed that total COD removal efficiency of anaerobic-aerobic and anaerobic-coagulation flocculation systems were approximately 97% and 72.53%, respectively. This study showed that the combination of anaerobic-aerobic process had high potential to treat pharmaceutical wastewater.

© 2016 BBT PPI. All rights reserved.

*Alamat korespondensi :

E-mail : faridacrisnaningtyas@gmail.com (F. Crisnaningtyas)

1. PENDAHULUAN

Industri farmasi pada umumnya terbagi menjadi dua kategori: (1) proses produksi bahan formula melalui proses

fermentasi, ekstraksi, dan/atau sintesis kimia, dan (2) proses formulasi produk farmasi akhir. Industri farmasi dapat menghasilkan limbah cair yang bersumber dari proses-proses produksi, proses pencucian alat produksi, kegiatan

laboratorium dan sisa produk yang tidak memenuhi spesifikasi atau dari kegagalan proses. Limbah cair yang dihasilkan bersifat beracun, rekalsitran, serta mengandung senyawa organik dan anorganik terlarut (Oktem et al. 2008; Schröder 1999). Oleh karena itu, limbah cair industri farmasi memiliki nilai BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand), dan TSS (Total Suspended Solids) yang tinggi dan dapat menimbulkan risiko bagi lingkungan dan kesehatan manusia (Project et al. 1997). Penelitian sebelumnya telah mengolah limbah cair farmasi dengan menggunakan proses anaerob (Chelliapan et al. 2006; Chelliapan et al. 2011; Ng et al. 2014; Oktem et al. 2008). Namun kualitas keluaran dari pengolahan anaerob masih cukup tinggi dan belum mampu memenuhi ambang untuk dibuang ke lingkungan (Oktem et al. 2008). Peneliti lain menggunakan proses chemical oxidation untuk mengolah komponen antibiotik yang ada di dalam limbah farmasi dengan efisiensi tinggi, namun proses pengolahannya dapat menghasilkan produk samping lain yang bersifat toksik (Hey 2013). Teknologi fisika-kimia diaplikasikan oleh peneliti lain dalam pengolahan limbah cair farmasi, namun proses ini membutuhkan bahan kimia dengan dosis yang cukup besar untuk memperoleh efisiensi yang tinggi (Jiang & Zhou 2013).

Integrasi proses anaerob dan fisika-kimia serta anaerob-aerob telah diaplikasikan sebelumnya untuk mengolah berbagai limbah dengan efisiensi penurunan COD yang tinggi (Aiyuk et al. 2004; Irenosen et al. 2014; Kalyuzhnyi et al. 2005; Sklyar, V., Epov, A., Gladchenko, M., Danilovich, D. 2003; Tiehm & Schmidt 2011; Shawaqfeh 2010). Teknologi anaerob pada prinsipnya didasarkan pada proses oksidasi senyawa organik yang bersifat biodegradable oleh bakteri. Di lain sisi, proses fisika-kimia memiliki efisiensi tinggi namun menghasilkan deposit lumpur dalam jumlah yang cukup banyak. Sementara, kombinasi proses anaerob-aerob dapat memberikan konsentrasi biomass yang lebih tinggi dan waktu tinggal yang lebih singkat (Shawaqfeh 2010). Teknologi di atas memiliki kelebihan masing-masing, namun masih belum mampu memberikan hasil yang optimal jika diterapkan sebagai sistem tunggal. Oleh karena itu, kombinasi dari teknologi-teknologi tersebut dapat menjadi opsi terbaik dalam sistem pengolahan limbah cair industri farmasi.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair industri farmasi formulasi, mikroba anaerob dan lumpur aktif, makronutrien (nitrogen dan fosfor), ferro sulfat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), Polyaluminium chloride (PAC), aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$), anion dan kation. Peralatan yang digunakan dalam uji coba meliputi unit *Upflow Anaerobic Sludge Bed Reactor* (UASBr), Unit reactor Aerob, pompa peristaltik (Cole Parmer Masterflex L/S 7518-62), dan Jar test (Phipps & Bird).

2.2. Prosedur Penelitian

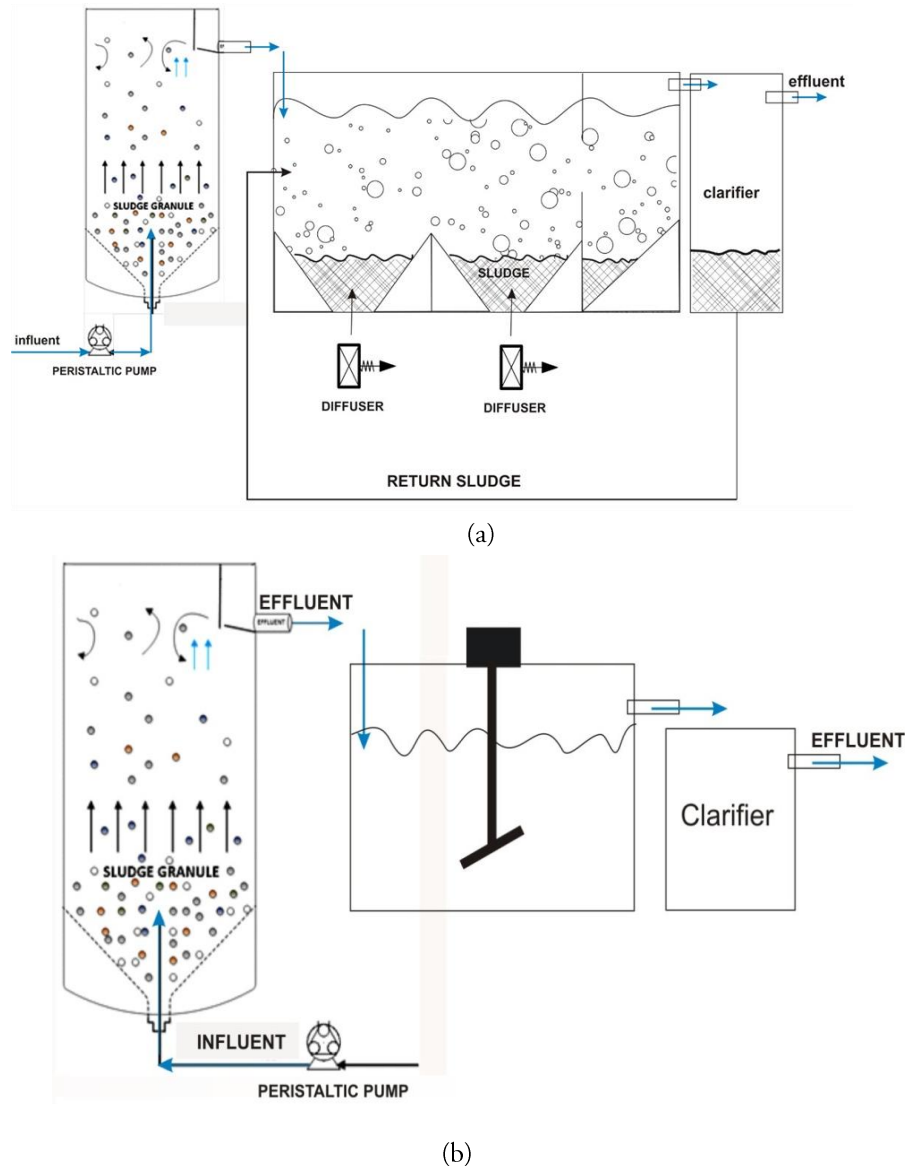
2.2.1. Karakterisasi limbah

Limbah cair yang digunakan dalam percobaan diambil dari salah satu industri farmasi formulasi yang ada di Semarang yang memiliki unit produksi β -laktam. Limbah cair yang berasal dari unit tersebut memberikan kontribusi sebesar 6% dari volume total limbah yang dihasilkan dan telah mendapatkan pre-treatment (penambahan NaOH) sebelum digabungkan dengan limbah dari unit produksi lain. Karakteristik umum dari limbah cair yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 . Karakteristik limbah cair

No	Parameter	Konsentrasi (mg/L)
1.	TSS	126
2.	BOD	278
3.	COD	1976
4.	pH	7,4
5.	Total-N	12,25
6.	Fenol	0,782

2.2.2. Uji coba pengolahan limbah cair



Gambar 1. Rangkaian reaktor (a) anaerob-aerob dan (b) anaerob-koagulasi flokulasi

2.2.2. Analisis

Sampel influen dan effluen diambil setiap hari untuk mengetahui efisiensi penurunan kandungan polutan yang dievaluasi melalui pengukuran parameter COD selama operasional reaktor. Pengukuran COD dilakukan dengan metode refluks tertutup dalam Reaktor Hanna HI 839800 dan mengacu pada Standard Method (APHA 1999). Pengukuran parameter lain, seperti BOD dan TSS juga mengacu pada Standard Method.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Anaerob

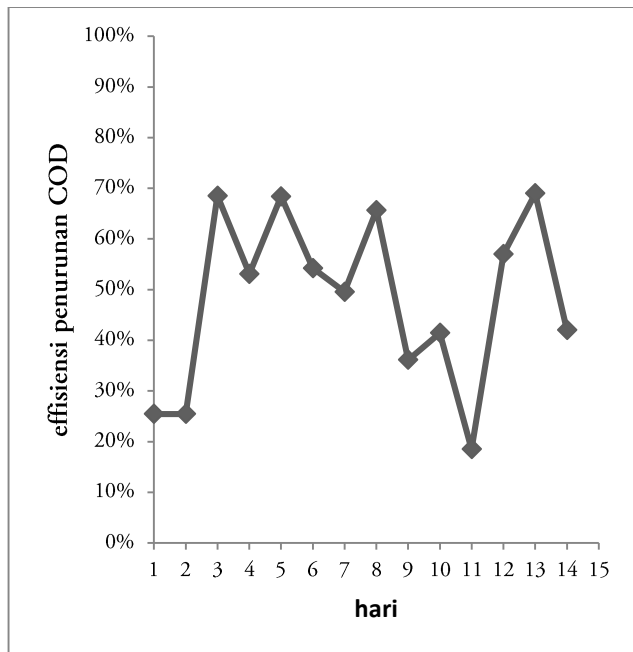
Percobaan anaerob didahului dengan proses aklimatisasi selama 14 hari pada OLR 0,5 – 0,8 kg COD/m³hari (HRT 25 jam) dan mampu menurunkan COD dengan efisiensi mencapai 69% (Gambar 2). Proses aklimatisasi dilakukan dengan menggunakan air limbah 10% hingga 90% secara bertahap dan substrat gula. Gula dipilih sebagai substrat

karena merupakan karbohidrat terlarut yang siap terdegradasi namun tidak membatasi proses biodegradasi anaerobik. Efisiensi penurunan COD yang fluktuatif pada masa

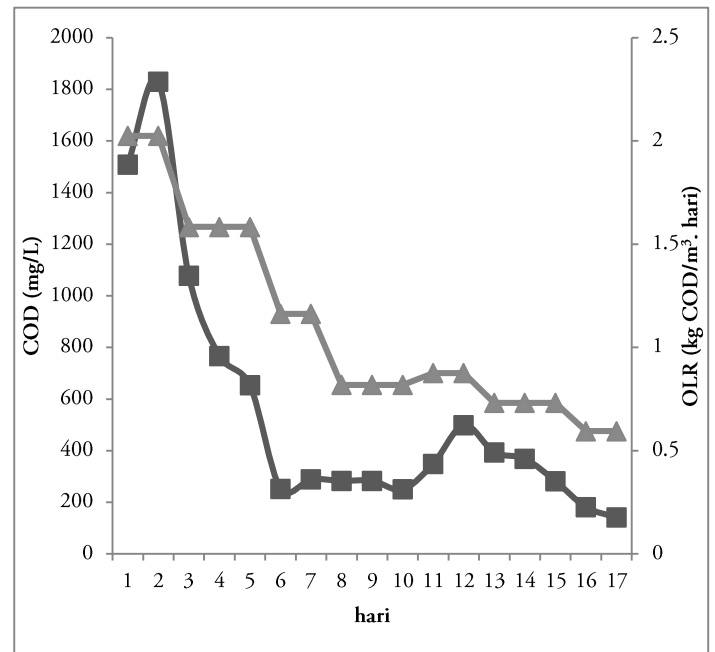
aklimatisasi kemungkinan disebabkan karena adanya komponen kurang biodegradable namun dapat teroksidasi dalam air limbah industri farmasi (Gambar 2).

Tabel 2. Kondisi operasional proses UASBr

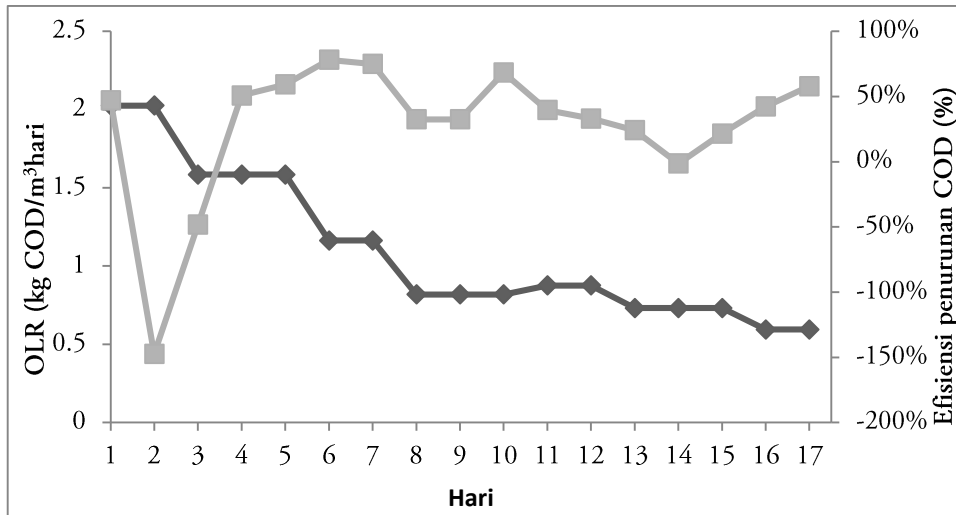
No	Tahapan proses	Influen	OLR (kg COD/m ³ hari)	pH influen	pH effluent
1	Aklimatisasi	10% limbah + gula	0,3	6,8 – 7,5	7,5 – 7,7
		20% limbah	0,5		7,3 – 7,4
		30% limbah	0,6		7,1
		50% limbah	0,7		6,9
		70% limbah	0,7		6,8
		90% limbah	0,7		7,0
2	Proses kontinyu	100% limbah	0,5 – 0,8	7,0 – 8,7	6,5 – 8,7



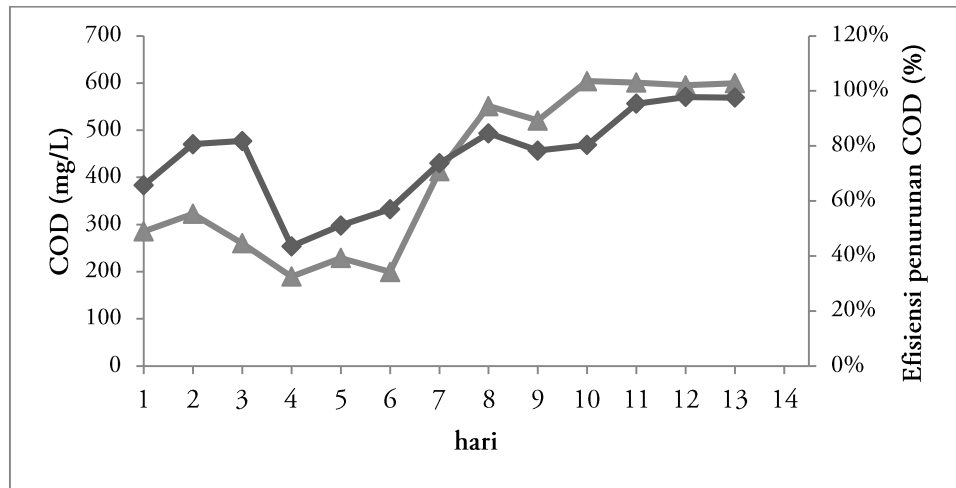
Gambar 2. Grafik efisiensi penurunan COD pada aklimatisasi UASBr



Gambar 3. Grafik COD effluent (■) dan OLR (▲) pada proses anaerob



Gambar 4. Grafik OLR (■) dan efisiensi penurunan COD (◆) pada proses anaerob



Gambar 5. Grafik COD_i (▲) dan efisiensi penurunan COD (◆) pada sistem aerob

Setelah aklimatisasi selesai, proses anaerob kontinyu dilakukan pada kisaran OLR 0,5 - 2 kg COD/m³ hari. Nilai COD effluen nampak mengalami kenaikan pada awal proses anaerob (Gambar 3). Hal ini ditandai dengan terbentuknya sludge yang cenderung ringan (*flocculent*) dan keluar dari sistem reaktor (*sludge washout*) (Prashant 2003). Fenomena ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti *shock loading*, terperangkapnya gas dalam sludge bed, atau tertangkapnya partikulat dari limbah di dalam *sludge* (Khan et al. 2015). Namun pada akhir percobaan (OLR 0,8 kg COD/m³hari), COD effluen mulai menunjukkan nilai yang stabil. Pengaturan pH ideal (7 –

8,7) pada pH optimum methane producing archaea (MPA) dilakukan untuk memberikan lingkungan yang menguntungkan bagi mikroorganisme dan meningkatkan proses anaerob (Lu et al. 2015). Pengaturan pH pada kisaran tersebut juga dilakukan untuk mencegah terjadinya *overload* VFA (*Volatile Fatty Acids*) yang merupakan produk intermediet dari proses anaerob sehingga kestabilan proses anaerob dapat terjaga (Oktem et al. 2008). Oleh karena itu, kondisi *steady-state* dapat dicapai di akhir proses dengan efisiensi penurunan COD mencapai 74% dan kisaran COD effluen mencapai 141,38 – 282,57 mg/L (Gambar 3).

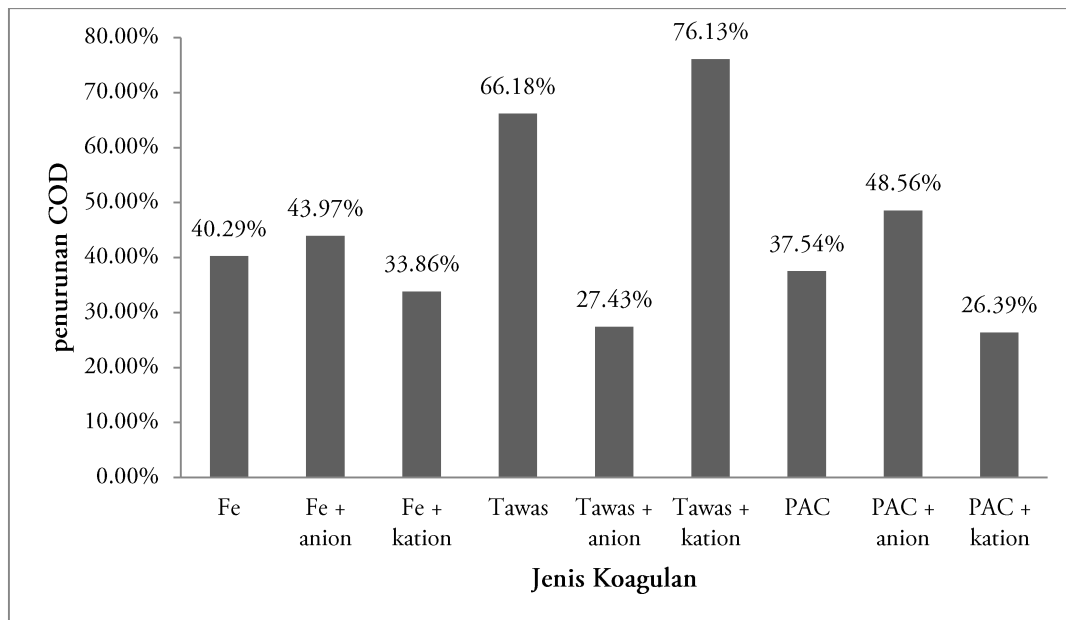
3.2. Aerob

Sistem *Activated Sludge* (AS) menunjukkan ketidakstabilan pada awal proses pengolahan (Gambar 5). Ketidakstabilan ini dapat disebabkan karena terjadinya fase lag atau masa aklimatisasi mikroorganisme terhadap air limbah. Hal ini juga dialami oleh penelitian lain yang mengolah limbah cair yang mengandung pestisida (Fontmorin et al. 2013). Peningkatan efisiensi penurunan COD kemudian diperoleh setelah 7 hari, dimana proses dapat menurunkan COD hingga mencapai 95 – 97%. Hal ini dimungkinkan karena terjadinya proses asimilasi spontan produk degradasi dari proses sebelumnya (anaerob) oleh mikroorganisme aerob (Fontmorin et al. 2013). Hasil ini senada dengan hasil penelitian lain yang menyebutkan bahwa pretreatment sebelum proses AS akan meningkatkan tingkat biodegradability dan membantu proses mineralisasi komponen rekalsitran yang terkandung dalam air limbah farmasi (Mansour et al. 2014). Komponen rekalsitran dalam air limbah farmasi dapat menjadi biodegradable melalui proses oksidasi awal (pada proses *pretreatment*) hingga terbentuk *by-product* berupa senyawa aromatis dan asam

karboksilat rantai pendek yang akan lebih mudah didegradasi oleh mikroorganisme aerob.

3.3. Koagulasi Flokulasi

Koagulasi flokulasi dilakukan untuk mengolah keluaran (effluent) dari proses sebelumnya, yaitu proses anaerob. Penelitian dilakukan dengan menggunakan variasi koagulan antara lain, ferro sulfat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), PAC dan aluminum sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) dengan konsentrasi 10%. Sedangkan variasi flokulan yang digunakan adalah anion dan kation. Proses koagulasi dilakukan selama 2 menit dengan gradien kecepatan (G) 700 detik^{-1} dan proses flokulasi dilakukan selama 15 menit dengan nilai pada gradien kecepatan 25 detik^{-1} . Influent dari proses koagulasi menggunakan effluent proses anaerob. Suhu dan pH untuk masing-masing koagulan menggunakan suhu kamar dan pH alami. Tidak dilakukan penyesuaian pH maupun suhu. Berdasarkan penelitian sebelumnya, pengaturan suhu dan pH dalam proses koagulasi flokulasi tidak diperlukan, karena hal tersebut tidak mempengaruhi hasil. Proses akan lebih efektif apabila dilakukan pada suhu kamar dan pH alami limbah (Ghaly et al. 2006)



Gambar 6. Efisiensi penurunan COD pada berbagai jenis koagulan dan flokulan

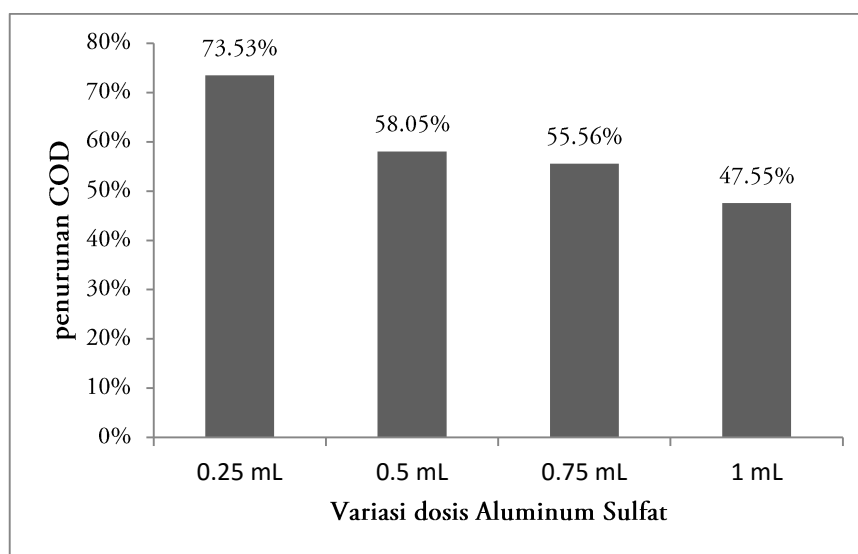
Dari ketiga jenis koagulan yang digunakan dalam uji coba pengolahan limbah farmasi tersebut, aluminum sulfat merupakan jenis koagulan yang paling efektif jika dibandingkan dengan PAC dan ferro sulfat (Gambar 6). Efisiensi penurunan COD yang dihasilkan jika menggunakan aluminum sulfat mencapai 66,18%. Sedangkan dengan PAC dan ferro sulfat efisiensi penurunan COD hanya mencapai 37,54% dan 40,29%. Oleh karena itu, koagulan yang paling efektif adalah aluminum sulfat. Jika ditambahkan flokulan, hasil yang paling efektif adalah ketika aluminum sulfat dicampur dengan kation. Nilai penurunan COD yang dihasilkan mencapai 76,13%. Hal ini terjadi karena terjadi tarik menarik antara partikel bermuatan negative dengan kation sehingga membentuk suatu ikatan partikel yang lebih besar dari yang dibentuk pada proses koagulasi.

Proses koagulasi flokulasi dilanjutkan dengan melakukan variasi volume alumunium sulfat yang ditambahkan. Penambahan dilakukan mulai dari 0,25 mL, 0,5 mL, 0,75 mL, sampai 1,0 mL. Dengan volume sampel dan jumlah kation yang sama, efektifitas penurunan COD yang dihasilkan menunjukkan hasil yang berbeda (Gambar 7).

Efisiensi penurunan COD pada penambahan aluminum sulfat sebesar 0,25 mL adalah sebesar 73,53%

(Gambar 7). Sedangkan penambahan alumunium sulfat sebanyak 0,5 mL, 0,75 mL dan 1,0 mL memberikan hasil penurunan COD secara berturut-turut yaitu 73,53%, 58,05%, 55,56% dan 47,55%. Nilai efisiensi penurunan COD tertinggi mencapai 73,53% yaitu pada penambahan aluminum sulfat sebanyak 0,25 mL.

Berdasarkan hasil uji coba dengan variasi penambahan volume koagulan, semakin banyak aluminum sulfat yang ditambahkan, efisiensi penurunan COD semakin kecil. Kondisi ini terjadi karena semakin banyak koagulan yang ditambahkan belum tentu akan meningkatkan efektifitas pengolahan limbah secara koagulasi flokulasi. Penambahan koagulan yang terlalu banyak akan membuat proses pembentukan flok menjadi tidak efektif. Ketika jumlah koagulan berlebih, partikel koloid berubah menggumpal dan bertumbukan antar partikel. Jika kelebihan koagulan tersebut ditambahkan dalam air limbah, maka hasil dari kelebihan penyerapan ion Al^{3+} dan Fe^{3+} akan berbalik atau pecah kembali (dari negative menjadi positif) dan partikel kembali tidak stabil. Sehingga flok yang seharusnya terbentuk, akan pecah kembali. Hal inilah yang menyebabkan penurunan nilai efisiensi COD yang ada di air limbah akibat dari penambahan koagulan yang berlebih (Ghaly *et al.* 2006).



Gambar 7. Efisiensi penurunan COD pada berbagai dosis Aluminium Sulfat

4. KESIMPULAN

Teknologi pengolahan limbah cair industri farmasi dengan menggunakan kombinasi dua jenis teknologi memberikan hasil yang efektif. Hasil uji coba menunjukkan bahwa efisiensi penurunan COD total yang dapat dicapai dengan menggunakan teknologi anaerob-aerob adalah 97,78%, sedangkan kombinasi anaerob-koagulasi-flokulasi hanya mampu menurunkan COD total sebesar 72,53%. Koagulan yang paling efektif untuk pengolahan limbah farmasi adalah aluminum sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) dengan konsentrasi 10% dengan volume penambahan sebesar 0,25 mL.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat terealisasi atas dukungan dari BBTPPI dan PT. Zenith Pharmaceuticals. Ucapan terima kasih kami sampaikan juga kepada Ir. Djarwanti atas dukungan dan bimbingan selama pelaksanaan penelitian. Prasarana laboratorium litbang dan analisis laboratorium pengujian BBTPPI yang telah berkontribusi dalam terselesainya kegiatan riset ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aiyuk, S. et al., 2004. Removal of carbon and nutrients from domestic wastewater using a low investment , integrated treatment concept. *Water Research*, 38, pp.3031–3042.
- APHA, (American Public Health Association), 1999. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. , 16th ed, p.Washington DC, USA.
- Chelliapan, S., Wilby, T. & Sallis, P.J., 2011. Effect of hydraulic retention time on up-flow anaerobic stage reactor performance at constant loading in the presence of antibiotic Tylosin. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 28(1), pp.51–61.
- Chelliapan, S., Wilby, T. & Sallis, P.J., 2006. Performance of an up-flow anaerobic stage reactor (UASR) in the treatment of pharmaceutical wastewater containing macrolide antibiotics. *Water Research*, 40(3), pp.507–516.
- Fontmorin, J.M. et al., 2013. Combined process for 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid treatment-Coupling of an electrochemical system with a biological treatment. *Biochemical Engineering Journal*, 70, pp.17–22. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bej.2012.09.015>.
- Ghaly, A., Snow, A. & Faber, B., 2006. Treatment of grease filter washwater by chemical coagulation. *Canadian Biosystems Engineering*, 48, pp.13–22. Available at: <http://www.engr.usask.ca/societies/csae/protectedpapers/c0520.pdf>.
- Hey, G., 2013. Application of chemical oxidation processes for the removal of pharmaceuticals in biologically treated wastewater, Available at: <http://lup.lub.lu.se/record/3412268> \n <http://lup.lub.lu.se/record/3412268/file/3412272.pdf>.
- Irenosen, O.G. et al., 2014. Integration of physical , chemical and biological methods for the treatment of palm oil mill effluent. *Science Journal of Analytical Chemistry*, 2(2), pp.7–10.
- Jiang, J.Q. & Zhou, Z., 2013. Removal of Pharmaceutical Residues by Ferrate(VI). *PLoS ONE*, 8(2).
- Kalyuzhnyi, S. et al., 2005. Integrated biological (anaerobic – aerobic) and physico-chemical treatment of baker ' s yeast wastewater. *Water Science & Technology*, 52(10–11), pp.19–23.
- Khan, A.A., Mehrotra, I. & Kazmi, a. a., 2015. Sludge profiling at varied organic loadings and performance evaluation of UASB reactor treating sewage. *Biosystems Engineering*, 131, pp.32–40. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1537511015000033>.
- Lu, X. et al., 2015. Operation performance and granule characterization of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor treating wastewater with starch as the sole carbon source. *Bioresource Technology*, 180, pp.264–273. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852415000218>.

- Mansour, D. *et al.*, 2014. Mineralization of synthetic and industrial pharmaceutical effluent containing trimethoprim by combining electro-Fenton and activated sludge treatment. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 53, pp.58–67. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtice.2015.02.022>.
- Ng, K.K. *et al.*, 2014. A novel application of anaerobic bio-entrapped membrane reactor for the treatment of chemical synthesis-based pharmaceutical wastewater. *Separation and Purification Technology*, 132, pp.634–643. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2014.06.021>.
- Oktem, Y.A. *et al.*, 2008. Anaerobic treatment of a chemical synthesis-based pharmaceutical wastewater in a hybrid upflow anaerobic sludge blanket reactor. *Bioresource Technology*, 99(5), pp.1089–1096.
- Prashant, S., 2003. Treatment of sewage using UASB process. Roorke, India.
- Project, S.N. *et al.*, 1997. Profile of the Pharmaceutical Manufacturing Industry. , (September).
- Schröder, H.F., 1999. Substance-specific detection and pursuit of non-eliminable compounds during biological treatment of waste water from the pharmaceutical industry. *Waste Management*, 19(2), pp.111–123.
- Shawaqfeh, A.T., 2010. Removal of Pesticides from Water Using Anaerobic-Aerobic Biological Treatment. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 18(4), pp.672–680. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/S1004-9541\(10\)60274-1](http://dx.doi.org/10.1016/S1004-9541(10)60274-1).
- Sklyar, V., Epov, A., Gladchenko, M., Danilovich, D., K.S., 2003. Combined biologic (anaerobic-aerobic) and chemical treatment of starch industry wastewater. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 109(1-3), pp.253–262.
- Tiehm, A. & Schmidt, K.R., 2011. Sequential anaerobic/aerobic biodegradation of chloroethenes-aspects of field application. *Current Opinion in Biotechnology*, 22(3), pp.415–421.



JRT PPI 7 (1) (2016)

Jurnal Riset
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Journal homepage : ejournal.kemenperin.go.id/jrtppi

Kementerian
Perindustrian
REPUBLIK INDONESIA

Pemanfaatan serutan karet ban bekas sebagai substitusi pasir silika pada CLC (*Cellular Lightweight Concrete*)

Application of shredded tires waste as silica substitution in cellular lightweight concrete (CLC)

Agung Budiarto*, Agus Purwanto

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

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel :

Diterima 30 Maret 2016

Direvisi 26 April 2016

Disetujui 26 April 2016

Dipublikasikan 11 Mei 2016

Keywords :

CLC

shredded rubber tires

compressive strength

ABSTRAK

Cellular Lightweight Concrete (CLC) adalah jenis beton ringan ramah lingkungan dikarenakan proses pembuatannya menggunakan energi yang lebih sedikit daripada bata merah. Namun sebagai salah satu turunan beton, CLC juga memiliki sifat getas. Mempertimbangkan cara untuk memperbaiki sifat-sifat CLC yang getas, maka diperlukan substitusi bahan yang dapat menggantikan material dasar beton. Salah satu substitusi material beton adalah dengan menggunakan limbah karet dari ban bekas yang diserut (panjang \pm 2-3 cm, dia. \pm 2-4 mm). Ban karet dapat memberikan sifat elastis dan mencegah retak karena memiliki modulus elastisitas 0,77-1,33 MPa, dan memiliki berat isi antara 1,08-1,27 t/m³. Dalam percobaan ini, dibuat 6 formulasi bahan baku blok beton ringan dan memperoleh 2 formula dengan potensi untuk dimodifikasi. Formula P4 memiliki berat isi yang paling ringan sekitar 903 kg/m³ dengan perbandingan PS:PC:KP:Al:Air sebesar 63%:12%:2,7%:0,14%: 23% sedangkan formula P6 memiliki kuat tekan tertinggi mencapai 6 N/mm² dengan perbandingan PS:PC:KP:Al:Air:PFA sebesar 63%:6%:2,7%:0,14%:23%:6%. Modifikasi dibuat dari P4 dan P6 mengganti komposisi pasir silika dengan serutan ban karet mulai dari 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, sampai dengan 50%. Pemakaian limbah karet ban bekas yang diserut dapat meningkatkan kuat tekan blok beton ringan tersebut hingga substitusi 50% limbah dengan densitas antara 1.160 – 1.330 kg/m³.

ABSTRACT

Cellular Lightweight Concrete (CLC) is described as environmentally friendly lightweight concrete because it uses less energy than red brick in the manufacturing process. Unfortunately, as one of concrete's derivative, CLC is naturally brittle. Considering ways to improve the properties of CLC brittle, the substitution of materials that can replace concrete material is required. One of the concrete material substitution is using rubber waste from shredded tires waste (\pm 2-3 cm long, dia. \pm 2-4 mm). Rubber tires can enhance elastic properties and also prevent cracks because it has modulus elasticity of 0.77 to 1.33 MPa, and has a low weight contents ranging from 1.08 to 1.27 t/m³. In this experiment, 6 formulation of raw materials lightweight concrete were made and then gained 2 formulas which has potential to be modified. Sample P4 had the lightest unit weight, which was approximately 903 kg / m³ with a ratio of SS:PC:LS:Al:W by 63%: 12% : 2.7%: 0.14%: 23% . P6 formula had the highest compressive strength, reached 6 N/mm², with formula SS:PC:LS:Al:W:PFA by 63%:6%:2.7%:0.14%:23%:6%. Modification was made out of sample P4 and P6, by changing the composition of silica sand with shredded rubber tires ranging from 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, up to 50%. The utilization of shredded tires waste was able to improve the compressive strength of lightweight brick up to 50% substitution of waste with a density of 1160-1330 kg / m³.

© 2016 BBT PPI

*Alamat korespondensi :

E-mail : aghatoo@gmail.com (A. Budiarto)

1. PENDAHULUAN

Teknologi ramah lingkungan diterapkan di berbagai sektor kehidupan, baik sektor industri, perdagangan, pertanian, perikanan, jasa konstruksi dan lain sebagainya. Yang dimaksud dengan teknologi ramah lingkungan adalah teknologi yang diciptakan untuk mempermudah kehidupan manusia namun tidak mengakibatkan kerusakan atau memberikan dampak negatif pada lingkungan di sekelilingnya. Prinsip dari teknologi yang ramah lingkungan ini ada enam, yakni *Recycle, Recovery, Reduce, Reuse, Refine*, serta *Retrieve Energy*.

Pada dasarnya proses produksi meliputi 3 tahapan yaitu *pre process, in process* dan *post process*. Tahap *pre process* adalah tahap awal yang meliputi persiapan bahan baku, bahan pembantu dan peralatan, sedangkan tahap *in process* adalah tahap dimana proses produksi terjadi, dan tahap *post process* atau tahap akhir adalah tahap dimana hasil produksi yang berupa produk jadi dihasilkan. Di setiap tahapan proses produksi biasanya dihasilkan produk samping yang berupa limbah, bisa berupa limbah padat, limbah cair maupun limbah gas. Limbah ini yang pada prinsipnya apabila tidak diproses dapat mencemari dan merusak lingkungan. Dengan mengacu prinsip teknologi ramah lingkungan diharapkan limbah industri ini tidak mencemari lingkungan.

Teknologi ramah lingkungan telah diterapkan dalam industri blok beton ringan tipe CLC (*Cellular Lightweight Concrete*), dikarenakan dalam proses pembuatannya CLC menggunakan energi yang lebih rendah daripada bata merah dan tidak menghasilkan polusi akibat proses pembakaran, seperti yang terjadi pada proses pembuatan bata merah. Blok beton ringan CLC mempunyai kuat tekan yang lebih besar dibandingkan dengan kuat tekan dari batu bata tanah liat konvensional. Sebagaimana sifat beton, CLC sebagai bahan bangunan turunan dari beton juga mempunyai sifat getas, sehingga perlu dipertimbangkan cara perbaikannya. Dalam perkembangannya beton dan blok beton (batako & beton ringan) mulai menggunakan bahan substitusi untuk mengurangi sifat getas itu. Maka dilakukan upaya substitusi bahan yang dapat menggantikan material beton. Salah satu

substitusi material beton ini dapat menggunakan limbah anorganik (Murdock, 1991).

Salah satu jenis limbah anorganik hasil dari sisa produksi adalah limbah ban karet yang merupakan sisa dari pemakaian ban mobil. Kebutuhan produksi ban di Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun. Pada tahun 2008 produksi ban dalam negeri mencapai 39,8 juta buah/tahun, sedangkan tahun 2009 sendiri mencapai 41 juta/tahun buah. Rata-rata produksi ban dalam negeri mencapai 40 juta buah/tahun (Asosiasi Pengusaha Ban Indonesia, 2009). Seiring dengan itu, maka volume limbah ban yang tidak terpakai di lingkungan semakin meningkat, sehingga limbah ban karet ini dapat dijadikan alternatif dari segi kuantitas karena tingkat kelangkaannya rendah. Pada sisi lain, pemanfaatan ban karet di Indonesia masih sangat terbatas, antara lain untuk pelindung dermaga (fender), tali, sandal, tempat sampah dan kerajinan kursi. Ban karet dapat memberikan sifat kelenturan dan mencegah keretakan pada bata ringan. Ban karet sendiri memiliki modulus elastisitas 0,77-1,33 MPa, dan memiliki berat isi yang rendah yaitu berkisar antara 1,08-1,27 t/m³ (Yang, et, al, 2002; Moo et al, 2003).

Dari penelitian yang dilakukan oleh Satyarno (2006) diketahui bahwa penggunaan substitusi serutan ban karet dapat meningkatkan daktilitas beton karena menurunkan modulus elastisitas, namun mengurangi sifat-sifat mekanika beton seperti kuat tekan dan kuat lentur serta sifat fisiknya seperti berat isi. Menjawab permasalahan lingkungan dari pengelolaan limbah karet ban bekas dan untuk meningkatkan daya saing IKM bahan bangunan, maka dilakukan kegiatan penelitian pengembangan bahan bangunan yang ramah lingkungan melalui pembuatan blok beton ringan CLC dengan substitusi bahan menggunakan serutan limbah karet ban bekas sebagai pengganti agregat halus (pasir silika).

2. METODE PENELITIAN

2.1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir silika, semen portland, *fly ash*, kapur tohor, bubuk aluminium, air dan serutan karet ban bekas, serta air bersih

yang tidak mengandung lumpur, minyak dan bahan terasung lainnya.

Pasir silika berukuran < 1,5 mm, dengan kadar SiO₂ rata-rata >90%, dan dengan *bulk density* sebesar 1,45 kg/m³ sebagai agregat halus blok beton ringan. Sedangkan limbah karet dari ban bekas diparut dengan ukuran parutan kelapa (panjang ±2-3 cm dia.±2-4 mm) sebagai material substitusi untuk pengganti pasir silika. Semen yang digunakan adalah semen Portland tipe I atau biasa disebut *OPC (Ordinary Portland Cement)* untuk keperluan konstruksi umum yang tidak memakai persyaratan khusus terhadap panas hidrasi, ketahanan terhadap sulfat dan kekuatan tekan awal sebagai bahan perekat blok beton ringan.

Fly ash yang digunakan adalah PFA (*Purified Fly Ash*) yaitu *fly ash* dari sisa pembakaran batu bara yang dimurnikan sehingga tidak mengandung karbon. Adanya kemiripan sifat fisik dan kimiawi antara *fly ash* dan semen Portland menjadikan material *fly ash* dapat digunakan sebagai alternatif dalam pembuatan beton mutu tinggi. Lebih lanjut, bentuk partikel *fly ash* yang lebih halus memberikan keuntungan, dimana penggunaannya dapat memperkecil porositas beton. Hal ini memberikan keuntungan dalam hal peningkatan kekuatan beton.

Alat-alat utama yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sendok semen, sekop, mesin pengaduk (*mixer*), cetakan *stainless steel* berdimensi 20x10x20 cm, ember plastik, gelas ukur, cangkul, gelas ukur dan mesin uji kuat tekan beton dari Laboratorium Bahan Bangunan BPIK.

2.2. Uji coba pendahuluan penentuan formula

Uji coba ini dilakukan untuk membuat beberapa variasi formula. Formula yang digunakan berdasarkan formulasi yang digunakan oleh salah satu pabrik blok beton ringan di daerah kabupaten Demak. Variasi tersebut diantaranya adalah dengan, mengganti 50% penggunaan semen dengan variasi penggunaan PFA (*Purified Fly Ash*), variasi penggunaan serbuk alumunium, dan variasi penambahan volume air.

Langkah percobaan yang dilakukan yaitu dengan mencampur semua variable dengan perbandingan pada Tabel 1. hingga homogen, kemudian dicetak dan dikeringkan

sampai 14 hari. Pada hari ke-14 cetakan dibuka dan sampel di angin-anginkan hingga umur 28 hari. Setelah 28 hari dari proses pencetakan, sampel siap untuk diuji kuat tekan dan diukur densitasnya.

Dari hasil percobaan dipilih formula yang menghasilkan kuat tekan yang paling tinggi dan densitas terendah. Formula inilah yang digunakan untuk percobaan selanjutnya.

2.3. Uji coba substitusi pasir silika dengan karet ban bekas

Ujicoba dilakukan dengan variasi komposisi limbah karet ban bekas dengan proporsi 10% hingga 50%. Langkah pembuatan sampel substitusi dilakukan sama dengan proses uji coba formula. Sampel kode Px dikembangkan menjadi sampel Px', dilanjutkan dengan Px'-I adalah formula Px dengan substitusi karet bekas 10%, Px'-II adalah formula Px dengan substitusi karet bekas 20%, Px'-III adalah formula Px dengan substitusi karet bekas 30%, Px'-IV adalah formula Px dengan substitusi karet bekas 40%, Px'-V adalah formula Px dengan substitusi karet bekas 50% sesuai Tabel 2.

2.4. Pengujian

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah balok dengan panjang 20 cm, lebar 10 cm dan tinggi 20 cm. sampel tersebut diukur densitasnya dan diuji kuat tekan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$f'c = \frac{P}{p.l}$$

dimana $f'c$ = kuat tekan balok beton

P = beban maksimum

p = panjang balok

l = lebar balok

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

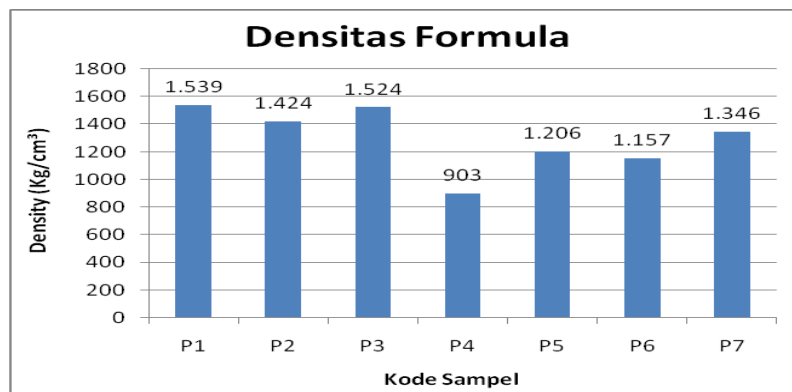
3.1. Uji coba Pendahuluan

Formula yang diperoleh dari salah satu pabrik blok beton ringan di daerah kabupaten Demak diujicobakan dengan membuatnya dalam skala kecil dan kemudian divariasikan menjadi 7 (tujuh) formula sehingga didapatkan hasil seperti pada tabel 1. berikut :

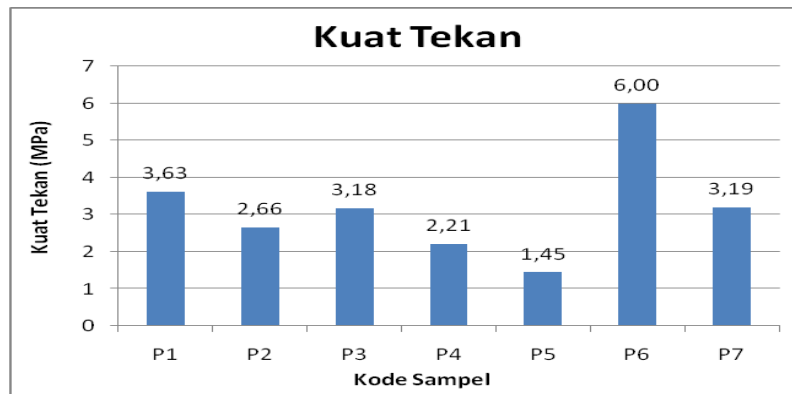
Tabel 1. Formula uji coba pendahuluan

No.	Kode Sampel	Komposisi (ml)							Dimensi (cm)			Densitas (Kg/m ³)	Kuat Tekan (MPa)
		PS	PC	KP	Al	Air	PFA	Kr	P	L	T		
1.	P1	2081	394	90	1,9	835	-	-	12,8	12,2	10,2	1.539	3,63
2.	P2	2081	394	90	3,3	600	-	-	18,5	14,2	10,4	1.424	2,66
3.	P3	2081	394	90	1,9	600	-	-	20,3	12,4	9,7	1.524	3,18
4.	P4	2081	394	90	4,7	750	-	-	20,2	17,9	10,2	903	2,21
5.	P5	2081	197	90	3,3	750	197	-	14,5	14,3	8,0	1.206	1,45
6.	P6	2081	197	90	4,7	750	197	-	11,7	11,4	11,4	1.157	6,00
7.	P7	1871	394	90	3,3	600	-	210	19,0	13,2	10,4	1.346	3,19

Keterangan : - PS : Pasir Silika - Al : Aluminium Powder
 - PC : Portland Cement (Semen) - PFA : Purified Fly Ash
 - KP : Kapur - Kr : Karet



Gambar 1. Perbandingan densitas dari masing-masing sampel



Gambar 2. Perbandingan kuat tekan dari masing-masing sampel

Densitas merupakan berat sampel dibagi dengan volume, dimana berat dan volume yang dimaksud adalah berat dan volume pada saat pengukuran berat yang dilakukan setelah usia 28 hari. Secara umum batas densitas beton yang dapat dianggap sebagai beton ringan adalah jika kurang dari 1.800 kg/m³. Setelah sampel diukur densitasnya

maka dilakukan uji kuat tekan dalam setiap formula. Hasil pengukuran densitas dan kuat tekan sampel formula dapat dilihat pada gambar 1 dan gambar 2.

Diketahui pada gambar 1. bahwa secara umum densitas dari sampel P1 sampai P7 kurang dari 1.800 kg/m³ dan dapat dikategorikan beton ringan. Dibandingkan P1, P2,

dan P3, komposisi bubuk aluminium di P4 lebih banyak sehingga produksi rongga udara lebih banyak. Proses pengadukan yang homogen menghasilkan sebaran rongga udara yang merata sehingga menyebabkan sampel mempunyai berat yang ringan. Sampel P6 dan sampel P4 mempunyai komposisi bubuk aluminium yang sama. Akan tetapi karena P6 menggunakan komposisi semen yang disubstitusi dengan PFA yang partikelnya lebih halus sehingga mengakibatkan porositas sampel lebih kecil dan mengakibatkan densitasnya lebih besar.

Pada Gambar 2. terlihat bahwa formula P6 memiliki kuat tekan paling tinggi diantara yang lainnya, akibat substitusi komposisi semen dengan PFA. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Alfred Rodriques Januar Nabal dkk (2014) bahwa bentuk partikel *fly ash* yang lebih halus memberikan keuntungan, penggunaannya dapat memperkecil porositas beton. Hal ini memberikan keuntungan dalam hal peningkatan kekuatan beton. Dari hasil penelitian Siram, K.B., (2012) dikatakan penggunaan *fly ash* pada beton ringan, dapat meningkatkan sifat baiknya seperti kuat tekan dan kadar penyerapan air. Oleh sebab itu dipilih formula P4 dan P6 sebagai dasar ujicoba substitusi pasir silika dengan limbah serutan ban karet bekas. Formula

P4 dipilih atas dasar densitas yang paling rendah diantara sampel yang lain, sedangkan formula P6 dipilih karena mempunyai kuat tekan yang tinggi.

3.2. Substitusi Limbah Karet Ban Bekas

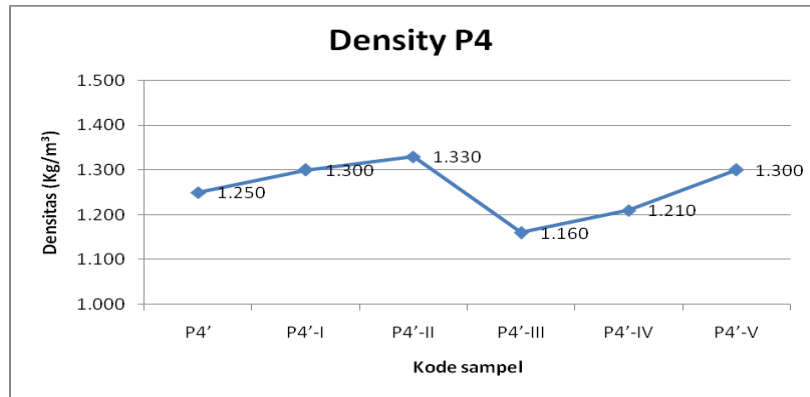
Formula P4 dan P6 yang diperoleh dari ujicoba pendahuluan disubstitusi dengan serutan karet ban bekas dan didapat hasil pada tabel 2. Hasil pengukuran densitas disajikan pada gambar 3 dan 4. Secara umum menunjukkan bahwa penambahan karet dengan berbagai komposisi tidak merubah densitas secara signifikan, yaitu berkisar antara 1.160 – 1.330 kg/m³ untuk variasi P4 dan antara 1.230 - 1.320 kg/m³ untuk variasi P6.

Gambar 5 dan 6 menunjukkan hasil uji kuat tekan yang secara umum meningkat setelah divariasi substitusi karet bekas. Menurut Satyarno (2006) penambahan serutan keret bekas dapat menurunkan kuat tekan beton, akan tetapi membuat beton semakin daktail dimana setelah beton mencapai kuat tekan maksimum, kekuatan beton tidak langsung menurun tetapi dapat dipertahankan sampai regangan yang besar. Hal ini berbanding terbalik dengan hasil uji kuat tekan yang ditunjukkan pada gambar 5 dan 6.

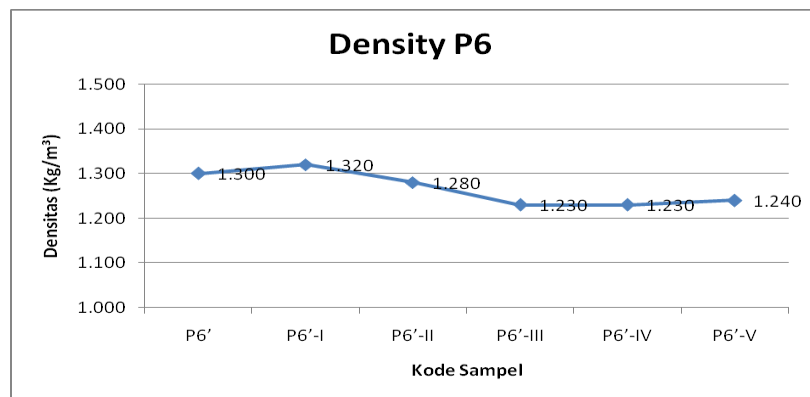
Tabel 2. Formula ujicoba substitusi karet ban bekas

No	Kode Sampel	Komposisi (ml)								Dimensi			Densitas (Kg/m ³)	Kuat Tekan (MPa)
		PS	PC	KP	Al	Air	PFA	Kr	p	l	T			
1.	P4'	2081	394	90	4,7	750	-	-	21,3	10,0	15,1	1.250	0,66	
2.	P4'-I	1873	394	90	4,7	750	-	208	21,8	9,8	14,2	1.300	0,66	
3.	P4'-II	1665	394	90	4,7	750	-	416	21,5	9,4	13,4	1.330	0,74	
4.	P4'-III	1457	394	90	4,7	750	-	624	22,0	10,0	13,2	1.160	0,82	
5.	P4'-IV	1249	394	90	4,7	750	-	832	22,1	10,0	11,6	1.210	0,91	
6.	P4'-V	1040	394	90	4,7	750	-	1040	21,9	10,0	9,0	1.300	1,28	
7.	P6'	2081	197	90	4,7	750	197	-	20,6	9,9	15,4	1.300	0,34	
8.	P6'-I	1873	197	90	4,7	750	197	208	20,2	9,9	14,5	1.320	0,60	
9.	P6'-II	1665	197	90	4,7	750	197	416	21,6	9,9	14,5	1.280	0,66	
10.	P6'-III	1457	197	90	4,7	750	197	624	21,1	9,7	12,9	1.230	0,68	
11.	P6'-IV	1249	197	90	4,7	750	197	832	20,7	10,0	11,8	1.230	0,72	
12.	P6'-V	1040	197	90	4,7	750	197	1040	20,8	9,6	11,2	1.240	0,80	

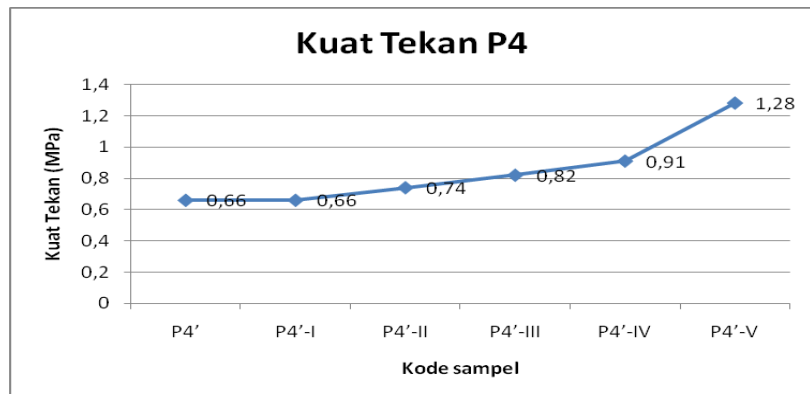
Keterangan :
 - PS : Pasir Silika
 - PC : Portland Cement (Semen)
 - KP : Kapur
 - Al : Aluminium Powder
 - PFA : Purified Fly Ash
 - Kr : Karet



Gambar 3. Densitas sampel P4



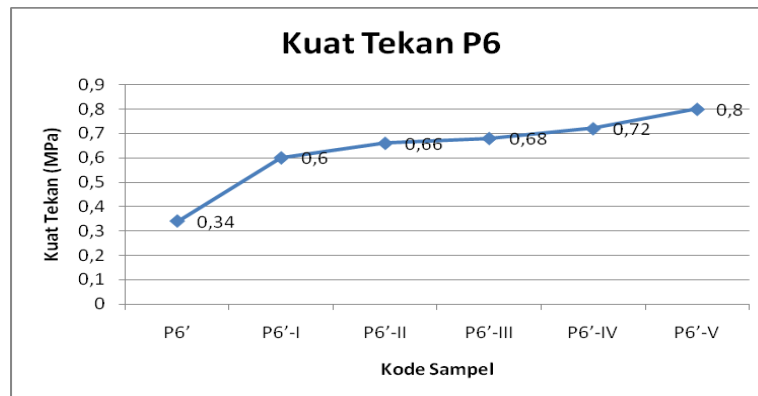
Gambar 4. Densitas sampel P6



Gambar 5. Hasil uji kuat tekan sampel P4

Hasil substitusi karet ban bekas menunjukkan bahwa semakin banyak volume karet maka kuat tekannya semakin meningkat. Kuat tekan sampel P4 meningkat dari 0,66 MPa untuk sampel tanpa substitusi karet ban bekas hingga 1,28

MPa dengan substitusi karet ban bekas sebanyak 50%. Sedangkan variasi P6 untuk sampel tanpa substitusi karet kuat tekan mencapai 0,34 MPa, dan untuk volume substitusi karet ban bekas 50 % mencapai 0,8 MPa.



Gambar 6. Hasil uji kuat tekan sampel P6

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini didapatkan formulasi standar minimal yang bisa dipakai untuk pembuatan blok beton ringan jenis CLC adalah jenis formula P4 dengan perbandingan Pasir : Semen : Kapur : Al Powder : Air adalah 63% : 12% : 2,7% : 0,14% : 23%. Sedangkan untuk formula P6 dengan perbandingan Pasir : Semen : Kapur : Al Powder : Air : PFA adalah 63% : 6% : 2,7% : 0,14% : 23% : 6%. Pemakaian limbah karet ban bekas yang diserut dapat meningkatkan kuat tekan blok beton ringan tersebut hingga substitusi 50% limbah dengan densitas antara 1.160 – 1.330 kg/m³.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan kepada BBT PPI yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian serta teman – teman anggota kegiatan penelitian yang telah mendukung dan menyelesaikan kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 1991, SNI 03-2156-1991, Blok Beton Ringan Bergelombang Udara (Airated) Dengan Proses Otoklap, Dewan Standardisasi Nasional

- Anonim, 2008, IS 2185-4 (2008): Concrete masonry units, Part 4: Preformed foam cellular concrete blocks [CED 53: Cement Matrix Products], BUREAU OF INDIAN STANDARDS, New Delhi, India
- Jitchaiyaphum, K., Sinsiri, T. and Chindaprasirt, P., 2011. Cellular lightweight concrete containing pozzolan materials. *Procedia Engineering*, 14, pp.1157-1164.
- Kushartomo, W., Supartono, F. X., & Kurniawan, T. (2013). Pengaruh Penggunaan Abu Terbang Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Reactive Powder Concrete. *Jurnal Kajian Teknologi*, 9(3), pp. 178-183.
- Murdok L.J., 1991, Bahan dan Praktek Beton, Erlangga, Jakarta
- Pandong. R., 2014, Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi <https://rickypandong.wordpress.com/2014/03/27/24/>
- Satyarno, I., 2006, Penggunaan Serutan Ban Bekas Untuk Campuran Beton, *Media Teknik No.4 XXVIII*, pp. 45-51.
- Siram, K.B., 2012. K.: Cellular Light-Weight Concrete Blocks as a Replacement of Burnt Clay Bricks. *Int. J. Eng. Adv. Technol (IJEAT)*, 2(2), pp. 149-151.
- Soumini. A.K., 2015, An Overview of Cellular Lightweight Concrete, *International Journal of Advance Reaserch Trends in Engineering and Teknology (IJARTET) Vol.II, Special Issue X*, pp. 194-197.

Verifikasi *low cost particulate sensor* sebagai sensor partikulat pada modifikasi teknologi wet scrubber

Low cost particulate verification as particulate sensor on wet scrubber modification technology

Januar Fatkhurrahman*, Ikha Rasti Juliasari, Nur Zen

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

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel :

Diterima 30 Maret 2016

Direvisi 25 April 2016

Disetujui 29 April 2016

Dipublikasikan online 12 Mei 2016

Keywords :

low cost particulate sensor
particulate concentration
wetscrubber technology

ABSTRAK

Penentuan konsentrasi partikulat pada teknologi wet scrubber umumnya menggunakan prinsip *light scattering*. Kesamaan prinsip kerja dengan *low cost particulate sensor* membuka peluang pemanfaatan *low cost particulate sensor* sebagai unit pengukur konsentrasi partikulat dalam modifikasi proses teknologi wet scrubber. *Low cost particulate sensor* yang digunakan adalah SHARP GP2Y1010 dikorelasikan dengan Sensydine Nephelometer sebagai referensi. Laju partikulat yang melalui kedua peralatan tersebut disimulasikan dari hasil pembakaran obat nyamuk, dengan periode pengambilan data selama 6-7 jam dengan laju partikulat 1 m/detik. Data hasil pembacaan SHARP GP2Y1010 dianalisis secara least square fitting dan dikorelasi linier terhadap Sensydine Nephelometer dengan hasil R2 cukup tinggi mencapai 0,88 dan pola pembacaan partikulat yang identik secara grafik.

ABSTRACT

Particulate concentration determination on wet scrubber technology generally exploit light scattering principle. Similar principle with low cost particulate sensor unfold opportunity to utilize it as particulate concentration determination on wet scrubber modification technology. SHARP GP2Y1010 is used as low cost particulate sensor, while it has been correlated with Sensydine Nephelometer as reference. Particulate flow across both instruments simulated from mosquito coil burning, with data capture periods interval between 6-7 hours with 1 m/s particulate flowrate. Data reading from SHARP GP2Y1010 least square fitted and linearly correlated with Sensydine Nephelometer as high result on R2 reach 0,88 complied with identical particulate reading in graphical pattern.

© 2016 BBT PPI. All rights reserved.

*Alamat korepondensi :

E-mail : januarfa@kemenperin.go.id (J. Fatkhurrahman)

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri di Indonesia beberapa tahun terakhir ini menunjukkan kenaikan 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

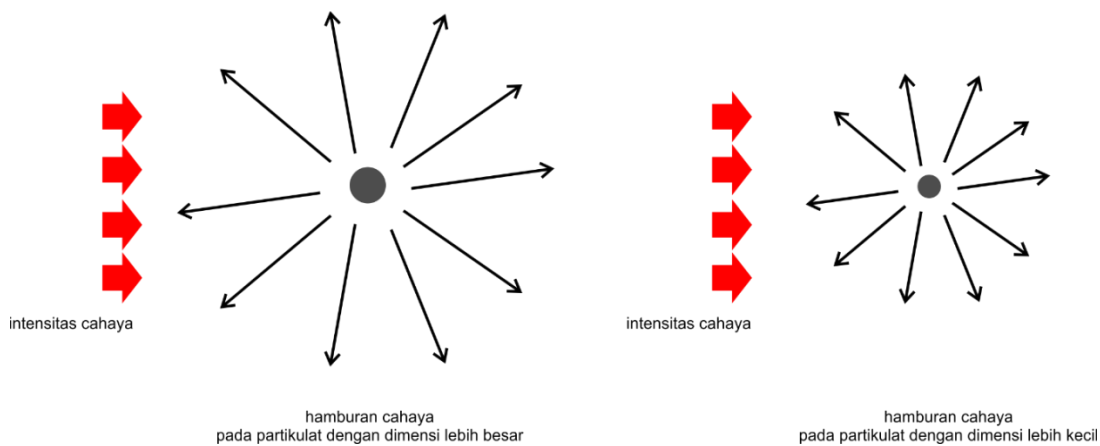
pengendali cemaran terhadap lingkungan. Wet scrubber merupakan salah satu teknologi proses yang banyak digunakan sebagai unit pengendali cemaran udara , terutama partikulat yang diemisikan oleh unit proses boiler, heater, maupun tungku pemanas (Lee dkk, 2013). Cemaran dari partikulat merupakan salah 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 ISPA maupun kanker paru – paru (WHO, 2011).

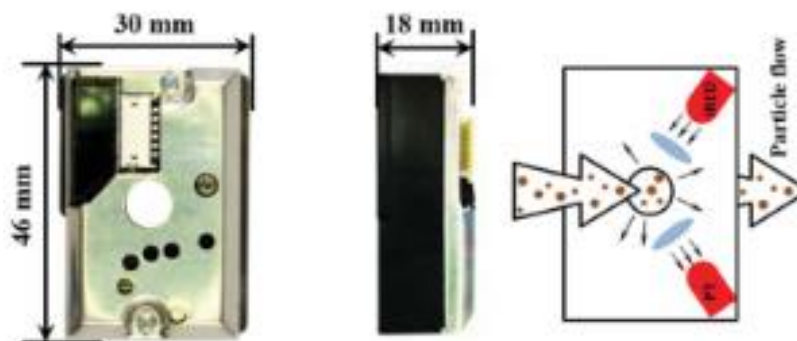
Di beberapa industri besar, unit wet scrubber dilengkapi dengan perangkat kontrol yang mampu mengatur secara efisien baik air proses, maupun efisien pengikatan partikulat, namun kondisi ini tidak ditemui pada industri kecil menengah. Pada industri besar, unit kontrol wet scrubber merupakan rangkaian perangkat sensor partikulat yang dirangkai menjadi kesatuan dengan unit wet scrubber untuk menyesuaikan beban partikulat yang melewati aliran buangan emisi. Sementara kebanyakan industri kecil menengah mempunyai unit wet scrubber tidak dilengkapi dengan sensor partikulat, sehingga kinerja wet scrubber tidak adaptif dengan beban partikulat yang melewati aliran buangan emisi. Peluang pemanfaatan low cost particulate sensor sebagai penentu konsentrasi partikulat pada unit wet scrubber

di industri kecil menengah terbuka lebar seiring dengan perkembangan modul sensor partikulat berbasis mikrokontroller dengan harga yang relatif murah, namun secara prinsip kerja identik dengan sensor partikulat yang digunakan di industri besar (Averdieck, 2011).

Pembacaan partikulat berdasarkan light scattering memanfaatkan fenomena hamburan cahaya jika partikulat dilewati berkas cahaya. Berkas hamburan cahaya tergantung dari intensitas cahaya yang melewati partikulat dan dimensi partikulat yang dilewati berkas cahaya. Adanya hamburan cahaya ke seluruh penjuru akan menimbulkan pancaran energi yang korelatif dengan dimensi partikulat yang terlewati. Besarnya pancaran energi tersebutlah yang diamati dan dikorelasi sebagai konsentrasi partikulat tiap periode waktu tertentu (Mischenko dkk, 2002). Hal ini seperti digambarkan pada gambar 1.



Gambar 1. Pola hamburan cahaya pada perbedaan dimensi partikulat



Gambar 2. Sensor partikulat SHARP GP2Y1010

Perkembangan mikrokontroler berbasis open source turut meningkatkan perkembangan sensor partikulat dalam skala kecil namun mampu memberikan akurasi yang cukup relevan sebagai pembacaan konsentrasi partikulat. Beberapa jenis sensor partikulat yang digunakan pada mikrokontroler diantaranya SHARP GP2Y1010, Syhitech DSM501, Shinyei PPD42NS, Shinyei PPD60PV, Shinyei AES-1, NIDS PSX-01E, NIDS PS02C-PWM. Namun secara umum SHARP GP2Y1010 merupakan sensor pembaca partikulat terbaik yang telah banyak digunakan dan mudah didapatkan (Holstius, dkk, 2014; Gao, dkk, 2015). Pada sensor SHARP GP2Y1010 ini, partikel yang akan dibaca konsentrasinya melalui kolom kontak di sebelah kiri dan keluar melalui keluaran kolom kontak di sebelah kanan.

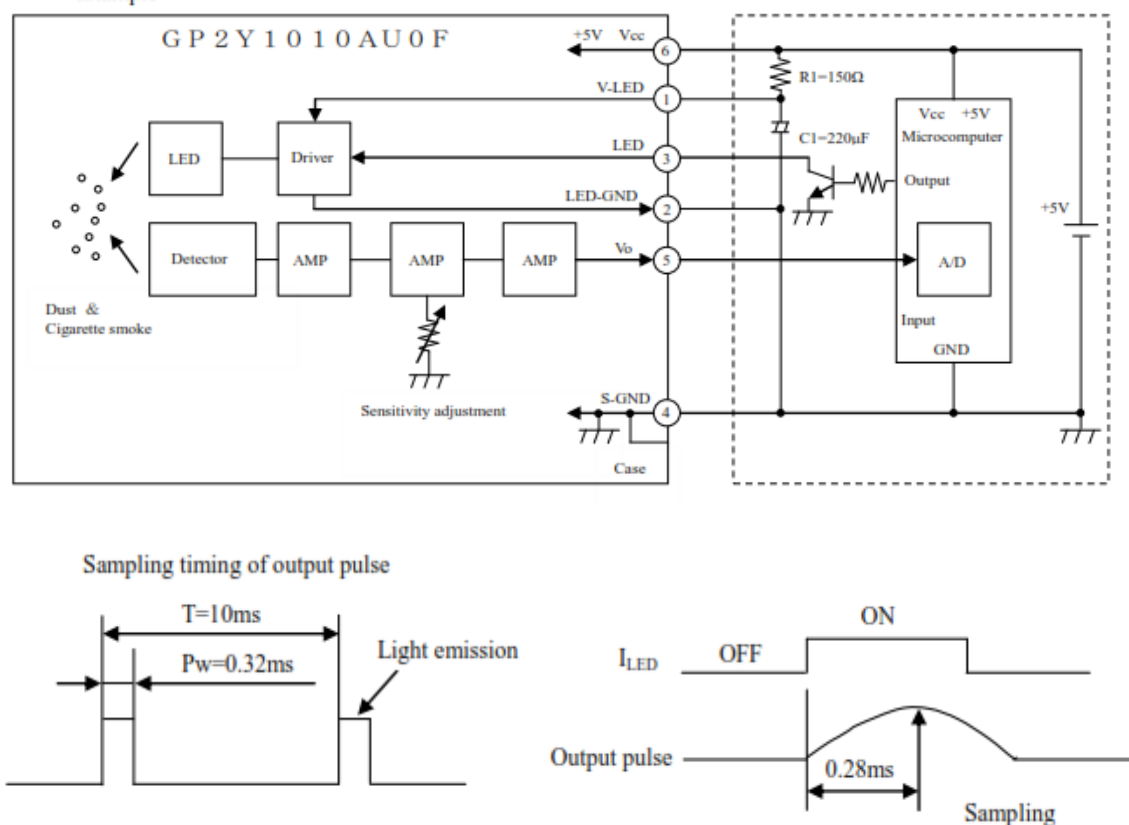
Dibandingkan dengan sensor partikulat yang digunakan pada industri besar yang dipabrikasi dengan spesifikasi yang akurat dan dikalibrasi secara presisi, sensor

partikulat dengan biaya murah ini perlu diverifikasi akurasi dan presisi pembacaan partikulatnya. Pada kegiatan penelitian ini dilaksanakan verifikasi sensor partikulat berbiaya murah dengan membandingkan pembacaan sensor partikulat terkalibrasi dengan sensor partikulat SHARP GP2Y1010 yang akan digunakan sebagai unit pembaca partikulat (Budde, 2014). Hasil verifikasi ini digunakan sebagai penentu konsentrasi partikulat yang digunakan pada modifikasi teknologi wet scrubber.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Bahan Penelitian

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini berupa partikel dari hasil pembakaran asap obat nyamuk dengan dimensi partikulat < 2,5 μm (Liu dkk, 2003) yang ditampung dan disalurkan melalui saluran partikulat.



Gambar 3. Skema pengolahan data SHARP GP2Y1010 (SHARP, 2016)

2.2. Peralatan Penelitian

Peralatan utama yang digunakan dalam kalibrasi sensor partikulat terdiri dari unit sensor partikulat dan peralatan referensi adalah sensor partikulat; SHARP GP2Y1010. Sensor ini mampu membaca konsentrasi partikulat dengan resolusi < 1 detik. Konsentrasi partikulat tiap waktu merupakan perbedaan tegangan keluar yang dibaca sebagai sinyal analog 0 volt – 5 volt. Sinyal analog kemudian diolah menjadi digital dengan bantuan mikrokontroler berbasis arduino. Data disimpan dalam media penyimpanan dengan format CSV yang dapat diolah dengan software Microsoft Excel, Sensidyne Nephelometer, peralatan ini bekerja berdasarkan prinsip light scattering, dengan resolusi pengukuran tiap 1µg/m3, data akan tersimpan setiap interval 1 menit dalam format .XLS yang dapat diolah dengan software Microsoft Excel.

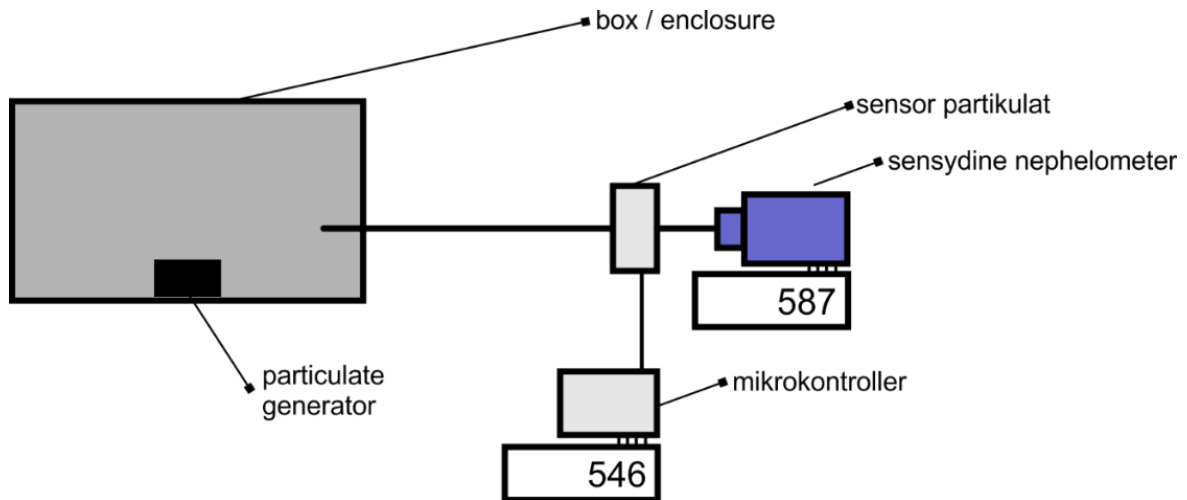


Gambar 4. Alat referensi pembacaan partikulat Sensidyne Nephelometer

2.3. Prosedur Kerja

Sensidyne Nephelometer bekerja dengan prinsip yang sama dengan sensor partikulat SHARP GP2Y1010, sensor partikulat ini dihubungkan dengan mikrokontroler berbasis Arduino yang dilengkapi dengan display dan media penyimpanan data dalam bentuk micro sd, periode penyimpanan data partikulat pada sensor partikulat SHARP GP2Y1010 diset tiap interval 1 menit, menyesuaikan interval pembacaan Sensidyne Nephelometer. Konstruksi peralatan kalibrasi sensor partikulat SHARP GP2Y1010 menggunakan casing yang terbuat dari stainless steel dengan saluran partikulat yang disusun dalam satu aliran partikulat yang melewati sensor partikulat SHARP GP2Y1010 dan Sensidyne Nephelometer dalam satu pipa penghubung. Tiap rangkaian ujicoba dilakukan selama rentang pembakaran obat nyamuk bakar sampai habis. Rata – rata waktu ujicoba berkisar 6 – 7 jam, dengan laju rata – rata partikulat 1 m/detik, korelatif dengan spesifikasi peralatan pembanding Sensidyne Nephelometer.

Analisis linier secara *least square fitting* digunakan untuk mengkorelasi hasil pembacaan partikulat SHARP GP2Y1010 terhadap Sensidyne Nephelometer (Hasenfratz, 2012). Pemilihan *least square fitting* sebagai analisis data berdasarkan pertimbangan metode ini mampu menganalisis dengan baik hubungan linieritas pada data yang ada (Petroskaya, 2008).



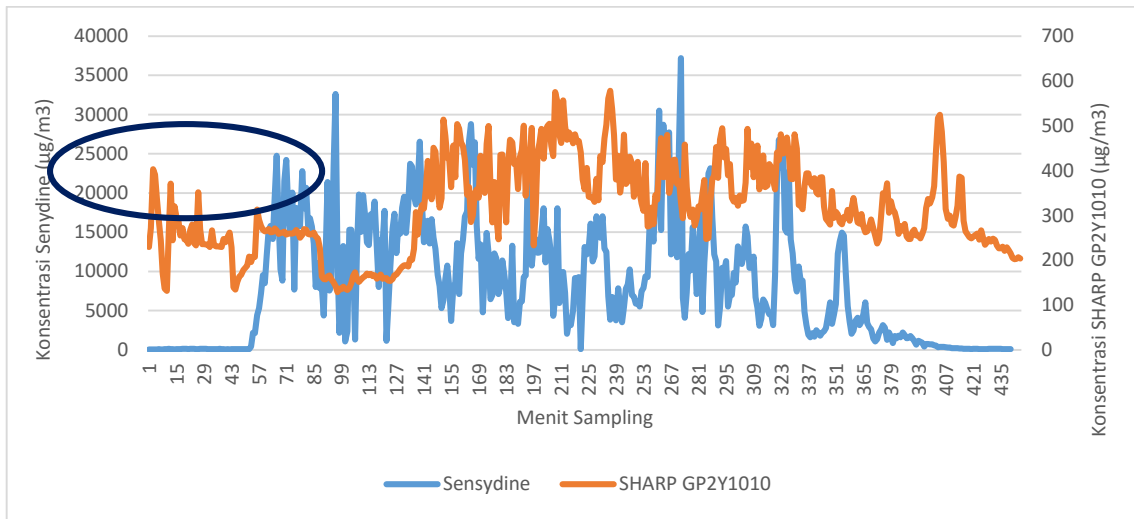
Gambar 5. Konstruksi peralatan kalibrasi sensor partikulat

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

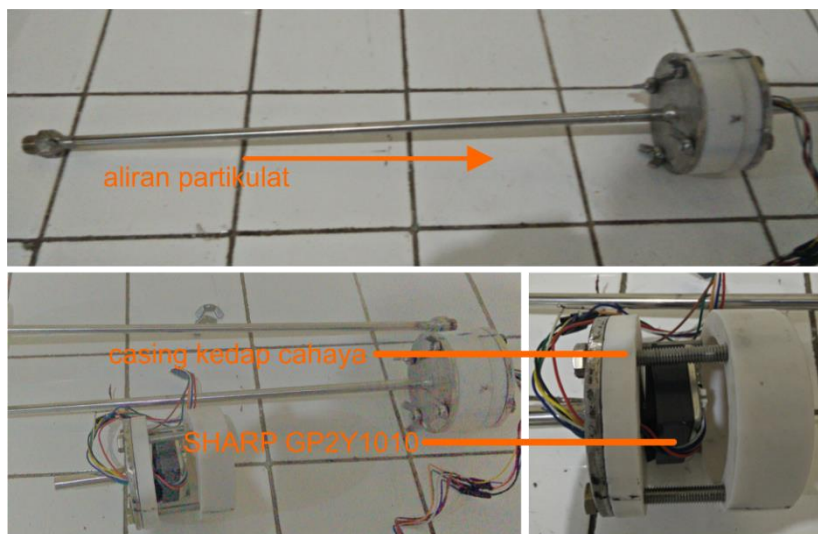
Sensor GP2Y1010 bekerja berdasarkan prinsip *light scattering*, dimana cahaya inframerah diemisikan melalui kolom kontak, ketika partikulat hasil pembakaran obat nyamuk dengan dimensi < 2,5 μm melewati kolom kontak dengan laju partikulat 1 m/detik, cahaya dihamburkan oleh partikulat dengan konsentrasi yang sebanding. Hasil ujicoba awal menunjukkan adanya “noise” seperti digambarkan pada gambar 6 menunjukkan perbedaan kurva konsentrasi partikulat selama periode waktu pengambilan data.

Meskipun menunjukkan perbedaan konsentrasi yang cukup besar, sinyal yang dihasilkan pada sensor GP2Y1010,

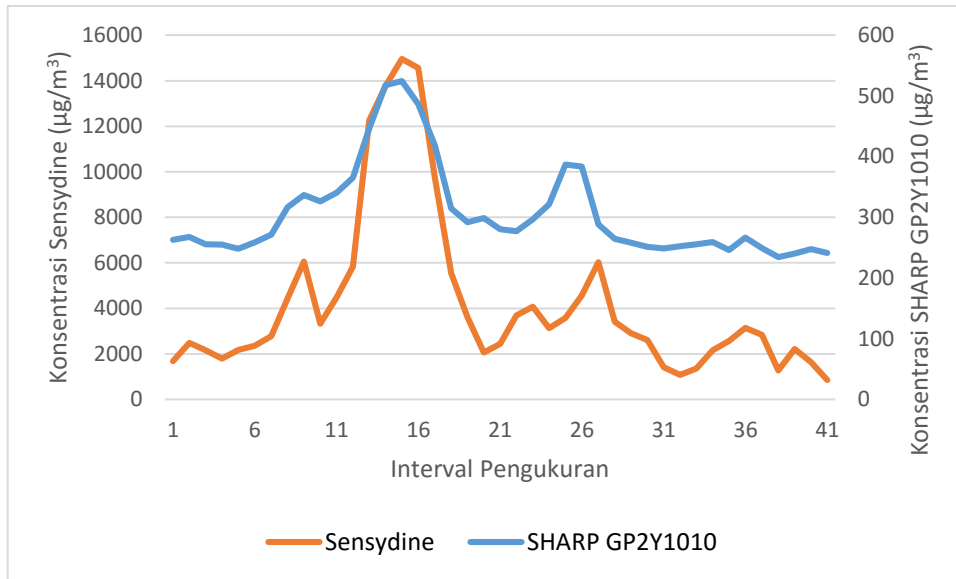
menunjukkan pola yang relatif sama dengan konsentrasi yang diukur pada Sensydine Nephelometer sebagai referensi. Pada awal ujicoba, sensor GP2Y1010 menunjukkan pola grafis yang datar (lingkaran pada gambar 6) dibandingkan dengan pola pada Sensydine Nephelometer, hal ini disebabkan adanya gangguan cahaya artifisial yang memberikan noise pada pembacaan. Penyesuaian dengan memasang sensor GP2Y1010 pada casing yang seperti terlihat pada gambar 7 dilakukan untuk meminimalkan gangguan cahaya artifisial dari lingkungan, ujicoba dilanjutkan dengan membandingkan pembacaan partikulat pada sensor GP2Y1010 terhadap Sensydine Nephelometer.



Gambar 6. Korelasi pembacaan partikulat Sensydine Nephelometer terhadap SHARP GP2Y1010



Gambar 7. Konstruksi casing sensor SHARP GP2Y1010



Gambar 8. Korelasi penyesuaian pembacaan partikulat Sensydine Nephelometer terhadap SHARP GP2Y1010

Penyesuaian perlakuan pengambilan data dilakukan untuk meningkatkan akurasi pembacaan dan pengolahan data, meliputi penyesuaian interval pengambilan data menjadi tiap 60 detik baik untuk Sensydine Nephelometer dan SHARP GP2Y1010. Hal ini dilakukan untuk mengurangi “noise” yang dihasilkan, sehingga total data yang disimpan dapat dikurangi, namun tidak mengurangi informasi secara signifikan (Budde dkk, 2013) seperti terlihat pada gambar 8.

Setelah dilakukan penyesuaian terhadap konstruksi peralatan, dilakukan kalibrasi SHARP GP2Y1010 terhadap pembacaan Sensydine Nephelometer dengan membandingkan keluaran atau konsentrasi partikulat yang terbaca pada SHARP GP2Y1010 dikorelasi dengan konsentrasi partikulat terukur. Partikulat yang dijadikan acuan merupakan partikulat yang dihasilkan pada pembakaran obat nyamuk bakardengan dimensi < 2,5 µm yang ditempatkan pada kotak tertutup dengan saluran menuju sensor SHARP GP2Y1010 dan Sensydine Nephelometer, laju partikulat dikontrol melalui pompa yang berada pada Sensydine Nephelometer sebesar 1 m/detik, seperti terlihat pada gambar 9.

Data yang dihasilkan diolah dengan *least square fitting*, skala linier *a* dan kemiringan *b* antara dua kurva yang dihasilkan dikalkulasi pada data yang dihasilkan seperti pada gambar 8, sebagai koefisien untuk perhitungan konsentrasi *y*, sehingga diperoleh persamaan (1);

$$y = a \cdot x + b \quad (1)$$



Gambar 9. Konstruksi kalibrasi SHARP GP2Y1010

Sebaran data korelasi antara pembacaan partikulat pada SHARP GP2Y1010 terhadap Sensydine Nephelometer disajikan pada gambar 10. Data hasil uji coba tersebut yang dianalisis *least square fitting* tersebut menghasilkan persamaan $y = 44,272x - 9335,2$ dengan $R^2,88$ terhadap pembacaan Sensydine Nephelometer.

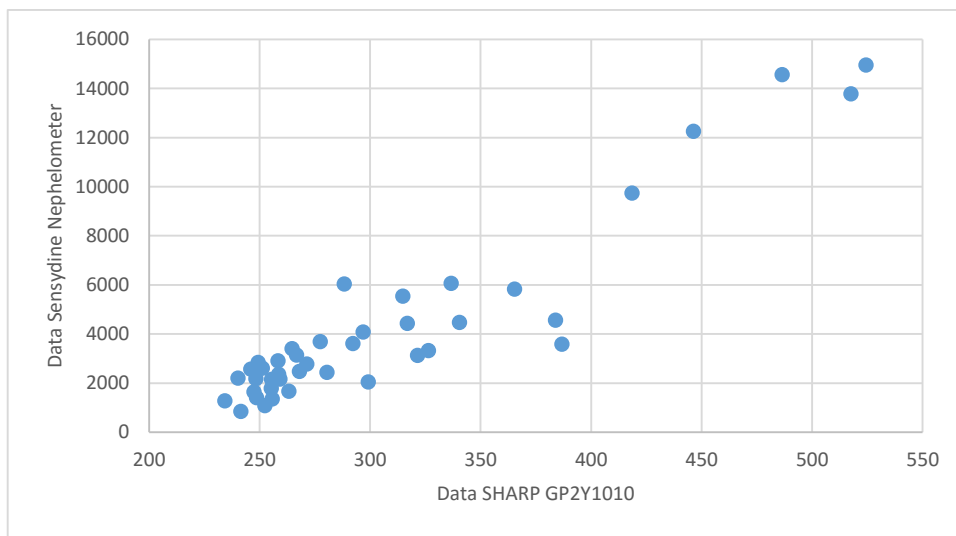
Linieritas kurva yang dihasilkan cukup tinggi mencapai 88%, namun masih kurang dari keberterimaan kurva linier 95%, hal ini dimungkinkan adanya interferensi suhu yang pada awalnya kami asumsikan tidak mempengaruhi pembacaan partikulat. Menurut (Jonasz, 2013) faktor suhu akan mempengaruhi akurasi pengukuran berdasarkan

interferensinya terhadap gerak Brownian, korelasi fungsi sudut scattering $I(\tau)=\langle I(t)I(t+\tau)\rangle$, dimana τ yang merupakan waktu delay pengukuran sebagai eksponensial $(-q^2 \delta \tau)$ dimana δ merupakan koefisien suhu dari partikulat di sekitar media.

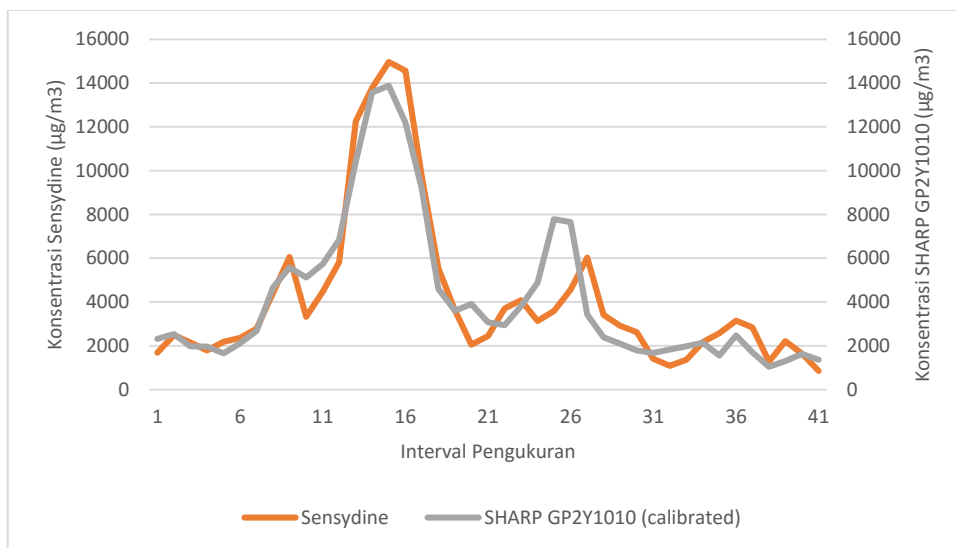
Menurut (Spinelle, 2013) keberterimaan deviasi pembacaan konsentrasi partikulat pada peralatan dengan spesifikasi yang berbeda belum dapat dijadikan acuan secara paralel, sehingga asumsi dua faktor utama yang dibahas; pola identik pembacaan partikulat antara kedua peralatan dan linieritas kurva sebesar 0,88 dijadikan acuan penggunaan *low cost particulate sensor* sebagai penentu konsentrasi partikulat modifikasi proses teknologi wet scrubber.

Setelah dilakukan analisis *least square fitting* dengan persamaan tersebut, terlihat pola yang hampir identik antara pembacaan konsentrasi partikulat pada Sensydine Nephelometer sebagai referensi dan SHARP GP2Y1010 sebagai sensor pembaca partikulat seperti terlihat pada gambar 11.

Namun, sesuai yang disampaikan oleh (Wang, dkk, 2015) belum ada standar baku untuk mengkalibrasi sensor partikulat, sehingga dengan pola identik pembacaan sensor partikulat antara *Sensidyne Nephelometer* dengan SHARP GP2Y1010 dijadikan acuan penentuan konsentrasi partikulat berbasis *low cost particulate sensor*.



Gambar 10. Kurva sebaran data SHARP GP2Y1010 terhadap Sensydine Nephelometer



Gambar 11. Kurva kalibrasi SHARP GP2Y1010

4. KESIMPULAN

Kalibrasi *low cost particulate sensor* terhadap peralatan referensi dapat digunakan sebagai penentu konsentrasi partikulat yang akan digunakan sebagai sensor partikulat pada formulasi proses modifikasi teknologi wetscrubber, dengan *analisis least square fitting*. Pada korelasi pembacaan SHARP GP2Y1010 terhadap peralatan referensi menunjukkan linieritas yang cukup tinggi sebesar 0,88 dengan korelasi konsentrasi pembacaan SHARP GP2Y1010 ($y = 44,272x - 9335,2$) dikoreksi terhadap pembacaan Sensydine Nephelometer, pada partikulat dengan dimensi < 2,5 μm dan kecepatan alir partikulat 1 m/detik.

Penggunaan sensor partikulat dengan spesifikasi teknis meliputi rentang pembacaan konsentrasi partikulat yang lebih baik dapat digunakan untuk meningkatkan akurasi pembacaan partikulat dan korelasi linier yang lebih baik terhadap peralatan pembanding.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan kepada BBTPPI yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian serta teman – teman anggota kegiatan penelitian yang telah mendukung dan menyelesaikan kegiatan penelitian ini.

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.
- Budde, Matthias. Masri, Rayan El. Riedel, Till. Beigl, Michael. 2013. Enabling Low-Cost Particulate Matter Measurement for Participatory Sensing Scenarios. Dalam prosiding 12th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia
- Budde, Matthias. Zhang, Lin. Beigl, Michael. 2014. Distributed, low-cost particulate matter sensing: scenarios, challenges, approaches. Dalam prosiding 1st International Conference on Atmospheric Dust.
- Gao, M., Cao, J., and Seto, E. 2015. A Distributed Network of Low-Cost Continuous Reading Sensors to Measure Spatiotemporal Variations of PM_{2.5} in Xi'an, China. *Environ. Pollut.*, 199, pp. 56–65.
- Gozzi, Fernando. Ventura, Giancarlo Della. Maarelli, Augusto. 2015. Mobile monitoring of particulate matter: State of art and perspectives. *Atmospheric Pollution Research XXX*, pp. 1-7
- Hasenfratz, D., Saukh, O., Sturzenegger, S., Thiele, L., 2012. Participatory air pollution monitoring using smartphones. Dalam Prosiding 2nd International Workshop on Mobile Sensing, April 16-20, 2012, Beijing, China.
- Holstius, D., Pillarisetti, A., Smith, K., and Seto, E. 2014. Field Calibrations of a Low-Cost Aerosol Sensor at a Regulatory Monitoring Site in California. *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, 7, pp. 605–632.
- Jonasz, Miroslaw. Fournier, Georges. 2011. Light Scattering by Particles in Water: Theoretical and Experimental Foundations. Academic Press.
- Lee BK1, Mohan BR, Byeon SH, Lim KS, Hong EP. 2013. Evaluating the performance of a turbulent wet scrubber for scrubbing particulate matter. *63(5):499-506. Journal of the Air and Waste Management Association*
- Liu, Weili. Zhang, Junfeng. Hashim, Jamal H. Jalaludin, Juliana. Hashim, Zailina. Goldstein, Bernard D. 2003. Mosquito Coil Emissions and Health Implications. *111(12):1454-1460. Environmental Health Perspectives*
- Mishchenko, Michael I. Travis, Larry D. Lacis, Andrew A. 2002. Scattering, Absorption, and Emission of Light by Small Particles. Cambridge University Press. Cambridge.
- Petroskaya, N.B. 2008. The Accuracy Of Least-Squares Approximation On Highly Stretched Meshes. *International Journal of Computational Methods Vol. 5, No. 3 (2008)*, pp. 449–462
- Spinelle, L., Gerboles, M., and Aleixandre, M. 2013. Protocol of Evaluation and Calibration of Low-Cost Gas Sensors for the Monitoring of Air Pollution. Publication Office of the European Union, Luxembourg,
- Wang, Yang. Li, Jiayu. Jing, He. Zhang, Qiang. Jiang, Jingkun. Biswas, Pratim. 2015. Laboratory Evaluation and Calibration of Three Low-Cost Particle Sensors for Particulate Matter Measurement. *Aerosol Science and Technology*. ISSN: 0278-6826. pp. 1063 - 1076.
- World Health Organization (WHO), 2011. http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2011/air_pollution_20110926/en/index.html. diakses tanggal 28 Maret 2016



JRT PPI 7 (1) (2016)

Jurnal Riset
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Kementerian
Perindustrian
REPUBLIK INDONESIA

Journal homepage : ejournal.kemenperin.go.id/jrtppi

Potensi tanaman air sebagai fitoakumulator logam kromium dalam limbah cair tekstil

Potency of aquatic plants as phytoaccumulator of chromium in textile wastewater

Rizal Awaludin Malik^{1*}, Wahyu Surakusumah², Hertien Koosbandiah Surtikanti²

¹ Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Jl. Ki Mangunsarkoro No 6 PO Box: 829, Semarang 50136, Indonesia

² Universitas Pendidikan Indonesia, Jln. Setiabudhi No. 229 Kota Bandung, Indonesia

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel :

Diterima 31 Maret 2016

Direvisi 29 April 2016

Disetujui 03 Mei 2016

Dipublikasikan online 12 Mei 2016

Keywords :

zantedeschia aethiopica
pontederia lanceolata
echinodorus palaefolius
textile wastewater
phytoaccumulation
chromium

ABSTRAK

Penggunaan unit *wetlands* dalam proses pengolahan limbah cair industri tekstil telah banyak diterapkan di industri. Unit *wetlands* merupakan suatu unit proses pengolahan limbah cair yang memanfaatkan tanaman sebagai pengolah limbah cair. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi tiga jenis tanaman air yaitu *Zantedeschia aethiopica*, *Pontederia lanceolata*, *Echinodorus palaefolius* sebagai fitoakumulator logam kromium untuk dapat digunakan pada unit *wetlands*. Sumber logam kromium yang digunakan berasal dari limbah cair tekstil yang telah diolah namun masih memiliki kadar krom total yang masih cukup tinggi. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *microcosm constructed wetlands* dengan menggunakan pasir dan kerikil sebagai substrat tumbuh. Penelitian dilakukan selama 60 hari dan parameter yang diukur meliputi akumulasi logam kromium pada tanaman dan respon morfologis dari tanaman selama dipaparkan dengan limbah yang mengandung logam kromium meliputi nekrosis, klorosis, berat basah dan jumlah helaian daun. Hasil yang didapatkan memperlihatkan bahwa penurunan kadar logam kromium dari limbah cair mencapai 99%. Peningkatan jumlah konsentrasi logam kromium tertinggi terdapat pada tanaman *Echinodorus palaefolius*, peningkatan konsentrasi sebesar 6,12 ppm, sedangkan tanaman *Pontederia lanceolata* sebesar 2,45 ppm dan pada tanaman *Zantedeschia aethiopica* sebesar 1,38 ppm. Pada akhir masa penelitian didapatkan data bahwa tanaman *Echinodorus palaefolius* memiliki daya regenerasi yang lebih besar dibanding kedua tanaman uji lainnya. Hal ini ditunjukkan dengan persentase nekrosis sebesar 1,33% dan klorosis sebesar 0% dan selisih jumlah daun sebesar 0,44, sedangkan tanaman *Zantedeschia aethiopica* memiliki persentase klorosis 3,6% dan nekrosis 18,55% dan selisih jumlah daun -1,0, dan tanaman *Pontederia lanceolata* 18,22% dan 4,11% memiliki selisih jumlah daun -0,44. Dapat disimpulkan bahwa ketiga tanaman dapat digunakan sebagai akumulator logam kromium, namun tanaman *Echinodorus palaefolius* memiliki potensi paling tinggi dalam akumulasi logam kromium dari limbah cair tekstil.

ABSTRACT

The use of *wetlands* in the process for treating textile industry wastewater has been widely applied in the industry. *Wetlands* unit is a processing unit that utilized plants as wastewater processing. This study aims to determine the potential of *Zantedeschia aethiopica*, *Pontederia lanceolata*, *Echinodorus palaefolius* as a chromium phytoaccumulator. The source of chromium metal that is used in this research was collected from textile wastewater that has been processed but yet still has high levels of chromium concentration. The method used in this study is a *Microcosm of constructed wetlands* by using sand and gravel as a substrate to grow. The study was conducted for 60 days and the parameters measured include chromium metal accumulation in plants, and morphological responses of plants including necrosis, chlorosis, wet weight and the number of the leaf. From the results obtained that decreased levels of chromium from textile wastewater reached 99%. The highest level of chromium concentration was found at *Echinodorus palaefolius*, the chromium concentration in its body has increased to 6.12 ppm, while the plant *Pontederia lanceolata* accumulating chromium as much as 2.45 ppm, and *Zantedeschia aethiopica* has the lowest chromium accumulating it just have about 1.38 ppm. At the end of the study obtained data that *Echinodorus palaefolius* has greater regeneration ability than the two other test plants, this is indicated by the percentage of necrosis and chlorosis respectively 1.33% to 0% and the difference between the number of leaves about

0.44, while the plant *Zantedeschia aethiopica* has a percentage 3.6% for chlorosis, 18.55% for necrosis percentage and a difference in the amount of -1.0 leaves, and plants *Pontederia lanceolata* has 18.22% and 4.11% for necrosis and chlorosis, and have a difference of -0.44 for leaf number. It can be concluded that the three plants could be used as chromium accumulator, but *Echinodorus palaefolius* have the highest potential for accumulating chromium from textile wastewater.

© 2016 BBTPI. All rights reserved.

*Alamat korespondensi :

E-mail : rizalmalik72@gmail.com (R.A. Malik)

1. PENDAHULUAN

Limbah cair tekstil merupakan limbah cair yang berasal dari proses produksi tekstil. Limbah cair tekstil umumnya memiliki nilai pH lebih dari 7 (basa), dan mengandung banyak materi organik dan materi anorganik sehingga mempunyai nilai pH, BOD, COD, TSS yang tinggi (Kadlec dan Wallace, 2008). Limbah cair tekstil mengandung konsentrasi logam berat Cr, Zn, Pb, Ni dan bahan halogen organik yang cukup tinggi (Birame, 2012). Logam berat tersebut merupakan salah satu bahan yang digunakan pada saat pewarnaan tekstil (dyeing). Terdapat 2 (dua) bentuk logam kromium (Cr) yang digunakan pada saat pewarnaan tekstil, yaitu sebagai complexing dyes pada pewarna sintetis dan garam kromium yang digunakan pada proses mordant menggunakan pewarna alami (Vigo, TL. 2013).

Dampak dari limbah cair tekstil ini merupakan suatu ancaman ekologis yang sangat serius, oleh sebab itu diperlukan adanya pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan/badan air. Telah banyak metode pengolahan limbah cair tekstil yang telah digunakan oleh industri seperti metode pengolahan kimiawi-biologis, aerobik-anaerobik (Wang et al., 2011), hingga metode anaerobik-wetlands (Moenir et al., 2015). Penggunaan wetlands sebagai proses akhir pengolahan limbah cair telah banyak di aplikasikan baik di pengolahan limbah cair industri maupun limbah cair domestik. Menurut Vymazal (2008), wetlands merupakan suatu metode pengolahan limbah yang berupa ekosistem rawa buatan yang memiliki karakteristik biotik dan abiotik layaknya rawa-rawa alami. Metode ini memanfaatkan tanaman sebagai pionir dalam pembuatan iklim mikro yang menunjang adanya suatu ekosistem kompleks yang akan memunculkan adanya simbiosis antara tumbuhan dan mikroorganisme.

Fitoremediasi adalah suatu proses pencucian, penghancuran, inaktivasi, atau immobilisasi polutan kedalam bentuk yang tidak berbahaya bagi lingkungan (Chaney et al., 1995; Hidayati, 2005). Ada berbagai jenis strategi dalam penerapan fitoremediasi, diantaranya adalah Fitoekstraksi, Rhizofiltrasi, Fitotransformasi, Fitostimulasi, dan Fitostabilisasi (Chaney et al., 1995; Hidayati, 2005). Proses fitoremediasi pada limbah cair umumnya digunakan sebagai pengolahan lanjutan dalam instalasi pengolahan air limbah (IPAL), yang umumnya disebut dengan wetlands.

Tanaman yang digunakan untuk fitoakumulasi logam kromium (Cr) sebaiknya bukan tanaman pangan atau tanaman konsumsi karena kandungan senyawa logam tersebut akan terakumulasi di dalam tanaman tersebut. Logam kromium memiliki dampak yang mematikan apabila terakumulasi dalam jumlah yang cukup besar (Syracuse Research, 1997; Zayed dan Terry, 2003). Salah satu alternatif untuk menghindari dampak buruk dari fitoakumulasi adalah dengan menggunakan tanaman hias dimana tanaman hias sehingga mempunyai fungsi ganda yaitu sebagai agen fitokumulasi dan juga sebagai penambah estetika pada daerah yang akan diremediasi. Tanaman *Pontederia lanceolata* (lavender air), *Zantedeschia aethiopica* (lili air), *Echinodorus palaefolius* (melati air), merupakan tanaman hias yang sering ditemukan di kawasan tropis seperti Indonesia. Telah banyak studi yang melibatkan ketiga tanaman tersebut untuk mengolah limbah cair, seperti tanaman *Echinodorus palaefolius* (melati air) merupakan tanaman yang umum digunakan pada unit wetlands, namun penggunaan tanaman ini masih sebatas pada unit pengolahan limbah domestik. *Pontederia lanceolata* (lavender air) merupakan tanaman yang memiliki kekerabatan tingkat genus dengan *Pontederia parviflora*. yang dapat digunakan sebagai bioakumulator

logam kromium (III) trivalen (de Souza et al., 2015). Sebuah studi yang dilakukan oleh Belmont dan Metcalfe (2003), menyatakan bahwa tanaman *Zantedeschia aethiopica* digunakan dalam unit wetlands untuk mendegradasi nitrogen. Oleh karena itu diperlukan studi mengenai pemanfaatan ketiga tanaman tersebut dalam pengolahan lanjutan limbah cair tekstil.

Potensi suatu tanaman sebagai fitoakumulator dapat dilihat dari tingkat kesintasan atau kelulushidupan suatu tanaman dalam melewati gangguan fisiologis yang diakibatkan oleh zat-zat pencemar dalam limbah cair. Potensi suatu tanaman fitoakumulator dapat dilihat berdasarkan beberapa karakteristik yaitu: Laju pertumbuhan tanaman tersebut tidak terpengaruh oleh toksikan yang terdapat pada lingkungannya, mempunyai kesintasan dalam menghadapi gangguan fisiologis yang disebabkan oleh pencemar yang terdapat pada lingkungannya, dan mampu mengurangi kadar pencemar secara signifikan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah tanaman *P. lanceolata* (lavender air), *Z. Aethiopica* (lili air), *E. Palaefolius* (melati air), memiliki potensi untuk digunakan sebagai fitoakumulator logam berat pada proses akhir pengolahan limbah cair tekstil di industri. Parameter yang dijadikan tolak ukur untuk mengetahui potensi suatu tanaman sebagai fitoakumulator logam berat meliputi parameter pengamatan morfologis berupa nekrosis, klorosis, dan berat basah tanaman. Pengamatan kimiawi dilakukan dengan mengamati kadar logam berat kromium pada tanaman dan air limbah.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Bahan Penelitian

2.1.1. Tanaman

Tanaman yang digunakan didapatkan dari perkebunan tanaman air Cihideung Bandung. Tanaman yang dipilih adalah tanaman yang belum mengalami fase generatif/dewasa, yaitu tanaman yang belum memasuki tahap perbungaan.

2.1.2. Limbah Cair

Limbah cair yang digunakan adalah limbah cair tekstil yang didapat dari output pengolahan limbah dari pabrik tekstil yang berada di daerah Cibaligo, Cijerah Kab. Bandung. Penggunaan limbah cair tekstil ini bertujuan untuk mengetahui secara spesifik potensi tanaman uji dalam mengakumulasi logam kromium ketika diaplikasikan di industri.

2.1.3. Media Tanam

Media tanam yang digunakan adalah substrat berupa pasir dan kerikil yang dimasukkan ke dalam wadah ember/pot plastik.

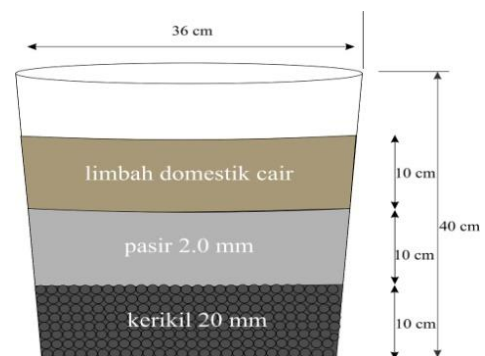
2.2. Peralatan Penelitian

Peralatan penelitian yang digunakan adalah pot/ember plastik berdiameter 36 cm dan tinggi 40 cm, dengan perbandingan 3 kg:3 kg (v/v).

2.3. Prosedur Penelitian

2.3.1. Penyiapan Media Tanam

Pertama pasir, kerikil dan ember dibersihkan menggunakan air mengalir, lalu tiga kg kerikil dimasukkan ke dalam pot/ember yang digunakan untuk penelitian, lalu tiga kg pasir dimasukkan ke dalam pot dengan posisi penempatan berada di atas kerikil.



Gambar 1. Contoh Microcosm Construction Wetlands

Sumber: (Dilshad et al., 2010)

2.3.2. Aklimatisasi

Tiap-tiap pot yang berisi media tanam dan tanaman uji diberi air bersih sebanyak enam liter dan dibiarkan selama 14 hari. Aklimatisasi bertujuan agar tanaman uji dipastikan dapat hidup dengan normal ketika diberi limbah cair tekstil dan telah menempel pada substrat dan telah melewati masa stress akibat dipindahkan pada substrat tumbuh yang baru. Sehingga kondisi stress tersebut tidak akan muncul ketika diberi perlakuan dan tidak akan mengganggu pengamatan morfologis selama penelitian.

2.3.3. Pemberian Limbah Cair

Tanaman uji diberi limbah cair tekstil sebanyak enam liter dan dibiarkan selama 30 hari. Selanjutnya pada hari ke-31 tiap-tiap pot tanaman uji diberi aquades sebanyak 3 liter dan dibiarkan hingga hari ke-60. Pemberian aquades ini bertujuan untuk menghindari kematian tanaman uji karena kekurangan air dan untuk menurunkan viskositas air limbah yang masih mengandung logam berat kromium. Dengan demikian, kesetimbangan volume larutan tidak mengganggu proses penyerapan logam berat kromium dapat berlanjut hingga hari ke-60 masa penelitian.

2.3.4. Analisis Parameter Kimiawi

Analisis parameter kimia air dilakukan pada hari ke-0 yang meliputi pengukuran faktor kimia air BOD₅, TSS, logam kromium (Cr), pH, dan pada hari ke-60 hanya dilakukan uji kandungan logam kromium pada air limbah. Pengukuran parameter kimiawi selain logam kromium bertujuan untuk mengetahui kandungan kimiawi yang bisa berpengaruh pada proses akumulasi logam kromium oleh tanaman. Pengukuran logam berat kromium mengacu pada standard method APHA menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Pengukuran BOD₅ dilakukan dengan mengacu pada SNI 6989.72 : 2009 - 2004, dan pengukuran TSS menggunakan metode gravimetri.

2.3.5. Pengamatan Morfologis

Pengamatan morfologis meliputi beberapa parameter seperti jumlah helaian daun, persen nekrosis dilakukan sebanyak 3 (tiga) kali yaitu pada hari ke-0, hari ke-30, dan hari ke-60. Untuk pengamatan berat basah hanya dilakukan dua kali yaitu pada awal dan akhir penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

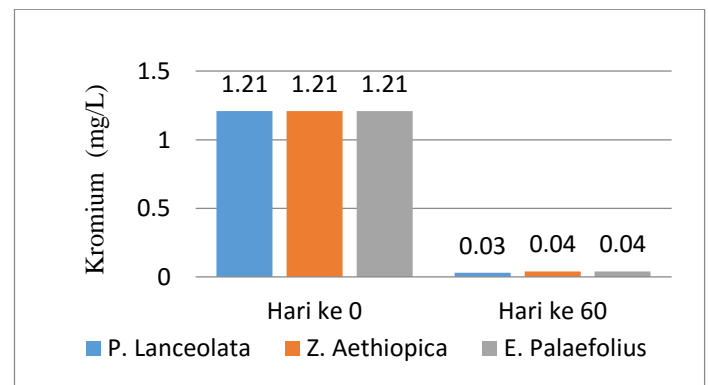
3.1. Reduksi Logam Kromium Oleh Tanaman

Untuk mengetahui reduksi logam kromium oleh tanaman uji maka diperlukan pengukuran awal untuk mengetahui karakteristik limbah cair yang digunakan ketika penelitian. Limbah cair tekstil yang diberikan pada tanaman uji memiliki karakteristik sebagaimana pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran karakteristik limbah cair tekstil yang digunakan

No	Parameter	Konsentrasi	Satuan
1.	BOD	215,9	mg/L
2.	TSS	302,3	mg/L
3.	Krom total	1,21	mg/L
4.	pH	10,2	-

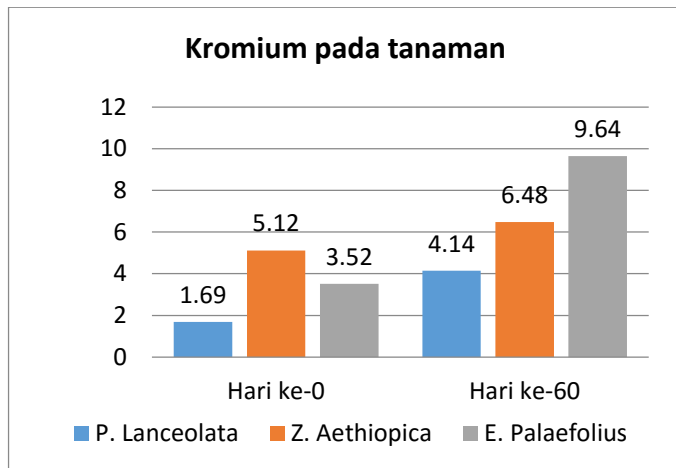
Dari hasil analisa karakteristik limbah cair tekstil yang digunakan, terlihat bahwa limbah cair tekstil yang telah melewati proses pengolahan masih memiliki kadar logam kromium (Cr) yang cukup tinggi.



Gambar 2. Kadar logam kromium pada limbah cair tekstil

Gambar 2 menunjukkan penurunan kadar logam berat kromium (Cr) dalam limbah cair yang cukup signifikan yaitu mencapai hampir 99%. Diduga penurunan ini disebabkan oleh penyerapan dan transport logam kromium ke jaringan tubuhnya. Adanya penambahan konsentrasi logam berat kromium pada tanaman uji menunjukkan bahwa sebagian besar logam yang terdapat pada limbah cair diserap oleh tanaman uji. Jumlah kromium yang terakumulasi dalam

tubuh tanaman memiliki nilai yang lebih tinggi (gambar 3) dibandingkan nilai kromium yang terdapat pada air limbah awal (gambar 2). Perbedaan nilai ini disebabkan oleh penggunaan air limbah sebanyak 6 liter sehingga jumlah logam kromium yang di uji di air limbah awal dikalikan dengan 6 karena satuan dalam pengujian adalah mg/L.



Gambar 3. Kadar logam kromium pada tanaman uji

Berdasarkan gambar 3, peningkatan kadar kromium pada tanaman terjadi pada semua perlakuan. Tanaman E. palaefolius mampu menyerap logam berat kromium lebih tinggi dari kedua tanaman uji lainnya. Kandungan logam kromium pada tanaman E. palaefolius meningkat hingga 6,12 ppm, sedangkan untuk kedua tanaman lainnya hanya mengalami kenaikan 1,38 ppm dan 2,45 ppm.

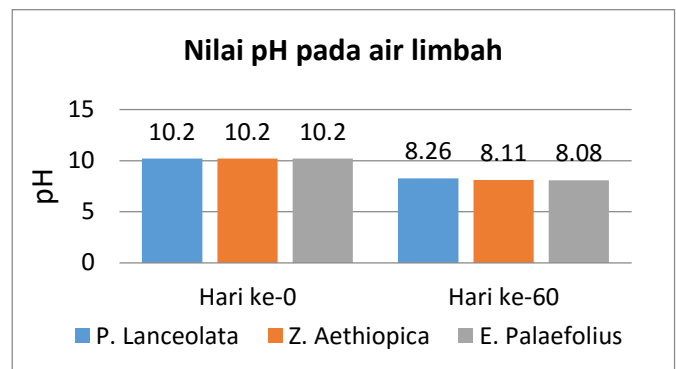
Tanaman memiliki mekanisme tersendiri untuk menstimulasi bioavailabilitas ion-ion logam pada lingkungan rhizosfernya agar dapat di serap melalui akar (Romheld dan Meschner, 1986; Lasat, M. 2002). Logam kromium masuk kedalam akar tanaman melalui jalur apoplas korteks akar secara transport pasif dan kemudian ditransportkan melalui jalur simplasmik ke organ lain seperti batang dan daun (Marschner, 1995; Javad, 2011), apoplas merupakan jaringan berongga yang mengandung banyak cairan yang terdapat diantara lingkungan rhizosfer dan membran sel dari korteks akar dan jaringan pembuluh yang mengandung banyak senyawa bermuatan negatif yang berperan sebagai kompleks pengikat kation dan sebagai pelepas anion (pompa kation-anion) (Hegazy et al., 2011). Logam berat masuk kedalam

sitosol dengan mekanisme transport ion melalui membran plasma, umumnya logam yang di transport dalam bentuk kation Di- atau Polivalen (Hall dan William, 2003).

Menurut Javed (2011), terdapat beberapa cara untuk meningkatkan efektifitas dan efisiensi pengurangan kadar logam berat di perairan, yaitu dengan meningkatkan waktu kontak antara logam berat dan tanaman tersebut, menurunkan kecepatan aliran air, dan meningkatkan kecepatan sedimentasi logam berat.

3.2. Pengaruh pH terhadap mobilitas logam kromium

Tingginya nilai pH (basa) awal limbah cair tekstil yang digunakan merupakan dampak dari salah satu proses pengolahan tekstil yaitu proses mercerization. Pada proses mercerization digunakan larutan NaOH pekat dalam jumlah yang cukup banyak sehingga sisa hasil dari proses mercerization mempunyai nilai pH yang sangat basa (gambar 4).



Gambar 4. pH selama masa penelitian

Akumulasi logam berat kromium dipengaruhi juga oleh kondisi pH media. Pada pH tinggi/basa logam berat kromium umumnya akan berikatan dengan gugus hidroksil (-OH) menjadi Cr(III)OH dan kemudian mengendap dalam larutan (McCarthy dan Perdue, 1995; Almeida et al., 2007). Bentuk hidroksil dari logam kromium ini merupakan bentuk yang tidak dapat diserap oleh tanaman. Untuk hasil fitoakumulasi yang lebih baik maka pH substrat perlu dikondisikan pada suasana netral (Hossner et al., 1998). Menurut Hossner et al. (1998), toksisitas kromium terjadi ketika kromium dalam bentuk heksavalen (VI) dan pH media dalam keadaan basa, sehingga diduga sebagian besar logam

kromium yang menyebabkan stress pada tanaman uji merupakan logam kromium pada valensi (VI).

3.3. Respon Morfologis Tanaman Akibat Logam Berat Kromium

Respon morfologis yang paling umum terjadi setelah pemberian air limbah yang mengandung logam kromium adalah adanya klorosis dan diikuti dengan nekrosis. Setelah nekrosis pada helaian daun kemudian di ikuti kematian helaian daun. Persentase nekrosis dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Persentase nekrosis

Spesies	Hari 30	Hari 60
<i>Z. aethiopica</i>	25,7%	18,55%
<i>P. lanceolata</i>	26,8%	4,11%
<i>E. palaefolius</i>	30%	1,33%

Tabel 2 menunjukkan nekrosis pada hari ke 30 terjadi paling tinggi pada tanaman *E. palaefolius*, dan nekrosis tertinggi pada hari ke 60 terjadi pada tanaman *Z. aethiopica*. Nekrosis terjadi pada semua spesies tanaman yang diujikan, persentasi jumlah daun yang mengalami nekrosis pada tanaman *E. palaefolius* merupakan yang tertinggi dibandingkan tanaman lainnya yaitu 30% sedangkan pada tanaman *Z. aethiopica* sebesar 25,7% dan pada tanaman *P. lanceolata* sebesar 26,8%. Nekrosis yang terjadi pada tanaman yang diujikan merupakan bentuk gangguan fisiologis yang berasal dari logam berat.

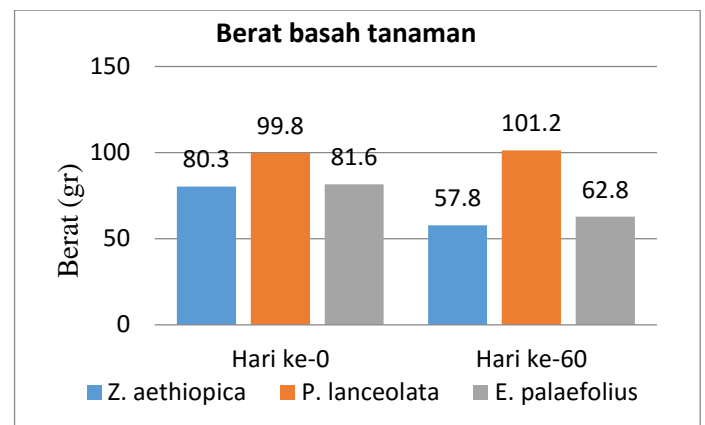
Tabel 3. Persentase klorosis

Spesies	Hari 30	Hari 60
<i>Z. aethiopica</i>	39,7%	3,6%
<i>P. lanceolata</i>	22,77%	18,22%
<i>E. palaefolius</i>	66,1%	0%

Tabel 3 menunjukkan klorosis tertinggi terjadi pada tanaman *E. palaefolius* yaitu mencapai 66,1% dari total daun tanaman tersebut mengalami klorosis. Salah satu gejala tidak langsung dari penyerapan logam kromium oleh tanaman

adalah adanya klorosis, klorosis pada tanaman yang menyerap logam kromium disebabkan karena adanya penghambatan translokasi Fe dan Zn dalam tubuh tanaman (Hossner et al., 1998). Penghambatan translokasi ion-ion Fe berakibat pada perubahan struktur molekul penyusun klorofil, selain penyusun klorofil, Fe juga merupakan salah satu penyusun berbagai macam enzim seperti katalase, peroksidase dan superoksidase dismutasi (Maschner, 1995; Gill M, 2014). Seperti diketahui klorofil merupakan organel dalam tanaman yang berfungsi dalam proses fotosintesis, transport elektron dan fiksasi karbon (Clijsters dan van Assche, 1985; Hossner et al., 1998). Adanya kerusakan pada fungsi kloroplas akan berdampak pada berbagai proses metabolisme dan enzimatik tanaman, termasuk biosintesis enzim untuk pertahanan tanaman terhadap stress abiotik.

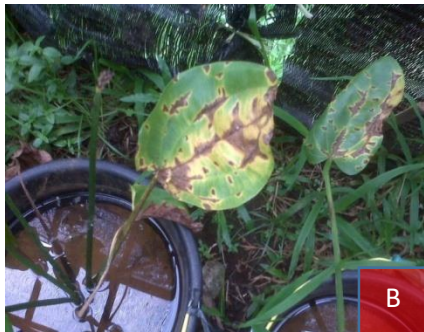
Berat basah rata-rata dari tanaman *Z. aethiopica* mengalami penurunan sebesar 22,5 gram, nilai penurunan ini merupakan yang paling tinggi dibandingkan kedua tanaman uji lainnya (gambar 5). Tanaman *E. palaefolius* mengalami penurunan berat basah rata-rata sebesar 18,8 gram. Berbeda dengan kedua tanaman lainnya, tanaman *P. lanceolata* mempunyai kenaikan nilai berat basah dibandingkan berat basah pada awal penelitian.



Gambar 5. Berat basah tanaman yang diujikan selama 60 hari masa penelitian

Pada hari ke 30, seluruh tanaman uji menunjukkan stress akibat adanya logam kromium yang diserap. Kromium merupakan elemen yang tidak dibutuhkan oleh tanaman namun daya absorpsi oleh tanaman cukup tinggi sehingga dengan adanya kromium di lingkungan tanaman uji maka

tanaman uji akan merespon berupa stress abiotik. Beberapa gejala stress kromium tersebut diantaranya adalah terjadinya klorosis pada daun, kemudian diikuti dengan nekrosis daun dan menggulungnya helaian daun (Zayed dan Terry, 2003). Menurut Gupta dan Solanki (2008), stress akibat logam kromium ditandai dengan adanya gejala nekrosis pada bagian ujung dan atau tepi daun dengan sebelumnya terjadi klorosis dan nekrosis pada bagian pembuluh utama daun. Gejala ini terjadi pada semua tanaman uji yang digunakan. Pada tanaman *E. palaefolius* gejala stress tersebut mula-mula terjadi klorosis dan nekrosis pada bagian pembuluh primer daun dan kemudian diikuti dengan klorosis dan nekrosis pada bagian sekitar pembuluh primer daun dan adanya gejala seperti terbakar pada bagian ujung dan tepi daun.



Gambar 5. (A),(B), Tanaman *Echinodorus palaefolius* yang mengalami stress kromium selama 30 hari masa penelitian

Pada tanaman *P. lanceolata* pun terjadi gejala yang serupa namun pada bagian tepi dan ujung daun tidak nampak gejala seperti terbakar namun hanya terdapat gejala klorosis dan nekrosis, sedangkan pada bagian pembuluh primer daun terjadi nekrosis.



Gambar 6. Tanaman *Pontederia lanceolata* setelah 30 dan 60 hari masa penelitian

Berbeda dengan kedua spesies tanaman uji lainnya, pada tanaman *Z. aethiopica* tidak menunjukkan adanya nekrosis pada pembuluh primer daun. Terlihat hanya terjadi klorosis dan nekrosis pada tepi helaian daun dan kemudian diikuti dengan layunya tanaman tersebut. Gejala ini sesuai dengan pernyataan beberapa peneliti diantaranya (Zayed dan Terry, 2003), menyatakan bahwa dengan adanya kromium yang diserap oleh tanaman menyebabkan terjadinya induksi stress oksidatif yaitu dengan munculnya senyawa oksigen reaktif yang dapat menyebabkan berkurangnya absorpsi air pada tanaman sehingga mengakibatkan tanaman menjadi layu (kehilangan tekanan turgor).

Pengamatan morfologi jumlah daun ditunjukkan dalam gambar 8. yang menunjukkan bahwa seluruh tanaman mengalami pengurangan jumlah helaian daun hingga hari ke-30, hanya tanaman *Z. aethiopica* yang tidak mengalami kenaikan jumlah helaian daun setelah hari ke-30 perlakuan. Pengurangan jumlah daun ini diakibatkan oleh adanya stres abiotik yang berasal dari logam berat khususnya logam berat kromium. Pengurangan jumlah helaian daun pada tanaman *P. lanceolata* pada hari ke 30 masa penelitian adalah sebesar 1,45 dan kemudian mengalami kenaikan sebesar 1,11 pada akhir masa penelitian. Tanaman *E. palaefolius* mengalami

pengurangan jumlah daun sebesar 1,44 pada hari ke 30 masa penelitian, dan kemudian jumlah helaian daunnya mengalami kenaikan sebesar 1,88 pada akhir masa penelitian.



Gambar 7. Tanaman *Zantedeschia aethiopica* setelah 30 hari masa penelitian (atas) dan 60 hari masa penelitian (bawah)

morfologis dan hasil pengolahan data, tanaman *E. palaeifolius* menunjukkan respon terhadap stress abiotik lebih cepat dibandingkan kedua tanaman uji lainnya dan juga mempunyai daya regenerasi yang jauh lebih tinggi.

4. KESIMPULAN

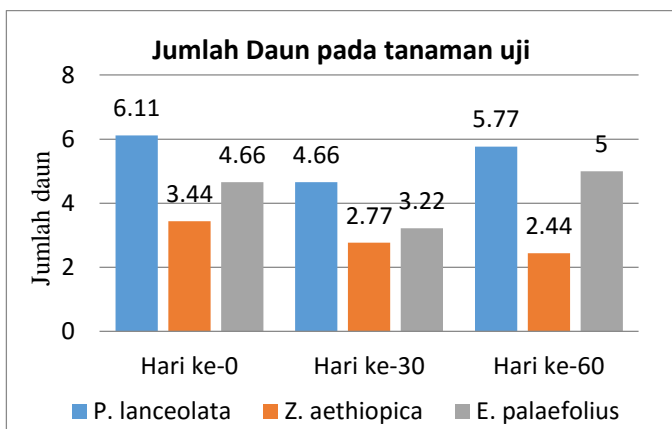
Seluruh tanaman uji mampu mengakumulasi logam kromium dalam tubuhnya. Tanaman *P. lanceolata* dapat mengakumulasi logam kromium sebanyak 4,14 ppm, tanaman *Z. aethiopica* mampu mengakumulasi sebanyak 6,48 ppm. Tanaman *E. palaeifolius* memiliki potensi yang lebih tinggi untuk digunakan sebagai fitoakumulator logam kromium dibandingkan tanaman uji lain karena dapat mengakumulasi logam kromium sebesar 9,64 ppm dan secara morfologis memiliki tingkat regenerasi yang lebih baik dibandingkan dengan dua tanaman lainnya. Ketiga tanaman yang diujikan dapat digunakan sebagai agen fitoakumulasi limbah cair industri tekstil pada unit wetlands dalam IPAL.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada laboratorium ekologi dan botani FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia dalam memfasilitasi lokasi penelitian untuk pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Belmont MA., Metcalfe CD., 2003, Feasibility of using ornamental plants (*Zantedeschia aethiopica*) in subsurface flow treatment wetlands to remove nitrogen, chemical oxygen demand and nonylphenol ethoxylate surfactants-a laboratory scale study, *Ecological Engineering*, Elsevier BV 21, pp. 233-247.
- de Almeida AAF de., Valle RR., Mielke MS., Gomes FP., 2007, Tolerance and respection of phytoremediator woody species of Cd, Pb, Cu and Cr, *Braz J Plant Physiol* 19(2), pp. 83-89.
- Gupta S., Solanki Ajay S., 2008, Effect of chromium metal present in industrial effluents being used for irrigation: A case study of Chopra Bariarea of Bikaner city (India), *J Enviro Res* Vol no 3(1).



Gambar 8. Jumlah daun tanaman uji

Tanaman *E. palaeifolius* mempunyai tingkat regenerasi daun yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman lainnya. Pada akhir masa penelitian tanaman *E. palaeifolius* terlihat tidak terpengaruh dengan adanya kromium di dalam tubuhnya, berbeda dengan kedua tanaman lainnya yang menunjukkan gejala stress kromium yaitu bagian petiolus daun tanaman mengecil. Berdasarkan pengamatan

- Gill M., 2014, Heavy metal stress in plants: A review, *International Journal of Advanced Research* Vol 2, 6, pp.1043-1055.
- Hall JL., William LE., 2003, Transition metal transporters in plants, *Journal Exp Bot* 54, pp. 2601-2613.
- Hegazy AL., Ghani AN., Chaghaby GA., 2011, Phytoremediation of industrial wastewater potentiality by typhadominginensis, *J Environ Sci Tech* 8(3), pp. 639-648.
- Hidayati N., 2005, Fitoremediasi dan potensi tumbuhan hiperakumulator, *Jurnal Hayati* vol 12 (1), pp. 35-40.
- Hossner LR., Loeppert RH., Newton RJ., Szaniszlo PJ., Attrep M., 1998, Phytoaccumulation of chromium, uranium, and plutonium in plant systems: Literatur review, *Amarillo International Resource Centre for Plutonium*.
- Kadlec RH., Wallace S., 2008, *Treatment Wetlands*, 2nd ed., CRC Press Boca Raton, London.
- Lasat MM., 2002, Phytoextraction of toxic metals: A review of biological mechanism, *J Environ Qual* 31, pp. 109-120.
- Moenir M., Djarwanti., Syahroni C., Rame., Marlina B., Budiarto A., 2015, Teknologi hybrid anaerobic-wetland untuk pengolahan air limbah pencucian jeans, *Prosiding Workshop Hasil Litbang Unggulan Kementerian Perindustrian*.
- Savin II., Butunaru R., 2008, Wastewater characteristic in textile finishing, *Enviro Eng and Management Journal* Vol 7 No 6, pp. 859-864.
- Seago JL., Carol A., Peterson D., Enstone E., 2000, Cortical development in roots of the aquatic plant *Pontederiacordata* (Pontederiaceae), *American Journal of Botany* 87(8), pp. 1116-1127.
- Torresdey GJL., Rosa GD., Peralta-videea JR., Montes M., Cruz-Jimenez G., Cano AI., 2005, Potential uptake and transport of trivalent and hexavalent chromium by tumbleweed (*Salsola kali*), *Arch Environ Contam* 48, pp. 225-232.
- Vymazal J., Brix H., Cooper PF., Habert R., Perfler R., Laber J., 1998, Removal mechanism and types of constructed wetlands. *Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe* Pg 17-66, Backhuys publisher, Leiden The Netherlands
- Vymazal J., Kropfelova L., 2008, Wastewater treatment in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow, *Environmental Pollution* Vol 14, Springer Science.
- Vidaryathi AK., Dutt D., Upadhyaya JS., 2011, Reduction of pollutants in paper mill effluent by aquatic plants, *Cellulose Chem Technol* 45(3-4), pp. 291-296.
- Vigo TL., 2002, Textile processing and properties, preparation, dyeing, finishing, and performance, *Textile Science and Technology* No 11, Elsevier Science BV, Amsterdam.
- Wang Z., Xue M., Huang K., Liu Z., 2011, Advance in treating textile effluent: Textile dyeing wastewater treatment, *In Tech Open* 5, pp. 91-116.
- Zayed AM., Terry N., 2003, Chromium in the environment: Factor affecting biological remediation, *Plant soil* 249:139-156.

