

JURNAL RISET

TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI

Vol. 7, No. 2, November 2016

Pengaruh waktu kontak terhadap daya adsorpsi karbon aktif pada pengembangan teknologi proses purifikasi biogas
Nani Harihastuti, Silvy Djayanti, Rame

Efisiensi inhibisi korosi *mild steel* lunak dalam media asam dengan inhibitor ekstrak kulit buah kakao (*Theobroma cacao*)
Yuli Yetri, Emriadi, Novesar Jamarun, Gunawarman

Pengolahan limbah organik dengan *upflow anaerobic sludge blanket* (UASB) di industri kecap
Bekti Marlana, Cholid Syahroni, Sartamtomo, Nur Zen

Pengolahan air limbah industri bakery menggunakan sistem *stripper*-lumpur aktif
Rizal Awaludin Malik, Hanny Vistanty, Sartamtomo, Nanik Indah Setianingsih, Farida Crisnaningtyas, Nur Zen

Perencanaan bak pengendap pada sistem lumpur aktif industri biskuit dengan metode grafis
Nanik Indah Setianingsih, Djarwanti, Moch. Syarif Romadhon

Komparasi analisis total coliform dan coli tinja dengan menggunakan metode most probable number (MPN) 5 tabung dan enzim substrat
Novarina Irnaning Handayani

JURNAL RISET Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri	Vol. 7	No. 2	Halaman 57 - 112	Semarang, November 2016	ISSN No. 2087-0965
---	--------	-------	---------------------	----------------------------	--------------------

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Volume 7 No. 2, November 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, dan kajian/review artikel yang fokus pada :

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

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

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

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

Sumber Daya : rekayasa proses/teknologi/konservasi untuk menghasilkan energi
JRTPPI mempunyai visi menuju jurnal internasional yang bereputasi dengan kontribusi keilmuan yang bermanfaat untuk komunitas global.

PENANGGUNG JAWAB

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

PENGARAH

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

Ir. Didik Harsono
Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

CHIEF EDITOR

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

MITRA BESTARI

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

Prof. Dr.rer,nat. Karna Wijaya, M.Eng

Universitas Gadjah Mada

Prof. Dr. Ir. Muhammad Nasikin, M.Eng

Universitas Indonesia

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

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. 2, November 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/jrtpi

INDEKSASI

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

ALAMAT REDAKSI

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (BBTPPI).

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

Telp. +62 24 8316315

Fax. +62 24 8414811

e-mail: jurnalrisetppi@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 Vistanty, ST, MT

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Silvy Djayanti, ST, M.Si

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

MANAGING EDITOR

Nur Zen, ST

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Januar Arif Fatkhurrahman, ST

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

SEKRETARIS

Farida Crisnaningtyas, ST

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

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

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

COPY EDITOR

Rustiana Yuliasni, ST, M.Sc

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Kukuh Aryo Wicaksono, ST

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

LAYOUT EDITOR

Agus Purwanto, ST

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Rizal Awaludin Malik, S.Si

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

PROOFREADER

Nanik Indah Setianingsih, STP

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Agung Budiarto, ST

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

DISTRIBUSI

Eko Widowati

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Santoso

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Jurnal Riset
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Volume 7 No. 2, November 2016

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala curahan nikmat, barakah dan hidayah-Nya sehingga Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (JRTPPI) kembali mempublikasikan makalah ilmiah untuk volume 7 no 2 di tahun 2016. Persembahkan syukur juga kami sampaikan kepada-Nya atas terakreditasinya jurnal ini oleh Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) dengan nomer SK 1221/E/2016 tertanggal 22 September 2016 dengan masa berlaku 5 tahun.

JRTPPI Volume 7 No 2 merupakan edisi terbitan pertama terakreditasi sehingga berupaya menyampaikan makalah-makalah ilmiah terbaik yang telah melalui tahapan seleksi sebagaimana sistem OJS yang berlaku. Berdasar rekam data base JRTPPI pada edisi ini telah masuk 11 naskah dengan status 5 ditolak dan 6 diterima. Naskah yang terpilih semaksimal mungkin disajikan dengan format sesuai gaya selingkung yang telah ditetapkan. Semua naskah yang diterima akan dan telah tersimpan dalam doi dengan nomer prefix 10.21771.

Semoga makalah ilmiah ini dapat menambah sumber pengetahuan dan pengalaman bagi para pembaca baik dari kalangan akademisi, peneliti, industri maupun masyarakat luas. Kami menyadari bahwa tidak ada sesuatu yang sempurna maka peningkatan dari semua pihak yang terlibat senantiasa terus dilakukan.

Semarang, November 2016



Chief Editor

Jurnal Riset
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Volume 7 No. 2, November 2016

DAFTAR ISI

Pengaruh waktu kontak terhadap daya adsorpsi karbon aktif pada pengembangan teknologi proses purifikasi biogas Nani Harihastuti, Silvy Djayanti, Rame	57-66
Efisiensi inhibisi korosi <i>mild steel</i> lunak dalam media asam dengan inhibitor ekstrak kulit buah kakao (<i>Theobroma cacao</i>) Yuli Yetri, Emriadi, Novesar Jamarun, Gunawarman	67-80
Pengolahan limbah organik dengan <i>upflow anaerobic sludge blanket</i> (UASB) di industri kecap Bekti Marlana, Cholid Syahroni, Sartamtomo, Nur Zen	81-88
Pengolahan air limbah industri <i>bakery</i> menggunakan sistem <i>stripper</i> -lumpur aktif Rizal Awaludin Malik, Hanny Vistanty, Sartamtomo, Nanik Indah Setianingsih, Farida Crisnaningtyas, Nur Zen	89-98
Perencanaan bak pengendap pada sistem lumpur aktif industri biskuit dengan metode grafis Nanik Indah Setianingsih, Djarwanti, Moch. Syarif Romadhon	99-104
Komparasi analisis total coliform dan coli tinja dengan menggunakan metode <i>most probable number</i> (MPN) 5 tabung dan enzim substrat Novarina Irnaning Handayani	105-112

Artikel lengkap tersedia di ejournal.kemenperin.go.id/jrtpi

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Volume 7 No. 2, November 2016

LEMBAR ABSTRAK

e-ISSN 2503-5010

p-ISSN 2087-0965

Tanggal diterbitkan 23 November 2016

Nani Harihastuti, Silvy Djayanti, Rame (Center of Industrial Pollution Prevention Technology, Semarang)

The influence of contact time on activated carbon adsorption toward the development of biogas purification

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, November 2016, Vol. 7, No. 2, p. 57-66, 1 ill, 8 tab, 17 ref

Direct utilization of biogas as fuel often cause problems, i.e bad odor, metal corrosive, wall erosion and frequent fire extinguished. This is due to the presence of gas impurities in biogas such as H₂S, NH₃, CO₂, H₂, CO and water vapor (H₂O), which will lower the value of calories from biogas and detrimental to the environment and health. The purpose of this research is to eliminate impurities gases, through a process called gas purification, until higher heat value of biogas is achieved. The Methods were undertaken by adsorption process using activated carbon adsorbent with variable time contacts, to obtain the optimum adsorption power of activated carbon toward gas impurities that are present in wastewater. The results showed that removal/reduction of H₂S of 99.99% was obtained, from 4200 ppm to 0.22 ppm, NH₃ removal reached 12.7%, from 94,96 ppm to 0.65 ppm, CO₂ removal reached 77.48%, from 30, 77% to 6.93%, water vapour (H₂O) removal reached 97,95%, from 0.584 mg/L to 0.012 mg/L, which increased methane concentration (CH₄) from 38.2% to 84.12%. This methane purification technology is renewable energy sources that is safe and environmentally friendly and also can be developed in other industries, i.e tofu industries. The saturation of activated carbon adsorbents obtained after 48 hours. Adsorption of each impurities gas components by activated carbon are written as follows: 10.98 mg H₂S/gram activated carbon/minute, 0.016 mg NH₃/gram of activated carbon/minute, 0.090 mg CO₂/gram activated carbon/minute.

(Author)

Keywords : contact time, adsorption, activated carbon, purification, biogas

Yuli Yetri^{1-2*}, Emriadi², Novesar Jamarun², Gunawarman² (¹ Padang State Polytechnics, ² Andalas University)

Corrosion inhibition efficiency mild steel in acid media with inhibitor peels extract of cacao (Theobroma cacao)

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, November 2016, Vol. 7, No. 2, p. 67-80, 8 ill, 6 tab, 28 ref

Inhibition and adsorption properties of Theobroma cacao peel polar extract addition on corrosion inhibition efficiency of 0.3%C mild steel in hydrochloric acid solution for various exposure time, extract concentration and working temperature were investigated using weight loss test method. Electrochemical polarization test was also conducted to confirm the effectiveness of inhibition. The infrared spectrum of the samples was also evaluated to reveal compounds of the extract which control the inhibition process. Morphology and local composition of sample surfaces were respectively examined by scanning electron microscope (SEM) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX). Thermodynamic parameters such as energy activation, enthalpy, entropy and change in the free energy were then determined using related data. The results show that the inhibition efficiency increases significantly up to 96.3% (by weight loss method) and 92.08% (Tafel) with the increase of TCPE content. The optimum efficiency is obtained at extract concentration of 2,5% for exposure time of 768 h. However, the efficiency decreases slightly with increasing working temperature in the range of 303 K-323 K. The polarization curve shows the inhibitor behaves as a mixed inhibitor with the dominant cathodic inhibition. The adsorption model is found to obey Langmuir adsorption isotherm. The thin layer formed on the surface as a result of their adsorption on the surface. The addition of extract of cacao peels into HCl is effective to minimize corrosion attack on the mild steel.

(Author)

Keywords : corrosion, inhibitor, theobroma cacao peel, mild steel, potensiodinamic

Bekti Marlana, Cholid Syahroni, Sartamtomo, Nur Zen (Center of Industrial Pollution Prevention Technology, Semarang)

Organic wastewater treatment using upflow anaerobic sludge blanket

(UASB) in soy sauce industry

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, November 2016, Vol. 7, No. 2, p. 81-88, 4 ill, 1 tab, 8 ref

Treatment of soy sauce industry wastewater using UASB reactor was investigated. Two UASB reactors made of stainless steel with a volume of 1,165 m³ each were installed in series. The source of wastewater was from the production process of soy sauce with COD concentration ranged from 2,709 to 21,684 mg/L. The study was conducted at 2.9 m³/day and 0.7 m³/day flow rate with Hydraulic Retention Time (HRT) were 19 hours and 80 hours respectively. At HRT of 19 hours with OLR 21.1 kg/day, up to 70% COD removal and 2.842 kg/m³ day COD load removal were observed. At HRT of 80 hours with OLR 6,7 kg/m³day, up to 78% COD removal and 1.335 kg/m³ day COD load removal were observed, meanwhile at OLR of 4,97 kg/m³.day the results showed 76% and 1.298 kg /m³ day respectively. Compare to the anaerobic system that has been existed, the UASB reactor have better performances in terms of HRT and COD load removal, despite its lower COD removal percentage.

(Author)

Keywords : anaerobic, uasb, organic waste, soy sauce industry

Rizal Awaludin Malik, Hanny Vistanty, Sartamtomo, Nanik Indah Setianingsih, Farida Crisnaningtyas, Nur Zen (Center of Industrial Pollution Prevention Technology, Semarang)

Wastewater treatment of bakery industry using stripper-activated sludge system

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, November 2016, Vol. 7, No. 2, p. 89-98, 6 ill, 2 tab, 25 ref

Characteristic of bakery wastewater has high amount of organic, fat, oil and grease and surfactant. The presence of surfactant in wastewater treatment plants will disturb biological degradation processes. This study investigated the performance of integrated system of stripper-activated sludge on a full-scale application for bakery wastewater treatment. Stripper was applied using an integrated column with an aeration tank at HRT (Hydraulic retention time) 24 h. This system showed a high COD (chemical oxygen demand) and surfactant removal efficiency of 96% and 80%, respectively. Activated sludge process was used to treat the effluent of stripper. Activated sludge reactor ran with MLSS 4000-4500 mg/L, F/M ratio 0,268, sludge age 11 days and HRT of 24 h. Results showed that removal efficiency of COD and surfactant were 79% and 85%, respectively. The results showed that an integrated system of stripper-activated sludge gave a high COD, TSS (total suspended solids), and BOD (biological oxygen demand) removal efficiency of 98,9%, 87,9%, and 96,4%, respectively. This study proved that stripper-activated sludge system is the appropriate technology to be applied on bakery wastewater treatment.

(Author)

Keywords : surfactant, wastewater, bakery, stripper, activated sludge

Nanik Indah Setianingsih, Djarwanti, Moch. Syarif Romadhon

(Center of Industrial Pollution Prevention Technology, Semarang)

Sedimentation tank design in activated sludge system of biscuit industry using graphical method

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, November 2016, Vol. 7, No. 2, p. 99-104, 2 ill, 1 tab, 10 ref

Sedimentation is the simplest, most widely and cheapest method used in wastewater treatment. The Performance of sedimentation tank is specific for each type of waste water, therefore if sedimentation tank is designed without experimental studies, unsatisfactory performance will often result. Graphical method is one of the technique to determine the design of settling tank. Graphical method is able to produce the accurate data for designing sedimentation tank similar as computational method based with more simple and least expensive. The aim of this research was to design the sedimentation basin from activated sludge process of biscuit industry by graphical method adjusted from the basics of sedimentation basin design. The laboratory experiment was performed by observing sedimentation process on glass tube. The glass tube has height 150 cm and cross-sectional area 100 cm². The observation parameters were height of sediment vs settling time. The result showed that, to precipitate sludge with initial MLSS of 4.325 mg/L to final MLSS of 18.000 mg/L, with the flowrate of 300 m³/day would need HRT (Hydraulic Retention Time) of 1,87 hour, cross-sectional sedimentation area of 20,83 m², and sedimentation basin volume of 31,24 m³. The estimation of the production sludge was 98,61 Kg MLSS/day.

(Author)

Keywords : sedimentation, curve, graphical, design

Novarina Imaning Handayani (Center of Industrial Pollution Prevention Technology, Semarang)

The comparison of total coliform and fecal coli analysis using most probable number (MPN) 5 tubes and enzym substrate methods

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, November 2016, Vol. 7, No. 2, p. 105-112, 5 tab, 21 ref

Environmental quality monitoring for drinking water, clean water, wastewater and river water requires microbiological aspects such as coliform and fecal coli, as indicators of environmental pollution. At this time, the most widely used method for determining the extent of fecal coli and coliform contained in the water is MPN 5 tubes, which has a lead time of at least 4 days. This study aims to explore the possibility of using other methods that have been standardized and has several advantages. The proposed method is an enzyme substrate. Laboratory tests were conducted by comparing the results of the analysis between MPN5 tubes and enzyme substrates, with the repeat of 7 times. The comparison showed that the method of analysis using the enzyme substrate results was greater or more sensitive than MPN 5 tubes. In samples containing high coliform bacteria, in this case on a sample of wastewater and river water, yield difference between MPN 5 tubes and the enzyme substrate was very significant, while in the little or no content of coli gave the same

results. Enzyme substrate method is highly recommended for drinking water and clean water samples as it will provide more reliable results for its users. The content of coliform in drinking and clean water samples although very low detected, would actually be better detected by another method with high sensitivity.

(Author)

Keywords : total coliform, fecal coli, enzyme substrate

Nani Hariastuti, Silvy Djayanti, Rame (Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang)

Pengaruh waktu kontak terhadap daya adsorpsi karbon aktif pada pengembangan teknologi proses purifikasi biogas

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, November 2016, Vol. 7, No. 2, p. 57-66, 1 ill, 8 tab, 17 ref

Penggunaan biogas sebagai bahan bakar secara langsung sering menimbulkan permasalahan yaitu terjadi bau tidak sedap, peralatan logam dan kompor cepat berkarat, dinding dapur terkikis dan nyala api sering padam. Hal ini disebabkan karena di dalam biogas terkandung gas-gas impurities seperti H₂S, NH₃, CO₂, dan uap air (H₂O) yang dapat menurunkan nilai kalori dari biogas dan merugikan lingkungan serta kesehatan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghilangkan gas impurities melalui proses purifikasi, sehingga diperoleh biogas yang mempunyai nilai kalor tinggi dan ramah lingkungan. Metode yang dilakukan dengan proses adsorpsi menggunakan adsorben karbon aktif dengan variabel waktu kontak, untuk mendapatkan daya adsorpsi yang optimum dari karbon aktif terhadap gas impurities yang ada dalam biogas. Hasil penelitian diperoleh data-data penghilangan/reduksi gas impurities H₂S mencapai 99,99%, dari 4200 ppm menjadi 0,22 ppm, penghilangan gas NH₃ mencapai 94,96%, dari 12,7 ppm menjadi 0,65 ppm, penghilangan gas CO₂ mencapai 77,48%, dari 30,77 % menjadi 6,93 %, penghilangan uap air (H₂O) mencapai 97,95%, dari 0,584 mg/L menjadi 0,012 mg/L. Kenaikan konsentrasi metana (CH₄) dari 38,2 % menjadi 84,12 %. Hasil purifikasi metana (CH₄) dari biogas ini merupakan sumber energi terbarukan yang aman dan ramah lingkungan serta dapat di kembangkan lagi penerapannya di IKM tahu lainnya. Waktu jenuh adsorben karbon aktif diperoleh setelah 48 jam proses purifikasi berlangsung. Daya adsorpsi karbon aktif terhadap komponen gas impurities adalah sebagai berikut : 10,98 mg H₂S/gram karbon aktif/menit, 0,016 mg NH₃/gram karbon aktif/menit, dan 0,090mg CO₂/gram karbon aktif/menit..

(Author)

Kata kunci : waktu kontak, adsorpsi, karbon aktif, purifikasi, biogas

Yuli Yetri^{1-2*}, Emriadi², Novesar Jamarun², Gunawarman² (¹ Politeknik Negeri Padang, ² Universitas Andalas)

Efisiensi inhibisi korosi mild steel lunak dalam media asam dengan inhibitor ekstrak kulit buah kakao (*Theobroma cacao*)

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, November 2016, Vol. 7, No. 2, p. 67-80, 8 ill, 6 tab, 28 ref

Efek inhibisi korosi dan sifat-sifat adsorpsi oleh ekstrak kulit buah kakao (*Theobroma cacao*) pada *mild steel* dalam larutan asam 1,5 M HCl telah dipelajari menggunakan teknik konvensional metode berat hilang pada variasi waktu, konsentrasi dan suhu. Parameter-parameter termodinamika seperti energi aktivasi, entalpi, entropi dan perubahan energi bebas dihitung. Polarisasi elektrokimia telah dievaluasi untuk memastikan jenis inhibitor. Spektra infrared dan GCMS dilakukan untuk mengetahui senyawa ekstrak yang berperan dalam proses inhibisi. Morfologi permukaan sampel diamati dengan menggunakan *scanning electro microscopy* dengan *energy dispersive X-ray spectroscopy* (SEM-EDX). Keseluruhan hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak polar kulit buah coklat dapat digunakan sebagai inhibitor korosi yang efektif pada *mild steel* di lingkungan 1,5 M HCl dengan pencapaian efisiensi inhibisi terkorosi sebesar 96,26% (*weight loss*) dan 92,08% (Tafel) pada konsentrasi ekstrak 2,5% selama 768 jam. Mekanisme inhibisi adalah adsorpsi chemiadsorpsi berdasar tingginya nilai entalpi dan energi bebas. Efisiensi inhibisi diketahui meningkat dengan peningkatan konsentrasi dari ekstrak serta menurun dengan peningkatan suhu. Kurva polarisasi menunjukkan inhibitor ini berperilaku sebagai inhibitor campuran dengan dominan pada inhibisi katodik. Ekstrak yang diadsorpsi oleh permukaan *mild steel* mengikuti model adsorpsi isotherm Langmuir. Lapisan tipis yang terbentuk dipermukaan akibat dari adanya adsorpsi di permukaan. Penambahan ekstrak kulit buah kakao ke dalam larutan HCl sangat efektif untuk mengurangi serangan korosi di permukaan *mild steel*.

(Author)

Kata kunci : korosi, inhibitor, kulit buah kakao, mild steel, potensiodinamik

Bekti Marlana, Cholid Syahroni, Sartamtomo, Nur Zen (Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang)

Pengolahan limbah organik dengan upflow anaerobic sludge blanket (UASB) di industri kecap

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, November 2016, Vol. 7, No. 2, p. 81-88, 4 ill, 1 tab, 8 ref

Telah dilakukan penelitian pengolahan limbah industri kecap dengan menggunakan UASB. Dua reaktor UASB yang terbuat dari *stainless steel* dengan volume masing-masing 1,165 m³ disusun secara seri. Air limbah yang diolah merupakan buangan dari proses produksi kecap dengan nilai COD dari 2.709 sampai 21.684 mg/L. Uji coba dilakukan dengan kecepatan alir 2,9 m³/hari dan 0,7 m³/hari dengan waktu tinggal (*Hydraulic Retention Time*) masing-masing 19 jam dan 80 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada percobaan dengan waktu tinggal 19 jam dan *Organic Loading Rate* (OLR) 21,1 kg/m³hari, dapat menurunkan nilai COD hingga 70% dengan penurunan beban COD rata-rata adalah 2,842 kg/m³hari. Percobaan dengan waktu tinggal 80 jam dengan OLR 6,7 kg/m³hari diperoleh hasil penurunan COD hingga 78% dan penurunan beban COD rata-rata adalah 1,335 kg/m³hari, sedangkan untuk OLR 4,97 kg/ m³hari diperoleh hasil berturut-turut 76% dan 1,298 kg/m³ hari. Jika dibandingkan dengan kinerja sistem anaerobik yang telah dimiliki oleh industri, maka reaktor UASB hasil penelitian memiliki keunggulan ditinjau dari waktu tinggal dan

penurunan beban COD, meskipun persen penurunan COD masih lebih rendah.

(Author)

Keywords : anaerobik, uasb, limbah organik, industri kecap

Rizal Awaludin Malik, Hanny Vistanty, Sartamtomo, Nanik Indah Setianingsih, Farida Crisaningtyas, Nur Zen (Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang)

Pengolahan air limbah industri *bakery* menggunakan sistem *stripper*-lumpur aktif

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, November 2016, Vol. 7, No. 2, p. 89-98, 6 ill, 2 tab, 25 ref

Air limbah industri *bakery* memiliki karakteristik kandungan organik, lemak, dan surfaktan yang tinggi. Keberadaan surfaktan pada air limbah dapat mengganggu proses degradasi kandungan organik dan lemak pada instalasi pengolahan air limbah khususnya pengolahan secara biologis/lumpur aktif. Studi ini membahas tentang performa integrasi system *stripper*-lumpur aktif yang diaplikasikan untuk mengolah air limbah industri *bakery* dalam skala *full scale*. Proses *stripper* dilakukan dengan menggunakan kolom yang diintegrasikan dengan bak aerasi pada kisaran HRT (waktu tinggal) 24 jam. Proses *stripper* memberikan efisiensi penurunan COD dan surfaktan tertinggi sebesar 96% dan 80%. Proses lumpur aktif digunakan untuk mengolah keluaran dari proses *stripper* dengan karakteristik lumpur aktif MLSS 4000-4500 mg/L, FM/ rasio 0,268, *sludge age* 11 hari dan HRT 24 jam, proses degradasi dengan lumpur aktif ini mampu memberikan efisiensi penurunan COD dan surfaktan sebesar 79% dan 88%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa unit IPAL dengan menggunakan sistem *stripper*-lumpur aktif memiliki efisiensi penurunan COD, TSS, dan BOD sebesar 98,9%, 87,9%, dan 96,4%, sehingga sistem ini merupakan teknologi yang tepat untuk diterapkan pada pengolahan limbah industri *bakery*.

(Author)

Keywords : surfaktan, air limbah, bakery, stripper, lumpur aktif

Nanik Indah Setianingsih, Djarwanti, Moch. Syarif Romadhon (Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang)

Perencanaan bak pengendap pada sistem lumpur aktif industri biskuit dengan metode grafis

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, November 2016, Vol. 7, No. 2, p. 99-104, 2 ill, 1 tab, 10 ref

Pengendapan merupakan suatu cara yang paling sederhana, murah, dan banyak digunakan dalam proses pengolahan air limbah. Kinerja dari suatu desain bak pengendap sangat spesifik untuk setiap jenis limbah, oleh sebab itu jika suatu peralatan sedimentasi dirancang tanpa suatu eksperimen, kinerja yang dihasilkan sering tidak memuaskan. Metode grafis merupakan salah satu cara dalam menentukan desain bak sedimentasi. Metode grafis dapat

menghasilkan suatu desain bak pengendap yang tepat sebagaimana sistem komputasi karena ditentukan dengan eksperimen namun dengan cara yang lebih sederhana dan biaya yang murah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang bak pengendap dari proses lumpur aktif industri biskuit dengan metode grafis yang disesuaikan dengan kriteria dasar-dasar perencanaan bak pengendap. Penelitian secara laboratorium dilakukan melalui pengamatan proses pengendapan dalam column *settling test* dengan tinggi 150 cm dan luas penampang 100 cm². Parameter yang diamati adalah tinggi endapan terhadap waktu pengendapan. Berdasar perhitungan secara grafis didapatkan hasil sebagai berikut untuk mengendapkan lumpur dengan kandungan MLSS awal 4.325 mg/L menjadi 18.000 mg/L dengan debit 300 m³/hari diperlukan waktu pengendapan / HRT (*Hydraulic Retention Time*) 1,87 jam, luas area pengendapan 20,83 m², dan Volume bak pengendap 31,24 m³. Perkiraan lumpur yang dihasilkan adalah sebesar 98,61 kg MLSS/hari.

(Author)

Keywords : sedimentasi, kurva, grafik, desain

Novarina Irnaning Handayani (Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang)

Komparasi analisis total coliform dan coli tinja dengan menggunakan metode *most probable number* (MPN) 5 tabung dan enzim substrat

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, November 2016, Vol. 7, No. 2, p. 105-112, 5 tab, 21 ref

Dalam pemantauan kualitas lingkungan untuk air minum, air bersih, air limbah dan air sungai, mensyaratkan aspek mikrobiologi parameter coliform dan atau coli tinja sebagai indikator pencemaran lingkungan. Pada saat ini metode yang paling banyak digunakan adalah *Most Probable Number* (MPN) 5 tabung yang memiliki waktu pengerjaan minimal 4 hari. Penelitian ini dilakukan untuk menjajaki kemungkinan pemakaian metode lain yang telah terstandarisasi dan memiliki beberapa keunggulan. Metode yang dipilih adalah enzim substrat. Uji laboratorium dilakukan dengan membandingkan hasil analisis antara MPN 5 tabung dan enzim substrat, masing-masing dengan ulangan 7 kali. Hasil komparasi menunjukkan bahwa analisa dengan menggunakan metode enzim substrat memberikan hasil yang lebih besar atau lebih sensitif dibanding MPN 5 tabung. Pada sampel yang mengandung bakteri coli yang tinggi, dalam hal ini pada sampel air limbah dan air sungai perbedaan hasil antara MPN 5 tabung dan enzim substrat sangat signifikan, sedangkan pada sampel dengan kandungan coli kecil atau tidak ada, hasil keduanya sama. Metode enzim substrat sangat direkomendasikan untuk sampel air minum dan air bersih sehingga akan memberikan hasil yang lebih meyakinkan bagi penggunaannya. Kandungan coliform pada sampel air minum dan air bersih walaupun sangat kecil akan benar-benar terdeteksi oleh metode yang memiliki sensitifitas lebih baik.

(Author)

Keywords : total coliform, fecal coli, enzim substrat



JRT PPI 7 (2) (2016)

Jurnal Riset
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Kementerian
Perindustrian
REPUBLIK INDONESIA

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

Efisiensi inhibisi korosi mild steel lunak dalam media asam dengan inhibitor ekstrak kulit buah kakao (*Theobroma cacao*)

Corrosion inhibition efficiency mild steel in acid media with inhibitor peels extract of cacao (Theobroma cacao)

Yuli Yetri^{1-2*}, Emriad², Novesar Jamarun², Gunawarman²

¹ Politeknik Negeri Padang, Kampus Limau Manis, Limau Manis, Pauh, Padang 25163, Indonesia

² Universitas Andalas Padang, Jln. Prof. DR. Hamka, Air Tawar Barat, Padang 25131, Indonesia

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel :

Diterima 22 Juni 2016

Direvisi 23 Agustus 2016

Disetujui 23 Agustus 2016

Dipublikasikan online

23 November 2016

Keywords :

Corrosion

Inhibitor

Theobroma cacao peel

Mild steel

Potensiodynamic

ABSTRAK

Efek inhibisi korosi dan sifat-sifat adsorpsi oleh ekstrak kulit buah kakao (*Theobroma cacao*) pada mild steel dalam larutan asam 1,5 M HCl telah dipelajari menggunakan teknik konvensional metode berat hilang pada variasi waktu, konsentrasi dan suhu. Parameter-parameter termodinamika seperti energi aktivasi, entalpi, entropi dan perubahan energi bebas dihitung. Polarisasi elektrokimia telah dievaluasi untuk memastikan jenis inhibitor. Spektra infrared dan GCMS dilakukan untuk mengetahui senyawa ekstrak yang berperan dalam proses inhibisi. Morfologi permukaan sampel diamati dengan menggunakan scanning electro microscopy dengan energy dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDX). Keseluruhan hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak polar kulit buah coklat dapat digunakan sebagai inhibitor korosi yang efektif pada mild steel di lingkungan 1,5 M HCl dengan pencapaian efisiensi inhibisi terkorosi sebesar 96.26% (weight loss) dan 92.08% (Tafel) pada konsentrasi ekstrak 2,5% selama 768 jam. Mekanisme inhibisi adalah adsorpsi chemiadsorpsi berdasar tingginya nilai entalpi dan energi bebas. Efisiensi inhibisi diketahui meningkat dengan peningkatan konsentrasi dari ekstrak serta menurun dengan peningkatan suhu. Kurva polarisasi menunjukkan inhibitor ini berperilaku sebagai inhibitor campuran dengan dominan pada inhibisi katodik. Ekstrak yang diadsorpsi oleh permukaan mild steel mengikuti model adsorpsi isotherm Langmuir. Lapisan tipis yang terbentuk dipermukaan akibat dari adanya adsorpsi di permukaan. Penambahan ekstrak kulit buah kakao ke dalam larutan HCl sangat efektif untuk mengurangi serangan korosi di permukaan mild steel.

ABSTRACT

Inhibition and adsorption properties of *Theobroma cacao* peel polar extract addition on corrosion inhibition efficiency of 0.3% C mild steel in hydrochloric acid solution for various exposure time, extract concentration and working temperature were investigated using weight loss test method. Electrochemical polarization test was also conducted to confirm the effectiveness of inhibition. The infrared spectrum of the samples was also evaluated to reveal compounds of the extract which control the inhibition process. Morphology and local composition of sample surfaces were respectively examined by scanning electron microscope (SEM) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX). Thermodynamic parameters such as energy activation, enthalpy, entropy and change in the free energy were then determined using related data. The results show that the inhibition efficiency increases significantly up to 96.3% (by weight loss method) and 92.08% (Tafel) with the increase of TCPE content. The optimum efficiency is obtained at extract concentration of 2,5% for exposure time of 768 h. However, the efficiency decreases slightly with increasing working temperature in the range of 303 K-323 K. The polarization curve shows the inhibitor behaves as a mixed inhibitor with the dominant cathodic inhibition. The adsorption model is found to obey Langmuir adsorption isotherm. The thin layer formed on the surface as a result of their adsorption on the surface. The addition of extract of cacao peels into HCl is effective to minimize corrosion attack on the mild steel.

© 2016 BBT PPI. All rights reserved.

*Alamat korespondensi :

E-mail : yuliyetrietri@yahoo.com (Y. Yetri)

1. PENDAHULUAN

Korosi logam merupakan permasalahan besar dalam dunia industri yang banyak menarik perhatian para peneliti. Dalam beberapa proses industri seperti pembersihan dengan asam, etsa dan *pickling* menggunakan medium agresif seperti asam, basa dan garam, sehingga logam terkorosi. Untuk mengurangi korosi terhadap instalasi industri, beberapa cara telah dilakukan seperti pemilihan material, proteksi katodik atau anodik, *coating* serta penggunaan inhibitor korosi (Ahmad dkk., 2012). Inhibitor yang digunakan dapat berasal dari senyawa anorganik maupun organik (Quraishi dkk., 2005).

Upaya untuk mendapatkan inhibitor ramah lingkungan, sudah banyak dilakukan seperti penggunaan bahan alam dari tumbuh-tumbuhan seperti ekstrak daun inai, ekstrak teh hijau, tanin kayu bakau dan monomer flavonoidnya (Ashassi dkk., 2005). Salah satu limbah industri pertanian yang belum banyak pemanfaatannya dan dapat digunakan sebagai inhibitor korosi adalah ekstrak dari kulit buah kakao (*Theobroma cacao*).

Kulit buah kakao sebagai limbah hasil perkebunan belum dimanfaatkan secara optimal bahkan sebagian besar masih merupakan limbah perkebunan kakao karena hanya dikumpulkan pada lubang tertutup atau dibuang di sekitar tanaman kakao, maka perlu dicari cara untuk pemanfaatan kulit buah kakao yang lebih efisien dan memiliki nilai ekonomis yang lebih tinggi (Yetri dkk., 2015; Bouklah dkk., 2006). Buah kakao dalam bentuk segar terdiri dari kulit buah 73%, plasenta 2% dan biji 24,2%. Kulit buah kakao memiliki senyawa *tannin* yang cukup besar, sehingga memungkinkan pemanfaatan kulit buah kakao sebagai inhibitor alami pada reaksi korosi *mild steel*.

Logam adalah salah satu material yang mudah terkorosi. *Mild steel* mempunyai popularitas tinggi karena logam ini mempunyai kemampuan untuk dipergunakan dalam berbagai macam kebutuhan, mudah dilas, dan harganya relatif murah. Karena kemampuannya inilah maka *mild steel* banyak dipergunakan sebagai komoditi komersial untuk membuat konstruksi-konstruksi, industri otomotif, industri permesinan, industri kendaraan bermotor dan lain.

Akan tetapi *mild steel* merupakan salah satu jenis logam yang dapat mengalami korosi karena proses alami, dalam alkali dan asam. Berdasarkan hal ini, dilakukan suatu penelitian untuk menentukan daya inhibisi ekstrak kulit buah kakao terhadap laju reaksi korosi *mild steel* dalam larutan asam klorida (Oguzie dkk., 2004; Singh dkk., 2012; Yuhazri dkk., 2011).

2. METODE PENELITIAN

2.1. Bahan dan Alat

Peralatan yang digunakan yaitu: alat-alat gelas, neraca analitik, jangka sorong digital, kertas ampelas, gerinda, oven, *rotary evaporator*, *hot plate*, *Foundry-Master Xpert Spectrometer*, *Potensiostat eDAQ*, *Carton Stereo Trinocular Foto Optic*, *Perkin Elmer System 2000 Fourier Transform Infra Red Spectroscopy (FT-IR)*, *JEOL JED-2300 Scanning Electron Microscopy (SEM)*, dan *EDX*. Sedangkan bahan yang digunakan yaitu: *mild steel*, kulit buah kakao segar, metanol, aquabides, HCl p.a, aseton Merck, FeCl₃, n-heksana dan etil asetat.

2.2. Prosedur Penelitian

2.2.1. Proses Ekstraksi

Kulit buah kakao dibersihkan dari kotoran, kemudian dirajang kecil-kecil dan dikeringanginkan di udara terbuka selama 14 hari. Kulit yang telah kering digiling hingga menjadi serbuk. Serbuk kulit buah kakao sebanyak 1000 gr dimasukkan ke dalam maserator, kemudian dimasukkan metanol 70% sebanyak 1 L. Kemudian campuran diaduk dan dibiarkan di dalam maserator selama 4 hari, setelah 4 hari hasil maserasi disaring dengan menggunakan kertas saring, kemudian filtratnya dimasukkan ke dalam *rotary vacuum evaporator* pada suhu 54-55 °C untuk dipekatkan. Hasil ekstraknya dimasukkan ke dalam botol coklat dan dilakukan analisa kualitatif apakah terdapat *tannin* atau tidak. Kemudian ekstrak kasar kulit buah kakao difraksinasi untuk memperoleh ekstrak polar. Fraksinasi pertama, dilakukan dengan heksana dan fraksinasi kedua dengan etil asetat. Selesai fraksi etil asetat diperoleh

sisanya sebagai fraksi polar ekstrak kulit buah kakao. Ekstrak polar ini yang digunakan sebagai inhibitor korosi.

2.2.2. Persiapan Mild Steel

Sampel *mild steel* yang berbentuk batangan dipotong dengan diameter 12,0 mm dengan tebal 2,0-4,0 mm kemudian dihaluskan permukaannya dengan kertas amplas ukuran 400, 800, 1000, dan 1500 serta terakhir dipoles dengan *alumina compound*. Permukaan yang telah halus ini dicuci dengan deterjen dan dibilas dengan aquades serta aseton pa, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 40 °C selama 10 menit. Terakhir disimpan dalam desikator sebelum digunakan.

2.2.3. Metode Berat Hilang (Weight loss)

Sampel *mild steel* yang telah ditimbang sebagai berat awal direndam dalam media korosif asam klorida 1,5 M selama 48, 96, 192, 384 dan 768 jam sebagai blanko. Kemudian disiapkan larutan campuran media korosif HCl 1,5 M dengan variasi konsentrasi inhibitor 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 dan 2,5 % yang direndam dengan variasi waktu perendaman yang sama dengan blanko. Setelah proses korosi berjalan selama waktu yang ditentukan, produk korosi diangkat dari media korosi, dicuci dengan hati-hati dengan aquades menggunakan sikat yang halus dan terakhir dibilas dengan aseton. Selanjutnya dikeringkan pada suhu kamar, kemudian ditimbang sebagai berat akhir. Laju korosi dan efisiensi inhibisi dihitung dengan menggunakan persamaan 1 dan persamaan 2.

$$I = \frac{(W_2 - W_1)}{(A \times t)} \quad (1)$$

dengan:

W_1 = masa awal sebelum perendaman

W_2 = masa setelah perendaman

A = luas permukaan

t = lama perendaman

$$I = (V_0 - V_1)/V_0 \quad (2)$$

dengan:

V_0 = laju korosi tanpa inhibitor

V_1 = laju korosi dengan penambahan inhibitor

2.2.4. Pengukuran Polarisasi Potensiodinamik

Untuk menentukan perilaku aktif-pasif sampel dilakukan uji korosi dengan menggunakan teknik potensiodinamik. Pengukuran polarisasi potensiodinamik dilakukan dengan kondisi yang sama dengan metode *Weight loss*. Elektroda yang digunakan yaitu: Pt, Ag/AgCl, dan *mild steel*. Ketiga elektroda dicelupkan ke dalam larutan HCl tanpa dan dengan adanya inhibitor dengan konsentrasi yang bervariasi. Kemudian dihubungkan dengan potensiostat dan diatur potensial sampai diperoleh kurva hubungan antara potensial (E) vs arus (I).

2.2.5 Isotherm Adsorpsi

Ada beberapa tipe isotherm adsorpsi yang dapat dijadikan referensi dalam mempelajari mekanisme adsorpsi inhibitor korosi, diantaranya adalah isotherm adsorpsi Langmuir, Freundlich dan Temkin. Isotherm adsorpsi Langmuir merupakan model adsorpsi paling sederhana, dengan asumsi bahwa tidak ada interaksi antara molekul adsorbat (Ekanem dkk., 2010). Lapisan yang terbentuk berupa *mono layer*, maksimum fraksi penutupan; $\theta = 1$ (saat permukaan adsorben jenuh dengan adsorbat), permukaan adsorbat homogen sehingga setiap area permukaan memiliki energi ikatan yang sama, dan molekul yang teradsorpsi terlokalisasi atau tidak bergerak pada permukaan (Gunavathy dkk., 2012). Isotherm Langmuir diekspresikan dalam persamaan 3 berikut ini :

$$KC = \frac{\theta}{(1 - \theta)} \quad (3)$$

dengan θ adalah fraksi permukaan yang tertutupi oleh inhibitor dengan konsentrasi C. Jika nilai ΔG_{ads} negatif atau harga K semakin besar maka energi adsorpsi makin tinggi. Hasil tersebut menyatakan bahwa kespontanan proses adsorpsi dan stabilitas pada lapisan yang teradsorpsi pada permukaan adsorben (Salami dkk., 2012).

2.2.6 Morfologi Permukaan

Mild steel direndam dalam larutan HCl 1,5 M tanpa ekstrak dan yang dengan adanya ekstrak selama 8 jam. Kemudian dikeringkan dan difoto dengan *Carton Stereo*

Trinocular Fotooptik dan *Hitachi S3400N Scanning Electron Microscopy* serta analisa komposisi unsur di permukaan dengan *SEM-EDX*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi kimia dari sampel *mild steel* yang digunakan dalam penelitian diuji dengan *Foundry-Master Xpert Spectrometer* yang disajikan pada Tabel 1.

3.1 Analisa Laju Korosi

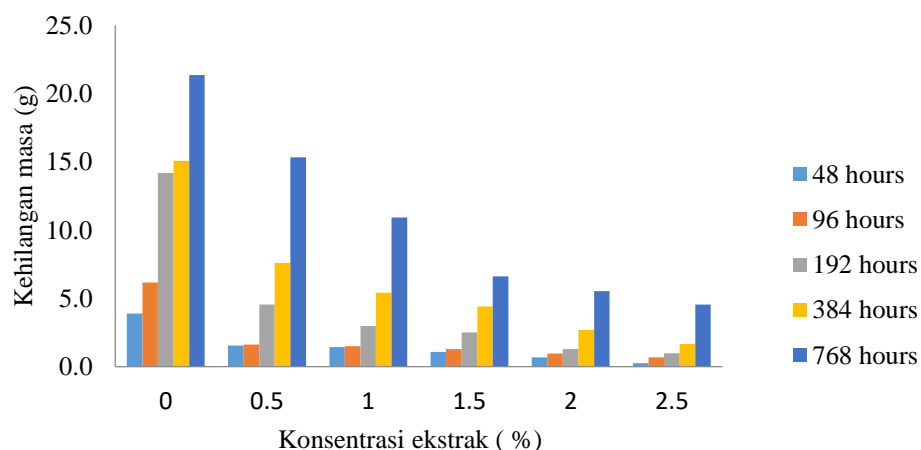
Dari Gambar 1 terlihat proses kehilangan massa *mild steel* dalam berbagai variasi waktu perendaman dalam HCl 1,5 M, dimana semakin lama waktu perendaman semakin banyak kehilangan massa *mild steel*. Berarti semakin banyak massa yang hilang semakin tinggi laju korosi. Sebaliknya terlihat, bahwa semakin tinggi konsentrasi

ekstrak yang ditambahkan, terjadi penurunan laju korosi secara signifikan. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya jumlah ekstrak yang menutupi permukaan *mild steel* yang mampu menghambat laju korosi.

Ekstrak kulit buah kakao mengandung senyawa metabolit sekunder salah satunya adalah *tannin*. Senyawa tanin dalam ekstrak dapat membentuk senyawa kompleks dengan Fe(III) di permukaan logam, sehingga laju reaksi korosi akan mengalami penurunan (Quraishi dkk., 2010). Hal ini ditunjang dengan hasil pengujian FTIR Gambar 5 yang menunjukkan pergeseran intensitas setelah terjadinya interaksi antara inhibitor dengan permukaan *mild steel*. Senyawa kompleks ini akan menghalangi serangan ion-ion korosif pada permukaan logam, sehingga laju reaksi korosi akan menurun. Dengan demikian ekstrak polar kulit buah kakao dapat dijadikan inhibitor alami untuk menghambat laju korosi *mild steel*.

Tabel 1. Komposisi kimia *mild steel*

Sampel <i>mild steel</i>	Komposisi kimia (% berat)								
	C	Fe	Si	Cr	Mo	Mn	S	Cu	P
<i>Mild steel</i> karbon rendah	0,32	97,8	0,22	0,10	0,20	0,90	0,06	0,30	0,07

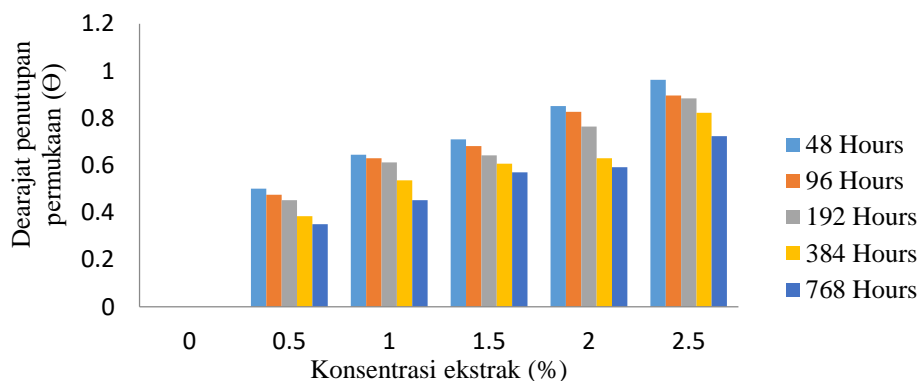


Gambar 1. Kehilangan masa vs konsentrasi ekstrak

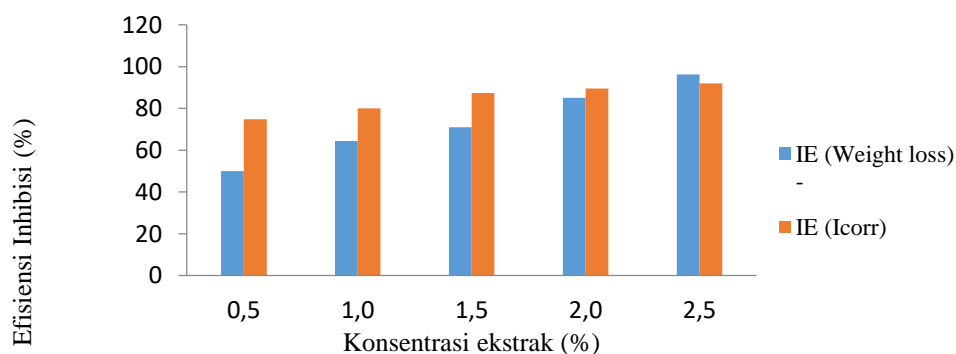
3.2 Analisa Polarisasi

Perhitungan laju korosi dengan kurva Tafel diawali dengan mencari nilai I_{corr} (arus korosi) dan E_{corr} (potensial porosi). I_{corr} dan E_{corr} dari setiap sampel didapatkan dari ekstrapolasi kurva Tafel. Ekstrapolasi dilakukan dengan menarik garis singgung pada bagian cabang anodik dan katodik yang memiliki kelurusan terbesar.

Kedua garis singgung ini kemudian diperpanjang hingga bertemu pada suatu titik. Titik inilah yang menunjukkan I_{corr} dan E_{corr} dari spesimen pada larutan tersebut (Fontana, 1987). Harga laju korosi pada spesimen yang diuji dengan metode polarisasi potensiodinamik ditentukan oleh nilai I_{corr} yang didapatkan.



Gambar 2. Derajat penutupan permukaan vs Konsentrasi ekstrak dalam HCl 1.5M



Gambar 3. Effisiensi inhibisi vs konsentrasi ekstrak in HCl 1,5 M

Tabel 2. Hasil pengujian Potensiodinamik untuk HCl 1,5 M

Inhibitor Conc. %V/V	I_{corr} mA cm^{-2}	E_{corr} Vdec^{-1}	IE (I_{corr})
Blanko	0.0631	-0.28	-
0,5	0.0159	-0.275	74.81
1,0	0.0126	-0.25	80.03
1,5	0.0079	-0.20	87.48
2,0	0.0066	-0.22	89.54
2,5	0.0050	-0.28	92.08

Pada Tabel 2 dapat dilihat dengan bertambahnya konsentrasi inhibitor pada media korosi akan mengurangi harga Icorr. Harga Icorr tertinggi terlihat pada spesimen yang dicelupkan pada media tanpa penambahan inhibitor. Sedangkan nilai Icorr terendah dimiliki oleh spesimen dengan penambahan inhibitor sebesar 2,5%. Jika dibandingkan hasil pengujian *weight loss* dengan hasil polarisasi potensiodinamik menghasilkan respon yang relatif sama. Berarti terjadi penurunan laju korosi pada *mild steel* dengan naiknya konsentrasi inhibitor yang ditambahkan (Raja dkk., 2009; Okafor dkk., 2010).

Kemudian dari Tabel 3 juga dapat dilihat nilai Ecorr terendah dimiliki oleh media tanpa penambahan inhibitor yaitu -0.2800V, dan tertinggi terdapat pada media dengan penambahan inhibitor yaitu -0.2000V. Pergeseran kurva ke harga yang lebih positif ini menunjukkan inhibitor yang ditambahkan bersifat anodik (Shyamala dkk., 2011; Hussin, 2010; Ostovari dkk., 2009). Artinya kulit buah kakao mempunyai pengaruh yang signifikan dalam menghambat *anodic dissolution* pada *mild steel* sekaligus menghambat reaksi evolusi hidrogen pada katoda (Ekanem dkk., 2010; Shyamala dkk., 2009). Naiknya harga Ecorr menyebabkan spesimen terlihat lebih katodik terhadap elektroda reference, sehingga perbedaan nilai potensial korosi antara keduanya semakin mengecil.

Efisiensi inhibisi ekstrak kulit buah kakao yang dihasilkan tergantung pada konsentrasi inhibitor dan media korosif yang dipakai. Hasil perhitungan efisiensi inhibisi pada media korosif asam klorida dapat mencapai 96.03% (*weight loss*) dan 92.08 (Icorr) pada konsentrasi inhibitor 2,5% seperti pada Gambar 3 dan Tabel 2. Hal ini disebabkan karena pada kondisi tersebut senyawa kompleks Fe-tanin terbentuk dengan sempurna dan menutupi seluruh permukaan *mild steel*.

Dengan demikian derajat penutupan permukaan juga akan mengalami peningkatan dengan kenaikan konsentrasi inhibitor, hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2. Perbandingan 2 metode pengujian efisiensi inhibisi untuk ekstrak polar kulit buah kakao terhadap *mild steel* terlihat pada Gambar 3.

3.3 Parameter Termodinamika

Nilai energi aktivasi (E_a) korosi *mild steel* seperti pada Tabel 3 semakin meningkat dengan penambahan ekstrak. Semakin tinggi nilai E_a semakin sulit proses korosi terjadi, karena logam akan membutuhkan energi yang lebih besar untuk melangsungkan reaksi oksidasi.

Dari nilai E_a tersebut membuktikan bahwa ekstrak polar kulit buah kakao berpengaruh terhadap mekanisme reaksi yang terjadi di permukaan *mild steel*. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme yang terjadi adsorpsi kimia yaitu adanya transfer atau berbagi muatan dari inhibitor ke permukaan *mild steel* (Raja dkk., 2009; Noor, 2007). Dari Tabel 3 tersebut memperlihatkan bahwa nilai potensial korosi bebas (E_{corr}), kerapatan arus korosi (Icorr) dan laju korosi dari masing-masing logam sampel berbeda-beda pada masing-masing jenis konsentrasi inhibitor yang digunakan.

Bila logam dimasukkan ke dalam larutan maka terjadi reaksi elektrokimia pada antar muka antara logam dan larutan. Reaksi ini menghasilkan suatu potensial elektrokimia yang disebut potensial korosi (E_{corr}). Potensial ini ditentukan oleh banyaknya muatan negatif yang terbentuk ketika logam itu dimasukkan ke dalam larutan. Besar kecilnya harga potensial korosi mengindikasikan kecenderungan sampel untuk mengalami oksidasi selama berada dalam media pengkorosi. Jika potensial korosi bebas dari sampel yang terukur rendah berarti sampel tersebut mudah teroksidasi, demikian pula sebaliknya. Dengan turunnya laju korosi maka efisiensi inhibisi mengalami kenaikan.

Tabel 3. Parameter termodinamika dari *mild steel* tanpa dan adanya ekstrak kulit buah kakao (*Theobroma cacao*) dalam 1,5 M HCl.

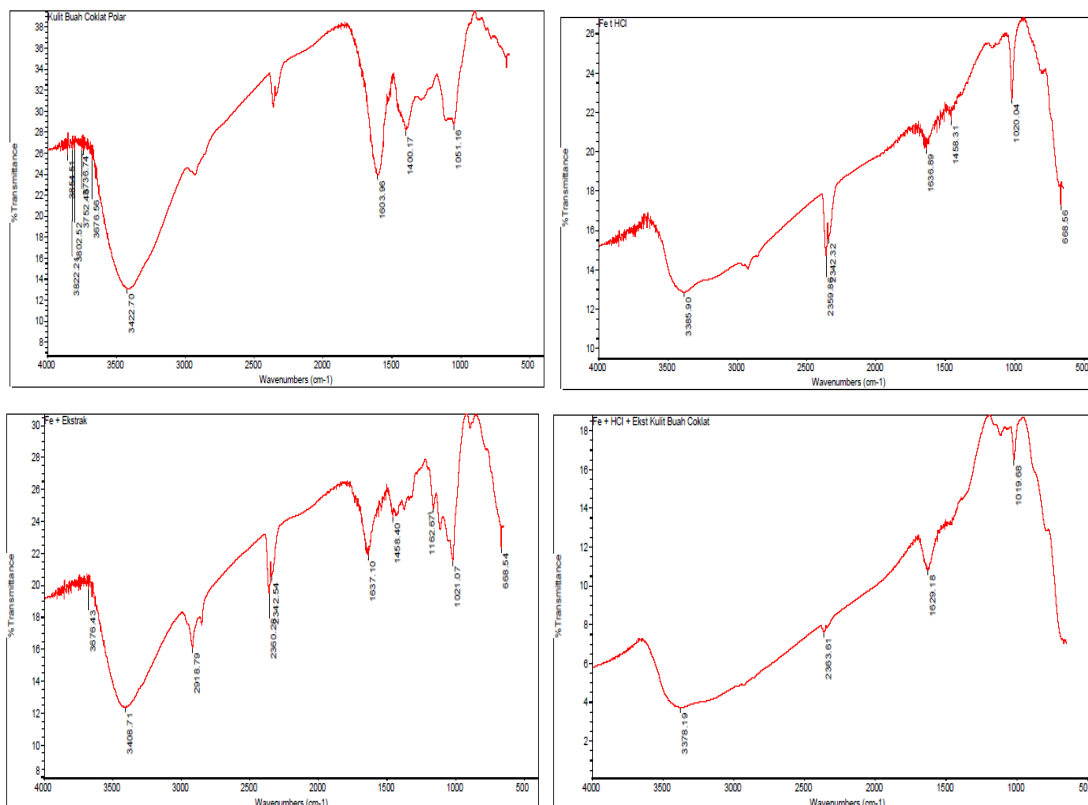
Indikator	E_a (kJ/mol)	ΔH (kJ/mol)
Blank	142.3782	217.6073
Blank + inhibitor	198.8048	196.1433

3,4 Hasil Pengujian FT-IR

Gambar 4 memperlihatkan perbedaan yang cukup signifikan antara keempat spektrum. Ada beberapa puncak di Gambar 4a hilang, dan ada pula muncul puncak baru di

Gambar 4b. Namun, banyak juga puncak yang muncul pada frekuensi yang sama atau berdekatan. Gugus fungsi yang teridentifikasi dari ekstrak kulit buah kakao (Gambar 4a) adalah fenol, cincin aromatik dan ether. Sebagian besar gugus fungsi ini muncul pada produk korosi namun dengan sedikit pergeseran frekuensi. Sebagai contoh gugus fungsi C-O yang berada pada frekuensi 1051cm⁻¹ bergeser ke 1019

cm⁻¹, C=O bergeser dari 1603 cm⁻¹ ke 1629 cm⁻¹, sedangkan O-H bergeser dari 3422 cm⁻¹ ke 3378 cm⁻¹. Puncak baru muncul pada frekuensi 620 cm⁻¹ adalah ikatan Fe-H. Puncak baru lain pada 835 cm⁻¹ diduga kuat merupakan akibat regangan ikatan Fe=O. Hasil ini menunjukkan bahwa telah terjadi interaksi dan ikatan kimia antara senyawa ekstrak dan logam pada daerah permukaan.



Gambar 4. FTIR dari a. Ekstrak polar kulit buah kakao, b. Mild steel dalam HCl 1,5M, c. Mild steel dalam ekstrak polar kulit buah kakao, d. Mild steel dalam HCl 1,5M dengan adanya ekstrak kulit buah kakao 2,5

Tabel 4. Spektrum FTIR dari ekstrak kulit buah kakao, produk korosi dan identifikasinya

Puncak dari spektrum FTIR spectra, ν (cm ⁻¹)		Gugus fungsi
Ekstrak kulit buah kakao	Produk korosi	
1051	1019	C-O (ether)
1400	-	C-C=C (asimetric aromatic)
1603	1629	C=O
-	2363	H-C-H (phenol)
3422	3378	O-H (phenol)

Gugus fungsi yang teridentifikasi dari puncak-puncak yang ada pada kedua spektrum ditampilkan secara lengkap pada Tabel 4. Dari spektra FTIR ekstrak *methanol* kulit buah kakao serta produk korosi *mild steel* yang direndam dalam larutan asam klorida dengan penambahan ekstrak 2.5% pada Gambar 5a dan 5b terlihat perbedaan yang signifikan karena ada beberapa puncak dominan yang hilang dan muncul puncak yang baru sedangkan yang tidak mengalami perubahan yang signifikan berada pada kisaran yang sama sebagaimana disarikan pada tabel 4. Terjadinya pergeseran hanya mengidentifikasi terjadinya ikatan antara senyawa ekstrak terhadap permukaan *mild steel*. Hasil FTIR menunjukkan bahwa ekstrak kulit buah kakao mengandung gugus fenol, cincin aromatik dan gugus ether.

3.5 Pengaruh Temperatur

Dari Tabel 5 terlihat bahwa semakin tinggi suhu maka laju korosi juga akan semakin besar. Korosi adalah peristiwa reaksi oksidasi, berarti peningkatan suhu akan meningkatkan laju reaksi oksidasi yang dalam hal ini adalah laju korosi. Dengan adanya pelapisan bahan alam di permukaan, maka bahan alam tersebut akan melindungi permukaan *mild steel* sehingga dapat mengurangi laju korosi.

Dari Tabel 5 tersebut dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya suhu, maka efisiensi inhibisi akan semakin menurun. Hal ini dikarenakan meningkatnya kecepatan oksidasi Fe pada permukaan *mild steel* dengan

meningkatnya suhu, sehingga adsorbat dari ekstrak kulit buah kakao akan mudah terlepas dari permukaan *mild steel* (Singh dkk., 2010; Nahle dkk., 2010; Vinod dkk., 2010).

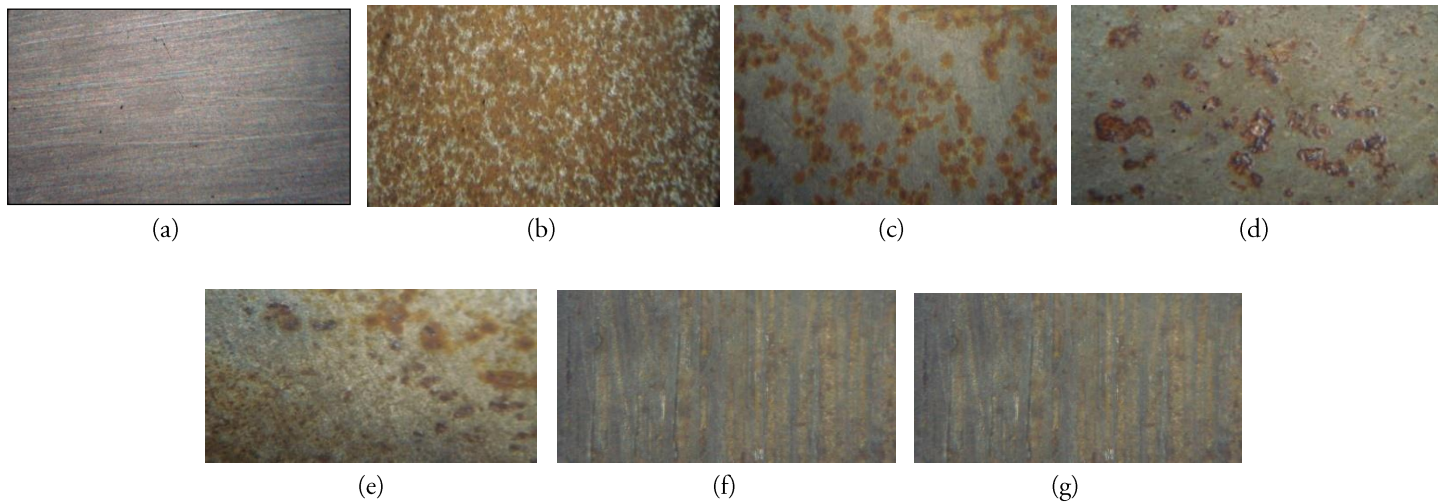
3.6 Analisa Permukaan

Hasil pengamatan morfologi permukaan *mild steel* dengan foto optik yang belum dilakukan perlakuan dan yang sudah mendapat perlakuan dengan pembesaran 100x dapat dilihat pada Gambar 5a-5g. Struktur permukaan *mild steel* Gambar 5a sebelum perlakuan terlihat halus dan merata serta belum terlihat adanya karat di permukaan. Sedangkan Gambar 5b memperlihatkan permukaan *mild steel* yang sudah terkorosi karena direndam dalam media korosif HCl 1.5 M.

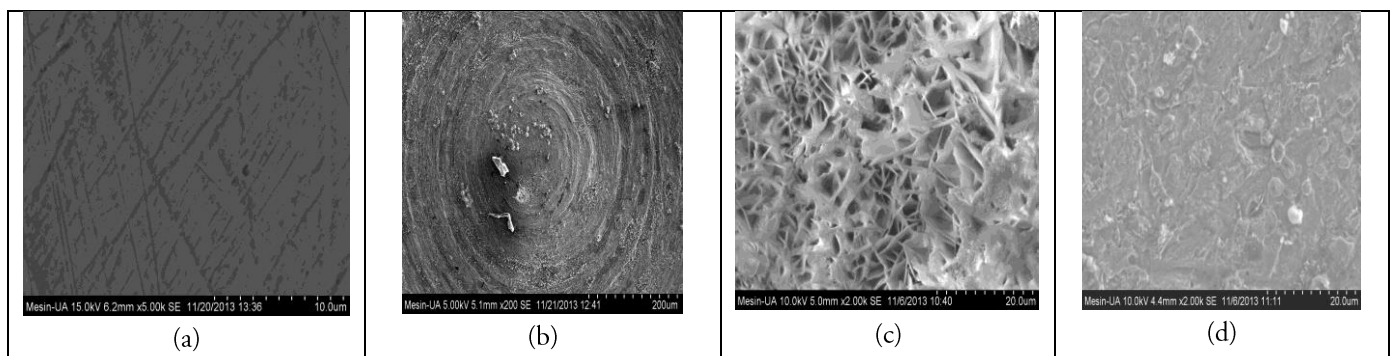
Pada Gambar 5c-5g memperlihatkan pengaruh penggunaan inhibitor ekstrak kulit buah kakao untuk memperlambat laju korosi. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi inhibitor ekstrak kulit buah kakao yang digunakan kerusakan yang terjadi juga semakin berkurang, karena karat yang terbentuk semakin berkurang dengan bertambahnya konsentrasi inhibitor yang digunakan. Karena inhibitor mampu membentuk lapisan yang dapat menghalangi serangan ion-ion agresif seperti asam sehingga permukaan *mild steel* menjadi terlindungi dan terproteksi oleh lapisan tipis di permukaan, sehingga proses korosi berlangsung lebih lambat (Hussin dkk., 2010; Saratha dkk., 2010).

Tabel 5. Pengaruh temperatur terhadap efisiensi inhibisi perendaman 6 jam dalam HCl 1,5M

Inhibitor Conc., %V/V	Inhibition Efficiency, %				
	303 K	308 K	313 K	318 K	324 K
0,0	-	-	-	-	-
0,5	35,99	30,28	27,84	18,99	7,23
1,0	43,2	41,54	36,77	31,62	17,85
1,5	57,19	53,25	48,78	46,98	36,75
2,0	69,39	64,97	60,91	58,09	47,16
2.5	83,91	77,78	69,92	64,56	58,05



Gambar 5. Photo mikro dari *mild steel* tanpa dan adanya ekstrak polar kulit buah kakao (*Theobroma cacao*). a. Sampel asli b. Sampel direndam dalam 1,5 M HCl c. Sampel direndam dalam 0.5% v/v Inhibitor d. Sampel direndam dalam 1.0% v/v Inhibitor e. Sampel direndam dalam 1.5% v/v Inhibitor f. Sampel direndam dalam 2.0% v/v Inhibitor g. Sampel direndam dalam 2.5% v/v Inhibitor.



Gambar 6. SEM dari *mild steel* setelah dicelup 32 hari pada temperatur ruang (a) sebelum dicelup (dipoles) (b) dicelup dalam inhibitor (c) dicelup dalam HCl tanpa inhibitor (d) dicelup dalam HCl dengan 2.5 % inhibitor.

Analisa permukaan *mild steel* dan pembentukan lapisan pasif pada permukaannya dalam HCl 1,5 M tanpa dan adanya inhibitor kulit buah kakao dipelajari menggunakan *S-3400N Scanning Electron Microscopy* dengan perbesaran 2000x pada Gambar 6. Pada Gambar 6a foto morfologi permukaan dari spesimen awal terlihat adanya garis-garis halus berwarna putih dan relatif tipis yang merupakan pengaruh penggerindaan dan pengamplasan pada permukaan *mild steel*. Terlihat juga bahwa permukaannya masih rata, bersih, tidak berpori dan belum ada lubang-lubang. Sedangkan Gambar 6b menunjukkan morfologi permukaan *mild steel* yang direndam dalam ekstrak kulit buah kakao, dimana terlihat ekstrak menempel

di permukaan *mild steel*. Photo permukaan *mild steel* dalam HCl tanpa adanya ekstrak polar kulit buah kakao Gambar 6c terbentuk produk korosi dan lubang lubang yang sangat jelas dan menandakan sudah terjadi kerusakan di permukaannya. Tetapi adanya ekstrak kulit buah kakao Gambar 6d meminimalkan produk korosi dan lubang-lubang pada permukaan *mild steel* dengan membentuk lapisan pasif di permukaan. Lapisan inilah sebagai penghalang (*barrier*) terhadap serangan ion-ion korosif di permukaan *mild steel* sehingga reaksi elektrokimia berjalan lambat dan akhirnya laju korosi juga akan berkurang (Ostovari dkk., 2009; Afia dkk., 2012)

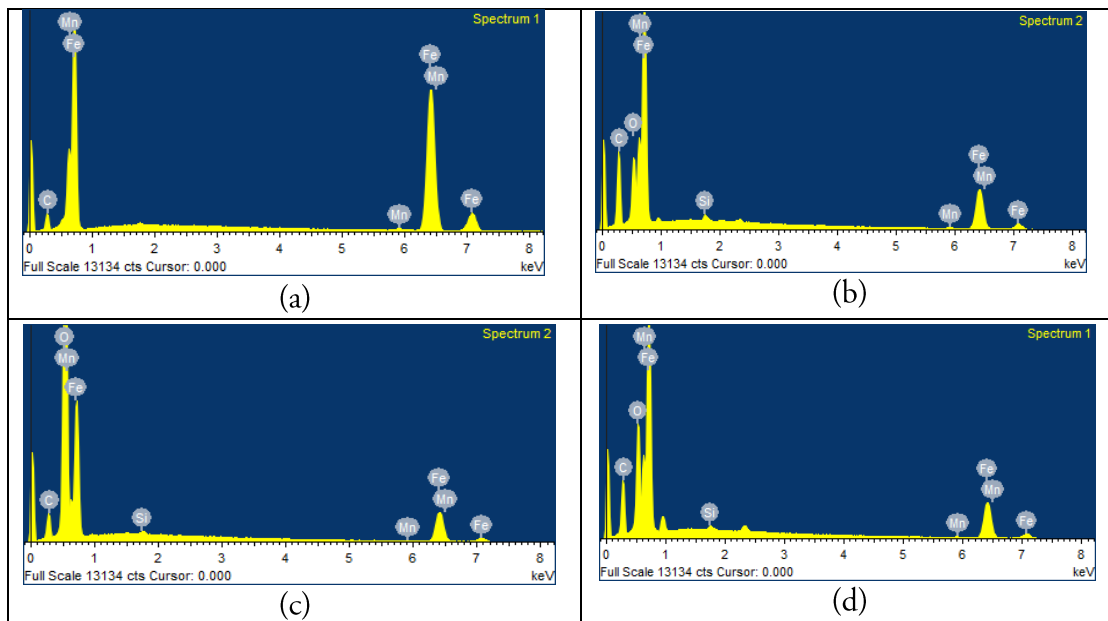
3.7 Analisa SEM-EDX

Analisa unsur C dan Fe pada permukaan *mild steel* dalam HCl 1,5 M yang direndam selama 32 hari dengan dan tanpa ekstrak polar kulit buah kakao dipelajari dengan SEM-EDX dengan hasil seperti yang dapat dilihat di grafik pada Gambar 7 dan Tabel 6. Berdasarkan grafik tersebut didapatkan persentase atom unsur C meningkat dengan adanya ekstrak polar kulit buah kakao yaitu dari 0,3% menjadi 16,90%. Hal ini membuktikan bahwa atom C dari molekul ekstrak kulit buah kakao teradsorpsi pada permukaan *mild steel* membentuk lapisan pasif di permukaan *mild steel* (Shyamala dkk., 2009). Sedangkan persentase atom unsur Fe menurun dengan adanya ekstrak polar kulit buah kakao yaitu dari 98,79% menjadi 37,43 %. Hal ini menunjukkan bahwa Fe membentuk senyawa

kompleks organo logam dengan molekul ekstrak polar kulit buah kakao sehingga persentase atom Fe yang terdeteksi menjadi lebih kecil. Sedangkan unsur O yang terdeteksi di awal pada Gambar 7a belum ada, lalu pada Gambar 7b ada terdeteksi dengan persentase yang rendah. Sedangkan pada Gambar 7c terjadi kenaikan persentase oksigen sampai 63,54% karena direndam dalam media korosif HCl 1.5 M tanpa inhibitor, sehingga oksida terbentuk dengan cepat oleh serangan ion-ion korosif dari HCl. Tetapi dengan bantuan inhibitor ekstrak polar kulit buah kakao, serangan ion-ion korosif tersebut mampu dihalangi dengan membentuk lapisan pasif berupa kompleks organo logam di permukaan *mild steel*, sehingga laju korosi lambat dan oksida yang terbentuk lebih sedikit yang dibuktikan dari persentase kadar O yang rendah seperti ditunjukkan pada Gambar 7d.

Tabel 6. Rekapitulasi unsur dan oksida yang teridentifikasi pada pengujian SEM-EDX

Perlakuan	Kandungan Unsur (% berat)		
	C	Fe	O
<i>Mild steel</i>	0.32	91.43	-
<i>Mild steel</i> + Ekstrak	11.50	82.13	5.54
<i>Mild steel</i> + HCl 1.5M	8.57	23.80	66.89
<i>Mild steel</i> + HCl + Ekstrak	26.40	36.14	34.54



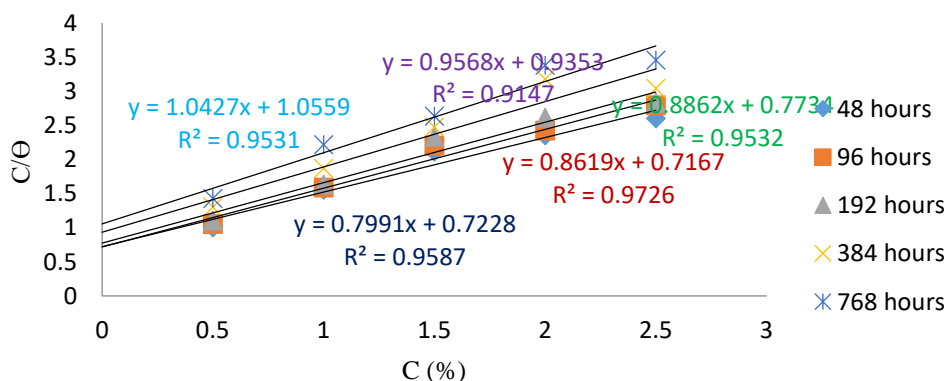
Gambar 7. Grafik SEM-EDX permukaan a. *Mild steel*, b. *Mild steel* dengan ekstrak, c. *Mild steel* dalam HCl 1,5M, d. *Mild steel* dalam HCl dengan adanya ekstrak 2,5 %

3.8 Mekanisme adsorpsi

Berdasarkan Tabel 2 serta Gambar 2 dan 3, dapat dilihat bahwa kenaikan efisiensi inhibisi akan meningkatkan derajat penutupan permukaan, akibat semakin besar permukaan besi yang berkontak dengan larutan. Sesuai dengan Gambar 8 dari isotherm adsorpsi Langmuir bahwa adsorpsi yang terjadi di permukaan bersifat linier artinya semakin tinggi konsentrasi ekstrak semakin banyak adsorpsi yang terbentuk di permukaan.

Dengan adanya pelapisan ekstrak polar kulit buah kakao ternyata dapat mengurangi laju korosi. Sesuai dengan mekanisme proteksi yang telah dijelaskan, bahwa ekstrak bahan alam merupakan senyawa yang mengandung atom yang memiliki pasangan elektron bebas (Raja dkk., 2009; Ostovari, 2009; Lebrini, 2011). Atom ini bersifat sebagai

donor elektron sehingga akan menghasilkan senyawa kompleks dengan besi. Senyawa kompleks ini bersifat stabil, tidak mudah dioksidasi dan dapat menyelubungi permukaan logam besi, sehingga korosi bisa dihambat (Ostovari dkk., 2010). Mekanisme proteksi ekstrak bahan alam terhadap besi/*mild steel* dari serangan korosi diperkirakan hampir sama dengan mekanisme proteksi oleh inhibitor organik. Reaksi yang terjadi antara logam Fe^{2+} dengan medium korosif asam klorida yang mengandung ion-ion klorida akan bereaksi dengan Fe dan diperkirakan menghasilkan $FeCl_2$. Jika ion klorida yang bereaksi semakin besar, maka $FeCl_2$ yang terbentuk juga akan semakin besar. Ion klorida pada reaksi di atas akan menyerang logam besi (Fe) sehingga besi akan terkorosi. Reaksi antara Fe^{2+} dengan inhibitor ekstrak bahan alam menghasilkan senyawa kompleks.



Gambar 8. Isotherm adsorpsi Langmuir dari kulit buah kakao (*Theobroma cacao*) pada permukaan *mild steel* dalam 1.5 M HCl

Inhibitor ekstrak bahan alam yang mengandung oksigen atau nitrogen mendonorkan sepasang elektronnya pada permukaan *mild steel* ketika ion Fe^{2+} terdifusi ke dalam larutan elektrolit. Produk yang terbentuk mempunyai kestabilan yang tinggi dibanding dengan Fe saja, yang dibuktikan dengan susahnya lapisan yang terbentuk untuk dirusak. Sehingga sampel *mild steel* yang diberi inhibitor ekstrak bahan alam lebih tahan (terproteksi) terhadap korosi (Singh dkk., 2012; Garrg dkk., 2010).

4. Kesimpulan

Dari serangkaian penelitian yang sudah dilakukan, laju korosi *mild steel* menunjukkan penurunan dan efisiensi inhibisinya mengalami kenaikan dengan meningkatnya

konsentrasi ekstrak polar kulit buah kakao (*Theobroma cacao*). Dengan metoda pengurangan berat diperoleh nilai efisiensi inhibisi korosi *mild steel* 96.26% dan metoda polarisasi potensiodinamik diperoleh 92,08% dalam medium HCl 1,5 M. Adsorpsi ekstrak yang terjadi di permukaan *mild steel*, terjadi karena adanya interaksi antara partikel ekstrak dengan permukaan *mild steel* yang mengikuti adsorpsi isotherm Langmuir. Analisis polarisasi potensiodinamik menunjukkan nilai arus korosi menurun dari 0,0631 mA/cm² menjadi 0,0050 mA/cm², dan jenis inhibitorynya adalah tipe campuran (*mixed type corrosion inhibitor*) dengan dominan inhibitor katodik. Analisis permukaan *mild steel* memperlihatkan bahwa terjadi perubahan morfologi antara *mild steel* dengan dan tanpa

tambahan ekstrak kulit buah kakao. Tambahan ekstrak tersebut ke dalam larutan HCl 1,5 M sangat efektif untuk mengurangi serangan korosi di permukaan *mild steel*.

Ucapan Terimakasih

Penulis pertama mengucapkan terimakasih kepada Menteri Pendidikan dan Kebudayaan untuk Beasiswa BPPS selama melanjutkan pendidikan di Program Doktor dan Hibah Doktor no.DIPA 042.05.28.33421/2014

Daftar Pustaka

- Ashassi-Sorkhabi A., Shaabani B., Seifzadeh D., 2005, Corrosion inhibition of mild steel by some Schiff base compounds in hydrochloric acid, *Appl Surf Sci* 239 (2), pp. 154-164.
- Bouklah M., Ouassini A., Hammouti B., El Idrissi A., 2006, Corrosion inhibition of steel in sulphuric acid by pyrrolidine derivatives, *Appl Surf Sci* 252 (6), pp. 2178-2185.
- Ekanem UF., Umoren SA., Udousoro SA., Udoh AP., 2010, Inhibition of mild steel corrosion in HCl using pineapple leaves (*Ananas comosus L.*) extract, *J Mater Sci* 45, pp. 5558-5566.
- Fontana., 2005, *Corrosion Engineering*, third edition., McGraw-Hill Company, New York.
- Gunavathy N., SC Murugavel., 2012, Corrosion inhibition studies of mild steel in acid medium using *Musa acuminata* fruit peel extract, *E- Journal of Chemistry* 9 (1), pp. 487-495.
- L Afia., Rachid Salghi., El Houcine, Bazzi., 2012, Argan hulls extract: green inhibitor of mild steel corrosion in 1 M HCl solution, *Res Chem Intermed* 10 (7), pp. 451.
- Lebrini., M. Robert., F Ross C., 2011, Alkaloids extract from *Palicourea guianensis* plant as corrosion of C38 steel in 1 M hydrochloric acid medium, *Int J Electrochem Sci* 6, pp. 847-859.
- M Shyamala., A Arulanantham., 2009, Corrosion inhibition of *Centella asiatica* (Vallarai) on mild steel in hydrochloric acid, *Asian Journal of Chemistry* 21(8), pp. 6102-6110.
- Mohd. Hazwan Hussin., Mohd. Jain Kassim., 2010, Electrochemicals studies of mild steel corrosion inhibition in aqueous solution by *Uncaria gambir* extract, *Journal of Physical Science* 21 (1), pp. 1-13.
- Nahle A., Abu-Abdoun I., Abdel-Rahman I., Al-Khayat M., 2010, UAE neem extract as corrosion inhibitor for carbon steel in HCl solution, *International Journal of Corrosion* 10, pp. 1-9.
- Noor EA., 2007, Temperature effects on the corrosion inhibition of mild steel in acidic solutions by aqueous extract of fenugreek leaves, *Int J Electrochem Sci* 2, pp. 996-1017.
- Oguzie EE., Okolue BN., Ebenso EE., Onuoha GN., Onuchukwu A I., 2004, Evaluation of the inhibitory effect of methylene blue dye on the corrosion of aluminium in hydrochloric acid, *Mater Chem Phy* 87(2-3), pp. 394-401.
- Okafor PC., Ebenso EE., Ekbe UJ., 2010, *Azadirachta indica* extract as corrosion inhibitor for mild steel in acidic medium, *International Journal of Electrochemical Science*, pp. 978-993.
- Ostovari A., Hoseinie SM., Peikari M., Shadizadeh SR., Hashemi, S, J., 2009, Corrosion inhibitor of mild steel in 1 M HCl solution by henna extract: a comparative study of inhibition by henna and its constituents (lawsone, gallic acid, glucose and tannic acid), *Corrosion Science* 8 (5), pp. 342-350.
- Quraishi MA., Sharma HK., 2005, Thiazoles as corrosion inhibitors for mild steel in formic and acetic acid solution, *J Appl Electrochem* 35 (1), pp. 33-39.
- Quraishi MA., Singh A., Singh VK., Yadav DK., 2010, Green approach to corrosion inhibitor of mild steel in hydrochloric acid and sulphuric acid solutions by the extract of *Murayya koeniggi* leaves, *Materials Chemistry and Physics*, pp. 114-122.
- Raja BP., MG Sethuraman., 2009, *Solanum tuberosum* as an inhibitor of mild steel corrosion in acid media, *J Chem Eng* 28, pp. 77-84.
- Salami L., Wewe, TOY., Akinyemi OP., Patinvoh RJ., 2012, A study of the corrosion inhibitor of mild steel in

- sulphuric acid using *Musa sapientum* peels extract, Global Engineers & Technologists Review 2(12), pp. 1-6.
- Saratha R., Priya SV., Thilagavathy P., 2009, Investigation of *Citrus aurantiifolia* leaves extract as corrosion inhibitor for mild steel in 1 M HCl, E-Journal of Chemistry, pp. 785-795.
- Saratha R., Vasudha VG., 2010, *Embllica officinalis* (Indian Gooseberry) leaves extract as corrosion inhibitor for mild steel 1 N HCl medium, E-Journal of Chemistry, pp. 677-684.
- Shyamala M., PK Kasthuri., 2011, The inhibitory action of the extracts of *Adathoda vesica*, *Eclipta alba*, and *Centella asiatica* on the corrosion of mild steel in hydrochloric acid medium, International Jurnal of Corrosion, pp. 1-13.
- Singh A., VK Singh., MA Quraishi., 2010, Effect of fruit extract of some environmentally benign green corrosion inhibitors on corrosion of mild steel in hydrochloric solution, International Journal of Corrosion. pp 1-10.
- Singh A., Ebenso EE., Quraishi MA., 2012, Corrosion inhibition of carbon steel in HCl solution by some plant extracts, International Journal of Corrosion Vol. 2012, pp 1-20.
- Umoren SA., Eduok UM., Solomon MM., Udoh AP., 2011, Corrosion inhibitor by leaves and stem extracts of *Sida acuta* for mild steel in 1M H₂SO₄ solutions investigated by chemical and spectroscopic techniques, Arabian Journal of Chemistry 2011 edition, 17 pages
- Urvija Garrg., RK Tak., 2010, Inhibition of the corrosion of mild steel in acid media by naturally occuring *Acacia senegal*, E-Journal of Chemistry 7 (4), pp. 1220-1229.
- Vinod Kumar KP., MS Narayanan Pillai., G Rexin Thusnavis., 2010, Pericarp of the fruit of *Garcinia mangostana* as corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid medium, Portugaliae Electrochimica Act 28, pp. 373-383.
- Yuhazri MY., Jeefferie AR., Haeryip Sihambing., Nooririnah O., Warikh AR., 2011b, Coating effect condition on the corrosion properties of mild steel substrate, International Journal of Applied Science and Technology 1 (1), pp. 45-49.
- Yuli Yetri., Emriadi., Novesar J., Gunawarman., 2015, Corrosin inhibitor of mild steel by polar extract of *Theobroma cacao* peels in hydrochloric acid solution, Asian Journal of Chemistry 27 (3), pp. 875-881.
- Zaki Ahmad., Faheemuddin Patel., 2012, Development of novel corrosion techniques for a green environment, International Journal of Corrosion 10, pp. 1-8.



JRT PPI 7 (2) (2016)

Jurnal Riset
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

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

Kementerian
Perindustrian
REPUBLIK INDONESIA

Pengolahan air limbah industri *bakery* menggunakan sistem *stripper*-lumpur aktif

Wastewater treatment of bakery industry using stripper-activated sludge system

Rizal Awaludin Malik*, Hanny Vistanty, Sartamtomo, Nanik Indah Setianingsih, Farida Crisnaningtyas, Nur Zen

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

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel :

Diterima 23 Agustus 2016

Direvisi 07 Oktober 2016

Disetujui 07 Oktober 2016

Dipublikasikan online

23 November 2016

Keywords :

surfactant

wastewater

bakery

stripper

activated sludge

ABSTRAK

Air limbah industri *bakery* memiliki karakteristik kandungan organik, lemak, dan surfaktan yang tinggi. Keberadaan surfaktan pada air limbah dapat mengganggu proses degradasi kandungan organik dan lemak pada instalasi pengolahan air limbah khususnya pengolahan secara biologis/lumpur aktif. Studi ini membahas tentang performa integrasi sistem *stripper*-lumpur aktif yang diaplikasikan untuk mengolah air limbah industri *bakery* dalam skala *full scale*. Proses *stripper* dilakukan dengan menggunakan kolom yang diintegrasikan dengan bak aerasi pada kisaran HRT (waktu tinggal) 24 jam. Proses *stripper* memberikan efisiensi penurunan COD dan surfaktan tertinggi sebesar 96% dan 80%. Proses lumpur aktif digunakan untuk mengolah keluaran dari proses *stripper* dengan karakteristik lumpur aktif MLSS 4000-4500 mg/L, FM/ rasio 0,268, *sludge age* 11 hari dan HRT 24 jam, proses degradasi dengan lumpur aktif ini mampu memberikan efisiensi penurunan COD dan surfaktan sebesar 79% dan 88%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa unit IPAL dengan menggunakan sistem *stripper*-lumpur aktif memiliki efisiensi penurunan COD, TSS, dan BOD sebesar 98,9%, 87,9%, dan 96,4%, sehingga sistem ini merupakan teknologi yang tepat untuk diterapkan pada pengolahan limbah industri *bakery*.

ABSTRACT

Characteristic of bakery wastewater has high amount of organic, fat, oil and grease and surfactant. The presence of surfactant in wastewater treatment plants will disturb biological degradation processes. This study investigated the performance of integrated system of stripper-activated sludge on a full-scale application for bakery wastewater treatment. Stripper was applied using an integrated column with an aeration tank at HRT (Hydraulic retention time) 24 h. This system showed a high COD (chemical oxygen demand) and surfactant removal efficiency of 96% and 80%, respectively. Activated sludge process was used to treat the effluent of stripper. Activated sludge reactor ran with MLSS 4000-4500 mg/L, F/M ratio 0,268, sludge age 11 days and HRT of 24 h. Results showed that removal efficiency of COD and surfactant were 79% and 85%, respectively. The results showed that an integrated system of stripper-activated sludge gave a high COD, TSS (total suspended solids), and BOD (biological oxygen demand) removal efficiency of 98,9%, 87,9%, and 96,4%, respectively. This study proved that stripper-activated sludge system is the appropriate technology to be applied on bakery wastewater treatment.

© 2016 BBT PPI. All rights reserved.

*Alamat korepondensi :

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

1. PENDAHULUAN

Bakery merupakan salah satu komoditas makanan yang paling banyak di konsumsi oleh manusia. Tingginya permintaan produk *bakery* ini menyebabkan industri

bakery tumbuh dengan cepat. Industri *bakery* merupakan salah satu industri yang menghasilkan air limbah dalam jumlah besar. Sumber air limbah industri *bakery* umumnya berasal dari proses pencucian alat produksi dan ruang produksi, Air limbah yang dihasilkan dari proses tersebut

umumnya mengandung senyawa organik, minyak, lemak dan surfaktan (Chen dkk. 2006). Polutan yang terkandung dalam air limbah industri *bakery* berasal dari sisa-sisa tepung adonan dan olesan loyang, sedangkan surfaktan berasal dari sabun pencuci yang digunakan dalam proses pencucian.

Jenis surfaktan yang umum digunakan adalah LAS (*linier alkyl benzene sulphonate*) dan SDS (*sodium deodecylbenzenesulphonate*) (Tomczak-wandzel dkk. 2009). SDS merupakan surfaktan anionic yang lebih sulit terdegradasi jika dibandingkan dengan LAS. Senyawa SDS dalam air limbah akan sangat mempengaruhi performa dari pengolahan limbah karena dapat menurunkan potensial oksigen dalam reaktor pengolahan air limbah (Eichhorn dkk., 2002). Surfaktan bekerja dengan menurunkan tegangan permukaan sehingga molekul-molekul minyak-lemak dalam air akan membentuk emulsi (Wang dkk., 2012).

Kehadiran surfaktan dalam air limbah akan sangat mempengaruhi kinerja pengolahan yang ada karena surfaktan akan membentuk emulsi minyak dalam air (*oil in water*) yang stabil sehingga sulit terolah pada pengolahan menggunakan sistem biologis (Bitton, 2010). Telah banyak metode yang digunakan untuk memecah emulsi dalam air limbah, diantaranya adalah teknik pengendapan secara gravitasi (Feng dkk. 2004) dan adsorpsi menggunakan gel silika dan *super wetting film* (Wang dkk., 2012), namun metode-metode tersebut hanya efektif untuk droplet emulsi dengan ukuran lebih dari 20 μm (Liu dkk., 2016).

Metode konvensional untuk memecah emulsi minyak dalam air (o/w) yang umum digunakan adalah dengan memakai bahan kimia seperti AlSO_4 , ferro klorida dan ferro sulfid (Karpati dkk., 1995). Penggunaan bahan kimia ini tidak efektif dalam menurunkan kadar COD air limbah dan akan meningkatkan biaya pengolahan (Vidal dan Carvalho, 2000). Pengolahan air limbah yang mengandung minyak-lemak tinggi dengan proses biologi telah banyak dilakukan oleh para peneliti, diantaranya dengan menggunakan *membrane biological reactor* (MBR) Sutton dkk. (1994), lumpur aktif (Scott and Jones 2000).

Demulsifikasi menggunakan bahan kimia CaCl_2 , PAC, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, FeCl_3 sebagai *pretreatment* telah dilakukan oleh Zhang dkk. (2014) dalam pengolahan air limbah menggunakan biofilm anaerobik-aerobik. Emulsi yang disebabkan oleh adanya surfaktan dalam proses lumpur aktif akan berdampak negatif terhadap pembentukan flok-flok lumpur aktif sehingga menurunkan efektivitas dari proses tersebut (Liwarska-bizukojc dan Bizukojc, 2006). Berdasarkan penelitian yang dilakukan

oleh Othman dkk. (2009), senyawa SDS dalam lumpur aktif dapat menurunkan ukuran flok, yang akan berdampak pada penurunan efektifitas pengendapan padatan pada clarifier. Oleh karena itu diperlukan alternatif teknologi pengolahan lain untuk mengolah limbah yang mengandung emulsi minyak dalam air (o/w) karena adanya surfaktan SDS. Berdasarkan penelitian Sartamtomo dkk. (2008), teknologi stripper dan aerasi bertingkat mampu mendegradasi surfaktan dalam air limbah industri shampoo sebesar hingga 99,84% dan COD sebesar 95,68%. Sistem aerasi-stripper ini merupakan salah satu alternatif yang lebih murah sebagai pengganti metode-metode lain dalam reduksi surfaktan dalam air limbah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi pengolahan air limbah *bakery* secara fisika-biologis (*stripper*-lumpur aktif) dalam skala *full-scale* hingga dapat memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan. Penggunaan unit *stripper* ini berfungsi sebagai pengganti *pretreatment* untuk mendemulsifikasi minyak-lemak yang terbentuk akibat adanya surfaktan, dimana limbah yang telah terpecah kestabilan emulsinya menjadi komponen minyak, organik, dan surfaktan akan diolah lebih lanjut dengan proses lumpur aktif.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Alat dan bahan

Air limbah industri *bakery* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan air limbah yang dihasilkan dari proses produksi. Volume limbah yang dihasilkan oleh industri tersebut adalah 3 m^3 /hari. Starter bakteri untuk lumpur aktif diambil dari unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dari salah satu industri minuman ringan di Kab. Semarang dengan MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solids*) sludge sebesar 6000-8000 mg/L. Pompa digunakan untuk mengatur aliran limbah dan *diffuser* digunakan untuk suplai udara pada unit aerasi dan lumpur aktif.

2.2. Karakteristik air limbah

Karakterisasi air limbah dilakukan untuk mengetahui karakter limbah sebelum diolah pada unit-unit IPAL. Parameter pengukuran yang digunakan dalam

karakterisasi air limbah dilakukan sesuai dengan Perda Jawa Tengah No. 5 Tahun 2012 tentang baku mutu air limbah untuk industri *bakery* yaitu TSS, BOD, COD, dan pH.

2.3. Desain eksperimen

Variabel waktu tinggal di unit aerasi-stripper ditentukan melalui proses uji coba di laboratorium menggunakan unit reaktor dengan volume kerja 2 L, dan menggunakan pompa peristaltik (*bench scale* Masterflex 7568-62) dengan variasi waktu tinggal 14, 24, 25, 26 dan 48 jam. Eksperimen dilakukan dengan menjalankan seluruh sistem secara kontinu.

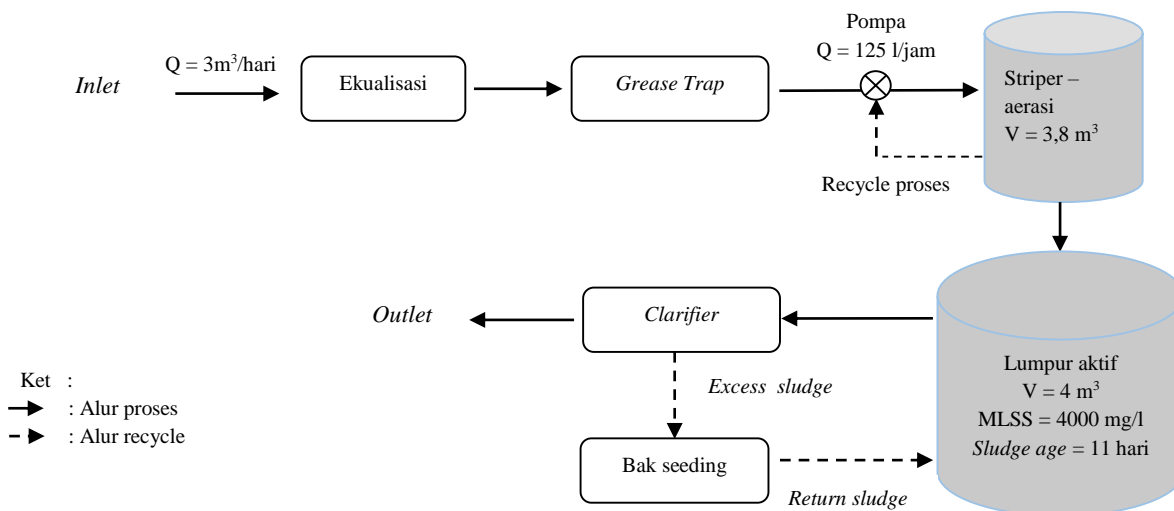
Pada uji coba full scale/operasional dilakukan perhitungan efisiensi penurunan kadar COD dan Surfaktan pada kompartemen *stripper* dan lumpur aktif didapatkan dengan menghitung persentase (%) pengurangan nilai sebelum memasuki dan setelah diolah pada masing-masing kompartemen. *Recycle* proses hanya dilakukan pada kompartemen *stripper*, *recycle* ini dilakukan dengan mengambil air limbah dari bak aerasi dengan menggunakan pompa Akuila AA-350, proses ini dilakukan sebanyak satu kali dengan tujuan untuk memaksimalkan degradasi surfaktan. Debit aliran limbah yang digunakan adalah 3 m^3 per hari. Pengambilan sampel air limbah dilakukan setiap pukul 17.30 WIB ketika seluruh proses produksi telah

selesai sehingga diharapkan kualitas dan kuantitas air limbah konsisten selama satu kali siklus pengolahan. Skema/diagram alir proses pengolahan limbah ditunjukkan pada Gambar 1.

2.4. Desain reaktor

Reaktor yang digunakan pada penelitian ini merupakan reaktor dengan skala penerapan/aplikasi. Unit *stripper* terdiri atas kolom *stripper* dan kompartemen aerasi. Kolom *stripper* berdimensi $0,6 \text{ m} \times 1,1 \text{ m} \times 3,2 \text{ m}$, sementara kompartemen aerasi berdimensi $1,7 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 1,05 \text{ m}$ dengan volume efektif sebesar $3,8 \text{ m}^3$. Penambahan kompartemen aerasi bertujuan untuk memaksimalkan pemecahan senyawa-senyawa emulsi yang terdapat pada air limbah. Udara untuk aerasi pada unit ini disupply dari blower dengan kekuatan 1 pk.

Unit lumpur aktif berdimensi $2,52 \text{ m} \times 1,7 \text{ m} \times 1,25 \text{ m}$ dengan volume efektif sebesar 4 m^3 , unit ini berada tepat setelah unit *stripper*, diantara kedua unit ini dipisahkan oleh bak antara untuk mencegah masuknya suspensi pada unit lumpur aktif. Titik outlet lumpur aktif dilengkapi dengan sekat/*baffle* untuk mencegah terikutnya flok-flok lumpur aktif.



Gambar 1. Diagram alir proses pengolahan air limbah industri bakery

Untuk keperluan desain awal unit lumpur aktif ditentukan dengan menggunakan perhitungan *sludge age*, F/M rasio, HRT dan volume limbah yang di hasilkan oleh industri. *Sludge age*/umur lumpur dihitung untuk mengetahui perkiraan waktu hidup efektif dari lumpur aktif yang digunakan, apabila telah memasuki masa kematian lumpur aktif maka diperlukan penambahan lumpur dari bak seeding. Pada saat operasional, MLSS pada lumpur aktif di atur pada nilai berkisar antara 4000-4500 mg/L, hal ini dilakukan agar menjaga efektifitas unit lumpur aktif tetap maksimal. Perhitungan persentase *sludge* yang harus dikembalikan dihitung menggunakan perhitungan % *return sludge*. Perhitungan *return sludge* dan *sludge age*/umur lumpur berdasarkan Gerardi (2002) adalah sebagai berikut:

$$\text{Sludge age} : \frac{MLSS \times \text{Volume reaktor}}{(TSS \text{ influen} \times \text{debit influen}) + (TSS \text{ effluen} \times \text{debit effluen})} \quad (1)$$

$$\% \text{ return sludge} = \frac{SVI \times 100}{1000 - SVI} \quad (2)$$

F/M rasio adalah rasio antara food/makanan dan mikroorganisme dalam unit lumpur aktif. F/M rasio ini sangat spesifik untuk tiap-tiap jenis limbah yang digunakan (Haandel dan Lubbe, 2012). Perhitungan F/M rasio lumpur aktif yang umum digunakan adalah menggunakan nilai BOD₅ inlet lumpur aktif dan MLVSS, namun kedua nilai tersebut akan sulit diterapkan pada saat proses operasional unit IPAL karena pengujian yang dilakukan memerlukan waktu yang cukup lama (5 hari untuk BOD₅). Oleh karena itu nilai BOD₅ dapat digantikan oleh nilai COD (Metcalf dan Eddy, 1991) dan nilai MLVSS dapat terwakili oleh nilai MLSS. Berikut adalah perhitungan yang digunakan :

$$F/M = \frac{COD \times \text{debit}}{MLSS \times \text{Volume reaktor}} \quad (3)$$

Untuk menentukan waktu tinggal atau HRT (*Hydraulic retention time*) efektif reaktor dilakukan perhitungan dan percobaan pada skala laboratorium dengan

melakukan aerasi pada lumpur aktif dengan menggunakan limbah asal sebagai substrat. Perhitungan HRT dilakukan berdasarkan Seviour dan Blackall (1999) adalah sebagai berikut :

$$HRT = \frac{\text{Volume reaktor} \times 24}{\text{debit}} \quad (4)$$

2.5 Analisa

Sampel air limbah diambil dari titik *inlet* dan *outlet* tiap unit dan dianalisa. Performa tiap unit dievaluasi menggunakan parameter COD dan surfaktan. Parameter lain, seperti BOD dan TSS dianalisa untuk mengetahui kualitas keluaran sistem terhadap baku mutu. Analisa COD dilakukan dengan metode refluks terbuka sesuai dengan SNI 06-6989.15-2004. Pengukuran surfaktan dilakukan dengan metode spektrofotometri (*metilen blue active substances*/MBAS) sesuai dengan SNI 06-6989.51-2005. Pengukuran parameter TSS menggunakan metode gravimetri sesuai dengan SNI 06-6989 3-2004. Pengukuran BOD₅ dilakukan dengan menggunakan metode titrimetri sesuai dengan SNI 06-6989.72-2009.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian karakterisasi air limbah yang dihasilkan oleh industri memiliki karakter tinggi kandungan organik, hal ini ditunjukkan dengan tingginya nilai COD dan BOD₅, hasil karakterisasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran parameter berdasarkan baku mutu Perda Jawa Tengah No. 5 tahun 2012

No	Parameter	Hasil Pengukuran (mg/L)	Baku mutu (mg/L)
1.	COD	4977	175
2.	TSS	448	85
3.	BOD ₅	1207	85
4.	pH	7,8	6-9

Untuk mengetahui waktu tinggal maksimal dalam mendegradasi air limbah menggunakan lumpur aktif maka

dilakukan uji coba aerasi lumpur aktif. Hasil uji coba aerasi lumpur aktif terhadap air limbah dapat dilihat pada gambar 2.

Dari hasil perhitungan (4) didapatkan HRT untuk limbah industri *bakery* adalah 32 jam. Selain berdasarkan perhitungan, dilakukan juga uji coba di laboratorium, dan didapatkan hasil bahwa efisiensi penurunan COD air limbah menggunakan lumpur aktif paling efektif adalah 24 jam, sedangkan setelah 24 jam penurunan COD tidak signifikan dan waktu tinggal 25-48 jam dinilai tidak lebih efektif dibandingkan dengan 24 jam dilihat dari efisiensi COD dan investasi yang diperlukan untuk pembuatan IPAL. Oleh karena itu digunakan waktu 24 jam sebagai acuan waktu tinggal (*hydraulic retention time*). F/M rasio pada unit lumpur aktif ini adalah 0,268, nilai tersebut merupakan nilai ideal untuk lumpur aktif dalam mengolah limbah industri *bakery* yang digunakan. Parameter F/M merupakan salah satu parameter untuk memonitoring efisiensi proses dari unit lumpur aktif.

Berdasarkan keterangan pihak industri, surfaktan yang digunakan adalah berjenis SDS, sehingga air limbah yang digunakan pada proses pengolahan ini didominasi oleh surfaktan berjenis *Sodium dodecylbenzene sulphonate* (SDS). SDS merupakan salah satu jenis surfaktan anionik yang termasuk dalam grup *linear alkylbenzene sulphonate* (LAS). Surfaktan anionik umumnya dapat didegradasi secara biologis pada lumpur aktif, namun penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa SDS dapat mempengaruhi morfologi, kuantitas dan kualitas biomassa flok lumpur aktif (Liwarska-bizukoje & Bizukoje 2006). Selain itu, surfaktan dalam air limbah dapat membentuk emulsi dengan minyak-lemak. Emulsi yang terbentuk oleh surfaktan bersifat stabil sehingga akan lebih sulit terolah pada sistem pengolahan secara aerobik. Oleh karena itu diperlukan *pretreatment* untuk mengurangi konsentrasi surfaktan dan mendemulsifikasi air limbah sebelum diolah dengan lumpur aktif.

Degradasi Surfaktan dan senyawa organik pada Unit *Stripper*

Berdasarkan penelitian Sartamtomo et al (2008), pengolahan air limbah yang mengandung surfaktan SDS pada skala laboratorium menggunakan metode sistem aerasi-*stripper*-lumpur aktif dapat menurunkan surfaktan hingga 99,84% dan COD sebesar 95,68%. Efisiensi penurunan kadar surfaktan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Efisiensi penurunan surfaktan berkisar antara 14% - 80% (Gambar 3), perbedaan persentase efisiensi tersebut disebabkan oleh fluktuasi kualitas air limbah yang dihasilkan oleh industri tersebut, data yang disajikan pada tabel 1 merupakan gambaran umum mengenai inlet air limbah industri *bakery* yang digunakan. Penurunan kadar surfaktan terendah terjadi pada hari ke 6 dimana penurunan yang terjadi hanya sebesar 14 %, rendahnya penurunan surfaktan ini terjadi karena adanya *shock loading* pada hari ke 6 sehingga sistem tidak dapat berjalan dengan baik. Untuk memulihkan kondisi sistem lumpur aktif yang menurun karena *shock loading* maka dilakukan penambahan lumpur aktif dari bak seeding hingga MLSS sistem menjadi 4000-4500 mg/L agar sistem dapat kembali optimal dan stabil.

Efisiensi penurunan kadar surfaktan menggunakan sistem *stripper*-aerasi menunjukkan bahwa sistem ini dapat mengolah surfaktan yang terkandung dalam air limbah hingga konsentrasi 252,2 mg/L. *Stripper* merupakan sebuah unit pengolahan limbah berbentuk kolom dan memiliki sekat-sekat di dalamnya. Sekat-sekat tersebut berfungsi sebagai bidang kontak untuk memecah emulsi-emulsi surfaktan secara fisik, kontak fisik antara surfaktan dengan plat-plat *stripper* menyebabkan molekul surfaktan melepaskan gugus sulfonat yang kemudian terdegradasi menjadi gugus sulfat (Sartamtomo dkk., 2008).

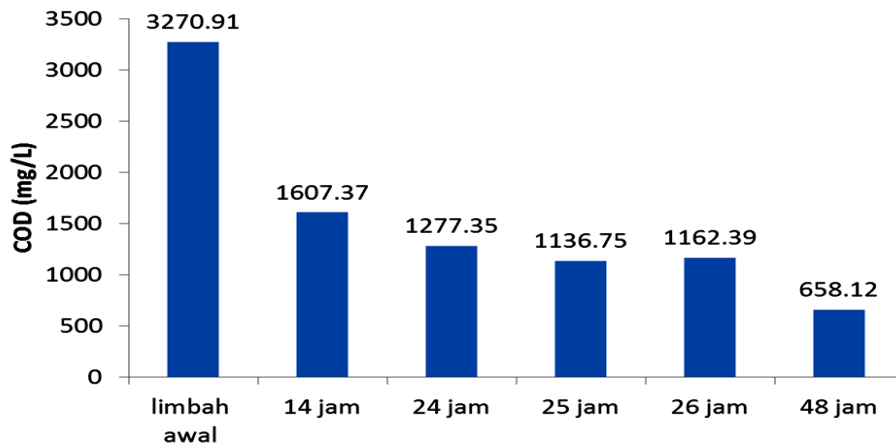
Dari hasil pengukuran COD pada unit *stripper* menunjukkan efisiensi penurunan COD dalam air limbah cukup tinggi berkisar antara 51%-96% (Gambar 4). Penurunan COD yang cukup tinggi ini disebabkan karena surfaktan yang mendominasi air limbah tersebut telah mengalami degradasi, adapun beberapa senyawa organik yang terpecah menjadi senyawa-senyawa volatil yang

menguap sehingga menurunkan kadar COD pada air limbah yang telah diolah pada unit *stripper*.

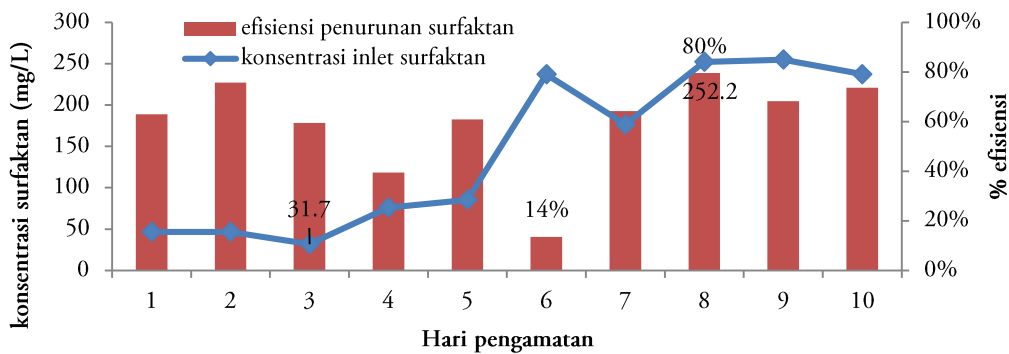
Degradasi senyawa organik pada unit lumpur aktif

Efek surfaktan terhadap pembentukan dan regenerasi flok-flok lumpur aktif telah dijelaskan oleh banyak peneliti, diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Liwarska-bizukojc dan Bizukojc (2006) yang menunjukkan adanya perubahan bentuk morfologis dan kualitas flok lumpur aktif yang terpapar oleh surfaktan. Surfaktan memiliki sifat sebagai agen pendispersi, ketika terjadi kontak antara surfaktan dan partikel flok maka ikatan-ikatan di dalam flok akan melemah dan akan memecah flok menjadi partikel-partikel yang lebih kecil (Gerardi, 2002). Dispersi flok lumpur aktif ini akan berdampak pada ketidakstabilan keanekaragaman mikroorganisme dalam lumpur aktif sehingga efektifitas dari proses lumpur aktif tersebut akan menurun.

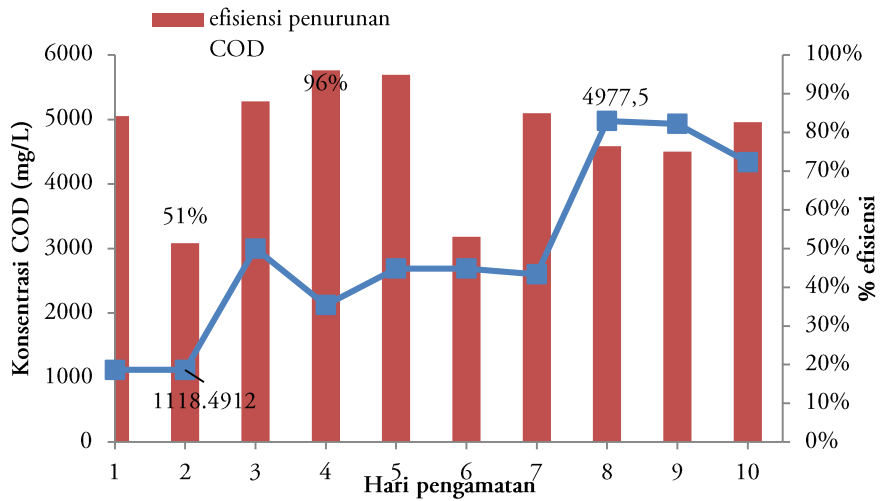
Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa efisiensi penurunan COD pada unit lumpur aktif berkisar antara 33-79%. Terdapat fluktuasi penurunan kadar COD pada pengamatan hari ke-3 dan 4, fluktuasi yang terjadi pada hari ke 3 dan ke 4 terlihat sangat tinggi sehingga sistem lumpur aktif mengalami *shock loading* (kenaikan COD influen dari 176 ke 3273 mg/L) dan hal ini sangat berpengaruh terhadap laju degradasi COD pada unit lumpur aktif. Mengingat beban limbah masuk yang sangat fluktuatif di unit lumpur aktif, proses penyegaran sludge dilakukan dengan memperhitungkan usia sludge (*sludge age*). Berdasarkan perhitungan, diketahui bahwa usia sludge/*sludge age* adalah 11 hari, sehingga apabila diperlukan maka proses penyegaran perlu dilakukan pada hari ke 9, sebelum sludge mati (*bulking*). Proporsi sludge yang dikembalikan dari bak seeding ke unit lumpur aktif adalah sebanyak 25% (% *return sludge*) berdasarkan perhitungan (2).



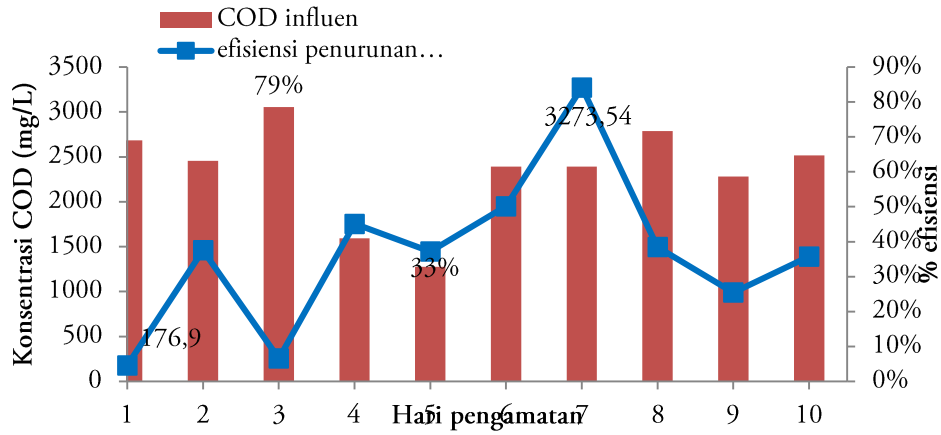
Gambar 2. Hasil percobaan aerasi limbah



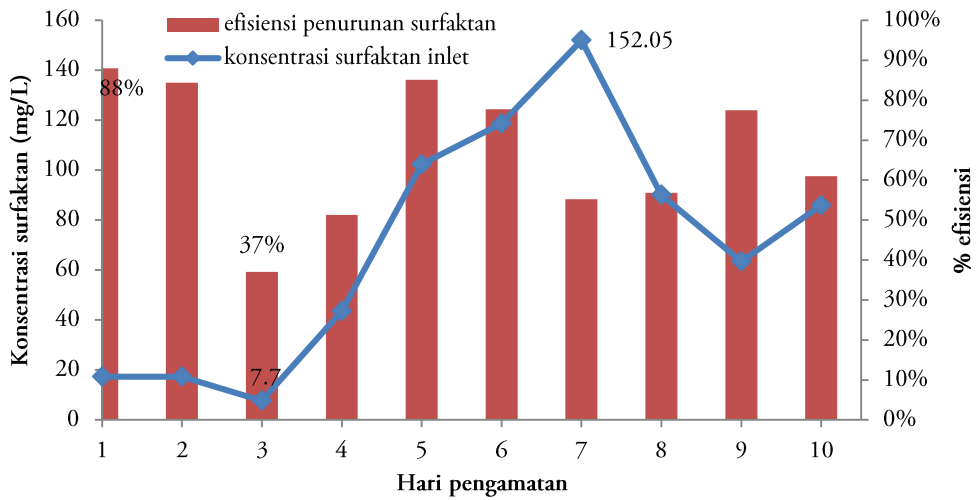
Gambar 3. Persentase penurunan kadar surfaktan pada unit *stripper*



Gambar 4. Efisiensi penurunan COD pada unit stripper



Gambar 5. Efisiensi penurunan kadar COD pada unit lumpur aktif



Gambar 6. Efisiensi penurunan surfaktan dalam lumpur aktif

Selain disebabkan oleh tingginya fluktuasi yang terjadi, penyebab lain dari penurunan efisiensi degradasi COD ini dipengaruhi juga oleh tingginya surfaktan yang masuk kedalam unit lumpur aktif. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Dereszewska dkk., (2015) menunjukkan bahwa surfaktan pada konsentrasi tinggi dapat membentuk gugus kompleks dengan substrat organik, sehingga substrat yang dibutuhkan sebagai sumber karbon oleh mikroorganisme untuk mengolah air limbah akan berkurang dan menurunkan efektifitas proses biologis. Pada konsentrasi rendah surfaktan dapat berperan sebagai substrat energi bagi mikroorganisme sehingga dapat menstimulasi degradasi polutan pada proses pengolahan di lumpur aktif (Karray dkk., 2016).

Gambar 6 menunjukkan bahwa sistem lumpur aktif memiliki efisiensi yang cukup tinggi dalam mendegradasi senyawa surfaktan yaitu berkisar antara 37%-88%. Efisiensi terendah yaitu 37% terjadi pada hari ke-3 dimana kadar surfaktan dalam unit lumpur aktif berjumlah sangat kecil yaitu 7,7 mg/L sehingga pengurangan kadar surfaktan tidak akan signifikan. Pada kadar surfaktan tersebut maka prevalensi degradasi bakteri maupun mikroorganisme pada lumpur aktif akan lebih dominan pada substrat utama yang senyawa-senyawa organik. Penurunan efisiensi terjadi lagi pada hari ke-7 dimana konsentrasi surfaktan terhitung sebanyak 152,05 mg/L dan efisiensi degradasi surfaktan sebesar 55%, hal ini menunjukkan bahwa pada kadar surfaktan 152,05 mg/L merupakan kadar yang tidak dapat didegradasi secara maksimal. Tingginya kadar surfaktan ini akan mengganggu proses degradasi secara keseluruhan. Efisiensi degradasi surfaktan yang paling tinggi terjadi pada hari ke-5 dimana kadar surfaktan inlet sebesar 102,35 mg/L dan efisiensi degradasi sebesar 85%, ini menunjukkan bahwa unit lumpur aktif dapat mendegradasi surfaktan hingga kadar 102 mg/L.

Hasil pengukuran effluent (Tabel 2) menunjukkan bahwa pengolahan air limbah industri *bakery* menggunakan sistem *stripper*-lumpur aktif memiliki efisiensi pengolahan sebesar 98,9% untuk COD, TSS sebesar 87,9%, dan BOD₅ sebesar 96,4% dibandingkan dengan inlet air limbah yang di proses (Tabel 1).

Tabel 2. Hasil pengukuran effluent

No.	Parameter	Hasil Analisa	Baku Mutu
		Kadar (mg/L)	Kadar Maks (mg/L)
1	TSS	54	85
2	BOD	42,78	85
3	COD	54,7	175
4	pH	8,3	6 – 9

4. KESIMPULAN

Penggunaan *stripper* sebagai salah satu alternatif pengolahan untuk menurunkan kadar surfaktan dalam air limbah telah terbukti dapat menurunkan konsentrasi surfaktan hingga 80% dalam air limbah industri *bakery*. Penurunan konsentrasi surfaktan dalam air limbah dapat mencegah terjadinya gangguan pada pengolahan secara biologis, sehingga proses pengolahan secara biologis dapat berjalan dengan baik.

Sistem pengolahan *Stripper*-lumpur aktif dalam mengolah air limbah industri *bakery* memiliki efisiensi yang tinggi yaitu sebesar 98,9% untuk COD, TSS sebesar 87,9%, dan BOD₅ sebesar 96,4%, hasil pengolahan tersebut memenuhi baku mutu yang telah dipersyaratkan. Pengolahan air limbah dengan menggunakan sistem *stripper*-lumpur aktif dapat direkomendasikan untuk diterapkan di industri *bakery*, maupun industri lain khususnya yang mengandung surfaktan tinggi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pembimbing penulisan Dr. Haznan Abimanyu, Dipl. Eng yang telah memberikan masukan dan saran, juga pada kepala pejabat struktural yang telah memberikan kesempatan pada kami untuk melakukan riset, dan juga terimakasih pada penyelia dan analis laboratorium BBTPPI Semarang.

DAFTAR PUSTAKA

Bitton, G., 2010. *Wastewater Microbiology: Fourth Edition*, Wiley-Liss. ISBN: 978-0-470-63033-4

- Chen, J. Paul, Lei Yang, dan Renbi Bai, 2006, *Waste Treatment in the Food Processing Industry*, Taylor and Francis Group, CRC PRESS.
- Dereszewska A., Cytawa S., Tomczak-Wandzel R., Medrzycka K., 2015, The Effect of Anionic Surfactant Concentration on Activated Sludge Condition and Phosphate Release in Biological Treatment Plant, *Polish Journal of Environmental Studies* 24 (1): 83–91.
- Eichhorn P., Rodrigues SV., Baumann W., Knepper TP., 2002, Incomplete Degradation of Linear Alkylbenzene Sulfonate Surfactants in Brazilian Surface Waters and Pursuit of Their Polar Metabolites in Drinking Waters, *Science of The Total Environment* 284 (1-3): 123–134.
- Feng L., Zhongyi Zhang, Zhenhong Mai, Yongmei Ma, Biqian Liu, Lei Jiang, dan Daoben Zhu, 2004, A Super-Hydrophobic and Super-Oleophilic Coating Mesh Film for the Separation of Oil and Water, *Angewandte Chemie* 116 (15). WILEY-VCH Verlag: 2046–2048.
- Gerardi MH., 2002, *Settleability Problems and Loss of Solids in the Activated Sludge Process*, *Wastewater Microbiology Series*. Vol. 1. New Jersey: Wiley-Interscience.
- Haandel, A.C. van dan Lubbe, J.G.M. van der, 2012, *Handbook of Biological Wastewater Treatment*, Second Edition, IWA Publishing, ISBN 978-17-804-0080-8
- Karpati I, Bencze L, Borszerki L. R, (1995), New process for physico chemical pretreatment of dairy effluents with agricultural use of sludge produced, *Water Sci. Technol* 22:93-100.
- Karray F., Mezghani M., Mhiri N., Djelassi B., Sayadi S., 2016, Scale-down studies of membrane bioreactor degrading anionic surfactants wastewater: Isolation of new anionic-surfactant degrading bacteria. *International Biodeterioration & Biodegradation* 114:14-23.
- Liu M., Jing L., Zhiguang G., 2016, Polyaniline Coated Membranes for Effective Separation of Oil-in-Water Emulsions, *Journal of Colloid And Interface Science*, Elsevier Inc. 467: 261–70.
- Liwarska-Bizukojc E., Bizukojc M., 2006, Effect of Selected Anionic Surfactants on Activated Sludge Flocs, *Enzyme and Microbial Technology*, Elsevier Inc. 39: 660–68.
- Metcalf dan Eddy, 1991, *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. Third Edition, Mc Graw-Hill Int Editions, ISBN 0-07-100824-1
- Othman, Maazuza Z, Liqiang Ding, dan Yi Jiao, 2009, Effect of Anionic and Non-Ionic Surfactants on Activated Sludge Oxygen Uptake Rate and Nitrification, *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering* 3 (10): 596–602.
- Sartantomo, Rifai M., Marlina B., (2008). *Pengembangan Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri Deterjen Sistem Aerasi Bertingkat*, *Maj. Ilm*, Sultan Agung, XXXVIII.
- Seviour RJ., dan Black LL., *The Microbiology of Activated Sludge*. First Edition. Kluwer academic publisher. ISBN 978-94-001-3951-9
- Scott MJ., dan Jones MN., 2000, *The Biodegradation of Surfactants in the Environment*, *Biochimica et Biophysica Acta*. Elsevier Inc. 1508: 235-251.
- SNI 06-6989.15-2004. *Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (KOK) Refluks Terbuka dengan Refluks Terbuka Secara Titrimetri*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- SNI 06-6989.51-2005. *Cara Uji Kadar Surfaktan Anionik dengan Spektrofotometer secara Metilen Blue*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- SNI 06-6989.3-2004. *Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solid, TSS) secara Gravimetri*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- SNI 06-6989.72-2009. *Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/BOD)*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- Sutton PM., Mishra PN., dan Crawford PM., 1994, *Combining Biological and Physical Processes for Complete Treatment of Oily Wastewaters Addition at*,

- International Biodeterioration & Biodegradation. Elsevier Inc. 33: 3–21.
- Tomczak-Wandzel R., Dereszewska A., Cytawa S., Medrzycka K., 2009, The Effect of Surfactant on Activated Sludge Process, Joint Polish-Swedish Reports 16 : 1–8.
- Vidal G., Carvalho A., 2000, Influence of the Content in Fats and Proteins on the Anaerobic Biodegradability of Dairy Wastewaters, *Bioresource Technology* 74: 231–39.
- Wang D., McLaughlin E., Pfeffer R., Lin YS., 2012, Adsorption of Oils from Pure Liquid and Oil-Water Emulsion on Hydrophobic Silica Aerogels, Separation and Purification Technology. Elsevier B.V. 99: 28–35.
- Zhang, Weijun, Ping Xiao, and Dongsheng Wang. 2014. “Bioresource Technology Central Treatment of Different Emulsion Wastewaters by an Integrated Process of Physicochemically Enhanced Ultrafiltration and Anaerobic–Aerobic Biofilm Reactor.” *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd 159: 150–156.



JRT PPI 7 (2) (2016)

**Jurnal Riset
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri**

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

**Kementerian
Perindustrian**
REPUBLIK INDONESIA

Pengaruh waktu kontak terhadap daya adsorpsi karbon aktif pada pengembangan teknologi proses purifikasi biogas

The influence of contact time on activated carbon adsorption toward the development of biogas purification

Nani Harihastuti*, Silvy Djayanti, Rame

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 3 Agustus 2016

Disetujui 8 Agustus 2016

Dipublikasikan online

23 November 2016

Keywords :

Contact time

Adsorption

Activated Carbon

Purification

Biogas

ABSTRAK

Penggunaan biogas sebagai bahan bakar secara langsung sering menimbulkan permasalahan yaitu terjadi bau tidak sedap, peralatan logam dan kompor cepat berkarat, dinding dapur terkikis dan nyala api sering padam. Hal ini disebabkan karena di dalam biogas terkandung gas-gas impurities seperti H_2S , NH_3 , CO_2 , dan uap air (H_2O) yang dapat menurunkan nilai kalori dari biogas dan merugikan lingkungan serta kesehatan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghilangkan gas impurities melalui proses purifikasi, sehingga diperoleh biogas yang mempunyai nilai kalor tinggi dan ramah lingkungan. Metode yang dilakukan dengan proses adsorpsi menggunakan adsorben karbon aktif dengan variabel waktu kontak, untuk mendapatkan daya adsorpsi yang optimum dari karbon aktif terhadap gas impurities yang ada dalam biogas. Hasil penelitian diperoleh data-data penghilangan/reduksi gas impurities H_2S mencapai 99,99%, dari 4200 ppm menjadi 0,22 ppm, penghilangan gas NH_3 mencapai 94,96%, dari 12,7 ppm menjadi 0,65 ppm, penghilangan gas CO_2 mencapai 77,48%, dari 30,77 % menjadi 6,93 %, penghilangan uap air (H_2O) mencapai 97,95%, dari 0,584 mg/L menjadi 0,012 mg/L. Kenaikan konsentrasi metana (CH_4) dari 38,2 % menjadi 84,12 %. Hasil purifikasi metana (CH_4) dari biogas ini merupakan sumber energi terbarukan yang aman dan ramah lingkungan serta dapat di kembangkan lagi penerapannya di IKM tahu lainnya. Waktu jenuh adsorben karbon aktif diperoleh setelah 48 jam proses purifikasi berlangsung. Daya adsorpsi karbon aktif terhadap komponen gas impurities adalah sebagai berikut : 10,98 mg H_2S /gram karbon aktif/menit, 0,016 mg NH_3 /gram karbon aktif/menit, dan 0,090mg CO_2 /gram karbon aktif/menit.

ABSTRACT

Direct utilization of biogas as fuel often cause problems, i.e bad odor, metal corrosive, wall erosion and frequent fire extinguished. This is due to the presence of gas impurities in biogas such as H_2S , NH_3 , CO_2 , H_2 , CO and water vapor (H_2O), which will lower the value of calories from biogas and detrimental to the environment and health. The purpose of this research is to eliminate impurities gases, through a process called gas purification, until higher heat value of biogas is achieved. The Methods were undertaken by adsorption process using activated carbon adsorbent with variable time contacts, to obtain the optimum adsorption power of activated carbon toward gas impurities that are present in wastewater. The results showed that removal/reduction of H_2S of 99.99% was obtained, from 4200 ppm to 0.22 ppm, NH_3 removal reached 94.96%, from 12.7 ppm to 0.65 ppm, CO_2 removal reached 77.48%, from 30, 77% to 6.93%, water vapour (H_2O) removal reached 97.95%, from 0.584 mg/L to 0.012 mg/L, which increased methane concentration (CH_4) from 38.2% to 84.12%. This methane purification technology is renewable energy sources that is safe and environmentally friendly and also can be developed in other industries, i.e tofu industries. The saturation of activated carbon adsorbents obtained after 48 hours. Adsorption of each impurities gas components by activated carbon are written as follows: 10.98 mg H_2S /gram activated carbon/minute, 0.016 mg NH_3 /gram of activated carbon/minute, 0.090 mg CO_2 /gram activated carbon/minute.

© 2016 BBT PPI. All rights reserved.

*Alamat korepondensi :

E-mail : nanisocharto@yahoo.com (N. Harihastuti)

1. PENDAHULUAN

Biogas adalah bioenergi yang sifatnya mudah terbakar yang dihasilkan dari proses penguraian bahan organik oleh bakteri/mikroorganisme secara *anaerobic* (tanpa udara) dengan melalui beberapa tahapan proses (Soerawidjaja, 2006). Energi biogas merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat dihasilkan dari proses digestasi berbasis air limbah tahu dan dapat dimanfaatkan untuk industri itu sendiri (Kwartiningsih, 2007) dan (Sadzali, 2010).

Berbagai permasalahan yang dihadapi industri kecil menengah tahu selain masalah harga bahan baku kedelai, juga masalah harga bahan bakar minyak. Hal ini sangat berpengaruh pada volume produksi tahu. Selain kedua masalah tersebut, masalah limbah cair yang dihasilkan oleh industri tahu, oleh para pengrajin tahu pada skala industri rumah tangga (kecil), banyak yang tidak mampu untuk membiayai proses pengolahan limbah cair yang baik (Sadzali, 2010).

Suatu pemikiran apabila air limbah industri tahu dimanfaatkan, diolah dalam digester untuk menghasilkan biogas, maka akan diperoleh keuntungan ganda, yaitu menghasilkan sumber energi terbarukan yang dapat digunakan pada industri tahu itu sendiri, juga dapat mengendalikan pencemaran lingkungan perairan (Hozairi dkk., 2012).

Penggunaan biogas sebagai bahan bakar secara langsung sering menimbulkan permasalahan yaitu terjadi bau tidak sedap, peralatan logam dan kompor cepat berkarat, dinding dapur terkikis dan nyala api sering padam sendiri (Muryanto dkk, 2006). Menurut Harihastuti dkk (2010), proses digestasi air limbah tahu akan menghasilkan biogas yang didalamnya selain metana (CH_4) juga terkandung gas-gas lain H_2S , NH_3 , CO_2 , H_2 , CO dan uap air (H_2O). Hasil Analisis Laboratorium BBT PPI, 2010 kandungan biogas : (CH_4) sebesar 53,45-56,89%, karbondioksida (CO_2) 31,48-34,10%, hidrogen sulfida (H_2S) 6,04-10,69%, amoniak (NH_3) 0,001-0,003%, karbon monoksida (CO) 0,0027-0,0030%, uap air 2,17-3,37%, dan gas lainnya 0,80-1,0 %. Beberapa gas yang bersifat impurities dan berbahaya bagi

lingkungan adalah H_2S dan NH_3 yang disyaratkan keberadaannya di lingkungan sesuai dengan PP. No.41 Tahun 1999 dan Kep-50/MenLH/11/1996), selain itu komponen gas CO_2 merupakan pemicu efek gas rumah kaca (Protokol Kyoto, 2007) dan uap air (H_2O) juga akan menurunkan nilai kalori dari biogas sebagai gas pembakar yang mempunyai komponen terbesar CH_4 . Gas-gas impurities harus dihilangkan untuk memperoleh biogas sebagai bahan bakar yang mempunyai nilai kalor tinggi dan ramah lingkungan (Biernat dan Samson-Brek, 2011).

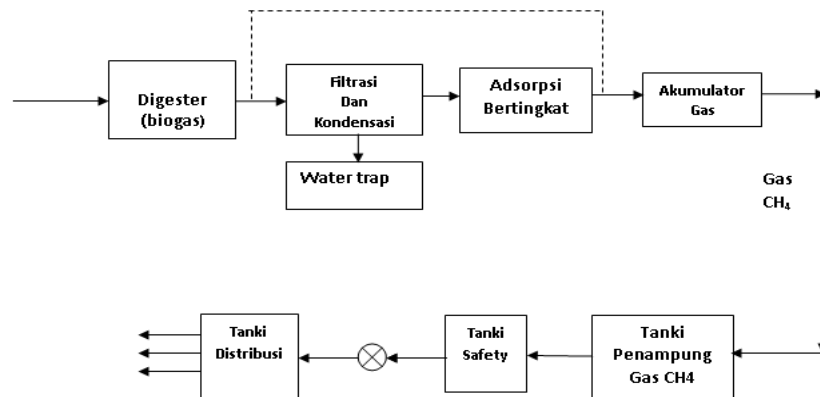
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh data awal kualitas komponen biogas berbasis air limbah tahu setelah proses anaerob dan keluar digester, memperoleh data kemampuan penyerapan adsorben karbon aktif untuk menghilangkan gas impurities (H_2S , NH_3 , CO_2) dan untuk memperoleh kondisi operasi terbaik proses purifikasi dengan unit peralatan purifikasi yang telah terpasang di salah satu pengrajin tahu sumber rejeki tahun 2011 dengan beberapa penyempurnaan (Harihastuti dkk., 2011).

2. METODE PENELITIAN

2.1. Bahan dan Alat

Bahan penelitian biogas diperoleh dari keluaran digester pengolahan air limbah tahu proses anaerob, bahan kimia digunakan untuk analisis komponen biogas sebelum dan sesudah proses purifikasi (H_2S , NH_3 , CO_2 dan uap air/ H_2O), bahan adsorben karbon aktif yang digunakan untuk proses purifikasi, berbentuk granul ukuran mesh 6 x 12 mm.

Peralatan penelitian berupa satu unit rangkaian peralatan purifier biogas yang terpasang di salah satu pengrajin tahu terdiri dari kondensor, *water trap*, *adsorber*, akumulator, *storage tank* dan *safety tank* dengan kelengkapan *flow rate*, thermo indikator, *pressure control*, manometer serta *safety valve*. Selain itu peralatan untuk pengambilan sampel dan analisis biogas: *impinger set*, *gas chromatografi*, *gastec tube detector*, *bag sampler*, *vacum pump*, *balance*, konektor, spektrofotometer, *weather station* dan *stop watch*.



Gambar 1. Rangkaian peralatan proses purifikasi biogas

2.2. Prosedur Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di salah satu pabrik tahu dengan skala Industri Kecil Menengah (IKM) yang terletak di Kartosuro, dengan kapasitas produksi 300-400 kwintal kedelai perhari. Pabrik tahu tersebut telah mempunyai digester biogas yang telah beroperasi secara kontinue dan telah mencapai kondisi *steady state*.

Biogas yang keluar dari digester masih mengandung gas impuritis dan uap air yang menyebabkan penurunan nilai kalori dan pencemaran lingkungan sehingga perlu dilakukan upaya penghilangan gas impurities tersebut sebelum digunakan sebagai bahan bakar yaitu dengan proses pemurnian (purifikasi).

Proses purifikasi dilakukan secara kontinue dengan metode adsorpsi menggunakan adsorben karbon aktif yang dilakukan secara bertingkat (Siriwardane at all, 2001 a, 2001 b), dengan variabel waktu kontak biogas dengan karbon aktif yang diproses secara kontinyu. Penghilangan kandungan uap air (H_2O) dilakukan dengan proses kondensasi. Gas H_2S , NH_3 dan CO_2 dihilangkan dengan proses adsorpsi bertingkat.

Hasil purifikasi ditampung sementara dalam akumulator kemudian disimpan dalam tangki *storage* yang siap didistribusikan ke pengguna. Tangki *storage* dilengkapi dengan *solenoid valve* untuk mengatur aliran penyimpanan gas berdasarkan kompresi/tekanan gas dalam tangki serta mengatur aliran gas keluar tangki secara otomatis dengan Prinsip."NO CLOSED". Volume 1000 liter ($1m^3$), tekanan maximum 10 Bar, minimum 4,5 Bar. Setelah tekanan *storage tank* mencapai 10 bar, maka aliran gas secara otomatis mengalir ke pengguna, dan setelah tekanan

turun sampai 4,5 Bar maka *valve* solenoid akan terbuka, gas bersih dari tangki akumulator secara otomatis akan masuk ke tangki *storage*.

Setelah melewati tangki penampung, gas metan masuk ke tangki *safety* yang berfungsi sebagai pengaman kalau kemungkinan terjadi ada percikan api disekitarnya, dirancang tidak dapat balik masuk ke tangki *storage/penyimpanan*. Pada tangki *safety* 40% diisi air bersih. Selanjutnya tangki distribusi untuk mengalirkan gas metana bersih ke pengguna disiapkan dengan 5 (lima) saluran pengguna.

Analisis gas hasil purifikasi dilakukan setiap 3 jam sekali hingga tercapai waktu jenuh adsorben. Data tersebut digunakan sebagai dasar perhitungan daya reaktif karbon aktif dalam penyerapan setiap komponen gas impurities yang terkandung dalam campuran biogas (H_2S , NH_3 , CO_2) persatuan waktu dengan formula neraca massa impuritis gas.

$$Fin.Cin - Fout.Cout = \frac{d(q.W)}{dt}$$

Keterangan :

Fin = laju alir gas impurities masuk (L/menit)

$Fout$ = laju alir gas impurities keluar (L/menit)

Cin = konsentrasi gas impurities masuk (mg/Nm³)

$Cout$ = konsentrasi gas impurities keluar (mg/Nm³)

q = jumlah gas impurities teradsorpsi mg / gram adsorben

W = berat adsorben yang digunakan (gram)

dt = perubahan waktu adsorpsi (menit)

(Siriwardane dkk., 2001 a, 2001 b)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Analisis Karakteristik Biogas yang akan diolah.

Sebelum proses purifikasi, dilakukan analisis bahan baku biogas keluar dari digester pengolahan air limbah tahu proses anaerob yang sudah *steady state*. Adapun hasil dari karakteristik biogas seperti berikut dibawah ini :

Tabel 1. Hasil analisis karakteristik biogas yang akan diolah

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1.	Flowrate biogas masuk Purifier	L/menit	47
2.	Flowrate biogas keluar Purifier	L/menit	25,5
3.	Metana (CH ₄)	%	38,2
4.	Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	Ppm	4200
5.	Karbon Dioksida (CO ₂)	Ppm	30,77
6.	Amoniak (NH ₃)	12,70	12,70
7.	Uap Air (H ₂ O)	mg/liter	584

Karakteristik biogas tersebut diatas digunakan sebagai asumsi kondisi awal sebelum proses purifikasi berlangsung. Konsentrasi H₂S pada biogas 4200 ppm dan NH₃ sebesar 12,7 ppm. Nilai ambang batas H₂S adalah 2 ppm dan NH₃ adalah 0,2 ppm (KEP-50/MENLH/11/1996), sehingga harus di hilangkan, dalam penelitian ini melalui proses purifikasi. Berikut adalah hasil analisis gas-gas impurities keluar adsorber setelah proses purifikasi. Analisis dilakukan pada setiap variabel waktu kontak 3 (tiga) jam sekali.

3.2 Pengaruh Waktu kontak terhadap keluaran gas impurities dari absorber

a. Gas NH₃ (Amoniak) dan Gas H₂S (Hidrogen Sulfida)

Hasil analisis penurunan konsentrasi gas impurietis NH₃ dan H₂S ditunjukkan pada tabel 2. Hasil analisis konsentrasi NH₃ pada awalnya 12,7 ppm dan konsentrasi H₂S pada awalnya 4200 ppm, setelah mengalami proses adsorpsi terlihat keduanya mempunyai kecenderungan menurun, Untuk NH₃ pada sampel ke -16 sampai sampel ke-18 telah menunjukkan hasil yang konstan 0,65 ppm sampai dengan 0,64 ppm. Hal ini disebabkan oleh

terjerapnya gas tersebut ke dalam rongga pori karbon aktif, sehingga semakin lama waktu kontak akan terjadi deposit senyawa gas masuk ke pori pori karbon aktif tersebut, sampai terjadi kejenuhan (Hamidi dkk., 2011).

Tabel 2. Hasil analisis konsentrasi gas NH₃ dan H₂S setelah purifikasi.

Pengambilan sampel waktu ke-	KONSENTRASI GAS			
	NH ₃ (ppm)	NH ₃ (%)	H ₂ S (ppm)	H ₂ S (%)
0 (awal)	12,71	0,001271	4200	0,42
1	12,22	0,001222	3000	0,30
2	6,61	0,000661	2800	0,28
3	3,50	0,000350	2600	0,26
4	2,99	0,000299	2500	0,25
5	2,85	0,000285	1000	0,10
6	2,67	0,000267	27,48	0,002748
7	2,65	0,000265	20,65	0,002065
8	2,65	0,000265	15,44	0,001544
9	2,21	0,000221	9,54	0,000954
10	2,15	0,000215	7,21	0,000721
11	2,13	0,000213	4,27	0,000427
12	2,09	0,000209	0,23	0,000023
13	2,05	0,000205	0,25	0,000025
14	2,00	0,000200	0,22	0,000022
15	1,76	0,000176	0,21	0,000021
16	0,65	0,000065	0,20	0,000020
17	0,64	0,000064	0,19	0,000019
18	0,64	0,000064	0,20	0,000020

Untuk reduksi konsentrasi H₂S konstan pada hasil analisis pengambilan sampel ke 16 sampai ke 18 yaitu 0,20 ppm sampai 0,19 ppm yang mana telah menunjukkan kecenderungan konstan.

Konsentrasi kedua gas H₂S dan NH₃ hasil purifikasi terlihat konstan mulai pengambilan sampel ke 16, berarti adsorben telah mencapai waktu jenuh pada proses purifikasi yang telah berlangsung 3x16 jam = 48 jam. Adsorben karbon aktif dapat segera diganti untuk diaktifasi atau di regenerasi kembali (Alwathan dkk., 2013). Regenerasi dilakukan dengan memanaskan adsorben karbon aktif pada suhu 300°C selama 2 jam. Proses purifikasi tetap dapat berlangsung dengan memindahkan *switch* ke *line* kedua.

b. Gas Karbon Dioksida (CO₂)

Berikut adalah data persentase kandungan gas karbon dioksida CO₂ dalam biogas setelah mengalami purifikasi ditampilkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil analisis konsentrasi gas CO₂ setelah proses purifikasi

Pengambilan Sampel Waktu Ke-	Konsentrasi CO ₂ (%)
0 (awal)	30,77
1	30,09
2	29,02
3	28,93
4	28,73
5	28,36
6	27,9
7	27,78
8	26,01
9	25,71
10	25,04
11	24,70
12	21,02
13	19,89
14	16,95
15	16,88
16	7,43
17	6,93
18	6,90

Dari Tabel 3 diatas menunjukkan hasil analisis gas Karbon Dioksida (CO₂) yang terkandung pada biogas mula-mula sebelum dilakukan proses purifikasi yaitu 30,77 %, kemudian terjadi pengurangan kandungan gas Karbon dioksida (CO₂) pada biogas setelah mengalami proses adsorpsi. Hasil analisis CO₂ pada sampel ke 17 (tujuh belas) terlihat sudah mencapai reduksi optimal dengan konsentrasi turun menjadi 6,93%, berarti telah mencapai waktu kontak 17x 3 jam = 51 jam dengan penurunan sebesar 77,48 %. Besarnya nilai reduksi CO₂ disebabkan karena karbon aktif mempunyai pH basa, sedangkan gas CO₂ bersifat asam, sehingga menyerap cukup baik kedalam pori-pori karbon aktif untuk gas impurities CO₂ (Widyastuti dkk., 2013) yang ditunjukkan pada hasil ujicoba tersebut diatas. Saat ini suatu indikasi karbon aktif telah mengalami kejenuhan

setelah proses adsorpsi 51 (lima puluh satu) jam proses purifikasi maka adsorben karbon aktif dapat segera diganti untuk diaktifasi atau di regenerasi kembali. Regenerasi dilakukan dengan memanaskan adsorben karbon aktif pada suhu 300°C selama 2 jam. Proses purifikasi tetap dapat berlangsung dengan memindahkan *switch* ke *line* kedua.

Untuk penentuan waktu jenuh adsorben karbon aktif pada proses purifikasi ini dipilih waktu terpendek dari waktu jenuh yang diperoleh masing masing jenis gas impurities H₂S, NH₃ dan CO₂ yaitu 48 jam. Hal ini dengan pertimbangan lebih ramah lingkungan. Pabrik beroperasi selama 8 jam perhari, sehingga secara aktual regenerasi adsorben dapat dilakukan setiap 6 (enam) hari sekali.

c. Penghilangan Kandungan Uap Air (H₂O)

Biogas diproses berbahan baku dari limbah cair tahu, sehingga pada analisis awal biogas mengandung uap air (H₂O) yang sangat signifikan. Adanya uap air ini sangat mempengaruhi dalam proses pembakaran, menyebabkan korosi dan api sering padam, sehingga harus dihilangkan.

Pada rangkaian proses pemurnian biogas ini penghilangan uap air telah diantisipasi dengan membuat kondensor yang dipasang sebelum adsorber, dengan harapan supaya tidak mempengaruhi kinerja karbon aktif. Karbon aktif yang basah akan menurunkan kinerjanya. Uap air di kondensasikan dengan air pendingin yang disirkulasi, sehingga mengembun dan menjadi cair yang masuk dalam *water trap*, kemudian di buang lewat pipa drain. Adapun data mengenai hasil reduksi uap air dengan cara kondensasi tersaji pada Tabel 4.

Tabel 4. Penurunan kadar uap air pada proses kondensasi

Pengambilan sampel waktu ke	Penurunan Kadar uap air mg/L	Kadar uap air gr/L
0 (awal)	584	0,584
1	342	0,342
2	223	0,223
3	112	0,112
4	84	0,084
5	64	0,064
6	60	0,060
7	23	0,023
8	12	0,012

Analisis kadar uap air dilakukan pada awal sebelum biogas masuk kondensor diperoleh dengan konsentrasi 584 mg/Lt = 0,584 gr/l dengan metode *gravimetri* dengan bahan penyerap CaCl₂. Pada proses kondensasi dapat direduksi hanya dapat mencapai kadar akhir 0,012 gr/l, sehingga uap air yang terkondensasi 97,95 %.

d. Kenaikan Konsentrasi Gas CH₄

Pada proses purifikasi biogas pada awalnya konsentrasi metana menunjukkan 38,2% didalam biogas. Selanjutnya dilakukan proses purifikasi untuk menghilangkan gas-gas impuritiesnya. Bersamaan dengan berkurangnya atau reduksinya gas-gas impurities, maka konsentrasi CH₄ akan mengalami kenaikan seperti dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kenaikan konsentrasi CH₄ pada proses purifikasi

PENGAMBILAN SAMPEL WAKTU KE-	KONSENTRASI GAS CH ₄ (%)
0 (awal)	38,2
1	45,12
2	46,04
3	46,36
4	48,4
5	48,71
6	50,6
7	51,56
8	52,33
9	55,62
10	61,67
11	63,73
12	64,45
13	67,63
14	72,72
15	81,94
16	84,12
17	83,09
18	80,32

Dari tabel 5 terlihat konsentrasi CH₄ cenderung mengalami kenaikan, dari hasil analisis sampel ke-1 sampai sampel ke-18. Kenaikan ini disebabkan karena gas impurities biogas seperti CO₂, NH₃, dan H₂S telah tereduksi diserap oleh karbon aktif, sedangkan uap air telah mengalami kondensasi.

Pada pengambilan sampel ke 16 diperoleh kenaikan kadar CH₄ tertinggi sebesar 84,12%, kemudian mengalami penurunan pada analisis ke 17 dan ke 18. Hal ini merupakan kondisi optimum karbon aktif dalam melakukan proses adsorpsi untuk penghilangan semua gas impurities untuk menaikkan konsentrasi metana.

Hari ke 16 merupakan kinerja adsorben karbon aktif secara kontinyu 3x16 = 48 jam. Kondisi optimum dimana gas impurities teradsorpsi ke dalam karbon aktif menempati rongga-rongga porous sehingga gas CH₄ keluar reaktor dalam keadaan kemurnian yang tinggi.

Selanjutnya, pada hasil analisis pengambilan sampel ke 17 dan 18 konsentrasi gas metan cenderung turun lagi, karena karbon aktif sudah mengalami kejenuhan, ini merupakan indikasi adsorben harus diregenerasi karena sudah jenuh. Langkah selanjutnya adalah segera dilakukan aktifasi karbon aktif dengan memanaskan 300° C selama 2 jam setelah itu dapat digunakan kembali.

3.3 Laju perpindahan massa untuk setiap komponen gas impurities.

Berikut adalah hasil perhitungan laju perpindahan massa atau kemampuan daya reaktif karbon aktif dalam penyerapan komponen gas impurities yang ada dalam campuran biogas.

a. Daya Reaktif karbon aktif dalam penyerapan gas H₂S dalam biogas

Dari hasil perhitungan pada tabel 6 dilihat pada hasil analisis pengambilan sampel yang ke 16 pada kondisi waktu jenuh adsorben, diperoleh daya adsorpsi dari karbon aktif terhadap gas H₂S pada kondisi optimum 48 jam adalah 10,98 mg H₂S /gram karbon aktif / menit.

b. Daya Reaktif karbon aktif dalam penyerapan gas NH₃ dalam biogas

Dari hasil perhitungan pada tabel 7 dilihat pada hasil analisis pengambilan sampel yang ke 16 pada kondisi waktu jenuh adsorben, diperoleh daya adsorpsi dari karbon aktif terhadap gas NH₃ pada kondisi optimum 48 jam adalah 0,016 mg NH₃ /gram karbon aktif / menit.

Tabel 6. Perhitungan daya adsorpsi karbon aktif terhadap H₂S persatuan waktu

Waktu pengambilan sampel (menit)	Cin H ₂ S (mg/Liter)	Fin (Liter/menit)	C out	F Out (liter/menit)	Fin.Cin-Fout.Cout	W (gram)	Q (mg/gr)
0	5840,49	47,0	5562,37	25,5	132662,58	25000	5,31
180	5840,49	47,0	4171,78	25,5	168122,70	25000	6,72
360	5840,49	47,0	3893,66	25,5	175214,72	25000	7,01
540	5840,49	47,0	3615,54	25,5	182306,75	25000	7,29
720	5840,49	47,0	3476,48	25,5	185852,76	25000	7,43
900	5840,49	47,0	1390,59	25,5	239042,94	25000	9,56
1080	5840,49	47,0	38,21	25,5	273528,62	25000	10,94
1260	5840,49	47,0	28,72	25,5	273770,82	25000	10,95
1440	5840,49	47,0	21,47	25,5	273955,56	25000	10,96
1620	5840,49	47,0	13,27	25,5	274164,78	25000	10,97
1800	5840,49	47,0	10,03	25,5	274247,40	25000	10,97
1980	5840,49	47,0	5,94	25,5	274351,65	25000	10,97
2160	5840,49	47,0	0,32	25,5	274494,91	25000	10,98
2340	5840,49	47,0	0,35	25,5	274494,20	25000	10,98
2520	5840,49	47,0	0,31	25,5	274495,27	25000	10,98
2700	5840,49	47,0	0,29	25,5	274495,62	25000	10,98
2880	5840,49	47,0	0,28	25,5	274495,98	25000	10,98
3060	5840,49	47,0	0,26	25,5	274496,33	25000	10,98
3240	5840,49	47,0	0,28	25,5	274495,98	25000	10,98

Tabel 7. Perhitungan daya adsorpsi karbon aktif terhadap NH₃ persatuan waktu

Waktu pengambilan sampel (menit)	C in NH ₃ (mg/Liter)	Fin (Liter/menit)	C out	F Out (liter/menit)	Fin.C in-Fout.C out	W (gram)	Q (mg/gr)
0	8,84	47,0	8,84	25,5	190,00	25000	0,008
180	8,84	47,0	8,50	25,5	198,64	25000	0,008
360	8,84	47,0	4,60	25,5	298,15	25000	0,012
540	8,84	47,0	2,43	25,5	353,29	25000	0,014
720	8,84	47,0	2,08	25,5	362,34	25000	0,014
900	8,84	47,0	1,98	25,5	364,76	25000	0,015
1080	8,84	47,0	1,86	25,5	368,01	25000	0,015
1260	8,84	47,0	1,84	25,5	368,36	25000	0,015
1440	8,84	47,0	1,84	25,5	368,36	25000	0,015
1620	8,84	47,0	1,54	25,5	376,17	25000	0,015
1800	8,84	47,0	1,50	25,5	377,22	25000	0,015
1980	8,84	47,0	1,48	25,5	377,58	25000	0,015
2160	8,84	47,0	1,45	25,5	378,29	25000	0,015
2340	8,84	47,0	1,43	25,5	379,00	25000	0,015
2520	8,84	47,0	1,39	25,5	379,89	25000	0,015
2700	8,84	47,0	1,22	25,5	384,14	25000	0,015
2880	8,84	47,0	0,45	25,5	403,82	25000	0,016
3060	8,84	47,0	0,44	25,5	404,00	25000	0,016
3240	8,84	47,0	0,44	25,5	404,00	25000	0,016

Tabel 8. Perhitungan Daya adsorpsi karbon aktif terhadap CO₂ persatuan waktu

Waktu (menit)	Cin CO ₂ (mg/Liter)	Fin (Liter/menit)	C _{out}	F Out (liter/menit)	Fin.Cin-Fout.Cout	W (gram)	Q (mg/gr)
0	55,37	47,0	55,37	25,5	1190,53	25000	0,048
180	55,37	47,0	54,15	25,5	1221,73	25000	0,049
360	55,37	47,0	52,22	25,5	1270,84	25000	0,051
540	55,37	47,0	52,06	25,5	1274,97	25000	0,051
720	55,37	47,0	51,70	25,5	1284,14	25000	0,051
900	55,37	47,0	51,04	25,5	1301,12	25000	0,052
1080	55,37	47,0	50,21	25,5	1322,23	25000	0,053
1260	55,37	47,0	49,99	25,5	1327,74	25000	0,053
1440	55,37	47,0	46,81	25,5	1408,96	25000	0,056
1620	55,37	47,0	46,27	25,5	1422,73	25000	0,057
1800	55,37	47,0	45,06	25,5	1453,48	25000	0,058
1980	55,37	47,0	44,45	25,5	1469,08	25000	0,059
2160	55,37	47,0	37,83	25,5	1637,95	25000	0,066
2340	55,37	47,0	35,79	25,5	1689,81	25000	0,068
2520	55,37	47,0	30,50	25,5	1824,72	25000	0,073
2700	55,37	47,0	30,38	25,5	1827,93	25000	0,073
2880	55,37	47,0	13,37	25,5	2261,59	25000	0,090
3060	55,37	47,0	12,53	25,5	2283,16	25000	0,091
3240	55,37	47,0	12,42	25,5	2285,91	25000	0,091

c. *Daya Reaktif karbon aktif dalam penyerapan gas CO₂ dalam biogas*

Dari hasil perhitungan pada tabel 8 dilihat pada hasil analisis pengambilan sampel yang ke 16 pada kondisi waktu jenuh adsorben, diperoleh daya adsorpsi dari karbon aktif terhadap gas CO₂ pada kondisi optimum 48 jam adalah 0,090 mg CO₂ /gram karbon aktif / menit.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini didapatkan kesimpulan mengenai penghilangan gas impurities antara lain H₂S mencapai 99,99% (4200 ppm - 0,22 ppm), NH₃ mencapai 94,96% (12,7 ppm - 0,65 ppm), CO₂ mencapai 77,48 % (30, 77 % - 6,93 %) dan Uap air (H₂O) mencapai 97,95% (0,584 gr/lit - 0,012 gr/lit.). Penurunan konsentrasi

impurities tersebut berdampak pada kenaikan konsentrasi metana (CH₄) dari 38,2 % menjadi 84,12 %. Waktu jenuh adsorben karbon aktif diperoleh setelah 48 jam proses purifikasi berlangsung dan waktu regenerasi dapat dilakukan setelah 6 (enam) hari. Daya adsorpsi karbon aktif terhadap masing masing komponen gas impurities dihitung sampai saat waktu jenuh, untuk H₂S adalah 10,98 mg H₂S/gram karbon aktif/menit, NH₃ adalah 0,016 mg NH₃/gram karbon aktif/menit, dan CO₂ adalah 0,090mg CO₂/gram karbon aktif/menit. Hasil purifikasi metana (CH₄) dari biogas ini merupakan sumber energi terbarukan yang aman, murah dan ramah lingkungan serta mempunyai nilai kalor yang tinggi dan dapat di kembangkan lagi dalam penerapannya di pengrajin tahu lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada salah satu pengusaha tahu Sumber Rejeki di Kartosuro Kabupaten Sukoharjo yang digunakan sebagai lokasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alwathan Mustafa., dan Ramli Thahir., 2013, Pengurangan Kadar H₂S dari Biogas Limbah Cair Rumah Sakit dengan Metode Adsorpsi, *Jurnal Konversi* Vol. 2 (1) pp.1-6.
- Biernat K. dan Samson-Brek I., 2011, Review of Technology for Cleaning Biogas to Natural Gas Quality. *Chemik*, 65 (5), pp. 435-444.
- Hamidi, Nurkholis., Wardana ING., dan Denny Widhiyanuriyawan., 2011, Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian dengan Zeolit Alam. *Jurnal Rekayasa Mesin* Vol. 2 (3), pp. 227-231.
- Harihastuti N., Sari IRJ., Sukani., Jaswadi., dan Christyanto HY., 2010, Aplikasi Teknologi Adsorpsi untuk Purifikasi Gas Methane (CH₄) dari Biogas yang Dihasilkan pada Proses Pengolahan Air Limbah Industri Tahu Sistem Anaerob. Laporan Penelitian Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri No. 2024.0122/BPKIMI/BBTPPI/A.3/2010.
- Harihastuti N., Djayanti S., Prasetyo A., Faturakhman JA., Jaswadi., Hidayat AF., 2011, Penerapan Teknologi Purifikasi gas methane (CH₄) dari Proses Biogas Pengolahan Air limbah Industri tahu sebagai sumber Energi Alternatif, Laporan Penelitian Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri No. 873.01.011 /BPKIMI /BBTPPI/B/2011.
- Hozairi, Bakir, dan Buhari., 2012, Pemanfaatan Kotoran Hewan Menjadi Energi Biogas Untuk Mendukung Pertumbuhan UMKM di Kabupaten Pamekasan. *Prosiding InSINas 2012*, Hal 93-98.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. KEP-50/MENLH/11/1996 tentang Baku Tingkat Kebauan.
- Kwartiningsih E., 2007, Pemurnian Biogas dari Kandungan Hidrogen Sulfida (H₂S) Menggunakan Larutan Absorben dari Besi Bekas (Besi Rongsok). <http://lppm.uns.ac.id/> diakses pada tanggal 23 Februari 2014.
- Muryanto J., Pramono., 2006, Biogas, Energi Alternatif Ramah Lingkungan. Cetakan 1. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Jawa Tengah. Ungaran Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara.
- Protokol Kyoto., 2007. Kyoto Protocol To The United Nations Framework Convention On Climate Change in Bali, Bali - Indonesia.
- Sadzali I., 2010, Potensi Limbah Tahu Sebagai Biogas, *Jurnal UI Untuk Bangsa Seri Kesehatan, Sains, dan Teknologi*, Vol I, Desember 2010.
- Soerawidjaja TH., 2006, Potensi Sumber Daya Hayati Indonesia dalam Penyediaan Berbagai Bentuk Energi. <http://www.dikti.org/biogas> diakses pada tanggal 1 Oktober 2014.
- Siriwardane RM., Shen E., Fisher J., Poston., dan A Shamsi., 2001a, Adsorption and desorption of CO₂ on solid sorbents. www.netl.doe.gov diunduh pada tanggal 28 Januari 2015.
- Siriwardane RM., Shen E., Fisher J., Poston., dan DH Smith., 2001b, Adsorption of CO₂ on Molecular Sieves and Activated Carbon.
- Widyastuti A., Berlian S., dan Afghani J., 2013, Karbon Aktif dari Limbah Cangkang Sawit sebagai Adsorben Gas dalam Biogas Hasil Fermentasi Anaerobik Sampah Organik. *JKK* Vo. 2 (1), pp.30-33.



JRT P P I 7 (2) (2016)

**Jurnal Riset
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri**

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

**Kementerian
Perindustrian**
REPUBLIK INDONESIA

Komparasi analisis total coliform dan coli tinja dengan menggunakan metode *most probable number* (MPN) 5 tabung dan enzim substrat

The comparison of total coliform and fecal coli analisis using most probable number (MPN) 5 tubes and enzym substrate methods

Novarina Irnaning Handayani*

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 10 Juni 2016

Disetujui 24 Juni 2016

Dipublikasikan online

23 November 2016

Keywords :

total coliform

fecal coli

enzyme substrate

ABSTRAK

Dalam pemantauan kualitas lingkungan untuk air minum, air bersih, air limbah dan air sungai, mensyaratkan aspek mikrobiologi parameter coliform dan atau coli tinja sebagai indikator pencemaran lingkungan. Pada saat ini metode yang paling banyak digunakan adalah *Most Probable Number* (MPN) 5 tabung yang memiliki waktu pengerjaan minimal 4 hari. Penelitian ini dilakukan untuk menjajaki kemungkinan pemakaian metode lain yang telah terstandarisasi dan memiliki beberapa keunggulan. Metode yang dipilih adalah enzim substrat. Uji laboratorium dilakukan dengan membandingkan hasil analisis antara MPN 5 tabung dan enzim substrat, masing-masing dengan ulangan 7 kali. Hasil komparasi menunjukkan bahwa analisa dengan menggunakan metode enzim substrat memberikan hasil yang lebih besar atau lebih sensitif dibanding MPN 5 tabung. Pada sampel yang mengandung bakteri coli yang tinggi, dalam hal ini pada sampel air limbah dan air sungai perbedaan hasil antara MPN 5 tabung dan enzim substrat sangat signifikan, sedangkan pada sampel dengan kandungan coli kecil atau tidak ada, hasil keduanya sama. Metode enzim substrat sangat direkomendasikan untuk sampel air minum dan air bersih sehingga akan memberikan hasil yang lebih meyakinkan bagi penggunaannya. Kandungan coliform pada sampel air minum dan air bersih walaupun sangat kecil akan benar-benar terdeteksi oleh metode yang memiliki sensitifitas lebih baik.

ABSTRACT

Environmental quality monitoring for drinking water, clean water, wastewater and river water requires microbiological aspects such as coliform and fecal coli, as indicators of environmental pollution. At this time, the most widely used method for determining the extent of fecal coli and coliform contained in the water is MPN 5 tubes, which has a lead time of at least 4 days. This study aims is to explore the possibility of using other methods that have been standardized and has several advantages. The proposed method is an enzyme substrate. Laboratory tests were conducted by comparing the results of the analysis between MPN5 tubes and enzyme substrates, with the repeat of 7 times. The comparison showed that the method of analysis using the enzyme substrate results was greater or more sensitive than MPN 5 tubes. In samples containing high coliform bacteria, in this case on a sample of wastewater and river water, yield difference between MPN 5 tubes and the enzyme substrate was very significant, while in the little or no content of coli gave the same results. Enzyme substrate method is highly recommended for drinking water and clean water samples as it will provide more reliable results for its users. The content of coliform in drinking and clean water samples although very low detected, would actually be better detected by another method with high sensitivity.

© 2016 BBT P P I. All rights reserved.

*Alamat korepondensi :

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

1. PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan pokok manusia. Kualitas air sangat menentukan derajat kesehatan karena air dapat dicemari oleh hadirnya mikroorganisme patogen. Mikroorganisme patogen ini dapat menyebabkan infeksi meskipun dalam jumlah yang sangat kecil. Air dapat dicemari oleh tiga jenis mikrobia yaitu virus, bakteri dan protozoa. Mikroorganisme tersebut ditularkan melalui jalur fekal-oral dan sebagian besar timbul secara langsung atau tidak langsung oleh kontaminasi dari sumber daya air oleh limbah atau hewan (Gleeson dan Gray, 1997)

Salah satu parameter dalam pemantauan lingkungan kualitas air adalah parameter mikrobiologi dari jenis bakteri berupa total coliform dengan satuan MPN/100 mL. Robinson dkk. (2000) menyampaikan total coliform adalah salah satu organisme indikator pencemaran air. Selain coliform terdapat beberapa organisme diantaranya adalah koliform fekal, Enterococci, *Clostridium perfringens*, dan Clostridia pereduksi sulphit. Bakteri tersebut termasuk dalam familia Enterobacteriaceae. Jika terdapat mikroorganisme tersebut berarti air telah mengalami kontaminasi.

Suriawiria (2003) menyampaikan bahwa bakteri yang digunakan sebagai indikator pencemaran adalah coliform fekal (coli tinja) dan coliform karena jumlah koloninya pasti berkorelasi positif dengan keberadaan bakteri patogen. Selain itu, mendeteksinya jauh lebih murah, cepat, dan sederhana daripada mendeteksi bakteri patogenik lainnya.

Menurut FDA (2002) coliform bukan merupakan klasifikasi taksonomik namun definisi kerja yang merujuk pada kelompok bakteri enterik gram negatif, anaerob fakultatif, berbentuk batang, mendekomposisi laktosa dengan menghasilkan asam dan gas dalam waktu inkubasi 48 jam pada suhu 35°C.

Di Indonesia dalam pemantauan air minum berlaku regulasi Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 tahun 2010, di dalamnya terdapat satu parameter mikrobiologi yang disyaratkan yaitu total coliform sebesar 0 MPN/100 mL. Pada pemantauan kualitas air sumur, menurut Peraturan Menteri Kesehatan No. 416/MenKes/XI/1990 mensyaratkan maksimal coliform 10 MPN/100 mL untuk air perpipaan dan 50 MPN/100 mL untuk air nonperpipaan. Salah satu jenis air limbah yang mensyaratkan coliform adalah kegiatan rumah sakit dengan ambang batas 5000 MPN/100 mL. Kualitas air sungai menggunakan tolok ukur Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001 mensyaratkan coliform dan coli tinja dalam setiap kategori kelas dengan satuan MPN/100 mL.

Sungai kelas I mensyaratkan 100 untuk coli tinja dan 1000 untuk coliform. Sungai Kelas II mensyaratkan 1000 untuk coli tinja dan 5000 untuk coliform. Sungai Kelas III dan Kelas IV mensyaratkan 2000 untuk coli tinja dan 10000 untuk coliform.

Beberapa metode analisis yang dapat digunakan dalam pengujian total coliform dan fecal coli diantaranya adalah membran filtrasi, *Most Probable Number* (MPN), media mineral modifikasi glutamat, dan metode enzim substrat (Robinson dkk., 2000)

Pada saat ini metode analisis yang paling banyak digunakan adalah MPN 5 tabung, dengan beberapa kelemahan diantaranya adalah pengerjaan yang memerlukan waktu cukup lama yaitu 5 (lima) hari. Persiapan bahan dan alat 1 (satu) hari, uji pendugaan memerlukan masa inkubasi 2 (dua) hari dan uji penegasan juga memerlukan masa inkubasi 2 (dua) hari, total pengerjaan memerlukan waktu 5 (lima) hari.

MPN merupakan suatu metode statistik berbasis teori kemungkinan. Caranya dibuat seri beberapa tabung dalam tingkat pengenceran yang berbeda hingga didapat konsentrasi mikroorganisme yang sesuai jika ditanam di media dalam tabung sehingga menghasilkan pertumbuhan positif. Kemunculan tabung positif tergantung dari probabilitas sel yang terambil oleh pipet saat memasukkan dalam media. Homogenasi menjadi faktor yang sangat berpengaruh (FDA, 2010). Uji positif ditentukan berdasar terbentuknya asam dan gas yang disebabkan fermentasi laktosa oleh bakteri golongan coli. Terbentuknya asam dilihat dari kekeruhan pada media laktosa dan gas yang dihasilkan dapat dilihat dalam tabung Durham berupa gelembung udara (Sutton, 2010).

Metode uji lain yang berpeluang untuk digunakan adalah metode enzimatik. Nikaeen dkk. (2009) menyebutkan bahwa penggunaan pengujian secara enzimatik memiliki kelebihan yaitu spesifik, sensitif, dan cepat. Salah satu metode enzimatik yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan reagen Colilert yang telah terstandarisasi dan termuat dalam APHA AWWA. Metode ini menggunakan prinsip semi kuantitatif yang sama dengan metode MPN 5 tabung. Perbedaan terletak pada tabel yang digunakan. Metode enzim substrat juga telah diakui oleh AOAC internasional dan US EPA.

Secara umum uji enzimatik untuk deteksi total coliform dan coli tinja didasarkan pada hidrolisis substrat kromogenik dan fluorogenik oleh *beta galaktosidase* dan aktivitas *beta glucuronidase*, dua enzim yang ditemukan dalam total coliform (George dkk., (2000); Rompre' dkk., (2002)). Pengujian enzim substrat menggunakan Colilert

membutuhkan waktu inkubasi lebih cepat. Menurut IDEXX, prinsip kerja analisis dengan metode enzim substrat adalah terjadinya reaksi antara enzim *beta galaktosidase* yang terdapat dalam coliform dengan ONPG (yang terdiri atas *beta D galaktopiranoside* dan *orthonitrophenil*) sebagai kromogenik dan fluorogenik substrat yang dimasukkan ke dalam sampel sehingga terjadi reaksi enzim substrat yang menimbulkan warna kuning sebagai indikator terdapatnya coliform. Jika negatif tidak akan timbul warna kuning.

Leclerc dkk. (2001) menyebutkan bahwa penggunaan *beta galaktosidase* sebagai indikator adanya golongan *Enterobacter* (diantaranya coliform dan coli tinja) merupakan cara yang paling komprehensif untuk dilakukan. Sedangkan Rompre dkk. (2002) juga menyampaikan bahwa deteksi coliform berdasarkan metode aktivitas enzimatis akan meningkatkan sensitivitas. IDEXX telah mengeluarkan rekomendasi bahwa metode enzim substrat ini dapat digunakan untuk menganalisis coliform dan coli tinja dalam air minum dan air limbah, sedangkan Kramer (2002) bahkan merekomendasikan Colilert digunakan untuk uji coliform dalam limbah padat.

Pada penelitian terdahulu, Fricker dkk. (1997) telah membandingkan hasil pengukuran *E. coli* dengan menggunakan Colilert dan membran filtrasi, ternyata tidak menunjukkan perbedaan hasil yang signifikan diantara keduanya. Bahkan Colilert dapat dijadikan metode alternatif sebagai pengganti metode membran filtrasi untuk monitoring bakteriologi air minum.

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan komparasi metode uji total coliform dan coli tinja dengan menggunakan metode semi kuantitatif dengan satuan MPN/100 ml antara MPN 5 tabung dan enzim substrat, agar nantinya didapatkan data hasil analisis masing-masing dan apakah terdapat perbedaan hasil uji diantara keduanya.

2. METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian ini dilakukan dengan membandingkan hasil analisis coliform dan coli tinja menggunakan 2 metode dasar yaitu MPN 5 tabung (sesuai SNI 01-2897-1992 Cara Uji Cemar Mikroba dan *Standard Methods Microbial Examination (9000) 9221 Multiple Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group* dan metode enzim substrat berdasar pada *Standard Methods 9223*. Komparasi metode uji dilakukan

dengan menggunakan 4 (empat) jenis air yaitu air limbah, air sumur, air minum dan air sungai. Sesuai dengan baku mutunya, untuk air limbah menggunakan air limbah rumah sakit dengan syarat total coliform, air sumur dengan syarat total coliform, air minum dengan syarat total coliform dan air sungai dengan syarat total coliform dan coli tinja.

Masing-masing jenis air akan diuji dengan menggunakan metode MPN 5 tabung dan menggunakan metode enzim substrat *IDEXX Colilert-18 cat WP2001-18* secara bersamaan dengan menerapkan prinsip keterulangan. Setiap jenis metode akan dilakukan berulang 7 (tujuh) kali oleh analis yang sama, jenis peralatan yang sama, dan interval waktu yang pendek (hampir bersamaan).

Bahan untuk analisis coliform dan coli tinja dengan metode MPN adalah *Lactose Broth (LB)* untuk uji pendugaan/sangkaan, *Brilliant Green Lactose Bile Broth 2% (BGLB)* untuk uji penegasan, dan cairan pengencer yang mengandung NaCl 0,85% untuk media pengenceran bahan. Alat yang digunakan dalam uji komparasi adalah *laminar air flow (LAF)*, *vortex mixer* untuk menghomogenkan contoh pada saat pengenceran, tabung reaksi, tabung durham, pipet ukur atau pipetor dengan tipnya, ose, serta inkubator. Bahan yang digunakan untuk metode analisa enzim substrat adalah menggunakan IDEXX Colilert-18 cat WP2001-18 beserta quantitray cat WQT2K. Alat yang digunakan adalah sealer quantitray dan inkubator.

Cara pengerjaan untuk metode MPN mengacu pada SNI 01-2897-1992 Cara Uji Cemar Mikroba dan *Standard Methods 9221*, sedangkan cara pengerjaan dengan metode enzim substrat menggunakan dasar *Standard Methods no 9223* didukung dengan petunjuk penggunaan dan pengerjaan yang dikeluarkan oleh *IDEXX Colilert-18 cat WP2001-18*. Cara pengujian dengan metode MPN 5 tabung meliputi 2 (dua) tahapan yaitu :

1. Tahap uji sangkaan/pendugaan

Pada tahapan ini media yang digunakan adalah *Lactose Broth (LB)* yang telah disiapkan dalam tabung reaksi berisi tabung durham terbalik. Pipet 1 mL pengenceran contoh 10^{-1} (1:10) ke dalam 5 tabung yang telah disiapkan. Dengan cara yang sama dilakukan untuk pengenceran 10^{-2} (1:100) dan 10^{-3} (1:1000). Tiap pengenceran

menggunakan pipet baru yang steril dan dipastikan homogenitasnya dengan menggunakan *vortex mixer*. Seluruh tabung diinkubasikan dalam inkubator pada suhu $36\pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 24 dan 48 jam. Setelah inkubasi 24 jam jumlah tabung yang membentuk gas pada masing-masing pengenceran dicatat dan tabung yang belum membentuk gas diinkubasikan kembali pada suhu yang sama selama 24 jam kedua. Tabung yang menghasilkan gas dicatat.

2. Tahap uji penegasan

Uji penegasan hanya dilakukan untuk tabung yang membentuk gas pada media *Lactose Broth* (LB). Satu ose media positif membentuk gas diambil dan dipindahkan ke tabung reaksi berisi media *Brilliant Green Lactose Bile Broth* (BGLB 2%). Inkubasi dilakukan selama 24 hingga 48 jam pada suhu $36\pm 1^{\circ}\text{C}$ untuk analisis coliform dan $44\pm 1^{\circ}\text{C}$ untuk analisis coli tinja. Tabung yang menunjukkan terbentuknya gas dicatat sebagai tabung positif dan hasil analisis dilihat dari tabel MPN 5 tabung.

Cara pengujian dengan menggunakan metode enzim substrat menggunakan *IDEXX Colilert-18 cat WP2001-18* dilakukan dengan urutan:

1. *Quantitray* dipegang dengan menggunakan tangan kiri dalam genggam tangan, sisi yang berkotak ada dalam sisi dalam tangan.
2. *Quantitray* ditekan bagian atas menuju telapak tangan.
3. *Foil* ditarik perlahan untuk memisahkan *foil* dari *tray*.
4. Sampel uji sebanyak 100 ml dimasukkan dalam *quantitray* dan kontak dengan *foil tab* dihindari. Sumur-sumur kecil dalam *quantitray* ditekan untuk menghilangkan gelembung udara yang terjadi.
5. *Quantitray* yang telah berisi sampel direkatkan dalam karet pencetak dan dimasukkan ke dalam *quantitray sealer* yang telah dipanaskan terlebih dahulu.
6. Selanjutnya siap diinkubasi selama 18 jam dalam inkubator di suhu 36°C untuk coliform dan 44°C untuk coli tinja (Gil Dichter IDEXX, 2011).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa, sampel yang terdeteksi mengandung coliform dan

colitinja dengan menggunakan metode enzim substrat memberikan hasil yang lebih besar dibanding dengan menggunakan metode MPN 5 tabung, hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1 hingga 5.

Dari Tabel 1 terlihat bahwa ternyata dari 7 ulangan yang dilakukan, untuk sampel yang tidak mengandung coliform pada sampel AMDK dan sumur menunjukkan hasil yang konsisten yaitu 0 MPN/100 mL. Pada sampel sungai dan limbah cair rumah sakit yang mengandung coliform maupun coli tinja sesuai dengan persyaratan baku mutunya ternyata dari 7 kali ulangan memiliki hasil yang berbeda-beda. Range hasil analisis coliform pada sungai antara 33.000 MPN/100 mL hingga 79.000 MPN/100 mL, sedangkan pada coli tinjanya antara 4.000 MPN/100 mL hingga 17.000 MPN/100 mL. Namun demikian, terdapat hasil yang identik yaitu pada ulangan 5 dan ulangan 7. Keadaan yang sama terjadi pada hasil pengerjaan coliform sampel air limbah rumah sakit. Dengan sampel yang sama hasil analisis antara 17 hingga 47 MPN/100 mL.

Kondisi ini menunjukkan bahwa toleransi keberagaman data untuk MPN cukup besar dan standar deviasi data bisa mencapai 50%. Hasil analisis yang beragam ini dapat disebabkan oleh probabilitas dalam pengambilan sampel uji yang hanya mengambil 1 mL untuk mewakili data 100 mL. Homogenitas dalam pengambilan sampel menjadi hal yang sangat mutlak.

Hasil analisis dengan menggunakan metode enzim substrat untuk sampel air sumur dan air minum menunjukkan hasil yang relatif seragam. Jika menurut tabel MPN 5 tabung tidak ada hasil positif itu ditunjukkan dengan angka 0 MPN/100 mL, maka untuk enzim substrat ditunjukkan dengan <1 MPN/100 mL. Hasil uji menunjukkan bahwa hasil analisis enzim substrat untuk sampel-sampel yang tidak mengandung coliform maupun coli tinja sangat stabil.

Sampel air minum dan air bersih biasanya memiliki kandungan coliform yang rendah. Penggunaan metode yang sensitif akan memberikan hasil yang lebih menyakinkan pengguna air minum maupun air bersih. Kandungan coliform pada air minum walaupun sangat kecil akan benar-benar terdeteksi oleh metode yang memiliki sensitifitas lebih baik.

Tabel 1. Hasil analisis sampel menggunakan metode MPN 5 tabung

Ulangan	Hasil MPN per 100 mL				
	AMDK Coliform	Sumur Coliform	Sungai Coliform	Coli tinja	Rumah sakit Coliform
1	0	0	64.000	17.000	47
2	0	0	33.000	17.000	33
3	0	0	79.000	4.500	17
4	0	0	70.000	7.800	28
5	0	0	70.000	17.000	24
6	0	0	33.000	4.000	26
7	0	0	70.000	17.000	33

Tabel 2. Hasil analisis air minum dengan enzim substrat

No	Hasil Analisis Air Minum	
	Analisis 1 Coliform	Analisis 2 Coliform
1	<1	<1
2	<1	<1
3	<1	<1
4	<1	<1
5	<1	<1
6	<1	<1
7	<1	<1
Rerata	<1	<1
Tertinggi	<1	<1
Terendah	<1	<1

Tabel 3. Hasil analisis air sumur dengan enzim substrat

No	Hasil Analisis Air Sumur	
	Analisis 1 Coliform	Analisis 2 Coliform
1	<1	<1
2	<1	1
3	<1	<1
4	<1	<1
5	<1	<1
6	<1	1
7	<1	<1
Rerata	<1	<1
Tertinggi	<1	<1
Terendah	<1	<1

Tabel 4. Hasil analisis limbah cair rumah sakit dengan enzim substrat

No	Hasil Analisis Air Limbah Rumah Sakit			
	Analisis 1 Coliform	Coli tinja	Analisis 2 Coliform	Coli tinja
1	1732,9	149,7	1732,9	139,6
2	1553,1	150	1732,9	137,6
3	1986,3	178,9	1986,3	120,1
4	1986,3	146,7	2419,6	151,5
5	2419,6	145	2419,6	162,4
6	1986,3	143,9	1553,1	178,9
7	1986,3	172,2	1986,3	160,7
Rerata	1950,1	155,2	1975,81	150,11
Tertinggi	2419,6	178,9	2419,6	178,9
Terendah	1553,1	143,9	1553,1	120,1

Hasil analisis limbah cair rumah sakit (Tabel 4) dan hasil analisis air sungai dengan metode enzim substrat (Tabel 5) menunjukkan toleransi keberagaman yang cukup tinggi dilihat dari nilai tertinggi dan terendah yang dicapai, namun demikian untuk enzim substrat cenderung memiliki data yang saling mendekati dibanding MPN 5 tabung. Hasil analisis statistik dengan menggunakan Anova menunjukkan

bahwa pada sampel coliform rumah sakit, coli tinja rumah sakit, dan coliform sungai antara analisis 1 dan analisis 2 memiliki nilai signifikansi di atas 0,05 yang artinya tidak ada beda nyata diantara keduanya. Namun antara MPN 5 tabung dan enzim substrat terdapat perbedaan hasil yang sangat signifikan.

Tabel 5. Hasil analisis air sungai dengan enzim substrat

No	Hasil Analisis Air Sungai (Pengenceran 10^{-3})			
	Analisis 1		Analisis 2	
	Coliform	Coli tinja	Coliform	Coli tinja
1	248.900	26.200	307.600	6.300
2	360.900	19.700	325.500	14.600
3	334.800	16.000	235.900	11.000
4	365.400	12.200	435.900	14.800
5	365.400	17.100	261.100	12.100
6	365.400	20.100	488.400	18.700
7	328.400	20.100	249.500	14.600
Rerata	338.457	18.771	364.771	13.157
Tertinggi	365.400	26.200	235.900	18.700
Terendah	248.900	12.200	488.400	6.300

Hasil analisis enzim substrat cenderung lebih besar dibanding MPN 5 tabung. Sensitifitas hasil yang lebih tinggi ini kemungkinan disebabkan oleh jumlah sampel yang digunakan pada enzim substrat adalah 100 mL, sedangkan pada MPN 5 tabung hanya 1 mL dan dikayakan. Jumlah coliform ataupun colitinja yang ada dalam 100 mL sampel dapat teridentifikasi semua, selain itu prinsip dasar enzim substrat adalah mendeteksi adanya enzim beta galaktosidase yang terdapat dalam bakteri coli, sehingga seluruh bakteri yang hidup dan bermetabolisme dengan baik yang ditunjukkan dengan aktifnya enzim beta galaktosidase akan terekam oleh metode ini.

Beberapa hasil penelitian menunjukkan kelebihan metode enzimatik. Dari segi sensitifitas metode enzim substrat lebih baik, seperti disampaikan Rompre' dkk. (2002) bahwa pada perolehan angka rendah (1-3) dari organisme target dapat terdeteksi oleh laser scanning enzim substrat namun tak terdeteksi oleh metode MPN 5 tabung. Penambahan substrat fluorogenik dan kromogenik pada media (agar dan media cair) untuk mendeteksi aktivitas enzimatik dari total coliform dan coli tinja memiliki sensitivitas dan kecepatan analisis yang lebih dibanding metode klasik dalam memperkirakan kontaminasi mikroba air. Teknologi enzim substrat lebih unggul dibandingkan yang lain karena memiliki prinsip hanya mikrobiasasaran yang bereaksi, tidak ada substrat yang digunakan untuk metode lainnya. Di sisi lain Timms (1996) menyebutkan bahwa reaksi enzimatik untuk deteksi coliform maupun E.

coli telah terbukti secara substansial mengurangi kebutuhan tenaga kerja.

Dari pengamatan pada saat pengerjaan, metode enzim substrat sederhana dalam pengerjaan, tidak memerlukan analisis dengan ketrampilan mikrobiologi yang khusus seperti halnya untuk pengerjaan MPN, waktu yang diperlukan lebih cepat hanya 18 jam, dan alat memungkinkan untuk dibawa ke lapangan, namun jika dilihat dari biaya bahan enzim substrat lebih mahal. Sedangkan kelebihan metode MPN adalah biaya bahan lebih murah.

Berdasar hasil uji coba di laboratorium yang telah dilakukan, metode enzim substrat baik digunakan untuk analisis air minum dan air sumur yang mensyaratkan ketelitian yang lebih tinggi untuk meyakinkan penggunaannya (hubungannya dengan kualitas air konsumsi). EPA (1992) juga memberikan rekomendasi penggunaan metode enzim substrat untuk identifikasi coliform dalam air minum.

4. KESIMPULAN

Hasil komparasi metode uji coliform dan coli tinja dengan membandingkan hasil analisis menggunakan metode MPN 5 tabung dan enzim substrat menunjukkan bahwa metode enzim substrat memberikan hasil uji yang lebih besar atau lebih sensitif dibanding MPN. Pada sampel yang mengandung bakteri coli yang tinggi, dalam hal ini pada sampel air limbah dan air sungai perbedaan hasil antara MPN 5 tabung dan enzim substrat sangat signifikan.

Berdasar hasil perbandingan saat ini, metode enzim substrat sangat direkomendasikan untuk sampel air minum dan air bersih sehingga akan memberikan hasil yang lebih meyakinkan bagi penggunaannya. Kandungan coliform pada sampel air minum dan air bersih walaupun sangat kecil akan benar-benar terdeteksi oleh metode yang memiliki sensitifitas lebih baik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih disampaikan kepada Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri yang mendanai penelitian ini melalui dana *inhouse* riset 2015, PT Thermalindo yang telah meminjam sealer *Colilert* untuk uji coba metode enzim substrat, serta Erni Susanti, Analis Laboratorium Mikrobiologi dan Biologi Lingkungan yang telah membantu selama uji coba.

DAFTAR PUSTAKA

- American Public Health Association (APHA)., American Water Works Association and Water Environment Federation., 1998, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th ed., APHA, Washington DC.
- AOAC International., 1995, Official Methods of Analysis, 991.15.T. Coliforms and E.coli in Water: Defined Substrate Technology (Colilert) Methods, Virginia, USA.
- Dichter G., 2011, IDEXX Colilert*-18 and Quanti-Tray* Test Method for the Detection of Fecal Coliforms in Wastewater, IDEXX.
- EPA., 1992, National Primary Drinking Water Regulation, Analytical Techniques, Coliform Bacteria Final Rules.
- Fricker EJ., Illingworth KS., Fricker CR., 1997, Use of two formulation of colilert and quantitray tm for assessment of bacteriological quality of water, Wat Res 31(10):2495-2499.
- George I., Petit M., Servais P., 2000, Use of enzymatic methods for rapid enumeration of coliforms in freshwaters, J Appl Microbiol 88(3):404-413.
- Gleeson C., Gray N., 1997, The Coliform Index and Waterborn Disease, Problem of Microbial Drinking Water Assessment, Trinity College, University of Dublin, E and FN Spoon, London, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras.
- IDEXX Laboratories Inc (IDEXX), 2007, Colilert Test Kit, Westbrook, Maine.
- Kramer TA., Liu J., 2002, Enumeration of coliform bacteria in wastewater solids using defined substrate technology, Water Environment Research 74(6).
- Leclerc H., Mossel DAA., Edberg SC., Struijk CB., 2001, Advanced in the bacteriology of the coliform group: their suitability as markers of microbial water safety, Annu Rev Microbiol 55:201-34.
- Nikaeen M., Pejhan A., Jalali M., 2009, Rapid monitoring of indicator coliforms in drinking water by an enzymatic assay, Iran J Environ. Health Sci Eng 6(1):7-10.
- Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001, Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Peraturan Daerah Jawa Tengah Nomor 5 tahun 2012, Perubahan atas Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 10 tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 416 tahun 1990, Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air Lampiran II Daftar Persyaratan Kualitas Air Bersih.
- Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 tahun 2010, Persyaratan Kualitas Air Minum.
- Robinson RK., Batt CA., Patel P., 2000, Water Quality Assessment, Encyclopedia of Food Microbiology, Academic Press, San Diego, California
- Rompere A., Servais P., Baudart J., Roubin MR., Laurent P., 2002, Detection and enumeration of coliforms in drinking water: current methods and emerging approaches, Journal of Microbiological Methods 49:31 - 54.
- Suriawiria U., 2003, Mikrobiologi Air dan Dasar-dasar Pengolahan Buangan Secara Biologis, Bandung Alumni, Bandung

Sutton S., 2010, The most probable number method and its uses in enumeration, qualification, and validation, *Journal of Validation Technology*.

Timms S., Colquhoun KO., Fricker CR., 1996, Detection of *Escherichia coli* in potable water using indirect

impedance technology, *Journal of Microbiological Methods* 26:125-132.

US Department Health and Human Services, 2010, *Bacteriological Analytical Manual, Most Probable Number from Serial Dilutions*, US Food and Drug Administration



JRT PPI 7 (2) (2016)

Jurnal Riset
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

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

Kementerian
Perindustrian
REPUBLIK INDONESIA

Pengolahan limbah organik dengan upflow anaerobic sludge blanket (UASB) di industri kecap

Organic wastewater treatment using upflow anaerobic sludge blanket (UASB) in soy sauce industry

Bekti Marlana*, Cholid Syahroni, Sartamtomo, Nur Zen

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

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel :

Diterima 31 Maret 2016

Direvisi 29 September 2016

Disetujui 30 September 2016

Dipublikasikan online

23 November 2016

Keywords :

Anaerobic

UASB

Organic Waste

Soy Sauce Industry

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian pengolahan limbah industri kecap dengan menggunakan UASB. Dua reaktor UASB yang terbuat dari *stainless steel* dengan volume masing-masing 1,165 m³ disusun secara seri. Air limbah yang diolah merupakan buangan dari proses produksi kecap dengan nilai COD dari 2.709 sampai 21.684 mg/L. Uji coba dilakukan dengan kecepatan alir 2,9 m³/hari dan 0,7 m³/hari dengan waktu tinggal (*Hydraulic Retention Time*) masing-masing 19 jam dan 80 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada percobaan dengan waktu tinggal 19 jam dan *Organic Loading Rate* (OLR) 21,1 kg/m³hari, dapat menurunkan nilai COD hingga 70% dengan penurunan beban COD rata-rata adalah 2,842 kg/m³hari. Percobaan dengan waktu tinggal 80 jam dengan OLR 6,7 kg/m³hari diperoleh hasil penurunan COD hingga 78% dan penurunan beban COD rata-rata adalah 1,335 kg/m³hari, sedangkan untuk OLR 4,97 kg/m³hari diperoleh hasil berturut-turut 76% dan 1,298 kg/m³ hari. Jika dibandingkan dengan kinerja sistem anaerobik yang telah dimiliki oleh industri, maka reaktor UASB hasil penelitian memiliki keunggulan ditinjau dari waktu tinggal dan penurunan beban COD, meskipun persen penurunan COD masih lebih rendah.

ABSTRACT

Treatment of soy sauce industry wastewater using UASB reactor was investigated. Two UASB reactors made of stainless steel with a volume of 1,165 m³ each were installed in series. The source of wastewater was from the production process of soy sauce with COD concentration ranged from 2,709 to 21,684 mg/L. The study was conducted at 2.9 m³/day and 0.7 m³/day flow rate with Hydraulic Retention Time (HRT) were 19 hours and 80 hours respectively. At HRT of 19 hours with OLR 21.1 kg/day, up to 70% COD removal and 2.842 kg/m³ day COD load removal were observed. At HRT of 80 hours with OLR 6,7 kg/m³day, up to 78% COD removal and 1.335 kg/m³ day COD load removal were observed, meanwhile at OLR of 4,97 kg/m³.day the results showed 76% and 1.298 kg /m³ day respectively. Compare to the anaerobic system that has been existed, the UASB reactor have better performances in terms of HRT and COD load removal, despite its lower COD removal percentage.

© 2016 BBT PPI. All rights reserved.

*Alamat korepondensi :

E-mail : bekti-marlena@kemenperin.go.id (B. Marlana)

1. PENDAHULUAN

Saat ini banyak industri yang telah mengolah air limbah yang dihasilkan dalam suatu unit Instalasi Pengolahan Air

Limbah (IPAL). Pengolahan ini dimaksudkan untuk menjaga kelestarian lingkungan dan memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan oleh Pemerintah. Sistem pengolahan yang dilakukan di IPAL bisa salah satu maupun rangkaian

pengolahan secara fisika, kimia dan biologi tergantung dari jenis dan karakteristik limbah serta persyaratan baku mutu yang diterapkan. Salah satu proses pengolahan air limbah yang banyak dilakukan di industri adalah proses pengolahan biologi yang bertujuan untuk menghilangkan bahan-bahan organik yang terdapat dalam air limbah.

Pengolahan dengan proses biologi atau lumpur aktif cukup efektif untuk mengolah karbon organik baik dari limbah domestik maupun limbah industri. Namun, ada beberapa masalah yang sering timbul diantaranya adalah lamanya waktu pengendapan lumpur, ukuran reaktor dan bak pengendap yang besar, keharusan untuk *me-recycle biomass* secara periodik, tidak tahan terhadap pembebanan yang mendadak (*shock loading*), akumulasi lumpur (*bulking sludge*), dan lain-lainnya. Masalah-masalah tersebut menyebabkan penurunan kualitas *effluent* dan menyulitkan pengontrolan.

Van Lier, dkk (2008) menjelaskan bahwa pengolahan anaerob sangat efektif dalam menghilangkan komponen organik yang *biodegradable*, meninggalkan komponen mineral seperti NH_4^+ , PO_4^{3-} , S^{2-} dalam larutan. Proses anaerobik memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah pengurangan kelebihan produksi *sludge* sampai 90%, tidak menggunakan bahan bakar fosil dalam pengolahannya, *COD loading rates* mencapai 20-35 kg COD per m^3 reaktor per hari, sehingga membutuhkan volume reaktor yang lebih kecil dan menghasilkan sekitar 13,5 MJ CH_4 energi tiap kg COD yang dihilangkan.

Reaktor UASB merupakan teknologi yang dianggap sebagai salah satu sistem anaerobik yang paling sukses dan menjanjikan, karena mampu membentuk agregat bakteri yang tebal dan pekat dengan cara *auto* imobilisasi sehingga mampu menghasilkan kinerja dengan kecepatan tinggi (Kaluzhnyi dkk, 2006). Di samping itu, UASB juga mampu mengolah limbah dengan kandungan COD yang tinggi dan tahan terhadap fluktuasi COD (Alvarez dkk., 2006).

Moertinah, dkk (2013) telah berhasil membuat reaktor UASB untuk mengolah air limbah industri kertas kraft

dengan efisiensi penurunan COD mencapai 87% pada debit air limbah 2 m^3 /hari dan konsentrasi COD masuk 2.500 mg/L. Moenir, dkk (2014) juga telah menerapkan teknologi UASB untuk mengolah air limbah industri minuman ringan dengan efisiensi penurunan COD mencapai 88,51% pada debit air limbah 2,297 m^3 /hari dan konsentrasi COD masuk 3.000 – 5.000 mg/L.

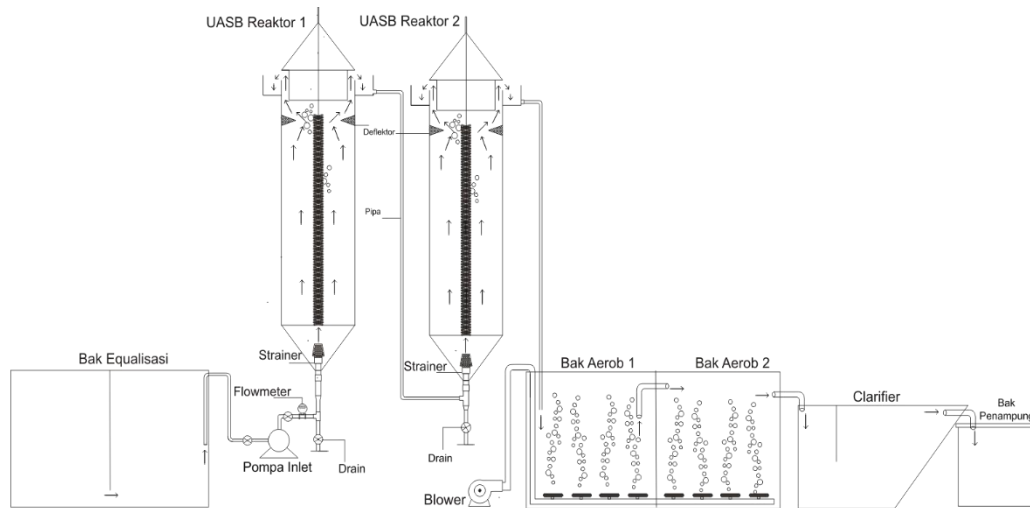
Paper ini menyajikan hasil penerapan reaktor UASB untuk mengolah air limbah industri kecap. Saat ini industri tersebut telah memiliki IPAL, dimana salah satu sistem yang digunakan adalah anaerobik yang mampu menurunkan COD hingga 94% dengan waktu tinggal 15 hari dan penurunan beban COD sebesar 396 kg COD/ m^3 hari. Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mencari alternatif teknologi yang memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan yang ada saat ini.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah limbah cair dari salah satu industri kecap di Jawa Tengah, mikroba anaerobik, *rope biofilter*, bahan kimia untuk analisa COD, kapur dan NaOH. Reaktor UASB yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1. Reaktor tersebut berbentuk dua buah tabung identik dengan diameter 0,77 m, tinggi 2,29 m dan volume 1.165 L, terbuat dari bahan *stainless steel* dan disusun secara seri. Bagian bawah tabung berbentuk kerucut sebagai tempat masuknya sampel limbah, sedangkan bagian atas dilengkapi dengan pengumpul gas.

Di dalam tiap reaktor dipasang *rope biofilter*. Kelengkapan unit UASB adalah pompa, pipa inlet dan outlet air limbah serta pipa outlet gas yang terbentuk. Pengolahan limbah di industri juga dilengkapi dengan dua bak equalisasi dengan kapasitas 2,5 m^3 , dua bak aerob dengan kapasitas masing-masing 2,7 m^3 dan satu bak sedimentasi (*clarifier*).



Gambar 1. Skema pengolahan limbah yang terdiri dari reaktor UASB dan sistem aerobik

2.2. Prosedur Penelitian

Tahapan percobaan meliputi seeding mikroba, aklimatisasi dan uji coba pengolahan air limbah. Seeding mikroba dilakukan dengan menambahkan 75 kg bibit mikroba ($\pm 10\%$) ke dalam tiap reaktor.

Bak ekualisasi diisi dengan air limbah yang ditambah dengan air bersih dengan perbandingan 1:1. Penyesuaian tingkat keasaman air limbah dengan menambahkan basa sampai pH air limbah menjadi ± 10 . Air limbah tersebut kemudian dialirkan ke dalam reaktor dengan menggunakan pompa air dengan kecepatan 2,9 m³/hari.

Outlet dari reaktor 2 disirkulasikan kembali ke bak equalisasi. Aklimatisasi dilaksanakan selama 3 minggu. Dua minggu kemudian ditambahkan lagi bibit mikroba. Aklimatisasi dilaksanakan sampai nilai pH keluar reaktor UASB II netral atau mendekati 7 (tujuh).

Uji coba dilakukan dengan memompa air limbah dari bak ekualisasi ke reaktor UASB I dengan kecepatan alir rata-rata 2,9 m³/hari pada percobaan pertama dan 0,7 m³/hari pada percobaan kedua. Pada reaktor UASB, air limbah mengalir secara *upflow* (dari bawah ke atas). Setelah dari reaktor UASB I, air limbah akan mengalir ke UASB II secara gravitasi, yang selanjutnya mengalir ke bak aerobik.

2.2. Evaluasi Hasil

Untuk mengetahui kinerja reaktor, dilakukan pengukuran COD setiap hari. Titik pengambilan contoh

adalah bak ekualisasi (*inlet*), *outlet* reaktor UASB I, *outlet* reaktor UASB II, *outlet* bak aerob dan *outlet* bak sedimentasi (*outlet* akhir).

Pengukuran COD dilakukan menggunakan metode 5220 B (refluks terbuka) Standard Methods (2012). Sedangkan untuk mengetahui tingkat penurunan COD dilakukan perhitungan dengan persamaan berikut :

$$\text{Persen penurunan COD} = \frac{(\text{COD masuk} - \text{COD keluar}) \times 100\%}{\text{COD masuk}}$$

$$\text{Penurunan beban COD} = \frac{(\text{COD masuk} - \text{COD keluar}) \times \text{Debit}}{\text{Volume Reaktor}}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Limbah Cair.

Pada proses pembuatan kecap, air limbah yang keluar berasal dari air bekas pencucian serta perendaman kedele, dan air bekas cucian peralatan atau sanitasi. Debit rata-rata air limbah yang masuk ke IPAL adalah 3-5 m³/hari.

Karakteristik air limbah diperoleh dengan mengambil contoh air limbah di bak ekualisasi pada beberapa waktu yang berbeda untuk mengetahui kisaran kualitas air yang akan diolah. Hasil analisa kualitas air limbah di bak ekualisasi tersaji pada Tabel 1, sebagaimana dinyatakan Marlana, dkk (2013).

Tabel 1. Hasil analisis karakteristik limbah cair

No	Parameter	Satuan	Konsentrasi Influen
1	pH	-	5,5 - 7,0
2	T	° C	28 – 33,5
3	BOD	mg/L	553 – 714
4	COD	mg/L	1.407 – 10.629
5	TSS	mg/L	174 – 1306

3.2 Hasil Uji Coba

Setelah proses *seeding* dan aklimatisasi yang dilakukan selama 5 minggu selesai, selanjutnya dilakukan percobaan pengolahan air limbah. Percobaan dilakukan dengan variasi kecepatan alir 2,9 dan 0,72 m³/hari.

a. Uji Coba dengan Kecepatan Alir rata-rata 2,9 m³/hari

Dengan kecepatan alir 2,9 m³/hari didapatkan waktu tinggal (*hydraulic retention time*) limbah di dalam reaktor UASB (Reaktor I + Reaktor II) selama 19 jam. Hasil analisis COD pada masing-masing unit peralatan dan persentase penurunan COD dan OLR tersaji pada gambar 2.

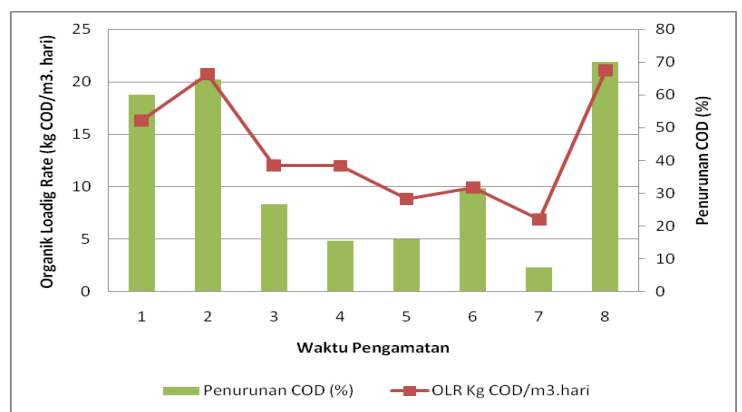
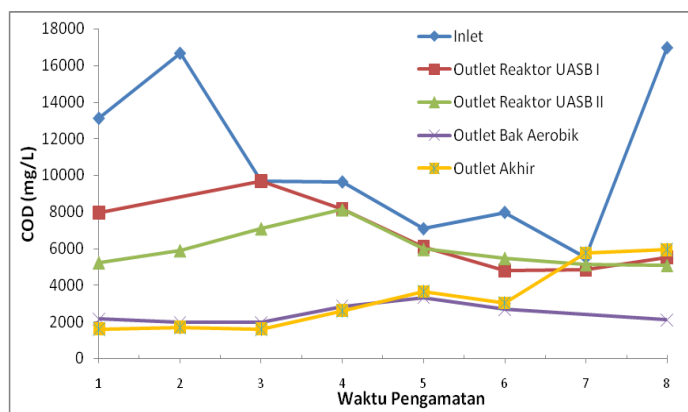
Pada Gambar 2 terlihat bahwa konsentrasi COD inlet belum stabil, dimana nilai COD berkisar 5.510 - 16.955 mg/L. Fluktuasi tersebut disebabkan karena karakteristik buangan air limbah dari proses produksi yang tidak seragam dan volume bak ekualisasi yang tidak mencukupi untuk menseragamkannya.

OLR yang cukup tinggi yaitu antara 6,86 – 21,10 kg COD/m³/hari dan penurunan COD di reaktor UASB rata-rata 36,5% dengan penurunan tertinggi yang dicapai adalah 70 % pada OLR 21,1 kg COD/m³/hari.

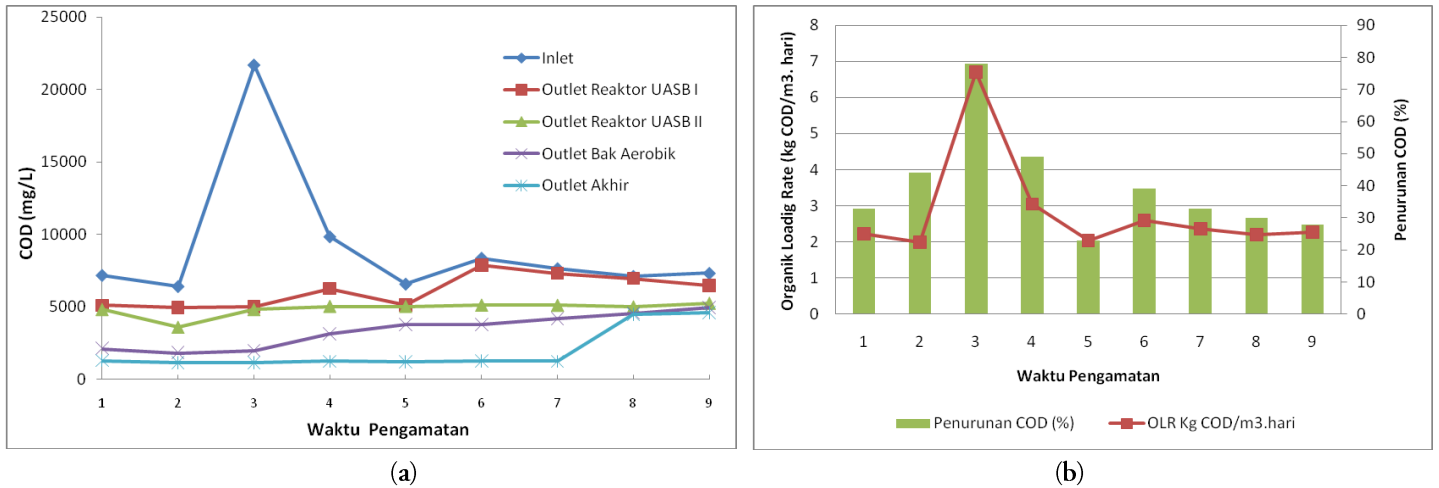
Kecepatan beban COD rata-rata adalah 11,1 kg/m³. hari sehingga penurunan beban COD rata-rata adalah 2,842 kg/m³ hari. Secara umum konsentrasi COD di unit pengolahan masih fluktuatif, begitu juga penurunan COD. Konsentrasi COD keluar reaktor masih cukup tinggi yaitu di atas 5.000 mg/L, sehingga kecepatan aliran limbah masuk diturunkan.

b. Uji Coba dengan Kecepatan Alir 0,72 m³/hari

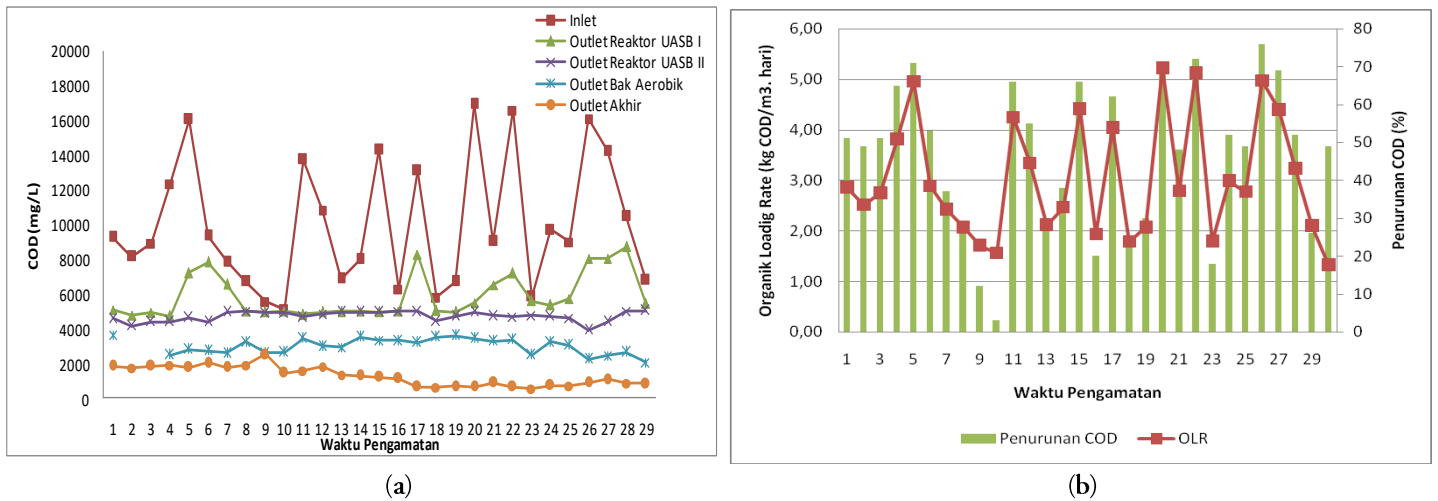
Dengan kecepatan alir 0,72 m³/hari didapatkan waktu tinggal (*retention time*) limbah di dalam reaktor UASB (Reaktor I + Reaktor II) selama 80 jam. Untuk pengaturan pH awal limbah sebelum masuk ke reaktor UASB, dilakukan dengan 2 jenis perlakuan yaitu menggunakan NaOH dan air kapur. Uji coba dengan perlakuan penambahan NaOH untuk mengatur derajat keasaman di bak ekualisasi dilaksanakan selama kurang lebih 2 (dua) minggu. Data hasil analisa COD versus waktu, data OLR dan persentase penurunan COD, disajikan pada Gambar 3 dan hasil analisis COD pada perlakuan penambahan kapur untuk mengatur derajat keasaman di bak ekualisasi dan penurunan COD tersaji pada Gambar 4.



Gambar 2. Grafik nilai COD vs waktu dengan kecepatan alir 2,9 m³/ hari (a), Grafik *Organik Loading Rate* dan penurunan COD vs waktu pada kecepatan alir 2,9 m³/ hari (b)



Gambar 3. Grafik Nilai COD vs Waktu pada Kecepatan alir 0,72 m³/ hari, pH awal diatur dengan NaOH (a), dan Grafik *Organik Loading Rate* dan penurunan COD vs waktu pada kecepatan alir 0,7 m³/ hari (b)



Gambar 4. Grafik Nilai COD vs Waktu pada Kecepatan alir 0,72 m³/ hari, pH awal diatur dengan air kapur (a), dan Penurunan COD pada kecepatan alir 0,72 m³/hari (b)

Secara umum konsentrasi COD di unit pengolahan relatif stabil. Penurunan COD di UASB rata-rata adalah 39,7 % dan penurunan COD tertinggi mencapai 78 % yaitu pada OLR 6,7 kg COD/m³.hari. Kecepatan beban COD rata-rata adalah 2,84 kg/hari sehingga penurunan beban COD rata-rata adalah 1,33 kg/m³ hari.

Gambar 4. menunjukkan bahwa konsentrasi COD inlet masih fluktuatif, demikian juga keluaran outlet reaktor UASB I, namun keluaran reaktor UASB II sudah cukup stabil. Gambar 4. menunjukkan penurunan COD tertinggi mencapai 76 % pada OLR 4,97 kg COD/m³.hari, sedangkan penurunan COD di UASB rata-rata adalah 48,1 %. Kecepatan

beban COD rata-rata adalah 2,59 kg/hari sehingga penurunan beban COD rata-rata adalah 1,29 kg/m³ hari.

Hasil percobaan di atas menunjukkan hasil penurunan COD yang lebih kecil yaitu sebesar 70% pada OLR 21,1 kg COD/m³. hari dan HRT 19 jam apabila dibandingkan dengan percobaan Moertinah, dkk (2013) yang menunjukkan penurunan COD sebesar 87% pada OLR 2,1 kg COD/m³. hari dan HRT 21 jam serta percobaan Moenir, dkk (2014) yang berhasil menurunkan COD sebesar 88,51% pada OLR 5,8 kg COD/m³. hari dan HRT 21 jam. Hal tersebut terjadi di sebabkan oleh konsentrasi influen yang belum stabil dan konsentrasi COD yang tinggi yaitu 2.709 – 21.684 mg/l.

Gambar 2, 3 dan 4 menunjukkan korelasi antara OLR dengan penurunan COD, dimana terdapat kecenderungan OLR yang tinggi akan meningkatkan prosentase penurunan COD. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Ganesh, dkk (2006) yang menunjukkan peningkatan COD *removal* seiring dengan meningkatnya OLR.

Seiring dengan perjalanan waktu terlihat kenaikan persentase penurunan COD rata-rata. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada awal percobaan populasi mikroba yang ada dalam reaktor UASB belum stabil. Hal ini sesuai dengan penelitian Alvarez (2006) yang menyebutkan bahwa kondisi stabil mikroba pada proses UASB tercapai setelah 120 hari.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada percobaan dengan waktu tinggal 19 jam dan kecepatan beban COD rata-rata 21,1 kg/m³.hari, dapat menurunkan nilai COD hingga 70% dengan penurunan beban COD rata-rata adalah 2,842 kg/m³ hari. Percobaan dengan waktu tinggal 80 jam dengan kecepatan beban COD rata-rata adalah 6,7 kg/m³.hari diperoleh hasil penurunan COD hingga 78% dan penurunan beban COD rata-rata adalah 1,335 kg/m³ hari, sedangkan untuk kecepatan beban COD rata-rata 4,97 kg/m³. hari diperoleh hasil berturut-turut 76% dan 1,298 kg/m³ hari.

Jika dibandingkan dengan kinerja sistem anaerobik yang dimiliki oleh industri yang mampu menurunkan COD hingga 94% dengan waktu tinggal 15 hari dan penurunan beban COD sebesar 396 kg COD/m³ hari, maka reaktor UASB hasil penelitian memiliki keunggulan ditinjau dari waktu tinggal dan penurunan beban COD.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh DIPA Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Kementerian Perindustrian tahun anggaran 2015. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada anggota tim penelitian: Yuniarti Dewi Damayanti (alm), Dah Pitarin Agista, Lisa

Indah Pratiwi dan Saifuddin, serta seluruh pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez JA., Ruiz I., Gomez M., Preses J., and Soto M., 2006, Start-up Alternatives and performance of a UASB pilot plant treating diluted municipal wastewater at low temperature. *Bioresource Technol.*, 97, pp. 1640-1649.
- Ganesh PS., Ramasamy EV., Gajalakshmi S., Sanjeevi R., Abbasi SA., 2007, Studies on treatment of low-strength effluents by UASB reactor and its application to dairy industry wash waters, *Indian Journal of Biotechnology* Vol. 6, hal.234-238.
- Kaluzhnyi V., Fedorovich VV., and Lens P., 2006, Dispersed plug flow model for upflow anaerobic sludge bed reactors with focus on granular sludge dynamics. *Industrial Microbiology and Biotechnology*, 33, pp. 221-237.
- Marlana B., Sartamtomo., Dewi Y., Zen N, 2013, Pengolahan Air Limbah Industri Kecap dengan Proses Anaerob Filter dan Aerob Media Bergerak, *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri* Vol. 2, No.3, hal 143 – 150.
- Moertinah S., Moenir M., Sartamtomo, Yuliasni R., 2013, Pilot Project Pengolahan Air Limbah Industri Kertas Kraft dengan Sistem Biologis Anaerobik UASB Wetland, *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri* Vol. 2, No.3, hal 123 – 132.
- Moenir M., Moertinah S., Sartamtomo, 2014, Pengolahan Air Limbah Industri Teh Botol dengan Teknologi Biologis Anaerobik UASB Wetland, *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri* Vol.5, No.2, hal 65 – 72.
- Rice EW., Baird RB., Eaton AD., Clesceri LS (ed), 2012, *Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater* 22nd Ed., American Public Health Association, Washington.

Van Lier JB., Mahmoud N., Zeeman G., 2008, Anaerobic Wastewater Treatment. In Henze, M., Loosdrecht, M.V., Brdjanovic, D. (eds) Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design, IWA Publishing, London, pp. 401-442



JRT P P I 7 (2) (2016)

**Jurnal Riset
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri**

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

**Kementerian
Perindustrian**
REPUBLIK INDONESIA

Perencanaan bak pengendap pada sistem lumpur aktif industri biskuit dengan metode grafis

Sedimentation tank design in activated sludge system of biscuit industry using graphical method

Nanik Indah Setianingsih*, Djarwanti, Moch. Syarif Romadhon

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

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel :

Diterima 26 April 2016

Direvisi 05 September 2016

Disetujui 07 September 2016

Dipublikasikan online

23 November 2016

Keywords :

sedimentation

curve

graphical

design

ABSTRAK

Pengendapan merupakan suatu cara yang paling sederhana, murah, dan banyak digunakan dalam proses pengolahan air limbah. Kinerja dari suatu desain bak pengendap sangat spesifik untuk setiap jenis limbah, oleh sebab itu jika suatu peralatan sedimentasi dirancang tanpa suatu eksperimen, kinerja yang dihasilkan sering tidak memuaskan. Metode grafis merupakan salah satu cara dalam menentukan desain bak sedimentasi. Metode grafis dapat menghasilkan suatu desain bak pengendap yang tepat sebagaimana sistem komputasi karena ditentukan dengan eksperimen namun dengan cara yang lebih sederhana dan biaya yang murah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang bak pengendap dari proses lumpur aktif industri biskuit dengan metode grafis yang disesuaikan dengan kriteria dasar-dasar perencanaan bak pengendap. Penelitian secara laboratorium dilakukan melalui pengamatan proses pengendapan dalam column *settling test* dengan tinggi 150 cm dan luas penampang 100 cm². Parameter yang diamati adalah tinggi endapan terhadap waktu pengendapan. Berdasar perhitungan secara grafis didapatkan hasil sebagai berikut untuk mengendapkan lumpur dengan kandungan MLSS awal 4.325 mg/L menjadi 18.000 mg/L dengan debit 300 m³/hari diperlukan waktu pengendapan / HRT (*Hydraulic Retention Time*) 1,87 jam, luas area pengendapan 20,83 m², dan Volume bak pengendap 31,24 m³. Perkiraan lumpur yang dihasilkan adalah sebesar 98,61 kg MLSS/hari.

ABSTRACT

Sedimentation is the simplest, most widely and cheapest method used in wastewater treatment. The Performance of sedimentation tank is specific for each type of waste water, therefore if sedimentation tank is designed without experimental studies, unsatisfactory performance will often result. Graphical method is one of the technique to determine the design of settling tank. Graphical method is able to produce the accurate data for designing sedimentation tank similar as computational method based with more simple and least expensive. The aim of this research was to design the sedimentation basin from activated sludge process of biscuit industry by graphical method adjusted from the basics of sedimentation basin design. The laboratory experiment was performed by observing sedimentation process on glass tube. The glass tube has height 150 cm and cross-sectional area 100 cm². The observation parameters were height of sediment vs settling time. The result showed that, to precipitate sludge with initial MLSS of 4.325 mg/L to final MLSS of 18.000 mg/L, with the flowrate of 300 m³/day would need HRT (*Hydraulic Retention Time*) of 1,87 hour, cross-sectional sedimentation area of 20,83 m², and sedimentation basin volume of 31,24 m³. The estimation of the production sludge was 98,61 Kg MLSS/day.

© 2016 BBTPPI. All rights reserved.

*Alamat korepondensi :

E-mail : indahsnanik@yahoo.co.id (N.I. Setianingsih)

1. PENDAHULUAN

Dalam upaya mencegah terjadinya pencemaran yang diakibatkan oleh air limbah industri, perusahaan diwajibkan untuk mengolah air limbahnya dengan baik dan benar didalam IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah). IPAL terdiri dari beberapa unit peralatan yang masing masing peralatan mempunyai fungsi yang berbeda-beda. Masing masing alat beroperasi secara simultan sehingga menghasilkan efluen yang memenuhi baku mutu yang disyaratkan. Kondisi yang ideal ini akan tercapai jika masing masing unit alat bisa beroperasi pada kondisi yang optimal. Masalah yang sering muncul didalam penerapan teknologi IPAL adalah kegagalan proses dan atau efisiensi pengolahan yang rendah sebagai akibat dari desain yang kurang tepat. Oleh karena itu, informasi yang tepat sangat diperlukan sebagai input didalam perancangan IPAL.

Salah satu unit IPAL adalah bak sedimentasi atau bak pengendap. Bak sedimentasi berfungsi untuk mengurangi kandungan TSS (*Total Suspended Solid*) dalam air limbah melalui proses fisik (gravitasi) tanpa penambahan bahan kimia sehingga kandungan COD dan BOD menjadi turun.

Telah dilakukan beberapa penelitian tentang sifat-sifat suspensi untuk menentukan desain proses pengendapan yang ideal, namun belum ada persamaan yang cocok untuk mensimulasikan tipe pengendapan pada pengolahan air limbah untuk memudahkan desain bak pengendap, terlepas dari kemajuan-kemajuan yang sudah diperoleh tentang studi pengendapan suspensi (Lori dkk., 2009).

Penentuan desain bak pengendap secara empiris memperoleh kriteria desain antara lain *overflow rate*, kedalaman, geometri permukaan dan HRT. Kriteria ini membantu perancangan bak pengendap namun belum cukup akurat untuk memprediksi kinerja pengendapan yang sebenarnya (Lee dkk., 2014).

Model yang lebih teliti berbasis komputasi dinamika fluida CFD (*computational fluid dynamics*) telah digunakan untuk memprediksi pola aliran dan distribusi suspended solid dalam bak sedimentasi (Goula dkk., 2008), dan (Piro dkk., 2011) juga telah mencoba menentukan desain bak sedimentasi dengan metode komputasi sederhana. Metode-

metode tersebut dapat diterapkan dengan cepat dan menghasilkan data yang ekuivalen dengan data yang diperoleh dengan metode grafis konvensional yang sudah diakui ketepatannya untuk menentukan proses pengendapan air limbah. Sayangnya untuk teknik rekayasa, metode CFD kurang cocok digunakan karena kompleksitasnya. (Vallet dkk., 2014).

Model bak sedimentasi berbasis CFD belum banyak digunakan karena penentuan persamaan untuk aliran yang bersifat fluktuatif sangat rumit, selain itu juga diperlukan biaya yang berkaitan dengan hardware dan software khusus. Saat ini, baru sejumlah kecil organisasi atau industri yang menggunakan teknik CFD dalam menentukan bak sedimentasi pada fasilitas IPAL mereka karena tingginya biaya lisensi untuk penggunaan software CFD (Lori dkk., 2009).

Kinerja dari suatu desain bak pengendap sangat spesifik untuk masing-masing jenis limbah. Oleh sebab itu jika suatu peralatan sedimentasi dirancang tanpa suatu studi eksperimen, kinerja yang dihasilkan akan sering tidak memuaskan. Suatu percobaan diperlukan untuk memperoleh model kontur plot *total solid removal* pada ketinggian dan waktu yang berbeda, yang juga akan diperlukan dalam membuat grafik untuk menggambarkan dan menentukan persentase *total solid removal* dalam tangki pada waktu tertentu (Harfouche dan Sencan, 2014).

Metode penentuan bak sedimentasi secara grafis merupakan salah satu pilihan dalam menentukan desain bak sedimentasi terutama untuk industri skala kecil dan menengah di Indonesia. Metode ini dapat menghasilkan suatu desain bak pengendap yang tepat sebagaimana sistem komputasi karena ditentukan dengan eksperimen namun dengan biaya yang murah dan cara yang lebih sederhana. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang bak pengendap dari proses lumpur aktif industri biskuit menggunakan metode grafis disesuaikan dengan kriteria dasar-dasar perencanaan bak pengendap.

Kriteria yang diperlukan dalam perencanaan bak pengendap antara lain adalah *surface loading* (beban permukaan), kedalaman bak, waktu tinggal, dan ratio antara luas permukaan dan kedalaman bak. Faktor-faktor ini akan mempengaruhi karakteristik aliran, sehingga apabila

persyaratannya terpenuhi maka proses pengendapan dapat berlangsung dengan efisien.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Ruang Lingkup

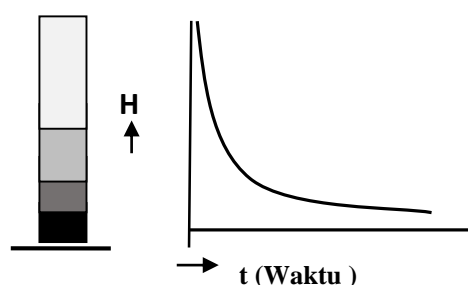
Pada penelitian ini metode grafis digunakan untuk mendesain bak pengendap yang spesifik untuk satu sistem lumpur aktif yang telah diketahui konsentrasi MLSS nya. Sebelum mendesain sebuah bak pengendap final, maka perlu dilakukan percobaan laboratorium secara *batch* menggunakan *column settling test*. Pengamatan dilakukan terhadap tinggi endapan pada t_0 (waktu awal) hingga t (waktu yang ditentukan). Data yang diperoleh adalah hubungan antara tinggi endapan dengan waktu. Setelah dilakukan olah data didapatkan kurva hubungan antara waktu dan ketinggian endapan. Kurva ini dapat digunakan untuk menentukan desain bak pengendap dengan berbagai variasi konsentrasi MLSS yang diinginkan. Pada percobaan ini konsentrasi MLSS yang diinginkan adalah dari 4.325 mg/L menjadi 18.000 mg/L.

2.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah air limbah dari proses lumpur aktif di salah satu industri biskuit di Kabupaten Semarang dengan konsentrasi awal MLSS adalah 4.325 mg/L. Alat yang digunakan untuk percobaan adalah *column settling test* berupa tabung kaca dengan luas permukaan 100 cm² dan tinggi 150 cm. Peralatan yang digunakan untuk analisa adalah MLSS meter, oven, kertas saring, peralatan gelas dan desikator.

2.3. Prosedur Penelitian

Percobaan pengendapan dilakukan dalam tabung kaca dengan variasi waktu 0 (t_0); 10; 20; 30..... 180 (t) menit. Sampel air limbah dari proses lumpur aktif dikocok hingga homogen kemudian dimasukkan kedalam tabung kaca. Proses pengendapan yang terjadi diamati dengan mencatat waktu dan tinggi endapan lumpur yang terjadi. Proses pengendapan yang terjadi dapat digambarkan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan antara tinggi endapan dan waktu pengendapan

2.2. Analisis Hasil

Data hasil pengamatan diolah dengan membuat kurva hubungan antara tinggi endapan lumpur dengan waktu pengendapan (Masduqi dan Slamet, 2002). Ditentukan *slope* pada zona *free settling* dan *hindered settling*, kemudian perpanjang garis lurus dari kedua zona tersebut. Tentukan titik pertemuan garis dari kedua zona, tentukan titik pusat lengkungan dan buat garis singgung. Dengan mengetahui konsentrasi lumpur awal (C_0) dan tinggi endapan lumpur awal (H_0) dan konsentrasi desain *underflow* (C_u), tentukan tinggi lumpur *underflow* (H_u) dengan persamaan $C_0 \cdot H_0 = C_u \cdot H_u$. Buat garis horisontal dari H_u hingga memotong garis singgung, maka diketahui t_u (waktu yang diperlukan untuk mencapai konsentrasi C_u). Dari perhitungan secara grafis didapatkan data dasar yang digunakan dalam rancangan, kemudian ditentukan dimensi bak, waktu tinggal serta perkiraan lumpur yang dihasilkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kurva Pengendapan

Pengendapan dapat dibedakan menjadi 4 tipe menurut Metcalf dan Eddy di dalam (Komalasari, 2011) yaitu pengendapan tipe I, pengendapan tipe II, pengendapan tipe III dan pengendapan tipe IV. Pengendapan tipe IV merupakan kelanjutan dari pengendapan tipe III di mana terjadi pemampatan (kompresi) massa partikel hingga diperoleh konsentrasi lumpur yang tinggi. Sebagai contoh

sedimentasi tipe III dan IV ini adalah pengendapan lumpur biomassa pada *final clarifier* setelah proses lumpur aktif.

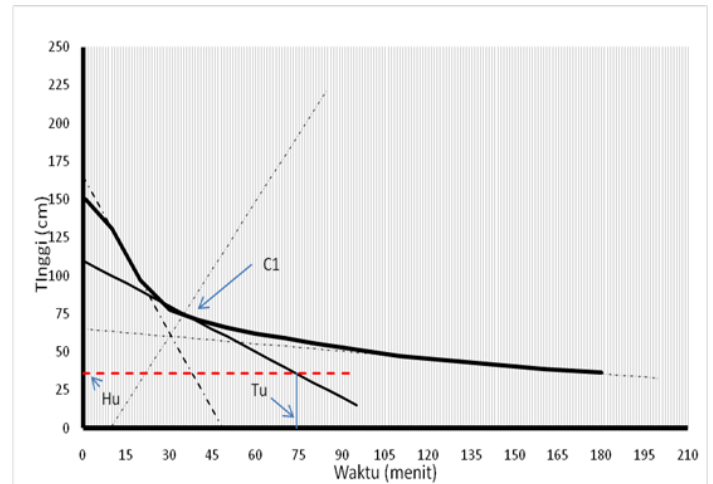
Dari suatu proses lumpur aktif, jika lumpur diendapkan dalam suatu kolom kaca, maka akan terlihat jelas batas *interface* antara lumpur dan larutan jernih yang bisa terlihat dalam kurun waktu tertentu. Tahmadge dan Fitch di dalam (Masduqi dan Slamet, 2002) mengembangkan fenomena ini dan menggambarkan dalam bentuk kurva pengendapan yang berbentuk garis lengkung. Garis singgung yang melewati titik pusat lengkungan menggambarkan hubungan antara konsentrasi lumpur dan waktu pengendapan.

Percobaan pengendapan lumpur aktif dalam tabung kaca dengan tinggi cairan 150 cm dan diameter 100 cm² menghasilkan data seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan antara tinggi endapan terhadap waktu pengendapan

T, waktu (menit)	H, Tinggi Endapan (cm)
1	150
10	131
20	97
30	78
40	71
50	66
60	62
70	59
80	56
90	53
100	50
110	47,5
120	45,5
130	44
140	42,2
150	40,5
160	39
170	37,5
180	36,5

Kurva H vs T hasil percobaan tersebut ditampilkan pada Gambar 2. Melalui kurva tersebut bisa dihitung secara grafis hubungan antara konsentrasi lumpur *underflow* yang diinginkan dengan HRT (*Hydraulic Retention Time*). Dengan metode kecepatan pengendapan secara *batch* dengan mudah dapat ditentukan dan keakuratan prosedur ini sangat tergantung pada penentuan titik kompresi (Li dan Stenstrom, 2013).



Gambar 2. Kurva sedimentasi

Kecepatan pengendapan didefinisikan sebagai laju pengurangan atau penurunan ketinggian daerah batas antara *slurry* (endapan) dan *supernatant* (*liquid* jernih) pada suhu seragam untuk mencegah pergeseran fluida karena konveksi (Lourentius dkk., 2014).

Didalam proses sedimentasi ini terjadi pemisahan antara padatan dengan cairan yang berupa *slurry* encer. Pemisahan ini menghasilkan cairan jernih dan padatan dengan konsentrasi tinggi. Mekanisme dari sedimentasi dideskripsikan dengan observasi pada tes *batch settling* yaitu ketika partikel-partikel padatan dalam suatu *slurry* mengalami proses pengendapan dalam tabung kaca.

Pada keadaan awal, konsentrasi *slurry* adalah seragam di seluruh bagian tabung. Kecepatan sedimentasi konstan terlihat pada grafik hubungan antara kedalaman dan waktu pengendapan (Gambar 2) yang membentuk garis lurus untuk periode awal. Periode ini disebut *free settling*, dimana padatan bergerak turun hanya karena gaya gravitasi. Kecepatan yang konstan ini disebabkan oleh konsentrasi di lapisan batas yang

relatif masih kecil, sehingga pengaruh gaya tarik-menarik antar partikel, gaya gesek dan gaya tumbukan antar partikel dapat diabaikan. Partikel yang berukuran besar akan turun lebih cepat, menyebabkan tekanan ke atas oleh cairan bertambah, sehingga mengurangi kecepatan turunnya padatan yang lebih besar. Hal ini membuat kecepatan penurunan semua partikel (baik yang kecil maupun yang besar) relative sama atau konstan. Semakin banyak partikel yang mengendap, konsentrasi menjadi tidak seragam diikuti bagian bawah *slurry* menjadi lebih pekat. Konsentrasi pada bagian atas bertambah, gerak partikel semakin sukar dan kecepatan turunnya partikel berkurang. Kondisi ini disebut *hindered settling*.

Kondisi *free settling* dan *hindered settling* dapat diamati pada gambar 2 yaitu grafik hubungan antara H (tinggi endapan) dan t (waktu pengendapan), dimana untuk kondisi *free settling* ditunjukkan saat grafik masih berupa garis lurus, sedangkan saat grafik mulai melengkung merupakan kondisi *hindered settling* (Lourentius dkk., 2014).

Pada kurva sedimentasi ditentukan slope di zona *free settling* dan di zona *compression*. Dari titik pertemuan dua slope tersebut ditentukan titik pusat lengkungan dan dibuat garis singgung. Melalui garis singgung ini bisa dihitung tinggi lumpur dan konsentrasi lumpur *underflow*. Data yang diperoleh dari prinsip sedimentasi secara *batch* dapat digunakan untuk merencanakan proses yang kontinyu. Sebagai simulasi diberikan contoh mendesain bak pengendap dengan kriteria sebagai berikut :

Kriteria disain

Konsentrasi MLSS lumpur awal, $C_0 = 4325 \text{ mg/L}$

Konsentrasi lumpur *underflow*, yang diinginkan $C_u = 18.000 \text{ mg/L}$

Debit aliran, $Q = 300 \text{ m}^3/\text{hari}$

Debit sirkulasi lumpur $Q_R = 100 \text{ m}^3/\text{hari}$

Bentuk bak sedimentasi *rectangular*

3.2. Perencanaan bak pengendap

a. Tinggi endapan

Dibuat garis lurus dari zona pengendapan dan zona *compression*. Dari titik potong kedua garis tersebut ditarik

garis bagi memotong kurva di titik C_1 . Dari titik C_1 dibuat garis singgung. Diinginkan konsentrasi MLSS *underflow* 18.000 mg/L . maka ketinggian endapan :

$$\begin{aligned} \text{Ketinggian } H_u &= \frac{C_0 \cdot H_0}{C_u} = \frac{4325 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot 150 \text{ cm}}{18.000 \text{ mg/l}} \\ &= 36,04 \text{ cm} \end{aligned}$$

Ditarik garis horizontal pada ketinggian $36,04 \text{ cm}$ memotong garis singgung. Apabila dari titik potong ini ditarik garis vertikal sampai memotong garis ordinat, didapatkan $T_u = 75 \text{ menit}$. Dari perhitungan ini diketahui bahwa untuk mengendapkan lumpur dengan konsentrasi MLSS awal 4325 mg/L menjadi 18.000 mg/L diperlukan waktu waktu 75 menit , tinggi endapan semula 150 cm menjadi $36,04 \text{ cm}$.

b. Area yang diperlukan untuk mengendapkan lumpur

$$\begin{aligned} \text{Area } A &= \frac{1,5 (Q+Q_R) T_u}{H_0} = \frac{1,5 (300+100) \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \cdot 75 \text{ menit}}{150 \text{ cm}} = \\ &20,83 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

c. Volume bak

$$\text{Volume bak } V = A \cdot H_0 = 20,83 \text{ m}^2 \cdot 150 \text{ cm} = 31,24 \text{ m}^3$$

d. Waktu tinggal cairan, HRT (*Hydraulic Retention Time*)

$$\text{Waktu tinggal HRT} = \frac{V}{(Q+Q_R)} = \frac{31,24 \text{ m}^3}{(300+100) \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}} = 1,87 \text{ jam}$$

e. Dimensi bak

Bentuk bak *rectangular*. Dengan perbandingan panjang : lebar = 3:1

$$3L \times 1L = 20,83.$$

$$3L^2 = 20,83.$$

$$L^2 = 20,83$$

$$L, = 2,63$$

Lebar bak pengendap = $2,63 \text{ m}$ dan panjang = $7,90 \text{ m}$, kedalaman = $1,5 \text{ m}$. Apabila dasar bak dibuat miring dengan kedalaman $1,5 \text{ m}$ dan 1 m maka lebar bak $2,90 \text{ m}$ dan panjang bak $8,70 \text{ m}$

f. Produksi lumpur

Jumlah lumpur yang terbentuk ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

Jumlah lumpur $P = Q_{ave} \cdot SS \cdot R \cdot 10^{-5} = 300 \text{ m}^3/\text{hari} \cdot 4325 \text{ mg/L} \cdot 76 \cdot 10^{-5} = 98,61 \text{ kg MLSS/hari}$
 Dimana Q_{ave} = debit rata-rata (m^3/hari), SS = konsentrasi MLSS awal (mg/L) dan R = MLSS terolah (%).

g. Surface hydraulic Loading Rate (HLR)

$$\text{HLR} = \frac{(Q+Q_R)}{A} = \frac{(300+100) \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}}{20,83 \text{ m}^2} = 19,20 \text{ m/hari}$$

4. KESIMPULAN

Hasil percobaan pengendapan lumpur aktif secara laboratorium dengan menggunakan *column settling test* dapat digunakan sebagai data dasar perencanaan bak pengendap. Dengan menggunakan perhitungan secara grafis bisa direncanakan dimensi bak pengendap, volume bak, HRT (*Hydraulic Retention Time*), jumlah lumpur, *surface hydraulic loading rate* dan ketinggian lumpur. Pada sistem lumpur aktif industri biskuit sebagai sampel untuk mengendapkan lumpur dengan kandungan MLSS awal 4325 mg/L menjadi 18.000 mg/L dengan debit 300 m^3/hari diperlukan HRT 1,87 jam, luas area pengendapan 20,83 m^2 , volume bak pengendap 31,24 m^3 . Perkiraan lumpur yang dihasilkan adalah sebesar 98,61 kg MLSS/hari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BBT PPI dan PT. Nissin Biscuit yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian, serta kepada seluruh tim penelitian dan analis laboratorium yang telah berkontribusi hingga terselesainya kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Goula AM., Kostoglou M., Karapantsios TD., Zouboulis AI., 2008, A CFD methodology for the design of sedimentation tanks in potable water treatment Case study: The influence of a feed flow control baffle, *Chemical Engineering Journal* 140 :110–121.

Harfouche N. dan Sencan D., 2014, - Graphical model for continuous horizontal flow settling tank design, *International Journal of Numerical* : 37–41.

Komalasari D., 2011, Modul I Prasedimentasi dan Sedimentasi 3. <http://www.academia.edu/7251803>.

Lee, S., Maniquiz-redillas MC., Kim L., 2014, Settling basin design in a constructed wetland using TSS removal efficiency and hydraulic retention time, *Journal of Environmental Science* 26(9) : 1791–1796. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2014.07.002>.

Li B., Stenstrom MK., 2013, Dynamic one-dimensional modeling of secondary settling tanks and design impacts of sizing decisions, *Water Research* 50 : 160–170. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.11.037>.

Lori H., Taboada-lo D., Jime H., 2009, Approximate Method for Designing a Primary Settling Tank for Wastewater, *Industrial and Engineering Chemistry Research* 48(16): 7842–7846.

Masduqi A., Slamet A., 2002. Satuan Operasi. In Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS, p. 167.

Piro P., Carbone M., Penna N., Marsalek J., 2011, Characterization of the settling process for wastewater from a combined sewer system, *Water Research* 45(20):6615–6624. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2011.09.034>.

Setiyadi, Lourentius S., Ezra AW., Gede PMS., 2014, Menentukan Persamaan Kecepatan Pengendapan Pendahuluan. *Widya Teknik*, 10(1) : 9–17.

Vallet B., Muschalla D., Lessard P., Vanrolleghem PA., 2014, A new dynamic water quality model for stormwater basins as a tool for urban runoff management: Concept and validation, *Urban Water Journal* 11(3): 211–220. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1573062X.2013.775313>.

