

# JURNAL RISET

## TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI

**Vol. 6, No. 2, November 2015**

Pengembangan Reaktor Fotokatalitik *Rotating Drum*  
untuk Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil  
**Cholid Syahroni dan Djarwanti**

Pengolahan Air Limbah Kadar Garam Tinggi  
dengan Sistem Lumpur Aktif  
**Nanik Indah Setianingsih, Danny Widyakusuma Hermawan dan Nilawati**

*Exploration of Barriers in Achieving Proactive Environmental Strategies  
in A Natural Rubber Industry : A Case Study*  
**Syarifa Arum Kusumastuti, Suprihatin dan Nastiti Siswi Indrasti**

Inventori Pencemaran Udara Parameter Non Methane Hidrokarbon (NMHC)  
di Kabupaten / Kota Propinsi Jawa Tengah  
**Ikha Rasti Juliasari dan Januar Arif Fatkhurrahman**

Kajian Potensi Teknologi *Microbial Electrosynthesis Cell* (MES)  
untuk Sintesis Senyawa Organik (C1 - C5) dari Gas Karbondioksida  
**Rustiana Yuliasni**

Kajian Penerapan Produksi Bersih di Industri Tahu  
di Desa Jimbaran, Bandungan, Jawa Tengah  
**Silvy Djayanti**

JURNAL RISET Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri	Vol. 6	No. 2	Halaman 35 - 80	Semarang, November 2015	ISSN No. 2087-0965
---	--------	-------	--------------------	----------------------------	--------------------

**JURNAL RISET TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI**  
**(RESEARCH JOURNAL OF INDUSTRIAL POLLUTION PREVENTION TECHNOLOGY)**  
**Volume 6, Nomor 2, November 2015**

---

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri adalah majalah ilmiah berkala yang memuat karya tulis ilmiah di bidang pencegahan pencemaran industri, diterbitkan secara teratur dua kali per tahun oleh Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (BBTPPI) Semarang, Kementerian Perindustrian

---

**DEWAN REDAKSI**

**Penanggung Jawab / Ketua Pengarah**

Kepala BBTPPI Semarang

**Pengarah**

Ir. Nasuka, MM , Ir Didik Harsono

**Pemimpin Redaksi**

Cholid Syahroni, S.Si, M.Si

**Mitra Bestari**

Prof. Dr. Ir. Eddy Hermawan, M.Sc (Meteorologi) – Dr. Bambang Cahyono, M.Sc (Kimia Organik)  
Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA (Teknologi Kimia) – Prof. Dr. Drs. Karna Wijaya, M.Eng (Kimia Energi dan Kimia Bahan)

**Dewan Redaksi**

Dr. Aris Mukimin, S.Si, M.Si (Kimia Lingkungan), Ir. Nani Harihastuti, M.Si (Teknologi Lingkungan) ,  
Drs. M. Moenir, M.Si (Biologi Lingkungan), Ir. Marihati (Simulasi dan Kontrol Proses),  
Rame, S.Si, M.Si (Kimia Lingkungan), Novarina Irnaning Handayani, S.Si, M.Si  
(Biologi Lingkungan), Bakti Marlana, ST, M.Si (Ilmu Lingkungan), Subandriyo S.Si, M.Si  
(Ilmu Lingkungan), Ikha Rasti Juliasari, ST, M.Si (Ilmu Lingkungan),  
Ir. Djarwanti (Teknologi Lingkungan)

**Redaksi Pelaksana**

Silvy Djayanti, ST, M.Si  
Nur Zen, ST  
Januar Arif Fatkhurrahman, ST

**Sekretaris**

Farida Crisnaningtyas, ST  
Hanny Vistanty, ST, MT

**Distribusi**

Eko Widowati, SH  
Santoso

**Alamat Redaksi**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (BBTPPI)  
Jl. Kimangunsarkoro No.6 Semarang, Telp. 024-8316315, Fax. 024-8414811  
email : jurnalrisetppi@kemenperin.go.id

**JURNAL RISET TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI**  
**(RESEARCH JOURNAL OF INDUSTRIAL POLLUTION PREVENTION TECHNOLOGY)**  
**Volume 6, Nomor 2, November 2015**

---

**DAFTAR ISI**

<b>Hasil Penelitian</b>	<b>Halaman</b>
Pengembangan Reaktor Fotokatalitik <i>Rotating Drum</i> untuk Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil .....	35 – 44
Pengolahan Air Limbah Kadar Garam Tinggi dengan Sistem Lumpur Aktif .....	45 – 50
<i>Exploration of Barriers in Achieving Proactive Environmental Strategies in A Natural Rubber Industry : A Case Study</i> .....	51 – 58
Inventori Pencemaran Udara Parameter Non Methane Hidrokarbon (NMHC) Di Kabupaten / Kota Propinsi Jawa Tengah .....	59 – 66
Kajian Potensi Teknologi <i>Microbial Electrosynthesis Cell</i> (MES) Untuk Sintesis Senyawa Organik (C1-C5) Dari Gas Karbondioksida .....	67 – 74
Kajian Penerapan Produksi Bersih Di Industri Tahu Di Desa Jimbaran, Bandungan, Jawa Tengah .....	75 – 80

### **PENGANTAR REDAKSI**

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri Volume 6, No. 2, November 2015, terbit dengan menyajikan makalah-makalah hasil penelitian maupun kajian. Topik utama dalam terbitan kali ini adalah pengembangan teknologi serta penerapan strategi dalam upaya pencegahan pencemaran industri.. Topik-topik tersebut kami sajikan dalam rangka mendukung konsep *green industry*, yaitu pengembangan sektor industri yang berkesinambungan, baik secara ekonomi, lingkungan maupun sosial.

Pada terbitan ini, redaksi menyajikan makalah dengan topik :

1. Pengembangan Reaktor Fotokatalitik *Rotating Drum* untuk Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil
2. Pengolahan Air Limbah Kadar Garam Tinggi dengan Sistem Lumpur Aktif
3. *Exploration Of Barriers In Achieving Proactive Environmental Strategies In A Natural Rubber Industry: A Case Study*
4. Inventori Pencemaran Udara Parameter Non Methane Hidrokarbon (NMHC) Di Kabupaten / Kota Propinsi Jawa Tengah
5. Kajian Potensi Teknologi *Microbial Electrosynthesis Cell* (MES) Untuk Sintesis Senyawa Organik (C1-C5) Dari Gas Karbondioksida
6. Kajian Penerapan Produksi Bersih Di Industri Tahu Di Desa Jimbaran, Bandungan, Jawa Tengah

## **PEDOMAN PENULISAN NASKAH**

### **Ruang Lingkup Jurnal**

Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri adalah majalah ilmiah yang berdedikasi sebagai media diseminasi dari hasil penelitian atau kajian teknologi. Jurnal ini terbuka bagi semua peneliti dan semua pihak dengan kontribusi yang difokuskan pada studi eksperimental dan analisis teoritis fenomena yang terkait dengan teknologi lingkungan serta pengembangan proses dan simulasi, desain peralatan dan fabrikasi, bahan atau material yang digunakan dalam upaya pencegahan pencemaran industri. Artikel bertujuan untuk memecahkan masalah yang dihadapi dalam bidang teknologi pencegahan pencemaran industri melalui pengembangan di bidang: bioteknologi, teknologi industri hijau, konservasi energi, dan pemulih sumber daya dan daur ulang.

Naskah dapat ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris yang baik dan benar. Naskah tersebut belum pernah diterbitkan dan tidak direncanakan diterbitkan dalam publikasi yang lainnya.

### **Tata Cara Pengiriman**

Naskah disampaikan dalam bentuk softcopy dan dikirimkan ke redaksi Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri ke email: [jurnalrisetppi@kemenperin.go.id](mailto:jurnalrisetppi@kemenperin.go.id). Redaksi berhak menolak naskah atau artikel yang dianggap tidak layak untuk diterbitkan.

### **Petunjuk Penulisan**

1. Naskah ditulis menggunakan format file dengan ekstensi **.docx** atau **.doc**, font arial, spasi 1,5 pada kertas A4 (kwarto), margin kiri-kanan 30 mm bawah-atas 25 mm. Naskah tidak lebih dari 10.000 (sepuluh ribu) kata atau maksimal 15 halaman.
2. Format naskah yang berasal dari hasil penelitian adalah: Judul, Nama penulis dan alamat instansi, email koresponden, Abstrak Bahasa Indonesia, Kata kunci berbahasa Indonesia, Abstrak berbahasa Inggris, Keywords, Pendahuluan, Metode, Hasil dan pembahasan, Kesimpulan, Ucapan terimakasih (kalau ada) dan Daftar pustaka. Naskah yang bukan hasil penelitian maka formatnya disesuaikan dengan kaidah ilmiah yang berlaku.
3. Judul: ditulis dengan huruf besar font 14 pt bold, singkat, jelas, menggambarkan isi naskah dan maksimal 16 kata
4. Nama penulis: ditulis dengan font 12 pt bold yang berisi nama lengkap, tanpa gelar akademik. Apostrof ditulis dibelakang nama penulis dengan format superscript. Jika penulis lebih dari satu dan instansinya berbeda maka ditandai dengan contoh: Zen<sup>1</sup>, Rado<sup>2</sup>, Janu<sup>3</sup>. Jarak antara judul dengan nama penulis adalah 2 spasi.

5. Abstrak: ditulis dalam dua bahasa (Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris) dan maksimal 250 kata. Abstrak memuat perumusan masalah, tujuan, metode, hasil utama, kesimpulan hasil penelitian. Judul abstrak ditulis dengan font 11 pt bold. Isi abstrak dalam bahasa Inggris ditulis dengan font 11 pt italic dengan jarak 1 spasi. Jarak nama dengan abstrak adalah 2 spasi.
6. Kata kunci dan Key words: maksimal 5 kata. Judul kata kunci ditulis dengan font 11 pt bold. Isi ditulis dengan font 11 pt italic. Jarak abstrak/*abstract* dengan kata kunci/*keywords* 2 spasi.
7. Isi naskah: ditulis dengan font arial 12 pt dan 1,5 spasi.
8. Gambar dan tabel diberi nomor urut. Judul tabel ditulis di atas tabel, sedangkan judul gambar ditulis di bawah gambar. Gambar hendaknya beresolusi tinggi. Jumlah gambar dan tabel tidak melebihi 30% dari keseluruhan naskah.
9. Sitasi: ditulis di dalam teks dengan identitas nama dan tahun dalam tanda kurung. Sitasi ditempatkan sebelum tanda baca, contoh
  - Bahan ini digunakan dalam berbagai macam aplikasi (Zen dkk., 2009)
  - Hasil ini kemudian dibantah oleh Becker dan Seligman (Hariastuti, 2007)
  - Efek initalah banyak dipelajari (Subandrio, 2004; Marlina dkk., 2010; Hanny, 2011).
10. Daftar pustaka: disusun menurut contoh sebagai berikut:

**Buku**

Carter CB., Norton MG., 2013, Ceramic Materials: Science and Engineering , 2nd edn., Springer, New York

**Jurnal**

Hanaor DAH., Sorrell CC., 2011, Review of the anatase to rutile phase transformation, J Mater Sci 46(2):855-874.

**Artikel terpublikasi online**

Kaplan WD., Chatain D., Wynblatt P., Carter WC., 2013, A review of wetting versus adsorption, complexions, and related phenomena: the Rosetta stone of wetting, J Mater Sci. doi: 10.1007/s10853-- 009-3874-0

**Dokumen online**

Barthelmy D., 2007 Cryptomelane. <http://webmineral.com/data/Cryptomelane.shtml>. Accessed 28 July 2013

**Skripsi/thesis/Disertasi**

Blanford CF., 2000, Synthesis and electron microscopy of inorganic and hybrid organic-inorganic mesoporous and macroporous materials. PhD Dissertation, University of Minnesota

**Prosiding**

Moertinah S., 2009, Teknologi pengolahan air limbah tenun sintesis, Dalam prosiding Seminar Nasional HKI, Semarang

11. Naskah yang masuk akan dievaluasi oleh dewan redaksi dengan kriteria penilaian meliputi: kesesuaian ruang lingkup jurnal, kebenaran isi, orisinalitas dan kejelasan uraian. Naskah yang tidak dapat dimuat akan diberitahukan kepada penulis.
12. Pendapat atau pernyataan ilmiah merupakan tanggung jawab penulis
13. Hal-hal yang belum jelas dapat menghubungi redaksi

**JURNAL RISET TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI**  
**(RESEARCH JOURNAL OF INDUSTRIAL POLLUTION PREVENTION TECHNOLOGY)**  
**Volume 6, Nomor 2, November 2015**

Cholid Syahroni (Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang)  
Pengembangan Reaktor Fotokatalitik Rotating Drum Untuk Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil  
*JURNAL RISET TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI*, 6 (2) 2015 : 35 - 44

Reaksi oksidasi fotokatalitik memiliki potensi untuk mendegradasi senyawa organik hingga tingkat mineralisasi, sehingga tidak meninggalkan residu (*sludge*). Penelitian ini bertujuan membuat reaktor fotokatalitik *rotating drum* dan mengaplikasikannya pada industri tekstil. Langkah percobaan meliputi pembuatan katalis  $\text{TiO}_2$  secara *anodizing* serta karakterisasi dengan XRD dan SEM, pembuatan reaktor fotokatalitik *rotating drum* dan uji coba degradasi air limbah industri tekstil. Proses *anodizing* dilakukan dengan bias potensial sebesar 40 volt selama 2 jam menggunakan elektrolit etilen glikol yang mengandung amonium fluorida dan air. Uji karakterisasi secara XRD dan SEM menunjukkan bahwa struktur kristal  $\text{TiO}_2$  adalah anatase dengan ukuran kristalit 8–19 nm. Bentuk kristal *nanotube*, dengan diameter 30–110 nm. Hasil uji coba menunjukkan bahwa degradasi secara fotokatalitik dengan penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$  0,15% terhadap air limbah bisa menurunkan COD 72,12% dalam waktu 2 jam.

(Cholid Syahroni dan Djarwanti)

Kata Kunci : fotokatalitik,  $\text{TiO}_2$ , rotating drum

Nanik Indah Setianingsih (Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang)  
Pengolahan Air Limbah Kadar Garam Tinggi Dengan Sistem Lumpur Aktif  
*JURNAL RISET TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI*, 5 (2) 2014 : 45 – 50

Air limbah perebusan dari industri kacang garing masih menjadi permasalahan karena mengandung garam yang tinggi. Pada kegiatan penelitian ini dilakukan pengolahan air limbah tersebut dengan sistem lumpur aktif dengan memanfaatkan mikroba yang sudah teradaptasi dengan kadar garam tinggi berasal dari bak equalisasi air limbah tersebut. Percobaan penelitian pengolahan limbah dilakukan dengan dua kondisi yaitu kadar MLVSS (*Mixed Liquor Volatile Suspended Solid*) awal 1000 mg/L dan 2000 mg/L, pengamatan sampel dilakukan setiap 24 jam selama lima hari. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat penurunan nilai BOD dan permanganat pada sampel air limbah namun tidak terjadi penurunan untuk parameter nilai klorida. Penurunan nilai BOD adalah sebesar 89,89% dengan perlakuan MLVSS 1000 mg/L dan 91,01 % untuk perlakuan MLVSS 2000 mg/L. Kondisi optimal pada sistem lumpur aktif belum tercapai yang ditunjukkan dari nilai *sludge volume* masih kurang dari 30%. Sampel hasil pengolahan belum dapat memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan dengan nilai BOD 352,2 mg/L, permanganat 213,4 mg/L dan klorida 8347 mg/L.

(Nanik Indah Setianingsih, Danny Widyakusuma Hermawan dan Nilawati)

Kata Kunci : air limbah, kadar garam tinggi, lumpur aktif

**JURNAL RISET TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI  
(RESEARCH JOURNAL OF INDUSTRIAL POLLUTION PREVENTION TECHNOLOGY)  
Volume 6, Nomor 2, November 2015**

Cholid Syahroni (Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang)  
Photocatalytic Rotating Drum Reactor Development for Textile Wastewater Treatment  
*JURNAL RISET TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI*, 6 (2) 2015 : 35 - 44

*Photocatalytic oxidation reactions have the potential to completely mineralize organic compounds to carbon dioxide for treatment of wastewater. The aim of the present study was to design the photocatalytic rotating drum reactor and analyze its performance for wastewater treatment of textile industry. This study consist of  $TiO_2$  catalyst preparation by anodizing method, XRD and SEM characterization, followed by photocatalytic degradation. The anodizing was performed in an electrolyte comprised of water,  $NH_4F$  and ethylene glycol using 20 V of potential for 2 hours. It was revealed that  $TiO_2$  structure was anatase with crystalite size 8–19 nm and formed tube with pore diameter 30-110 nm. The activity of the catalyst showed by photocatalytic treatment of wastewater using the rotating drum reactor. It was found that the photocatalytic reactor was able to reduce 72,12% of COD with the addition of 0,15%  $H_2O_2$  after 2 hours of treatment.*

(Cholid Syahroni and Djarwanti)

Keywords : *photocatalytic,  $TiO_2$ , rotating drum*

Nanik Indah Setianingsih (Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang)  
The Treatment of High Salinity Waste Water with Activated Sludge System  
*JURNAL RISET TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI*, 5 (2) 2014 : 45 – 50

*Wastewater from cooking process of crispy peanut industry still be a problem because of its high salinity. In this research the waste water was treated by activated sludge system using adapted microbial of high salinity came from the equalization basin of waste water. The research of waste water treatment had done by two conditions, there were content of MLVSS (Mixed Liquour Volatile Suspended Solid) in the beginning process were 1000 mg/L and 2000 mg/L, the observation of samples had done every 24 hours during five days. The result analysis showed that there were reduction of BOD and permanganat value of the samples, but there was no reduction of clorida value. The reduction of BOD value were 89,89% of MLVSS 1000 mg/L treatment and 91,01% of MLVSS 2000 mg/L treatment. The optimal condition of activated sludge system has not been achieved shown with the value of sludge volume less than 30%. The treated sample does not fulfill the requirement, BOD value which is 352,2 mg/L, permanganat value is 213,4 mg/L and clorida value is 8347 mg/L.*

(Nanik Indah Setianingsih, Danny Widyakusuma Hermawan and Nilawati)

Keywords : *wastewater, high salinity, activated sludge*



**JURNAL RISET TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI  
(RESEARCH JOURNAL OF INDUSTRIAL POLLUTION PREVENTION TECHNOLOGY)  
Volume 6, Nomor 2, November 2015**

Ikha Rasti Juliasari (Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang)  
Inventori Pencemaran Udara Parameter Non Methane Hidrokarbon (NMHC) di Kabupaten / Kota  
Propinsi Jawa Tengah

*JURNAL RISET TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI*, 6 (2) 2015 : 59 – 66

Laju pertumbuhan industri, transportasi dan aktivitas domestik menyebabkan konsumsi hidrokarbon secara global sebagai bakar mengalami kenaikan tiap tahun. Diperkirakan konsumsi hidrokarbon global di tahun 2019 mencapai 96 juta barel per hari. Hidrokarbon yang dipersyaratkan dalam Peraturan Pemerintah No. 41/1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara adalah sebagai NMHC (*Non Methane Hydrocarbon*). Konsentrasi NMHC lebih ditujukan untuk membatasi fungsinya sebagai senyawa prekursor ozon. Badan Lingkungan Hidup (BLH) Provinsi Jawa Tengah selama 3 tahun terakhir telah melaksanakan pemantauan rutin udara ambien di 35 kota dan kabupaten di Jawa Tengah. Inventori NMHC ini untuk melihat korelasi pencemar dengan sumber penghasil emisi yang dibedakan atas lokasi yang mewakili pemukiman, industri dan lalu lintas. Hasil analisis menunjukkan paparan konsentrasi NMHC di industri, mempunyai kecenderungan lebih tinggi dibandingkan NMHC di wilayah pemukiman maupun padat lalu lintas.

(Ikha Rasti Juliasari dan Januar Arif Fatkhurrahman)

Kata Kunci : hidrokarbon, NMHC, Jawa Tengah

**JURNAL RISET TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI  
(RESEARCH JOURNAL OF INDUSTRIAL POLLUTION PREVENTION TECHNOLOGY)  
Volume 6, Nomor 2, November 2015**

Syarifa Arum Kusumastuti (Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang)  
Exploration of Barriers in Achieving Proactive Environmental Strategies in A Natural Rubber Industry : A Case Study  
*JURNAL RISET TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI*, 6 (2) 2015 : 51 – 58

*As the evolving of environmental issues over time, the development of environmental management approaches in industries began to shift to the prevention of pollution to reduce environmental impact. However, in practice, many obstacles encountered during the environmental management change to be more proactive. This study aims to explore the barriers of achieving the proactive environmental strategy in a rubber processing industry. Used a case study approach in a natural rubber processing factory, the data was collected through interviews with experts and sources as well as observation in the field. This study shows main barriers that faced by the company consist of financial issue, human resources, communities' pressure, technological change and communication with environmental experts. The results of this study suggest conducting cooperation with research institutions or environmental experts especially for skills that cannot be controlled by the manager or employees in the company.*

(Syarifa Arum Kusumastuti, Suprihatin and Nastiti Siswi Indrasti)

Keywords : *proactive environmental strategy, barriers, natural rubber industry*

Ikha Rasti Juliasari (Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang)  
Non-Methane Hydrocarbons (NMHC) Parameter on Air Pollution Inventory in Central Java Province District / Town  
*JURNAL RISET TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI*, 6 (2) 2015 : 59 – 66

*Rate of industrial, transportation and domestical activity might be included as main factor on global hydrocarbon consumption as fuel became increase. Approximately on 2019, hydrocarbon consumption could reach 96 millions barel per day. Hydrocarbons required under Government Regulation No. 41/1999 on the Air Pollution Control as NMHC (non-methane hydrocarbon). The concentration of NMHC is intended to limit its function as an ozone precursor compound. Environmental Agency of Jawa Tengah Province for last 3 years have implemented data collecting on ambient quality, including hydrocarbon. As data analysis on NMHC in several cities and regencies in Jawa Tengah, the average hydrocarbon level in industrial area higher than in residential or traffic area.*

(Ikha Rasti Juliasari and Januar Arif Fatkhurrahman)

Keywords : hydrocarbon, NMHC, Central Java

**JURNAL RISET TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI**  
**(RESEARCH JOURNAL OF INDUSTRIAL POLLUTION PREVENTION TECHNOLOGY)**  
**Volume 6, Nomor 2, November 2015**

Rustiana Yuliasni (Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang)  
Kajian Potensi Teknologi Microbial Electrosynthesis Cell (MES) untuk Sintesis Senyawa Organik (C1 – C5) dari Gas Karbondioksida  
*JURNAL RISET TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI, 6 (2) 2015 : 67 – 74*

Karbon dioksida dapat direduksi menjadi etanol dan senyawa organik lainnya seperti asetat dengan cara mengaplikasikan energi listrik dan dengan bantuan bakteri elektroaktif sebagai katalis, suatu teknologi yang dinamakan sebagai *Microbial Electrosynthesis Cell (MES)*. Teknologi ini menjadi sangat menarik untuk diteliti lebih lanjut karena merupakan upaya untuk menyimpan energi listrik dari sumber energi terbarukan seperti energi panas matahari dan angin, sebagai upaya untuk mereduksi gas CO<sub>2</sub> dan sebagai salah satu alternatif teknologi dalam produksi bahan bakar ramah lingkungan (*biofuel*). Walaupun demikian, teknologi ini masih tergolong baru, dan penelitian yang ada masih dalam skala laboratorium karena adanya hambatan-hambatan untuk aplikasi teknologi ini dalam skala *pilot plant*. Oleh karena itu, di dalam kajian ini akan menitik beratkan pada investigasi secara kuantitatif dengan cara mereview penelitian-penelitian yang sudah dilakukan selama kurun waktu 10 tahun ini, sehingga dapat dijadikan referensi dalam pengembangan teknologi ini untuk skala yang lebih besar nantinya.

(Rustiana Yuliasni)

Kata Kunci : bioelektrokimia, karbondioksida, asetat, etanol, elektrosintesis

Silvy Djayanti (Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang)  
Kajian Penerapan Produksi Bersih di Industri Tahu di Desa Jimbaran, Bandungan, Jawa Tengah  
*JURNAL RISET TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI, 6 (2) 2015 : 75 - 80*

Peran industri kecil di beberapa wilayah Kabupaten Semarang sangat penting dalam menunjang perekonomian, khususnya di sekitar lokasi industri tersebut. Salah satu industri kecil yang memiliki potensi berkembang adalah industri tahu. Di Jawa tengah ada sekitar 500 industri tahu, yang sampai saat ini masih terus mengembangkan kapasitas produksinya. Industri tahu adalah salah satu industri kecil yang berpotensi menyebabkan masalah lingkungan. Hampir seluruh industri kecil, terutama industri tahu, sebagian besar tidak memiliki instalasi pemanfaatan limbah dan pengolahan limbah, karena dibutuhkan investasi yang besar untuk membangun unit tersebut. Dengan melihat masalah tersebut, pendekatan yang dapat menyelesaikan masalah tersebut adalah dengan cara menerapkan produksi bersih. Kajian penerapan teknologi bersih ini dilakukan dengan metode quick scanning pada setiap tahapan proses produksi. Proses produksi tahu terdiri dari pemilihan kedelai, penimbangan kedelai, perendaman, pencucian, penggilingan, ekstraksi, penyaringan, pemasakan, penggumpalan, pemisahan whey, pembungkusan, pengepresan, pemasakan, dan pengemasan. Pada proses pembuatan tahu di industri ini memiliki perbedaan dari pembuatan tahu di Industri tahu lain, yaitu terdapat penambahan garam dan bawang putih untuk menambah sedap produk tahu. Hasil kajian penerapan produksi bersih di industri tahu adalah good house keeping, recycle, reduce dan reuse. Berdasarkan beberapa kriteria kelayakan, alternatif penerapan produksi bersih untuk industri ini berupa modifikasi tungku yang dilengkapi dengan cerobong asap, modifikasi alat penyaringan dengan mesin, dan pembangunan instalasi digester untuk penghasil biogas. Kesimpulan kajian ini industri tahu ini belum mengenal produksi bersih. Manfaat yang diperoleh dari penerapan produksi bersih berupa penghematan bahan bakar, peningkatan rendemen filtrat tahu, dan kebersihan lingkungan.

(Silvy Djayanti)

Kata Kunci : produksi bersih, industri tahu, quick scanning

**JURNAL RISET TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI  
(RESEARCH JOURNAL OF INDUSTRIAL POLLUTION PREVENTION TECHNOLOGY)  
Volume 6, Nomor 2, November 2015**

Rustiana Yuliasni (Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang)  
Study on Microbial Electrosynthesis Cell (MES) Technology Potency for (C1-C5) Organic  
Compound Synthesis from Carbondioxide  
*JURNAL RISET TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI*, 6 (2) 2015 : 67 – 74

*Carbon dioxide can be reduced to ethanol and any other organic compound e.g acetate, by applying electrical energy with acetogenic bacteria acts as catalyst. This technology known as Microbial Electrosynthesis Cell (MES). MES technology become very prospective because it haspotential to store renewable energy source from solar or wind energy, to reduce carbondioxide and to produce biofuel. However, MES technology is relatively novel technology, with current researches are emphasizing more on developing MES technology at lab scale, but facing many drawbacks at pilot scale application. Therefore this review will quantitatively investigate the development of MES technology by making review and summary of related researches for the past 10 years. This article will become guidance for the future research or application for bigger scale.*

(Rustiana Yuliasni)

Keywords : *bioelectrochemistry, carbondioxide, ethanol, acetate, electrosynthesis*

Silvy Djayanti (Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang)  
Study of the Aplication of Cleaner Production in the Tofu Industry in Jimbaran, Bandungan, Central  
Java  
*JURNAL RISET TEKNOLOGI PENCEGAHAN PENCEMARAN INDUSTRI*, 6 (2) 2015 : 75 - 80

*The role of small industries in some areas of Semarang is importance in supporting the economy, particularly around the location of the industry. One of the small industries that have the potential to growth is the tofu industry. In Java there are approximately 500 tofu industry, which still continues to develop its production capacity. The tofu industry is one of a small industry that could potentially cause environmental problems. Nearly the entire industry is small, especially the tofu industry that most do not have the installation of waste utilization and reprocessing waste, because it takes a big investment to build it. By looking at the issue, an approach that can solve the problem is to how to implement cleanerproduction. Study of application of clean technology is done by the method of quick scanning at each stage of the production process. The production process consists of the selection of tofu soybean, weighing soybeans, soaking, washing, filtering, extraction, milling, cooking, clothing, separation of the whey, encasement, presses, ripening, and packaging. In the process of making tofu in this industry has the little bit difference of tofu making in the tofu industry than another tofu process. There is the addition of salt and garlic to add a savory products out. The results of the study of the application of cleaner production in the tofu industry is good housekeeping, recycle, reduce and reuse. Based on some of the eligibility criteria, the application of clean production alternative for the industry in the form of a modification of the furnace is equipped with a chimney, a modification of the engine with filtering tools, installation and construction of typical analysis for digester biogas. Conclusion this study tofu industry it has not known a clean production. the benefits gained from the implementation of cleaner production are fuel savings, increased yield in the filtrate of tofu, and environmental hygiene..*

(Silvy Djayanti)

Keywords : *cleaner production, tofu industry, quick scanning*



## **PENGOLAHAN AIR LIMBAH KADAR GARAM TINGGI DENGAN SISTEM LUMPUR AKTIF**

### **THE TREATMENT OF HIGH SALINITY WASTE WATER WITH ACTIVATED SLUDGE SYSTEM**

**Nanik Indah Setianingsih, Danny Widyakusuma Hermawan dan Nilawati**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Jl. Ki Mangunsarkoro no. 6, Semarang

Email : indahsnanik@yahoo.co.id

Naskah diterima tanggal 8 Juli 2015, disetujui tanggal 4 September 2015

#### **ABSTRACT**

*Waste water from cooking process of crispy peanut industry still be a problem because of its high salinity. In this research the waste water was treated by activated sludge system using adapted microbial of high salinity came from the equalization basin of waste water. The research of waste water treatment had done by two conditions, there were content of MLVSS (Mixed Liquor Volatile Suspended Solid) in the beginning process were 1000 mg/L and 2000 mg/L, the observation of samples had done every 24 hours during five days. The result analysis showed that there were reduction of BOD and permanganat value of the samples, but there was no reduction of clorida value. The reduction of BOD value were 89,89% of MLVSS 1000 mg/L treatment and 91,01% of MLVSS 2000 mg/L treatment. The optimal condition of activated sludge system has not been achieved shown with the value of sludge volume less than 30%. The treated sample does not fulfill the requirement, BOD value which is 352,2 mg/L, permanganat value is 213,4 mg/L and clorida value is 8347 mg/L*

**Keywords:** wastewater, high salinity, activated sludge

#### **ABSTRAK**

Air limbah perebusan dari industri kacang garing masih menjadi permasalahan karena mengandung garam yang tinggi. Pada kegiatan penelitian ini dilakukan pengolahan air limbah tersebut dengan sistem lumpur aktif dengan memanfaatkan mikroba yang sudah teradaptasi dengan kadar garam tinggi berasal dari bak equalisasi air limbah tersebut. Percobaan penelitian pengolahan limbah dilakukan dengan dua kondisi yaitu kadar MLVSS (*Mixed Liquor Volatile Suspended Solid*) awal 1000 mg/L dan 2000 mg/L, pengamatan sampel dilakukan setiap 24 jam selama lima hari. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat penurunan nilai BOD dan permanganat pada sampel air limbah namun tidak terjadi penurunan untuk parameter nilai klorida. Penurunan nilai BOD adalah sebesar 89,89% dengan perlakuan MLVSS 1000 mg/L dan 91,01 % untuk perlakuan MLVSS 2000 mg/L. Kondisi optimal pada sistem lumpur aktif belum tercapai yang ditunjukkan dari nilai *sludge volume* masih kurang dari 30%. Sampel hasil pengolahan belum dapat memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan dengan nilai BOD 352,2 mg/L, permanganat 213,4 mg/L dan klorida 8347 mg/L.

**Kata kunci :** air limbah, kadar garam tinggi, lumpur aktif

#### **PENDAHULUAN**

Air limbah dari proses perebusan pada industri kacang garing belum pernah diolah secara langsung dan sampai saat ini masih menjadi permasalahan karena mengandung garam yang tinggi. Kandungan garam yang tinggi pada air limbah mempersulit industri pada proses pengolahan baik secara fisika maupun kimia. Pendekatan secara

bioteknologi dengan menggunakan mikroba merupakan salah satu cara untuk mengolah limbah yang ramah lingkungan. Salah satu cara yang mungkin dapat dilakukan adalah melalui pengolahan limbah secara biologi dengan sistem lumpur aktif.

Metode pengolahan lumpur aktif (*activated sludge*) merupakan proses pengolahan air limbah yang memanfaatkan mikroorganisme dimana selain menguraikan

dan menghilangkan kandungan material, mikroorganisme juga menjadikan material yang terurai tersebut sebagai tempat berkembang biak. Metode lumpur aktif dapat digunakan untuk mengolah air limbah dari berbagai jenis industri seperti industri pangan, perhotelan, rumah tinggal, sekolah dan lain sebagainya. Telah diteliti bahwa penggunaan metode lumpur aktif dalam pengolahan limbah dapat menurunkan BOD dan COD (Puspitasari *et al*, 2013).

Pengolahan air limbah berkadar garam tinggi dari proses perebusan di industri kacang garing dengan sistem lumpur aktif belum pernah dilakukan sebelumnya. Penanganan yang selama ini dilakukan adalah dengan mencampurkan sedikit demi sedikit air limbah tersebut dengan air limbah yang terdapat di IPAL terpadu. Pada kegiatan penelitian ini digunakan lumpur yang berasal dari lingkungan limbah itu sendiri (*indigenous*) karena mengandung mikroba yang sudah teradaptasi.

Chocjnaka (2010) menyatakan bahwa mikroba asli (*indigenous*) memiliki daya resistensi dan toleransi terhadap zat pencemar yang ada disekitarnya, oleh sebab itu memiliki potensi untuk digunakan sebagai agensia bioremediasi. Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa banyak mikroba *indigenous* juga dapat digunakan untuk mendegradasi senyawa toksik (Zulaika *et al*, 2012). Dengan begitu kelebihan menggunakan mikroba *indigenous* pada pengolahan limbah secara biologis yang diharapkan adalah proses aklimatisasi akan berjalan lebih cepat karena mikroba sudah teradaptasi dengan limbah yang akan diolah.

Penelitian ini bertujuan untuk mencoba mengolah air limbah kadar garam tinggi dengan sistem lumpur aktif yang memanfaatkan mikroba asli yang sudah teradaptasi dengan lingkungan kadar garam tinggi.

## METODE

### Bahan Dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel air limbah proses perebusan industri kacang garing dan lumpur yang diambil dari bak equalisasi, glukosa,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{KNO}_3$ , aquades, kertas saring, botol sampel, kertas pH serta bahan-bahan untuk analisis. Peralatan yang digunakan terdiri dari reaktor, aerator, gelas piala, gelas ukur, pipet ukur, *oven*, *furnace*, dan desikator.

### Tahapan Penelitian

#### Karakterisasi Air Limbah Industri Kacang Garing

Parameter untuk karakterisasi sampel air limbah meliputi pH, TSS (*Total Suspended*

*Solids*), BOD5 (*Biochemical Oxygen Demand*), bilangan permanganat dan klorida. Karakterisasi air limbah ditentukan dengan mengacu kepada Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 10 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Limbah.

### Analisis Lumpur

Analisis terhadap lumpur dilakukan untuk mengetahui jumlah mikroba yang ada di dalam lumpur. Parameter yang ditetapkan pada analisis lumpur adalah *Total Plate Count* pada lumpur awal dengan metode SNI. 2897: 2008 dan *Mixed Liquor Volatile Suspended Solid* (MLVSS) pada lumpur setelah proses aklimatisasi (APHA, 1992).

### Aklimatisasi Lumpur Aktif

Aklimatisasi lumpur aktif bertujuan untuk mengadaptasikan mikroorganisme dengan kondisi lingkungan yang baru, termasuk reaktor dan sumber makanannya. Lumpur yang bercampur dengan air limbah di dalam reaktor volume 5 L, diaerasi pada suhu ruang (25-31°C) dan pH alami air limbah. Aklimatisasi lumpur aktif dilakukan selama lima hari sampai terjadi perubahan warna suspensi menjadi coklat kehitaman yang menunjukkan adanya pertumbuhan bakteri aerob.

### Percobaan Pengolahan Limbah

Percobaan penelitian pengolahan limbah dilakukan dengan dua kondisi yaitu kadar MLVSS awal 1000 mg/L (disebut sebagai sampel A) dan MLVSS awal 2000 mg/L (disebut sebagai sampel B). Proses untuk kedua kondisi operasi berlangsung secara aerobik dan curah (*batch*) pada suhu ruang dimana udara diberikan secara berlebih (*excess air*) sehingga terjadi pengadukan di dalam reaktor (Romli *et al*, 2004). Nutrisi berupa glukosa,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{KNO}_3$  ditambahkan berdasarkan perhitungan nilai BOD : N : P sampel air limbah yaitu 100 : 5 : 1.

Pengamatan sampel dilakukan setiap 24 jam selama lima hari dengan parameter kontrol yang diukur adalah bilangan permanganat, pH, klorida dan SV (*Sludge Volume*) 30 menit serta parameter BOD pada sampel terakhir (sampel yang diambil pada hari kelima).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Karakterisasi Air Limbah Industri Kacang Garing

Sampel air limbah diambil dari bak penampungan air limbah dari proses perebusan di Industri kacang garing. Hasil analisis dasar pada karakterisasi air limbah disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Analisis Dasar Air Limbah Industri Kacang Garing

No	Parameter	Hasil Analisis	BMLC*	Satuan
1	BOD	3955	100	mg/L
2	pH	6	6-9	
3	TSS	1880	100	mg/L
4	Klorida	5391	2250	mg/L
5	COD	4.550,18	250	mg/L
6	KMnO <sub>4</sub>	420,8		mg/L

\* Baku Mutu Limbah Cair Perda Jateng No.5 Tahun 2012

Hasil karakterisasi air limbah menunjukkan bahwa air limbah memiliki kandungan polutan yang cukup tinggi terutama BOD, klorida dan TSS. Nilai BOD dan TSS air limbah jauh melebihi baku mutu air limbah industri kacang garing, dimana menurut Perda Jateng No.5 Tahun 2012, baku mutu air limbah industri kacang garing untuk BOD dan TSS adalah 100 mg/L.

**Hasil Analisis lumpur dan Aklimatisasi lumpur**

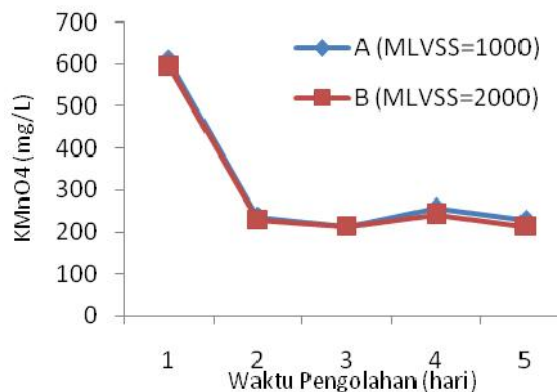
Pengujian *Total Plate Count* (TPC) dimaksudkan untuk menunjukkan jumlah mikroba yang terdapat dalam suatu sampel dengan cara menghitung koloni bakteri yang ditumbuhkan pada media agar (SNI, 2008). Hasil analisis sampel lumpur awal menunjukkan bahwa nilai TPC adalah sebesar  $3 \times 10^7$ . Berdasarkan hasil tersebut lumpur yang berasal dari bak equalisasi limbah dapat digunakan sebagai inokulum pada proses pengolahan limbah.

Pada percobaan aklimatisasi lumpur terjadi perubahan fisik dimana warna suspensi awal adalah hitam kemudian berubah menjadi coklat kehitaman. Menurut Romli (2004) hal tersebut berarti telah terjadi pertumbuhan bakteri aerob yang ditandai dengan adanya perubahan warna. Pada lumpur yang telah diaklimatisasi kemudian dilakukan analisis MLSS dan MLVSS. Analisis MLVSS menunjukkan jumlah komponen biomassa untuk menyatakan konsentrasi mikro-organisme secara tidak langsung. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai MLSS lumpur aktif adalah 38.426 mg/L sedangkan nilai MLVSS lumpur aktif adalah 29.216 mg/L. Rasio perbandingan MLVSS terhadap MLSS lumpur aktif adalah sebesar 76,03%.

**Hasil Pengolahan Air Limbah**

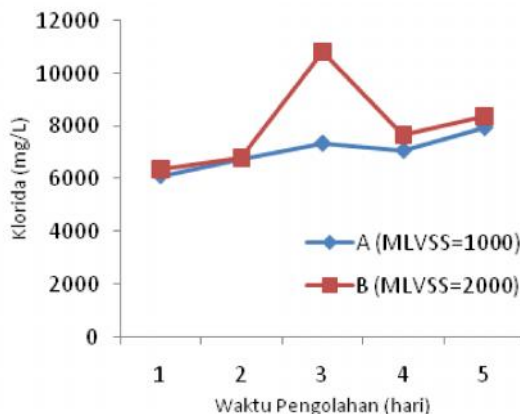
Hasil analisis pengolahan air limbah disajikan pada Gambar 1. Nilai permanganat menunjukkan jumlah miligram kalium permanganat yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik dalam 1000 mL air (SNI, 2004). Semakin tinggi nilai permanganat semakin tinggi pula kandungan zat organik pada suatu sampel. Berdasarkan gambar 1 diatas dapat diketahui bahwa nilai bilangan

permanganat sampel limbah cair industri kacang garing mengalami penurunan setelah proses pengolahan limbah selama 24 jam pertama dan merupakan penurunan maksimal pada proses pengolahan limbah selama lima hari baik dengan perlakuan MLVSS 1000 mg/L maupun 2000 mg/L. Nilai permanganat paling rendah didapat pada pengambilan sampel hari ke-3 baik dengan perlakuan MLVSS 1000 mg/L maupun 2000 mg/L yaitu sebesar 213,4 mg/L. Pada Gambar 1 terlihat bahwa kecenderungan penurunan trend dari nilai permanganat untuk kedua perlakuan relatif sama.



**Gambar 1.** Grafik Hasil Analisis KMnO<sub>4</sub> pada Proses Pengolahan Activated Sludge

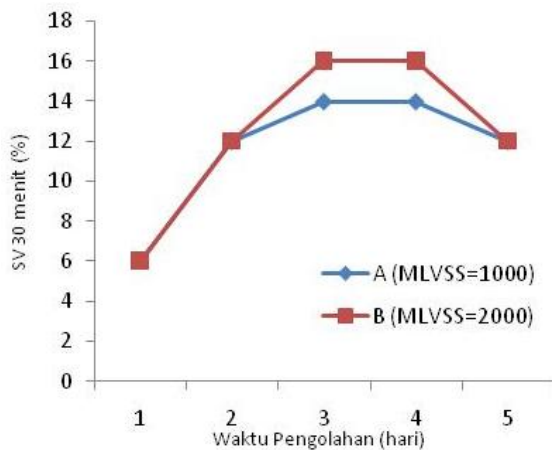
Grafik hasil analisis untuk parameter klorida yang terlihat pada Gambar 2 menunjukkan bahwa tidak terjadi penurunan nilai klorida pada sampel limbah industri kacang garing setelah lima hari proses pengolahan limbah baik dengan perlakuan MLVSS 1000 mg/L maupun 2000 mg/L Hal ini berarti mikroba belum mampu mereduksi garam yang terdapat didalam limbah tersebut. Nilai klorida cenderung naik untuk kedua perlakuan dan sampel dengan perlakuan MLVSS 2000 mg/L memiliki nilai klorida yang lebih tinggi. Hal ini dapat dimungkinkan dengan adanya penambahan lumpur akan menambah jumlah klorida didalam sistem, sehingga nilai klorida dalam sampel pun meningkat.



**Gambar 2.** Grafik Hasil Analisis Klorida pada Proses Pengolahan Activated Sludge



*Sludge volume* 30 menit menunjukkan banyaknya lumpur yang mengendap selama 30 menit. Terlihat pada Gambar 3 pada proses pengolahan limbah industri kacang garing *sludge volume* 30 menit mengalami kenaikan pada hari pertama sampai dengan hari ketiga dan mulai mengalami penurunan pada hari keempat baik dengan perlakuan MLVSS 1000 mg/L maupun 2000 mg/L. *Sludge volume* 30 menit tertinggi untuk perlakuan MLVSS 1000 mg/l adalah sebesar 14% dan untuk perlakuan MLVSS 2000 mg/L adalah sebesar 16%. Pada pengolahan air limbah dengan sistem lumpur aktif yang ideal umumnya memiliki nilai *sludge volume* 30 menit sebesar 30%. Hal ini berarti pada percobaan proses pengolahan limbah kacang garing belum mencapai kondisi optimal, sehingga perlu dilakukan penambahan *sludge* untuk mencapai nilai *sludge volume* 30 menit sebesar 30%.



**Gambar 3.** Grafik Hasil Analisis *Sludge Volume* 30 menit pada Proses Pengolahan *Activated Sludge*

Pada Gambar 3 terlihat bahwa dengan kedua perlakuan nilai *sludge volume* 30 menit mengalami kenaikan sampai dengan hari keempat namun turun pada hari kelima. Hal ini dapat terjadi karena percobaan penelitian dilakukan secara *batch* dimana tidak ada penambahan sampel selama proses pengolahan operasi berlangsung maka tidak ada penambahan suplai makanan juga untuk bakteri sehingga bakteri tidak dapat berkembang biak lagi untuk membentuk flok yang dapat meningkatkan nilai *sludge volume*.

Hasil analisis BOD sampel pengambilan terakhir pada proses pengolahan limbah industri kacang garing untuk perlakuan MLVSS 1000 mg/L adalah 399,8 mg/L dimana penurunannya adalah sebesar 89,89%. Sedangkan untuk perlakuan MLVSS 2000 mg/L sebesar 352,2 mg/L atau penurunannya sebesar 91,01%. Nilai rata-rata pH sampel pada proses pengolahan air limbah adalah 8.

## KESIMPULAN

- Pada proses pengolahan limbah industri kacang garing dengan metode lumpur aktif menunjukkan bahwa terdapat penurunan nilai BOD dan permanganat pada sampel namun tidak terjadi penurunan untuk parameter nilai klorida.
- Penurunan maksimal nilai permanganat untuk perlakuan MLVSS 1000 mg/L dan MLVSS 2000 mg/L sebesar 49,29% dengan waktu pengolahan 48 jam.
- Kondisi ideal proses pengolahan lumpur aktif belum tercapai karena nilai *sludge volume* 30 menit masih kurang dari 30%.
- Penurunan nilai BOD pada hari terakhir pengambilan sampel adalah sebesar 89,89% untuk perlakuan MLVSS 1000 mg/L dan 91,01 % untuk perlakuan MLVSS 2000 mg/L.
- Air limbah hasil pengolahan belum dapat memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan dimana nilai BOD 352,2 mg/L, permanganat 213,4 mg/L dan klorida 8347 mg/L dan pH 8.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BBTPI yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian serta kepada seluruh tim penelitian hingga selesainya kegiatan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- APHA. 1992. Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater Treatment. American Public Health Association, New York.
- Chojnacka, K. 2010. Biosorbption and Bioaccumulation The Prospect for Practical Applications. Environment International. 36: 299-307
- Fachrian R. 2006. Isolasi Bertahap dan Uji Potensi Bakteri Laut Pendegradasi Minyak Solar. Skripsi. Departemen Biologi. Fakultas MIPA. USU. Medan.
- Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Tahun 2012 Tentang Perubahan Atas Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 10 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Puspitasari, N., Nur Fauziyyah Ambar, Nurul Latipah, Octaviani Ratnasari. 2013. Praktikum Pengolahan Limbah Industri. Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung.
- Romli, M., Suprihatin, Dinda Sulinda. 2004. Penentuan Nilai Parameter Kinetika Lumpur Aktif Untuk Pengolahan Air Lindi

- Sampah (*Leachate*). Jurnal Teknologi Industri Pertanian Vol. 14 (2), 56-66
- SNI Cara Uji Nilai Permanganat Secara Titrimetri (SNI. 06-6989.22). Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI Pengujian Total Plate Count (SNI. 2897:2008). Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Zulaika, E., Arif Lukman, Tutut Arindah, dan Umi Sholikhah. 2012. Bakteri Resisten logam Berat yang Berpotensi sebagai Biosorben dan Bioakumulator. Seminar Nasional Waste Management For Sustainable Urban Development. Teknik Lingkungan, FTSP, ITS. 21 Februari 2012. Surabaya, Indonesia.



## EXPLORATION OF BARRIERS IN ACHIEVING PROACTIVE ENVIRONMENTAL STRATEGIES IN A NATURAL RUBBER INDUSTRY : A CASE STUDY

Syarifa Arum Kusumastuti<sup>1</sup>, Suprihatin<sup>2</sup> and Nastiti Siswi Indrasti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centre of Industrial Pollution Prevention Technology, The Republic of Indonesia Ministry of Industry

<sup>2</sup>Study Program of Agroindustrial Technology, Graduate School of Bogor Agricultural University

E-mail : syarifa@kemenperin.go.id

Naskah diterima tanggal 9 Juli 2015, disetujui tanggal 6 Oktober 2015

### ABSTRACT

*As the evolving of environmental issues over time, the development of environmental management approaches in industries began to shift to the prevention of pollution to reduce environmental impact. However, in practice, many obstacles encountered during the environmental management change to be more proactive. This study aims to explore the barriers of achieving the proactive environmental strategy in a rubber processing industry. Used a case study approach in a natural rubber processing factory, the data was collected through interviews with experts and sources as well as observation in the field. This study shows main barriers that faced by the company consist of financial issue, human resources, communities' pressure, technological change and communication with environmental experts. The results of this study suggest conducting cooperation with research institutions or environmental experts especially for skills that cannot be controlled by the manager or employees in the company.*

**Keywords** : *proactive environmental strategy, barriers, natural rubber industry*

### INTRODUCTION

Indonesia is the second largest natural rubber producer in the world after Thailand, approximately 25 % -27 % of the world's natural rubber needs is supplied by Indonesia (*Natural Rubber Trends and Statistics* 2010). The main types of natural rubber products in Indonesia are: crumb rubber, rubber sheet (Ribbed Smoked Sheet or RSS), concentrated latex, and crepe (Darmawan, Putra & Wiguna 2014). The primary rubber products can also be referred to as intermediate products, because they still require further processing to become finished products such as tires, gloves, shoe soles, etc. (Utomo, Hasanudin & Suroso 2012).

As one of the main commodities of the agricultural sector, Indonesia's natural rubber industries receive attentions with respect to the magnitude of potential wastewater, solid waste, as well as odour emissions resulting from the production processes chain (Hasibuan 2012). That was because the processing of rubber that is converted from latex into rubber primary product such as crumb rubber or concentrated latex requires a large amount of water, chemicals and energy. The natural rubber-processing sector consumes large volumes of water and energy and uses large amount of chemicals as well as

other utilities. Consequently, those primary stages create large quantities of wastes discharged to environment (Nguyen & Luong 2012; Wouapi & Maimo 2007). The uses of auxiliary raw materials such as chemicals at this stage of raw material handling and coagulation, as well as a large amount of water at the dilution phase, have potential of wastewater generation. While the smoking process and by-products can cause air pollution and odour (Jawjit, Kroeze & Rattanapan 2010).

Those environmental issues are driving the company to implement environmental management strategies to prevent environmental damage. One of the strategies is waste treatment at the end of process or often referred as end-of-pipe treatment. Many companies have been implementing environmental management systems and aim to comply with standards applicable environmental regulations in their country (Theyel 2000). However, several factors such as: the evolvement of environmental issues over time, decreasing the environmental capability to receive the waste that is formed, an increase in consumer awareness of environmentally friendly products and processes, as well as stringent environmental regulations, are pushing the company to review their environmental

management performance (Esty & Winston 2009). On the other hand, the existing environmental management such as 'end-of-pipe' treatment is uneconomic and cannot anticipate changes in environmental issues in the future (Welford & Gouldson 2002). Consequently, to sustain their business, companies must adapt to the changing external environment by continuing to innovate (Drucker 1999). One of those is innovation that aiming at environmental impact reduction, or also called environmental innovation (Horbach, Rammer & Rennings 2012), including change management approach from end-of-pipe treatment to a more proactive approach such as reducing pollutant since the beginning of the process.

A company is said to be environmentally innovative if they meet one of the several criteria such as the integration of environmental criteria into the design process or product, improvements in waste management and recycling process for either internal or external (Cleff & Rennings 1999; Kusumastuti 2015). The shifting from reactive into pollution prevention strategy show higher level of proactivity in terms of environmental management strategy in a company. This includes an environmental innovation in process (Kusumastuti 2015; Subramanian & Nilakanta 1996). However, in practice, these changes often confronted with obstacles that led to the adoption of this new approach have not been effective. Many research in determining the factors and barriers to the implementation of environmental management and innovation show the importance of exploring these inhibiting factors in the formulation and successful implementation of environmental improvement strategies. These obstacles need to be identified to determine strategies for decision makers in the company to overcome and avoid inhibitors the process of change (Hertzman & Kimplaire 2013). In addition, the obstacles in the process of achieving this strategy are important to note that the process of adoption and implementation of cleaner production work effectively (Shi et al. 2008).

Given the situation, the purpose of this study is to explore the barriers in the way of achieving proactive environmental strategies in a natural rubber company.

## METHOD

To meet the objectives of this study, this research was conducted with three stages, namely:

- a. Field observations at the selected company.

- b. Interviews with the experts to identify any obstacles to the achievement of improvement experienced environmental management performance.
- c. Analysis on the main barriers that encountered in this study based on the perception of practitioners and experts.

This research was conducted in a rubber processing company in Central Java Province, Indonesia which is a unit of state-owned enterprises. The company manufactures quality rubber products such as RSS (ribbed smoked sheet) and cutting (pieces of rubber from the sorting process). This company employs 1,447 employees. Ribbed smoked sheet (RSS) is one of the processed products made from rubber plantations in Indonesia. RSS occupies the second largest rubber products after crumb rubber or SIR (Standard Indonesian Rubber).

## Data Collection

- a. Secondary data

The secondary data were obtained from books, journals, research report, publications and documents that are relevant for this study. The documents include environmental regulations, the company's monthly production reports, and job training reports.

- b. Interview

The interview aims at generating primary data from source persons, who are selected through purposive method sampling (Palys 2008). The interview method is deployed to acquire the point of view of source persons in terms of environmental aspects in accordance with the context of this study. The total participants are eleven person that consist of:

- 1) Two representatives from Ministry of Industry who handle agricultural industry and green industry policy
- 2) Two representatives from environmental agency at the provincial level
- 3) Two representatives from R & D Agency pollution prevention
- 4) Two representatives from R & D Agency of natural rubber
- 5) Selected factory (director, technical manager, and employees).

The interview is a semi-structured interview, in which the main research question was explored and combined with derivative questions from primary research questions, following the context of this study and the roles of the participants. The interviews with experts

were held for thirty to sixty minutes, which then recorded and transcribed.

c. Observation

This stage focused on the performance of existing environmental management, to identify sources of pollution and their causes. Direct observation was performed at every stage of the production process to identify the practices that are inefficient and potentially cause environmental impacts in the company. At this stage, a checklist was used during the observation process, which consists of the data about raw material consumptions; production process, numbers of employees, waste management system; and additional qualitative information as needed.

**Data Analysis**

The data analysis used combination of interpretive and descriptive approach. To support reliability of data, this study used a triangulation method from multiple sources that contributes to the confirm-ability of research findings (Bossink 2007; Rowley 2002). The key interviews and sections of interviews were transcribed and categorized (Fischer & Schot 1993). Then the data analysis used explanatory approach with supporting literature and evidence (Elman 2005).

**RESULT AND DISCUSSION**

In accordance to the objectives of this study, which is to look for obstacles towards proactive environmental management practices, the data collected showed major obstacles as described as follows:

a. Financial issues

From the interviews, according to the director, they are still hampered by the financial problems of the directors who were in office previously. For regular funds, funds of directors board only decreased by only 80%. In addition to the obstacle above, another benefit consideration is when they were offered by an external expert to apply the wastewater recycling technology. The company said that it is difficult to measure the benefits earned by applying new environmentally friendly technologies. As the manager said that there is the potential for recycling of wastewater, but once calculated, the cost is enormous. They are very optimistic to provide the money to invest in the environmental technologies. However, the concern is that, as entrepreneurs, the investments that they put in for technology and innovation in all our production chain should provide benefits that

can be measured. Whether based on how long it will take for the capital back or the value of benefits to obtain. According to the manager, the environmental advantages it difficult to measure to determine the criterion of such advantages.

The description from the managers shows that financial consideration still one of the inhibitors of the new environmental approach in natural rubber industry. It was due to investments made to reduce the environmental impact remains a consideration for management, given the advantages gained by implementing more environmentally friendly technologies are difficult to estimate. While the opportunity to apply enough product differentiation is limited due to the applicable standards and supply natural rubbers worldwide determines the selling prices. Therefore, several alternatives to estimate the profits by implementing proactive environmental measures that can be done with an environmental costing approach that is suitable for the corporate (Moors, Mulder & Vergragt 2005). From those problems, it shows the necessity of a model that can measure environmental costs (Post & Altma 1994), to convince them to apply more environmentally friendly technologies. Meanwhile, to deal with the lack of capital costs for an environmental management improvement project, innovation in marketing can increase the financial strength of companies that could be allocated for investments in cleaner technology (Post & Altma 1994). Correspondingly, improvement in marketing strategies can be reinforced by using the competitive advantage of buyers who require environmentally friendly products (ater, Prašnikar & ater 2009).

b. Communication with external stakeholders

The location of a business that is close to other institutions (in this case the environmental expert or environmental research agency), will be beneficial for the adoption process of more proactive environmental management (Carruthers & Vanclay 2012). Nevertheless, the distant location of the plant to the city centre and the competent environmental agencies considerably hampers to the smooth process of communication and consultation for solving the problems related to the environmental management in the company. The manager considered it is time-inefficient. That is because face-to-face communication is considered by the company as effective way to communicate their environmental issue to the experts (Moore 2010). Although direct communication is necessary, it must also be ensured that the expected output from

communication can be useful, especially when face particular problems. To that end, it is important to develop a communication channel to the external environment experts, although sometimes necessary also direct meetings. This communication channel is expected as one of the lines consultations to address environmental problems that are happening in the company if the two parties are not the opportunity for a direct meeting (Polonsky 1995).

c. Human resources

In the factory itself, the human resources of the company were considered by his superiors have not been able to propose the improvement efforts that lead to the prevention of pollution. This is due to the lack of knowledge and expertise in the field of environmental-friendly practices. In daily operations, employees still receive direction from his superiors to conduct an efficient practice and do not pollute the environment. For example when an employee is cleaning the equipment, the supervisor must warn the employee to use water carefully and to close the tap after use. This means that increasing the environmental awareness of workers is important to achieve successful implementation. Besides, the focus of employees and the company is still dominated by production problems. Therefore, the engineering manager is open and welcomes any suggestions from environmental experts that can be applied in the factory to minimize environmental impact. However, the employee may not be interested to environmentally friendly practices because of lack of communication and training of management (Doody 2010). Therefore, it is necessary for the company to program an environmental management policy then deliver it to its employees so that it can be applied at the beginning. In addition to the role of leader and supervisor, also needed the support of all employees in the change of this practice in order to succeed (Baker 2009; Doody 2010).

d. Communities pressure

Although the company has fulfilled the requirements of wastewater disposal, if there is dissatisfaction from the public to the pollution situation, the community's pressure will be expected to continue (Wang 2000). In this case, the company had received a complaint from surrounding community due to their sewerage. The weak understanding of the community about the provision of wastewater

reuse also worsened the complaint issue. Basically, the result of waste treatment is not intended for irrigation of farmland without the certain conditions according to the applied law. Previously, the company had semi-open sewage for their effluent. The community that are majority farmers used the effluent to irrigate their fields. However, there was an inevitable occurrence befall their crops. Even though the cause could be not only from the company's wastewater, the representatives of residents who felt aggrieved demanded for corporate's responsibility. To overcome the problems with the residents, the company entered into a dialogue with them to find a solution. In addition, the company also asked for the input from the nearest environment agency to overcome the problem. In order to achieve a mutual benefit and prevent future conflict between the local communities and the company, the results of the discussion, which was also attended by representatives of various elements, reached an agreement that states that the company will not cover the risk that may arise by using the output of the wastewater treatment facilities. As the result of the negotiations, until this point, nobody has using the company's effluent for irrigation so the company has not been receiving complaint about the issue.

e. Technological change consideration

The director informed that when they conducted a study visit to Thailand and Malaysia. There they saw that in terms of production, they are more use of machinery. But they are not necessarily directly procure of new machines. That was because the diffusion of new technologies is often constrained by social and technical considerations (Cantono & Silverberg 2009). If the company's management decide to use more machines, they concern that this will affect the number of employees. Besides, the installation of new clean technologies is costly. It was also due to the installation of new technology requires additional investment in employee training and hiring external experts (Hilson 2000).

Therefore the managers needs to communicate to employees that with the addition of equipment will have no impact on the reduction of workers, but to further prevent the inefficiency of manpower and reduce the risk of workplace safety. Besides, the management also need a measurement to convince the corporate to use more environmentally-friendly technology and as a considerations to decision making.

From the main of the obstacles encountered in this study, some suggestions are given that are expected to solve the problems are as follows:

**a. Personnel Environmental Strategy**

This strategy relates to human resources constraint. Recognizing the importance of employees' participation in the environmental activities in the company, the company could implement personnel environmental strategy that is also enabled by management supports (Aster, Prašnikar & Aster 2009). The methods are by facilitating employees' training and building awareness about environmental issues. It is expected that the active role of workers and managers' support to be more proactive in the environmental management practices (Hanna, Rocky Newman & Johnson 2000).

**b. R&D Cooperation strategy**

There are certain area in environmental management that is not the company's ability. Those weaknesses of the company must be overcome to formulate the proactive environmental strategies and effective implementation. One way is by collaborating with experts in the field of environment.

Research collaboration with the environmental research institutions is considered as one of strategies to promote environmental innovation in the company (De Marchi 2012). Besides, the cooperation is not only on the instalation of new clean technologies but also in training and consultation in the field environmental management. In other words, some advantages such as knowledge transfer, exchange of resources, and organizational learning can be obtained by conducting joint research and development (Becker & Dietz 2004). Other benefits from adapting this strategy are efficiency, profitability, competitiveness rather than conducting an in-house research within the company.

**CONCLUSION AND RECOMMENDATION**

This study aims to explore barriers in order to achieve more proactive environmental practices in the natural rubber processing industry. The main obstacles encountered by companies to be more environmentally friendly include the financial considerations, human resources, community pressure, technological change as well as communication with the institutional environment. Those barriers cannot be generalized beyond the company

where the conditions and characteristics differ by region. However, this design is an appropriate template for a broader based study in the future. The results of this research highlight the practical implications by increasing employees' awareness for environmental-friendly knowledge and practices. As the strategic implications, this research also assists the company's management in environmental decision making by conducting a R&D collaboration with environmental experts. These results also suggest the government to assist industries in the environmental management and provide the industries with technical guide to awalys comply with the regulations. For theory building, the obstacles of that inhibit the proactive environmental implementation could be the basis for theory building of environmental innovation strategy.

Finally, the success of the implementation of proactive environmental strategies as well as overcome its inhibitors require cooperation and communication with expert stakeholders, and active participation from all company's elements.

**ACKNOWLEDGEMENT**

This work is part of the thesis of a scholarship supported by the Ministry of Industry of the Republic of Indonesia, and under the supervision of both Bogor Agricultural University and The University of Adelaide. This work is also supported by the Center of Industrial Pollution Prevention Technology, Central Java Environmental Agency, Rubber Research Institute and all the respondents who have contributed in this study.

**BIBLIOGRAPHY**

Baker, C 2009, 'Taking measured steps toward going green', *Hotel & Motel Management*, p. 8.  
Becker, W & Dietz, J 2004, 'R&D cooperation and innovation activities of firms—evidence for the German manufacturing industry', *Research Policy*, vol. 33, no. 2, pp. 209-223.  
Bossink, BA 2007, 'The interorganizational innovation processes of sustainable building: a Dutch case of joint building innovation in sustainability', *Building and Environment*, vol. 42, no. 12, pp. 4086-4092.



- Cantono, S & Silverberg, G 2009, 'A percolation model of eco-innovation diffusion: the relationship between diffusion, learning economies and subsidies', *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 76, no. 4, pp. 487-496.
- Carruthers, G & Vanclay, F 2012, 'The intrinsic features of Environmental Management Systems that facilitate adoption and encourage innovation in primary industries', *Journal of Environmental Management*, vol. 110, pp. 125-134.
- ater, T, Prašnikar, J & ater, B 2009, 'Environmental strategies and their motives and results in Slovenian business practice', *Economic and Business Review*, vol. 11, no. 1, pp. 55-74.
- Cleff, T & Rennings, K 1999, 'Determinants of environmental product and process innovation', *European Environment*, vol. 9, no. 5, pp. 191-201.
- Damanik, S 2012, 'Pengembangan Karet (*Hevea brasiliensis*) berkelanjutan di Indonesia', *Perpektif*, vol. 11, no. 1, June 2012, p. 12.
- Darmawan, MA, Putra, MPIF & Wiguna, B 2014, 'Value chain analysis for green productivity improvement in the natural rubber supply chain: a case study', *Journal of Cleaner Production*, vol. 85, pp. 201-211.
- De Marchi, V 2012, 'Environmental innovation and R&D cooperation: Empirical evidence from Spanish manufacturing firms', *Research Policy*, vol. 41, no. 3, pp. 614-623.
- Doody, H 2010, 'What are the barriers to implementing environmental practices in the Irish hospitality industry?', in *Tourism and Hospitality Research in Ireland Conference (THRIC)*.
- Drucker, PF 1999, *Innovation and entrepreneurship : practice and principles*, [2nd rev. ed.] edn, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Elman, C 2005, 'Explanatory typologies in qualitative studies of international politics', *International organization*, vol. 59, no. 02, pp. 293-326.
- Esty, D & Winston, A 2009, *Green to gold: How smart companies use environmental strategy to innovate, create value, and build competitive advantage*, John Wiley & Sons.
- Fischer, K & Schot, J 1993, *Environmental strategies for industry; international perspectives on research needs and policy implications*.
- Hanna, MD, Rocky Newman, W & Johnson, P 2000, 'Linking operational and environmental improvement through employee involvement', *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 20, no. 2, pp. 148-165.
- Hasibuan, S 2012, 'Pengembangan sistem penunjang manajemen audit produksi bersih pada agroindustri karet remah', *Agroindustrial Technology*, Disertation thesis, Graduate School thesis, Bogor Agricultural University, Bogor.
- Hertzman, J & Kimplaire, B 2013, 'Beer; from gold to green, and green to gold. Strategic approaches to overcome the barriers of Eco-innovation: Case studies in the Belgian and Swedish beer industry'.
- Hilson, G 2000, 'Barriers to implementing cleaner technologies and cleaner production (CP) practices in the mining industry: a case study of the Americas', *Minerals Engineering*, vol. 13, no. 7, pp. 699-717.
- Horbach, J, Rammer, C & Rennings, K 2012, 'Determinants of eco-innovations by type of environmental impact—The role of regulatory push/pull, technology push and market pull', *Ecological Economics*, vol. 78, pp. 112-122.
- Jawjit, W, Kroeze, C & Rattanapan, S 2010, 'Greenhouse gas emissions from rubber industry in Thailand', *Journal of Cleaner Production*, vol. 18, no. 5, pp. 403-411.
- Kusumastuti, SA 2015, 'Pollution Reducing Opportunities for a Natural Rubber Processing Industry: A Case Study'.
- Moore, SA 2010, 'The effect of knowledge sharing on the environmental performance of proactive environmental organisations', PhD thesis, Southern Cross University, Lismore, NSW.
- Moors, EH, Mulder, KF & Vergragt, PJ 2005, 'Towards cleaner production: barriers and strategies in the base metals producing industry', *Journal of Cleaner Production*, vol. 13, no. 7, pp. 657-668.
- Natural Rubber Trends and Statistics* 2010, Association of Natural Rubber Producing Countries, Kuala Lumpur, viewed 4 April 2014, <<http://www.anrpc.org/html/filedownload.aspx?file=MONTHLY%20BULLETIN%20-%20AUGUST%202010.PDF>>.
- Nguyen, HN & Luong, TT 2012, 'Situation of wastewater treatment of natural rubber latex processing in the Southeastern region, Vietnam', *Journal of Vietnamese Environment*, vol. 2, no. 2, pp. 58-64.
- Palys, T 2008, 'Purposive sampling', *The Sage encyclopedia of qualitative research methods*, vol. 2, pp. 697-698.
- Polonsky, MJ 1995, 'A stakeholder theory approach to designing environmental marketing strategy', *Journal of Business &*

- Industrial Marketing*, vol. 10, no. 3, pp. 29-46.
- Post, JE & Altma, BW 1994, 'Managing the environmental change process: barriers and opportunities', *Journal of Organizational Change Management*, vol. 7, no. 4, pp. 64-81.
- Rowley, J 2002, 'Using case studies in research', *Management research news*, vol. 25, no. 1, pp. 16-27.
- Shi, H, Peng, S, Liu, Y & Zhong, P 2008, 'Barriers to the implementation of cleaner production in Chinese SMEs: government, industry and expert stakeholders' perspectives', *Journal of Cleaner Production*, vol. 16, no. 7, pp. 842-852.
- Subramanian, A & Nilakanta, S 1996, 'Organizational innovativeness: exploring the relationship between organizational determinants of innovation, types of innovations, and measures of organizational performance', *Omega*, vol. 24, no. 6, pp. 631-647.
- Theyel, G 2000, 'Management practices for environmental innovation and performance', *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 20, no. 2, pp. 249-266.
- Utomo, TP, Hasanudin, U & Suroso, E 2012, *Agroindustri karet Indonesia : Petani karet dan kelembagaan, proses pengolahan dan kinerjanya, dan selayang pandang karet sintetis*, 1 edn, Sarana Tutorial Nurani Sejahtera, Bandung.
- Wang, H 2000, 'Pollution charges, community pressure, and abatement cost of industrial pollution in China', *World Bank Policy Research Working Paper*, no. 2337.
- Welford, R & Gouldson, A 2002, *Environmental management and business strategy*, Pitman, London.
- Wouapi, N & Maimo, T 2007, 'Towards a comprehensive analysis of cleaner technology potentials to address industrial pollution arising from natural rubber processing industry: A case study of Cameroon Development Corporation-Rubber Factories'.



## INVENTORI PENCEMARAN UDARA PARAMETER NON METHANE HIDROKARBON (NMHC) DI KABUPATEN / KOTA PROPINSI JAWA TENGAH

### NON-METHANE HYDROCARBONS (NMHC) PARAMETER ON AIR POLLUTION INVENTORY IN CENTRAL JAVA PROVINCE DISTRICT / TOWN

**Ikha Rasti Julia Sari dan Januar Arif Fatkhurrahman**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri  
Jl. Kimangunsarkoro No.6, Semarang, Jawa Tengah 50136  
E-mail: ikharasti@kemenperin.go.id

Naskah diterima tanggal 12 Agustus 2015, disetujui tanggal 3 November 2015

#### ABSTRACT

*Rate of industrial, transportation and domestical activity might be included as main factor on global hydrocarbon consumption as fuel became increase. Approximately on 2019, hydrocarbon consumption could reach 96 millions barrel per day. Hydrocarbons required under Government Regulation No. 41/1999 on the Air Pollution Control as NMHC (non-methane hydrocarbon). The concentration of NMHC is intended to limit its function as an ozone precursor compound. Environmental Agency of Jawa Tengah Province for last 3 years have implemented data collecting on ambient quality, including hydrocarbon. As data analysis on NMHC in several cities and regencies in Jawa Tengah, the average hydrocarbon level in industrial area higher than in residential or traffic area.*

**Keywords :** hydrocarbon, NMHC, Central Java

#### ABSTRAK

Laju pertumbuhan industri, transportasi dan aktivitas domestik menyebabkan konsumsi hidrokarbon secara global sebagai bakar mengalami kenaikan tiap tahun. Diperkirakan konsumsi hidrokarbon global di tahun 2019 mencapai 96 juta barel per hari. Hidrokarbon yang dipersyaratkan dalam Peraturan Pemerintah No. 41/1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara adalah sebagai NMHC (*Non Methane Hydrocarbon*). Konsentrasi NMHC lebih ditujukan untuk membatasi fungsinya sebagai senyawa prekursor ozon. Badan Lingkungan Hidup (BLH) Provinsi Jawa Tengah selama 3 tahun terakhir telah melaksanakan pemantauan rutin udara ambien di 35 kota dan kabupaten di Jawa Tengah. Inventori NMHC ini untuk melihat korelasi pencemar dengan sumber penghasil emisi yang dibedakan atas lokasi yang mewakili pemukiman, industri dan lalu lintas. Hasil analisis menunjukkan paparan konsentrasi NMHC di industri, mempunyai kecenderungan lebih tinggi dibandingkan NMHC di wilayah pemukiman maupun padat lalu lintas.

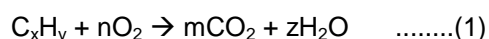
**Kata Kunci :** hidrokarbon, NMHC, Jawa Tengah

#### PENDAHULUAN

Seiring laju pertumbuhan teknologi industri, transportasi, dan aktivitas domestik, konsumsi hidrokarbon global sebagai bahan bakar mengalami laju kenaikan. Menurut data konsumsi hidrokarbon sebagai pembakaran bakar fosil yang dikeluarkan oleh OPEC, di tahun 2014 konsumsi hidrokarbon dunia mencapai 91,1 juta barel per hari, sedangkan di tahun – tahun berikutnya sampai tahun 2019 diperkirakan konsumsi hidrokarbon dunia mencapai 96 juta barel per hari (OPEC, 2014).

Hidrokarbon yang penyusun utamanya merupakan karbon dan hidrogen merupakan senyawa yang mudah mengalami oksidasi dan menghasilkan kalori dan energi, hal inilah yang

dimanfaatkan manusia sebagai sumber energi di hampir keseluruhan proses, baik industri, transportasi, maupun aktivitas domestik. Oksidasi hidrokarbon yang lazimnya disebut pembakaran, secara sempurna akan menghasilkan karbon dioksida dan air, sebagaimana terlihat dalam reaksi oksidasi hidrokarbon berikut;



Pembakaran hidrokarbon akan menghasilkan produk samping karbon monoksida dan hidrokarbon *by-product* yang biasanya mempunyai rantai karbon lebih pendek. Hal ini disebabkan beberapa faktor, diantaranya kurang sempurnanya reaksi

hidrokarbon dengan oksigen, maupun suhu pembakaran yang belum optimal (Dewulf, 2009).

Hidrokarbon merupakan salah satu parameter penentu tercemar atau tidaknya udara suatu daerah. Kandungan hidrokarbon dalam udara bersih adalah kurang dari 1 ppm dan pada udara tercemar konsentrasi berada antara 1-20 ppm (Holzworth & Cormick, 1976). Fardiaz (1992) pada pagi hari kandungan Hidrokarbon di udara tinggi, namun pada siang hari menurun. Sore hari kadar Hidrokarbon akan meningkat dan kemudian menurun lagi pada malam hari. Mukono (2003), Hidrokarbon dihasilkan dari proses pembakaran oleh mesin yang menggunakan bahan bakar yang berasal dari bahan fosil. Agusnar H (2007), Sumber polusi utama berasal dari transportasi, dimana hampir 60% dari polutan yang dihasilkan terdiri dari karbon monoksida dan sekitar 15% terdiri dari hidrokarbon, Sumber- sumber polusi lainnya misalnya pembakaran, proses industri, pembuangan limbah

Pengujian Hidrokarbon di udara ambien menurut SNI 7119.13:2009 menggunakan Hidrokarbon Analyzer dengan FID (*Flame Ionization Detector*). Dalam SNI ini dijelaskan bahwa Hidrokarbon total adalah senyawa hidrokarbon yang diukur menggunakan metoda deteksi ionisasi nyala mencakup fraksi C1-C5. Sedangkan hidrokarbon non metana merupakan senyawa hidrokarbon fraksi C1-C5 tanpa metana dan hidrokarbon metana adalah senyawa hidrokarbon fraksi C1. Baku Mutu Udara Ambien untuk Hidrokarbon (HC) menurut Keputusan Gubernur Jawa Tengah No. 8 Tahun 2001 merujuk pada Peraturan Pemerintah No. 41/1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara menyatakan bahwa nilai HC ini merujuk pada US EPA (1971) sebagai NMHC (*Non Methane Hydrocarbon*). Konsentrasi NMHC lebih ditujukan untuk membatasi fungsinya sebagai senyawa prekursor ozon.

Senyawa NMHC yang umum diketahui berasal dari emisi kendaraan bermotor adalah benzene, 1,3-Butadiene dan PAH (*polyaromatic hydrocarbon*). Selain itu terdapat banyak spesies hidrokarbon yang merupakan senyawa pencetus (prekursor) pembentuk ozon pada reaksi fotokimia dengan NO<sub>x</sub> dengan bantuan sinar matahari. Senyawa pencemar hidrokarbon di atmosfer umumnya memberikan efek terhadap manusia terjadi karena sifatnya yang karsinogenik. Senyawa yang umum diketahui diemisikan dari kendaraan bermotor adalah benzene, 1,3-Butadiene dan PAH (*polyaromatic*

*hydrocarbon*). Selain itu terdapat banyak spesies hidrokarbon yang merupakan senyawa pencetus (prekursor) pembentuk ozon pada reaksi fotokimia dengan NO<sub>x</sub> dengan bantuan sinar matahari. Paparan terhadap senyawa HC seperti benzena memiliki dampak serius terhadap kesehatan. Guo, et al, (2004) sumber polusi NMHC sumber-sumber industri, komersial dan domestik.

Kajian ini dimaksudkan untuk melakukan inventori pencemar udara parameter NMHC pada 35 Kota/ Kabupaten di Propinsi Jawa Tengah didasarkan data pemantauan lingkungan. dalam laporan pemantauan rutin udara BLH Propinsi Jawa Tengah tahun 2012 – 2015. Pemantauan masing-masing wilayah dibedakan atas sumber yang mewakili area pemukiman, industri dan lalu lintas. Hasil analisis data dimaksudkan melihat gambaran potensi pencemar NMHC pada suatu wilayah dan dapat dijadikan acuan stakeholder terkait dalam penyusunan kebijakan serta penyusunan rencana mitigasi pencemaran udara.

## METODE

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif yang menyajikan gambaran lengkap mengenai profil konsentrasi parameter NMHC. Penelitian ini akan mengklasifikasikan sumber yang memberikan potensi pencemaran udara NMHC.

### Lingkup Penelitian

Penelitian ini dibatasi untuk parameter NMHC yang diambil dari Laporan Penanganan Mitigasi, Adaptasi dan Pencegahan Pencemaran serta Kerusakan Lingkungan Akibat Bencana/ Gangguan Lingkungan dan Pemanasan Global pada 35 Kota/ Kabupaten di propinsi Jawa Tengah mulai tahun 2012-2015 yang merupakan laporan rutin BLH Propinsi Jawa Tengah. Data konsentrasi NMHC ini mewakili untuk wilayah pemukiman, industri dan transportasi untuk masing-masing kota/ kabupaten.

### Sumber Data Penelitian

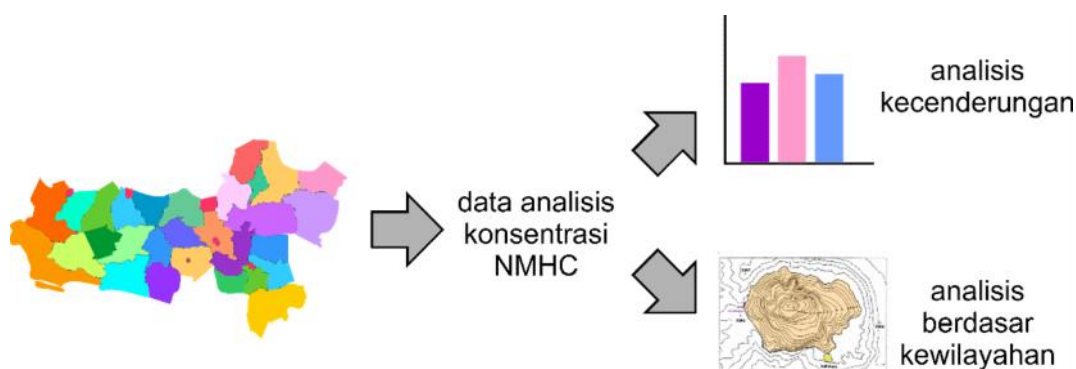
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang bersumber dari data pemantauan parameter NMHC tahun 2012-2015, data penduduk, data luas wilayah, data industri, data jalan yang akan diolah dan dianalisa lebih mendalam sebagai variable pendukung untuk membahas trend pencemar NMHC.

### Teknik Analisis Data

Data konsentrasi NMHC tersebut diambil mewakili 3 area utama pada tiap kabupaten dan kota, yaitu pemukiman, industri, dan jalan raya. Perwakilan lokasi ini merupakan metode empiris pengambilan data berdasarkan metode penentuan lokasi pengambilan data berbasis kefungsi wilayah (Fengkui, 2014). Kawasan industri menurut PP. No.24 Tahun 2009 adalah kawasan tempat pemusatan kegiatan Industri yang dilengkapi dengan sarana dan prasarana penunjang yang dikembangkan dan dikelola oleh Perusahaan Kawasan Industri yang telah memiliki Izin Usaha Kawasan Industri. Kawasan perumahan atau pemukiman menurut UU No.1 Tahun 2011 adalah bagian dari lingkungan hidup di luar kawasan lindung, baik berupa kawasan

perkotaan maupun perdesaan, yang berfungsi sebagai lingkungan tempat tinggal atau lingkungan hunian dan tempat kegiatan yang mendukung perikehidupan dan penghidupan. Kawasan padat lalu lintas merupakan lokasi jalan dengan kepadatan relatif kendaraan terhadap badan jalan.

Analisis data menggunakan metode kuantitatif untuk melihat kecenderungan metana tiap lokasi pengambilan data selama rentang waktu 3 tahun dan dengan membandingkan data pemantauan konsentrasi NMHC dengan Baku Mutu yang berlaku di Jawa Tengah. Data ini selanjutnya dikorelasikan dengan data hasil analisis berupa data kepadatan penduduk, industri dan kepadatan lalu lintas pada masing-masing kota/ kabupaten di Propinsi Jawa Tengah.



Gambar 1. Penentuan Profil Konsentrasi Non Methane Hydrocarbon (NMHC)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

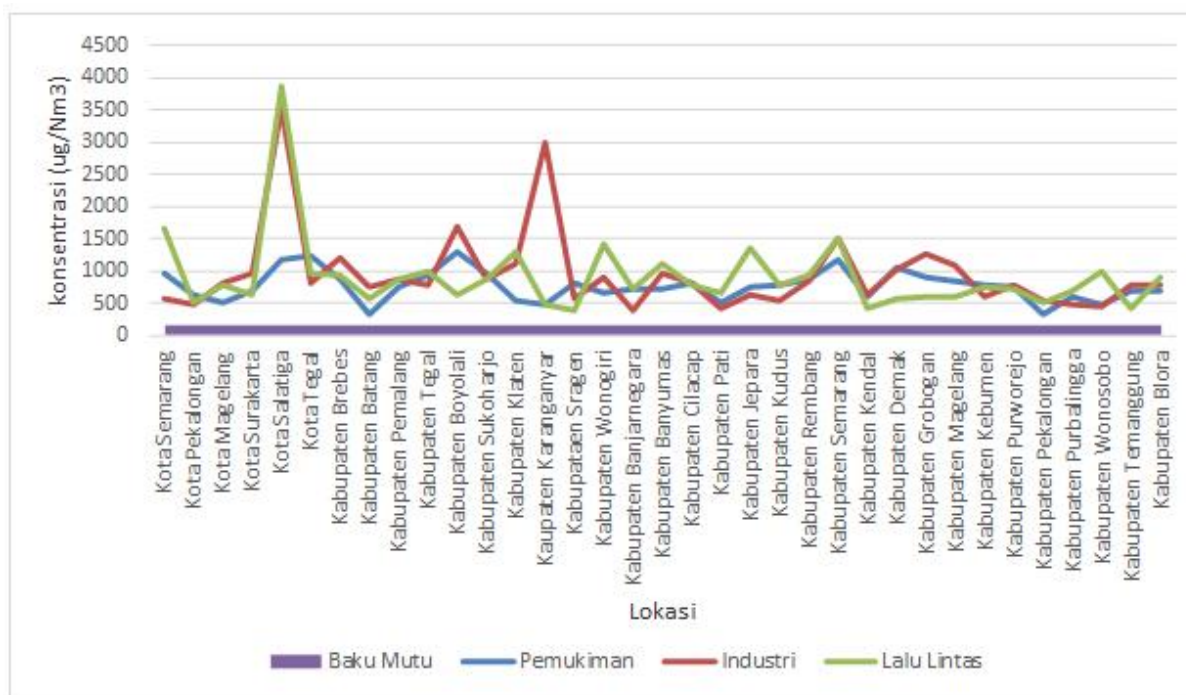
### Data Konsentrasi NMHC di Kabupaten/ Kota Propinsi Jawa Tengah

Laporan Penanganan Mitigasi, Adaptasi dan Pencegahan serta Kerusakan Lingkungan Akibat Bencana/ Gangguan Lingkungan dan Pemanasan Global BLH Propinsi Jawa Tengah tahun 2012-2014 dilakukan untuk beberapa parameter pencemar udara seperti Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>), Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>), Total Partikel Debu (TSP), CO (Karbon Monoksida) dan Hidrokarbon sebagai NMHC. Hasil pemantauan lingkungan parameter NMHC pada menunjukkan hasil yang rata-rata melebihi baku mutu yang dipersyaratkan yaitu sebesar 160µg/Nm<sup>3</sup> sesuai Keputusan Gubernur Jawa Tengah No. 8 Tahun 2001. Nilai terukur ini merupakan nilai Hidrokarbon total selain metana. Baku mutu di luar negeri sudah tidak merujuk NMHC tetapi lebih spesifik lagi terhadap senyawa apa yang memberikan dampak terhadap lingkungan dan

kesehatan masyarakat, misalnya baku mutu tentang benzene, toluene.

Pada atmosfer perkotaan, peningkatan kadar hidrokarbon di udara ambien disebabkan karena sumber antropogenik (Field et al,1992). Soedomo (2001) pencemaran udara antropogenik adalah pencemaran akibat aktivitas manusia seperti aktivitas transportasi, industri, pembakaran sampah, dan rumah tangga. Secara kuantitatif pencemar udara dari sumber anthropogenik sering lebih besar bila dibandingkan dari sumber alami.

Pemantauan selama 3 (tiga) tahun dilakukan pada titik koordinat adalah relatif sama untuk ketiga sumber lokasi dari aktivitas anthropogenik yang mewakili pemukiman, lalu lintas dan industri pada setiap wilayah kabupaten/ kota di Jawa Tengah. Hasil pemantauan konsentrasi NMHC menunjukkan nilai yang bervariasi untuk masing-masing sumber lokasi, dengan rata-rata konsentrasi NMHC seperti yang disajikan pada gambar 2.



Gambar 2 . Rata – Rata Konsentrasi NMHC Tiap Wilayah di Jawa Tengah

Gambar 1 menunjukkan rata-rata konsentrasi NMHC terukur dengan menggunakan metode deteksi ionisasi nyala FID yang mencakup fraksi C1-C5 tanpa metana sesuai dengan SNI 7119.13:2009. Soedomo (2001) Waktu pengukuran Total Hidrokarbon efektif dilakukan pada pagi hari pukul 06.00-09.00 karena berkaitan dengan pembentukan oksida fotokimia dengan adanya radiasi ultraviolet yang merupakan faktor meteorologis lingkungan yang menginisiasi reaksi konversi hidrokarbon dengan oksida-oksida nitrogen.

Nilai NMHC yang terukur diambil dalam variasi waktu yang beragam mulai dari pagi sampai sore hari dan bersifat sesaat (grab). Soedomo (2001) menyatakan sampling udara secara grab adalah pengukuran satu atau dua kali yang tidak kontinyu dan tidak secara periodik. Faktor meteorologi seperti kecepatan dan arah angin, kelembaban, temperatur, tekanan, topografi dan morfologi perlu menjadi pertimbangan dalam menganalisis kualitas udara di suatu daerah. Dari gambar 1 terlihat trend kecenderungan konsentrasi NMHC tinggi untuk lokasi-lokasi yang mewakili area industri dan padat lalu lintas. Konsentrasi NMHC pada area yang mewakili industri paling tinggi selama 3 tahun terakhir bila dibandingkan dengan lokasi yang mewakili padat lalu lintas dan pemukiman. Hal ini terlihat untuk kabupaten Boyolali, Karanganyar, Demak, Grobogan dan

Magelang dimana aktivitas industri lebih memberikan kontribusi yang besar dibandingkan dengan aktivitas kendaraan bermotor dan pemukiman. Industri yang berada di wilayah tersebut rata-rata berada di pusat-pusat kota, sehingga aktivitas lalu lintas juga memberikan kontribusi pada peningkatan kadar NMHC. Sedangkan untuk wilayah Kota Surakarta dan Salatiga memiliki nilai konsentrasi NMHC yang hampir sama untuk area yang mewakili industri dan padat lalu lintas, dikarenakan beberapa lokasi industri di kota tersebut berada di sepanjang jalan utama.

Stakeholder terkait di Propinsi Jawa Tengah perlu melakukan evaluasi tentang rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) kabupaten/ kota terutama untuk penataan lokasi industri, mengingat rata –rata industri di Jawa Tengah kebanyakan masih berada di pusat-pusat kota. Di Kota Semarang sudah diatur dalam Perda No. 4 Tahun 2011 tentang RTRW Tahun 2011 -2031 menempatkan lokasi industri berada di pinggiran kota yaitu Kecamatan Genuk, Tugu dan Ngaliyan meskipun pada kenyataannya masih ada beberapa industri besar yang berada di lokasi yang tidak sesuai dengan peruntukannya. Industri di kota Semarang, secara perlahan sudah mulai mencari lokasi yang sesuai dengan peruntukannya. Pentaatan peraturan dan sanksi tegas aparat Pemerintah menjadi komitmen awal untuk menciptakan lingkungan yang bersih dan sehat demi kenyamanan

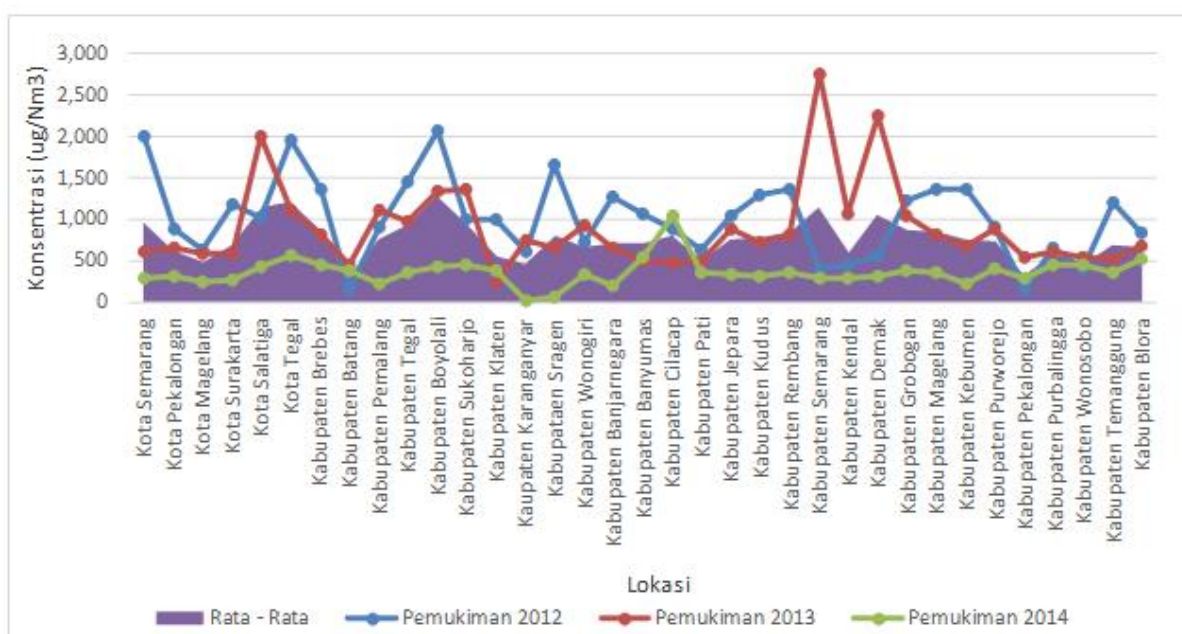
masyarakat dan keberlanjutan perekonomian di wilayah kabupaten/ kota Propinsi Jawa Tengah.

**Data Konsentrasi NMHC Area Permukiman di Kabupaten/ Kota Propinsi Jawa Tengah**

Pola konsentrasi NMHC mewakili area pemukiman cukup beragam. Keragaman pola paparan NMHC di area pemukiman disebabkan adanya variasi aktivitas sumber paparan NMHC dari waktu ke waktu. Guo, et al (2004) Sumber polusi NMHC dari sumber domestik/ pemukiman berasal dari pembakaran menggunakan bahan bakar LPG. (Soedomo, 2001) kegiatan rumah tangga mengemisikan pencemar udara yaitu dari

proses pembakaran untuk keperluan pengolahan makanan. Parameter yang diemisikan ke atmosfer identik dengan parameter yang dilepaskan oleh kendaraan bermotor.

Konsentrasi rata – rata terukur untuk paparan NMHC selama periode 3 tahun tertinggi berada di wilayah pemukiman kabupaten Boyolali sebesar 1278  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , disusul Kota Tegal sebesar 1219  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  dan Kabupaten Semarang sebesar 1155  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . Sementara untuk wilayah dengan paparan NMHC paling rendah berada di wilayah pemukiman di kabupaten Batang sebesar 327  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  seperti yang disajikan pada gambar 3.



Sumber : BLH Propinsi Jawa Tengah, 2012-2014

**Gambar 3.** Konsentrasi Paparan NMHC di Area Pemukiman

Khalil et al (1993) menjelaskan bahwa terdapat hubungan antara populasi manusia dan emisi yang dikeluarkan dari sumbernya. Dari analisis data kependudukan BPS (2013) menyatakan bahwa kepadatan penduduk tertinggi berada di Kota Magelang, Kota Tegal, dan Kota Surakarta. Sedangkan 3 wilayah dengan kepadatan paling rendah adalah Kabupaten Wonogiri, Kabupaten Grobogan dan Kabupaten Cilacap. Kepadatan penduduk ini tidak berkorelasi dengan konsentrasi NMHC yang terukur selama periode 3 tahun. Kenyataannya, sumber emisi antropogenik meningkat dan menurun sesuai dengan kompleksitas faktor ekonomi, sosial dan

teknologi yang mungkin membuat sulit untuk memprediksi emisi di masa depan.

Kota Surakarta dengan tingkat kepadatan penduduk tertinggi di Jawa Tengah sebesar 11.534/  $\text{km}^2$ , memiliki konsentrasi emisi NMHC hanya sebesar 685  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan kota Boyolali dan Kota Tegal. Lokasi pemantauan yang mewakili pemukiman untuk Kota Tegal dan Kota Boyolali berada di wilayah dengan kepadatan lalu lalang kendaraan bermotor bila dibandingkan dengan kota Surakarta. sepanjang jalan utama memiliki konsentrasi NMHC yang lebih tinggi dibandingkan kota

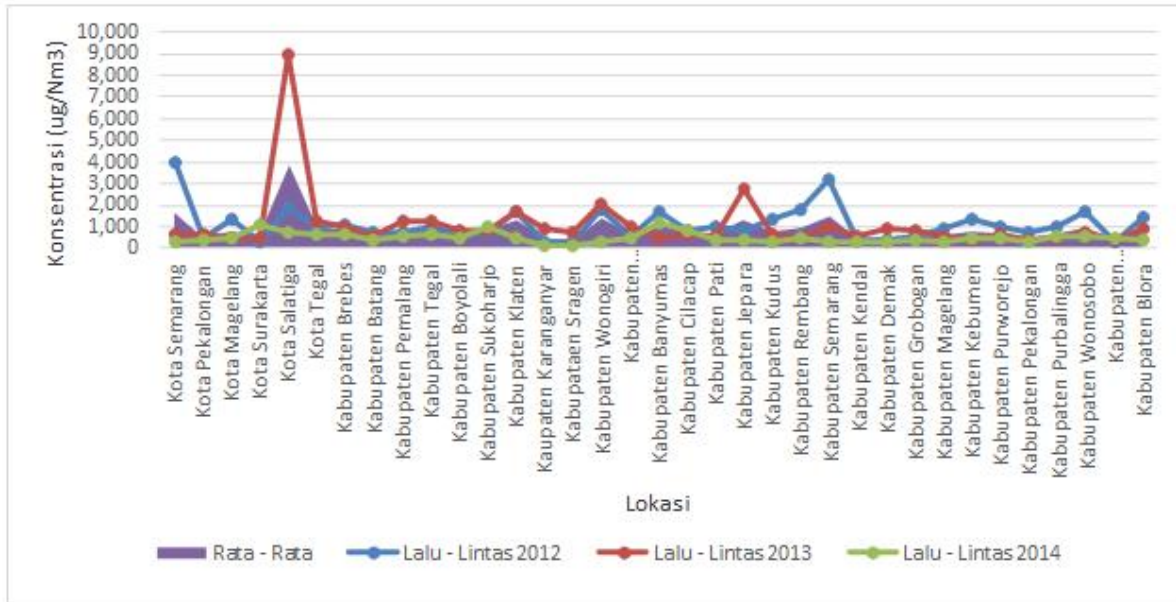


Surakarta, meskipun kepadatan penduduknya relatif rendah.

**Data Konsentrasi NMHC Area Industri di Kabupaten/ Kota Propinsi Jawa Tengah**

Berdasarkan data BPS (2014), di Propinsi Jawa Tengah terdapat 3666 industri dengan klasifikasi menengah dan besar.

Industri menengah adalah industri dengan tenaga kerja 20 – 99 pekerja, dan industri besar adalah industri dengan tenaga kerja lebih dari 100 pekerja. Nilai paparan konsentrasi NMHC mewakili area industri dari tahun 2012 – 2014 pada wilayah kabupaten /kota Jawa Tengah disajikan pada gambar 4.



Sumber : BLH Provinsi Jawa Tengah, 2012 – 2014

**Gambar 4.** Konsentrasi Paparan NMHC di Area Industri

Pada gambar 4 terlihat konsentrasi NMHC tertinggi rata – rata untuk wilayah industri sebesar 3524 µg/Nm<sup>3</sup> untuk wilayah industri kota Salatiga, dan terendah 378 µg/Nm<sup>3</sup> untuk wilayah industri di kabupaten Banjarnegara. Soedomo (2001) emisi pencemaran udara oleh industri sangat bergantung dari jenis industri dan prosesnya. Selain dari prosesnya juga diperhitungkan pencemaran udara dari unit peralatan yang digunakannya (utilitas). Barleta et al (2008) Parameter Toluena merupakan mayoritas emisi NMHC yang dikeluarkan dari sektor industri.

Jika melihat data industri di kota Salatiga yang hanya berjumlah 32 industri. Lokasi pemantauan industri di kota Salatiga terletak di tepi jalan utama yang merupakan jalur padat lalu lintas dan juga industri ini merupakan industri tekstil cukup besar. Penggunaan utilitas berbahan bakar fosil dan letak lokasi pemantauan berada di tepi jalan utama, memberikan kemungkinan bahwa sektor lalu lintas memberikan interferensi terhadap tingginya nilai NMHC selain dari aktivitas industrinya.

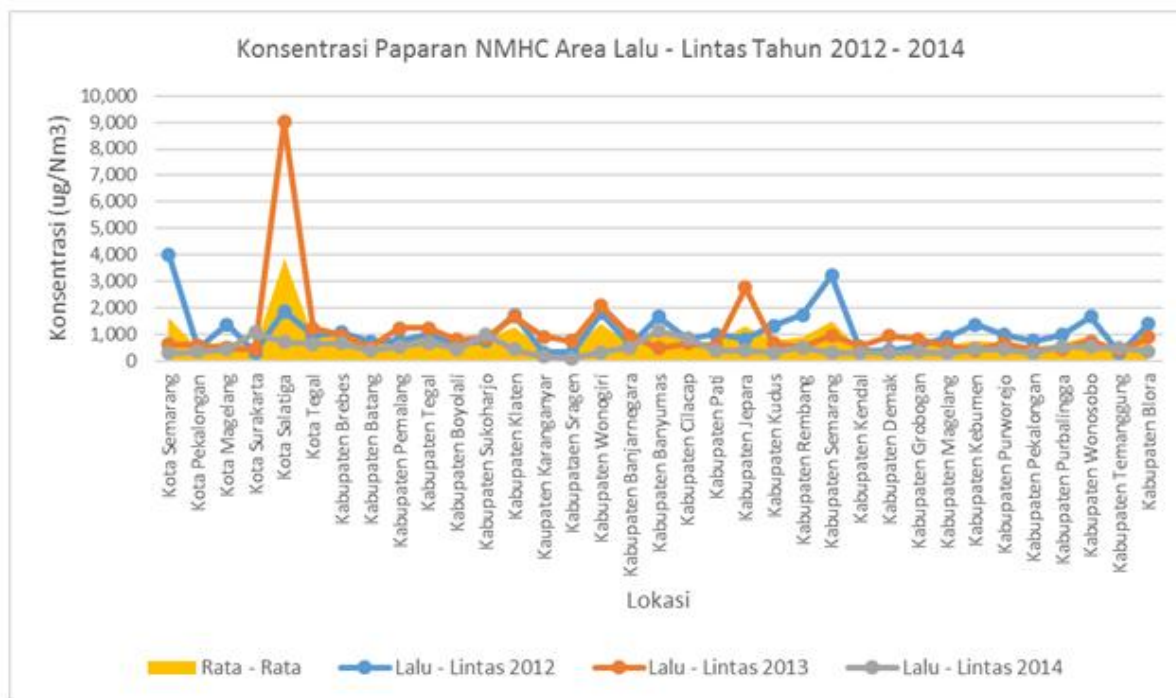
**Data Konsentrasi Non Methane Hydrocarbon di Wilayah Padat Lalu – Lintas di Kabupaten dan Kota di Jawa Tengah**

Paparan NMHC di wilayah padat lalu lintas banyak dipengaruhi oleh intensitas kendaraan yang lalu lalang dan berbanding lurus dengan panjang jalan yang dilalui kendaraan. Data BPS (2014) jumlah jalan terpanjang berada di kabupaten Banyumas, Sukoharjo dan Cilacap. Nilai paparan konsentrasi NMHC untuk wilayah padat lalu lintas tertinggi selama 3 tahun terakhir di Jawa Tengah untuk area padat lalu lintas adalah Kota Salatiga dengan nilai 3873 µg/Nm<sup>3</sup>, seperti yang disajikan pada gambar 5.

Kota Salatiga merupakan salah satu kota yang berada dalam hinterland kota Semarang, berada di tengah-tengah wilayah Kabupaten Semarang dengan banyaknya penduduk yang kurang dari satu juta jiwa. Namun, dalam konteks regional Jawa Tengah, Salatiga terletak di antara kota Semarang dan Surakarta, merupakan jaringan jalan arteri dengan intensitas lalu- lintas sangat tinggi

(Sriwidodo, 2008). Barletta, et al (2008) sumber emisi dari kendaraan bermotor muncul sebagai sumber utama NMHC di kota yang menjadi pusat ekonomi, dengan karakteristik

dominan adalah parameter propane. Meskipun konsentrasi propane berlebihan, tetapi memiliki peran kecil pada produksi ozon dengan kontribusi kira-kira 1%.



Sumber : BLH Provinsi Jawa Tengah, 2012 - 2014

Gambar 5. Konsentrasi Paparan NMHC di Area Padat Lalu – Lintas

Besarnya konsentrasi NMHC baik dari area yang mewakili industri maupun padat lalu lintas di wilayah kota Salatiga, perlu menjadi perhatian Pemerintah Kota Salatiga pada khususnya dan Pemerintah Jawa Tengah pada umumnya. Hidrokarbon udara akan bereaksi dengan bahan-bahan lain dan akan membentuk ikatan baru yang disebut *Plycyclic Aromatic Hidrocarbon* (PAH) yang banyak dijumpai di daerah industri dan padat lalu lintas. Morawska, et al (2002) PAH, beberapa diantaranya karsinogenik terhadap manusia. PAH dikeluarkan dari emisi kendaraan bermotor, pembakaran gas alam baik di industri maupun rumah tangga. PAH diproduksi pada suhu tinggi, karena adanya pembakaran tidak sempurna dan pirolisis dari bahan bakar fosil dan material organik lainnya.

**KESIMPULAN**

Trend kecenderungan konsentrasi NMHC hasil pemantauan tahun 2012-2014 mempunyai nilai tinggi untuk lokasi-lokasi yang mewakili area industri dan padat lalu lintas. Data kepadatan penduduk, jumlah industri dan panjang jalan tidak berkorelasi pada tingginya nilai NMHC.

Konsentrasi NMHC tertinggi berada di kota Salatiga baik untuk area yang mewakili industri dan padat lalu lintas, dimana keduanya mempunyai nilai rata-rata yang relatif sama. Kondisi ini sehingga perlu mendapat perhatian khusus bagi stakeholder terkait mengingat bahaya NMHC bagi kesehatan manusia.

**DAFTAR PUSTAKA**

Agusnar, Harry, 2007. Kimia Lingkungan. Medan : Penerbit USU Press.

Barletta, B.A., Meinardi, S., Simpson, I.J, Zou, S., Rowland, F.S., Blake, D.R., 2008. Ambient Mixing Ratio of Non Methane Hydrocarbons (NHMCs) in Two Major Urban Centers of The Pearl River Delta (RPD) Region : Guangzhou and Dongguan. *Athmospheric Environment* 42 (2008) 4393 – 4408. Elsevier Journals.

BSN, 2009. SNI 7119.13-2009 Cara Uji Hidrokarbon (HC) Menggunakan *Hydrocarbon Analyser* dengan Detektor Ionisasi Nyala (*Flame Ionization Detector/FID*).

OPEC Secretariat, 2014. 2014 World Oil Outlook. Vienna, Austria. p.35

Dewulf, Jo dan Van Langenhove, Herman, 2009. *Environmental and Ecological*

- Chemistry Vol. II – Hydrocarbon in the Atmosphere. ISBN 978-1-84826-693-3. Encyclopedia of Life Support System (EOLSS). Perancis
- Fardiaz, S., 1992. Mikrobiologi Pangan I. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Field, R. A., Goldstone, M. E., Lester, J. N. and Perry, R., 1992. The sources and behaviour of tropospheric anthropogenic volatile hydrocarbons. Atmospheric Environment 26A, 2983-2996.
- Guo, H., Wang, t, Louie, P.K.K., 2004. Source Apportionment Of Ambient Non-Methane Hydrocarbons In Hong Kong: Application Of A Principal Component Analysis/ Absolute Principal Component Scores (PCA/APCS) Receptor Model. Science Direct Journals. Environmental Pollution 129 (2004) 489-498.
- Holzworth, GC., dan Cormick, R.A., 1976. Air Pollution 3<sup>rd</sup> ed. Academy Press. New York. Air Pollution Climatology. In A.C Stren (Eds). Vol.1
- Khalil, M.A.K, 1993. Atmospheric Methane : Source, Sinks and Role in Global Change. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Mukono, H.J., 2003. Pencemaran Udara dan Pengaruhnya Terhadap Gangguan Saluran Pernafasan. Airlangga University Press. ISBN: 979-8990-07-2
- Mwaroska, L dan Zhang J, 2002. Combustion Source of Particle. 1. Health Relevance and Source Signature. Chemosphere 49 (2002) 1045 – 1058. Pergamon. Elsevier Science Ltd. [www.elsevier.com/locate/chemosphere](http://www.elsevier.com/locate/chemosphere)
- Sriwidodo, 2008. Analisis Dampak Lalu-Lintas Akibat Pembangunan Jalan Lingkar Salatiga. Wahana TEKNIK SIPIL Vol. 13 No. 3 Desember 2008: 177- 185
- Weubles, Donald J dan Hayhoe, Katharine, 2002. Atmospheric Methane and Global Change. Earth-Science Reviews 57, hal 177-210
- BPS Provinsi Jawa Tengah, 2014. [Jateng.bps.go.id](http://Jateng.bps.go.id). Diakses 29 Oktober 2015
- BLH Propinsi Jawa Tengah. 2012-2014. Laporan Penanganan Mitigasi, Adaptasi dan Pencegahan serta Kerusakan Lingkungan Akibat Bencana/ Gangguan Lingkungan dan Pemanasan Global.

## **KAJIAN POTENSI TEKNOLOGI MICROBIAL ELECTROSYNTHESIS CELL (MES) UNTUK SINTESIS SENYAWA ORGANIK (C1-C5) DARI GAS KARBONDIOKSIDA**

### **STUDY ON MICROBIAL ELECTROSYNTHESIS CELL (MES) TECHNOLOGY POTENCY FOR (C1-C5) ORGANIC COMPOUND SYNTHESIS FROM CARBONDIOXIDE**

**Rustiana Yuliasni**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Jl. Kimangsarkoro No.6 - Semarang

Email : rustianay@yahoo.com

Naskah diterima tanggal 11 Agustus 2015, disetujui tanggal 29 Oktober 2015

#### **ABSTRACT**

*Carbon dioxide can be reduced to ethanol and any other organic compound e.g acetate, by applying electrical energy with acetogenic bacteria acts as catalyst. This technology known as Microbial Electrosynthesis Cell (MES). MES technology become very prospective because it has potential to store renewable energy source from solar or wind energy, to reduce carbondioxide and to produce biofuel. However, MES technology is relatively novel technology, with current researches are emphasizing more on developing MES technology at lab scale, but facing many drawbacks at pilot scale application. Therefore this review will quantitatively investigate the development of MES technology by making review and summary of related researches for the past 10 years. This article will become guidance for the future research or application for bigger scale.*

**Keywords :** *Bioelectrochemistry, carbondioxide, ethanol, acetate, electrosynthesis*

#### **ABSTRAK**

Karbon dioksida dapat direduksi menjadi etanol dan senyawa organik lainnya seperti asetat dengan cara mengaplikasikan energi listrik dan dengan bantuan bakteri elektroaktif sebagai katalis, suatu teknologi yang dinamakan sebagai *Microbial Electrosynthesis Cell (MES)*. Teknologi ini menjadi sangat menarik untuk diteliti lebih lanjut karena merupakan upaya untuk menyimpan energi listrik dari sumber energi terbarukan seperti energi panas matahari dan angin, sebagai upaya untuk mereduksi gas CO<sub>2</sub> dan sebagai salah satu alternatif teknologi dalam produksi bahan bakar ramah lingkungan (*biofuel*). Walaupun demikian, teknologi ini masih tergolong baru, dan penelitian yang ada masih dalam skala laboratorium karena adanya hambatan-hambatan untuk aplikasi teknologi ini dalam skala *pilot plant*. Oleh karena itu, di dalam kajian ini akan menitik beratkan pada investigasi secara kuantitatif dengan cara mereview penelitian-penelitian yang sudah dilakukan selama kurun waktu 10 tahun ini, sehingga dapat dijadikan referensi dalam pengembangan teknologi ini untuk skala yang lebih besar nantinya.

**Kata kunci :** Bioelektrokimia, karbondioksida, asetat, etanol, elektrosintesis

#### **PENDAHULUAN**

Sebanyak 81% kebutuhan energi dunia masih mengandalkan energi yang berasal dari bahan bakar fosil sehingga berdampak pada meningkatnya emisi gas rumah kaca terutama emisi gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) (Teske *et al.* 2010). Pada tahun 2010, Emisi CO<sub>2</sub> cenderung meningkat mencapai 390 ppm atau meningkat sebanyak 39% diatas konsentrasi sebelum era industri [Edenhofer and Zwickel, 2011]. Dengan peningkatan emisi gas rumah kaca terutama CO<sub>2</sub>, potensi energi terbarukan, yaitu energi panas matahari dan energi angin,

sebagai energi alternatif yang ramah lingkungan menjadi alternatif yang potensial sebagai pengganti ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Namun sayangnya listrik yang berasal dari energi panas matahari dan energi angin tersebut masih terkendala oleh pasokannya yang fluktuatif sehingga untuk pemanfaatannya dengan skala yang lebih besar, energi tersebut perlu disimpan dalam bentuk lain yang stabil, mudah penyimpanannya, mudah pengangkutannya dan mudah pemanfaatannya. Salah satu alternatif untuk menyimpan listrik yang berasal dari energi panas matahari dan angin adalah dengan merubahnya menjadi bahan bakar ramah

lingkungan (*biofuel*) seperti etanol (Denholm *et al.*, 2010).

Karbon dioksida dapat direduksi menjadi etanol dan senyawa organik lainnya seperti asetat (Lovley dan Nevin 2013) dengan cara mengaplikasikan energi listrik dan dengan bantuan bakteri elektroaktif sebagai katalis, suatu teknologi yang dinamakan sebagai *Microbial Electrosynthesis Cell (MES)*. Dalam kondisi reduktif dan anaerobik, bakteri asetogen dapat menggunakan CO<sub>2</sub> sebagai substrat dan sebagai elektron akseptor, kemudian menggunakannya dalam metabolisme sel melalui mekanisme yang dinamakan *wood ljungdahl pathway* (Schuchmann dan Müller 2014), merubah CO<sub>2</sub> menjadi senyawa organik seperti asetat (Kelly P Nevin *et al.* 2010; Jiang *et al.* 2013), dan etanol (Steinbusch *et al.* 2010; Sakai *et al.* 2004). Selain asam-asam organik, metan juga menjadi salah satu produk dari reduksi CO<sub>2</sub> secara bioelektrokimia (Van Eerten-Jansen *et al.* 2013).

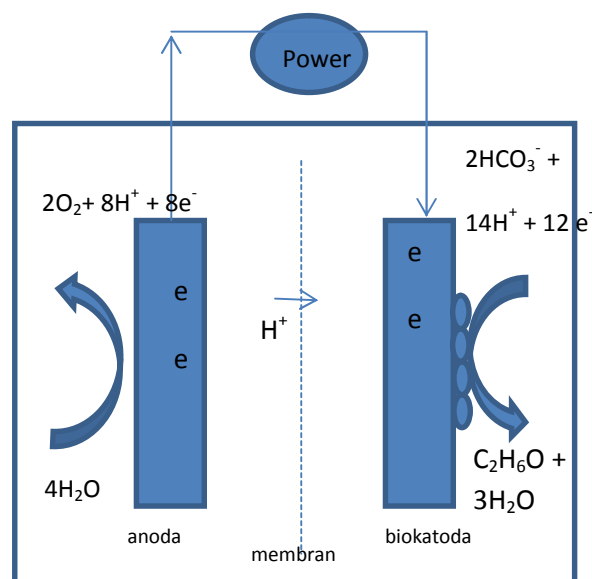
Teknologi ini menjadi sangat menarik untuk diteliti lebih lanjut karena 1) sebagai upaya menyimpan menyimpan energi listrik yang didapat dari energi panas matahari dan angin; 2) sebagai upaya untuk mereduksi gas CO<sub>2</sub>; 3) sebagai salah satu alternatif teknologi dalam produksi bahan bakar ramah lingkungan (*biofuel*). Walaupun demikian, teknologi ini masih tergolong baru dan kelayakan teknologi ini dari segi teknis maupun ekonomi perlu dikaji lagi, karena disamping segala keunggulan yang ada, hambatan-hambatan dalam pengembangan teknologi ini juga banyak dan layak untuk dikaji lebih jauh. Salah satu hambatan yang paling mendasar dalam aplikasi teknologi ini adalah bagaimana cara membuat biokatoda yang stabil sehingga bakteri asetogen dapat menempel dan membentuk biofilm di permukaan katoda dan juga pembuatan biokatoda yang dapat memperkecil overpotensial dari katoda yang mayoritas terbuat dari karbon.

Karena teknologi ini tergolong baru, maka kajian literatur akan lebih banyak meringkas penelitian yang sudah ada tentang sejauh mana teknologi reduksi karbon dioksida menjadi berbagai macam senyawa organik secara bioelektrokimia ini telah berkembang. Investigasi akan dilakukan secara kuantitatif yaitu dengan mereview penelitian-penelitian yang sudah dilakukan selama ini serta hambatan-hambatan apa saja yang dihadapi oleh teknologi ini terutama dalam hal pengembangan biokatoda sehingga nantinya

potensi dari teknologi ini bisa dimaksimalkan di masa yang akan datang.

**Microbial Electrosynthesis (MES):** memberi makan elektron kepada bakteri

Sebenarnya konsep dari *Microbial Electrosynthesis (MES)* adalah pengembangan dari konsep sistem bioelektrokimia atau yang kerap disebut sebagai *Bioelectrochemical System (BESs)*. BESs biasanya terdiri atas ruang anoda dan ruang katoda yang di pisahkan oleh membran. Elektroda dicelupkan kedalam larutan elektrolit. Larutan elektrolit yang digunakan bisa berupa air limbah (Logan dan Rabaey 2012) atau air biasa. BESs bisa dioperasikan dalam bentuk *Microbial Fuel Cell (MFC)*, dimana dihasilkan energi listrik, atau bisa juga dioperasikan dalam bentuk *Microbial Electrosynthesis Cell (MES)* dimana energi listrik diperlukan untuk mendorong laju reaksi yang secara termodinamika tidak spontan (Hamelers *et al.*, 2010, Rabaey and Rozendal, 2010). Berbagai macam mikroorganisme (Logan, 2009) dan enzim (Jia *et al.* 2005) dapat dipakai sebagai katalis untuk reaksi elektrokimia yang terjadi.



Gambar 1. Konsep dari reduksi CO<sub>2</sub> menjadi etanol dalam sistem MES

Gambar 1. Konsep dari reduksi CO<sub>2</sub> menjadi etanol dalam sistem MES, dimana air di oksidasi di ruang anoda, elektron mengalir menuju katoda yang kemudian ditangkap oleh mikroorganisme yang kemudian dipakai untuk mereduksi CO<sub>2</sub> menjadi etanol.

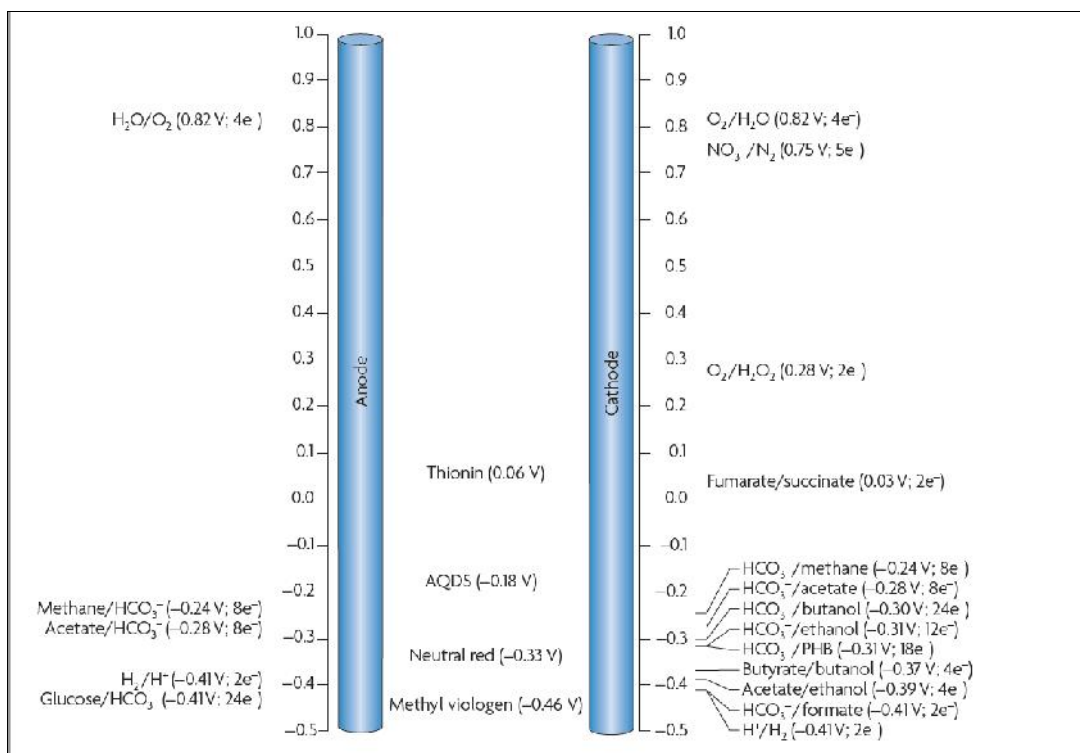
#### Kebutuhan energi listrik di dalam MES sistem

Dalam sistem MES, besarnya energi listrik yang dibutuhkan agar reaksi reduksi CO<sub>2</sub>

di ruang katoda berjalan spontan di definisikan sebagai potensial katoda. Pendekatan perhitungan teoritis potensial katoda dihitung berdasarkan termodinamika reaksi di katoda, dengan menghitung energi Gibb's bebas (Gibb's *free energy*) dari reaksi di katoda. Dalam kondisi standar  $Gr^\circ$  (kJ/mol) dapat dikonversikan menjadi standar potensial  $E_0$  (V vs *standard hydrogen electrode* (SHE)), sebagaimana perhitungan oleh (Cheng dan Hamelers 2008).

$$E = - Gr^\circ/nF.....(1)$$

Untuk membuat reaksi elektrolisis berjalan spontan, aplikasi voltase harus lebih besar dari nilai  $Gr^\circ/nF$ , dimana  $n$  adalah jumlah elektron di dalam reaksi, dan  $F$  (96.485 C/mol  $e^-$ ) adalah konstanta Faraday. Secara teoritis, besarnya voltase yang harus diaplikasikan dalam sistem BES dapat dilihat dalam gambar 2.



Gambar 2. Standar potensial elektroda dalam BES (vs SHE) (Rabaey and Rozendal, 2010).

Namun dalam aplikasisebenarnya, energi listrik yang dibutuhkan jauh lebih besar dari perhitungan teoritis (Gambar 2). Sebagai contoh, untuk reduksi  $CO_2$  menjadi asetat membutuhkan minimal potensial katoda sebesar -0,28 V (gambar 2), tetapi dalam penelitian (Min *et al.* 2013; Jiang *et al.* 2013) produksi acetate terjadi pada potensial katoda sebesar lebih negatif dari - 0,75 V vs SHE. Hal ini menyebabkan rendahnya efisiensi dari proses elektrosintesis, yang kemudian menjadikan salah satu hambatan dalam aplikasinya. Tingginya kebutuhan energi sebenarnya ini bisa disebabkan oleh over potensial dari sistem, dimana over potensial tersebut bisa dikarenakan oleh rendahnya nilai konduktivitas dari larutan elektrolit (Rabaey and Rozendal, 2010) atau bisa juga karena pergerakan ion-ion di dalam sistem MES yang tidak sempurna karena keterbatasan

kemampuan elektroda yang menyebabkan proses katalisis tidak sempurna (Harnisch dan Schröder 2009).

Salah satu pendekatan untuk mengukur keefektifan dari sistem MES adalah dengan mengukur sampai sejauh mana elektron yang diumpangkan ke dalam sistem dapat tersintesis ke dalam produk senyawa organik. Efisiensi Coulomb (*coulombic efficiency*) dipakai sebagai patokan oleh (Steinbusch *et al.* 2010; Van Eerten-Jansen *et al.* 2013; Su *et al.* 2013), walaupun konsep tentang efisiensi coulomb ini masih menjadi perdebatan. Efisiensi coulomb didefinisikan sebagai perbandingan antara ekuivalen elektron yang terkandung didalam produk senyawa organik dengan energi listrik (elektron) yang diumpangkan ke dalam sistem MES.

**Tabel 1.** Ringkasan dari penelitian-penelitian yang sudah ada tentang sistem MES dengan produksi berbagai macam senyawa organik.

Jenis elektron akseptor	Senyawa organik utama yang dihasilkan	Jumlah produksi maksimum (mM/hari)	Efisiensi coulomb maksimum (%)	Potensial katoda (V vs SHE)	Jenis mikroorganisme di biokatoda	Referensi
CO <sub>2</sub>	Asetat	1.57	28	-0,95	Kultur campuran	(Jiang <i>et al.</i> 2013)
**CO <sub>2</sub>	Asetat	2.35	89,5	-0.90	Kultur campuran	(Su <i>et al.</i> 2013)
asetat	Caproate dan caprylate	739 ppm untuk caproate; 36 mg/l caprylate	45	-0,9	Kultur campuran	(Van Eerten-Jansen <i>et al.</i> 2013)
*asetat	etanol	1.82	49	-0,55	Kultur campuran	(Steinbusch <i>et al.</i> 2010)
CO <sub>2</sub>	asetat	1	85	>-0,6	Kultur murni <i>S. ovata</i>	(Kelly P. Nevin <i>et al.</i> 2010)

\*memakai redoks mediator

\*\*memakai 2- bromoethanesulfonic acid (BESA) untuk metan inhibitor

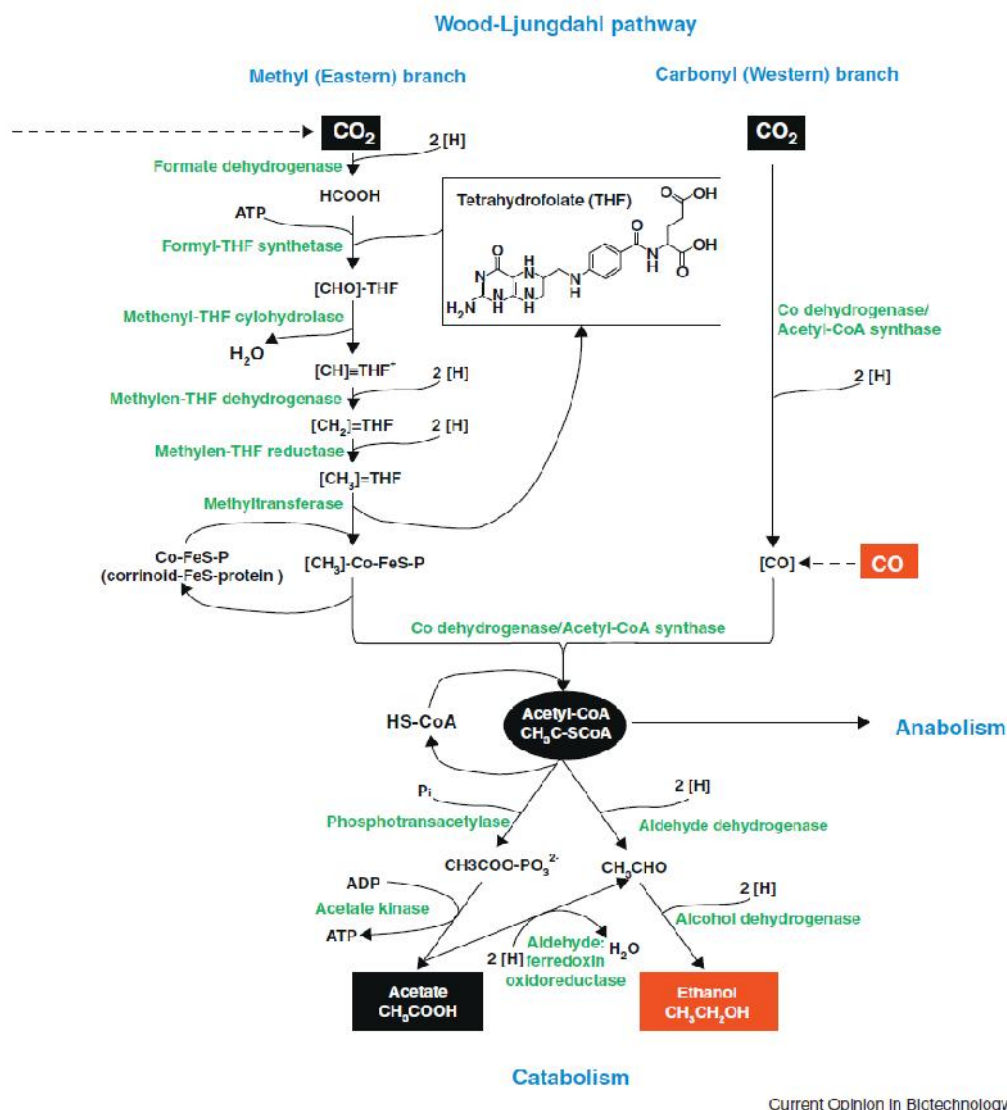
### Peran bakteri asetogen di biokatoda untuk pembentukan senyawa-senyawa organik.

Pembentukan senyawa organik tidak lepas dari peran bakteri asetogen yang mempunyai kemampuan menggunakan sumber karbon autotrof (CO<sub>2</sub>) guna pembentukan asam-asam organik dalam metabolismenya, melalui mekanisme *Wood-Ljungdahl pathway* (gambar 3). Karena kemampuannya tersebut, beberapa penelitian berfokus pada penggunaan kultur murni dari beberapa spesies bakteri asetogen sebagai katalis di katoda untuk mengkonversi CO<sub>2</sub> menjadi berbagai macam senyawa organik. Umumnya produk yang dihasilkan dari sintesa ini adalah asetat, namun dibawah kondisi yang memungkinkan bisa juga dihasilkan etanol, laktat, butirat dan butanol (Köpke *et al.* 2011). Sayangnya tidak semua asetogen mempunyai kemampuan elektrosintesis tersebut. Beberapa bakteri yang sudah terbukti mampu melakukan elektrosintesis adalah *morella thermoacetica*, beberapa spesies *Sporomusa* dan beberapa spesies dari *Clostridium* (Lovley dan Nevin 2013). Walaupun beberapa spesies kultur murni dari asetogen mempunyai kemampuan elektrosintesis, tetapi beberapa penelitian (tabel 1) lebih memilih menggunakan kultur campuran yang lebih kuat walaupun nantinya hambatan dari dipakainya kultur campuran ke dalam sistem MES ini adalah terbentuknya berbagai macam produk sampingan, misalnya metan atau hidrogen sulfida, yang dapat mengurangi efisiensi dari sistem MES.

Di dalam *wood ljungdahl pathway* (gambar 3), pembentukan senyawa organik memerlukan 2 molekul CO<sub>2</sub>, dimana nantinya satu molekul

CO<sub>2</sub> akan dihidrogenasi via cabang metil dan satu molekul CO<sub>2</sub> via cabang karbonil membentuk senyawa asetil CoA yang merupakan *building block* (senyawa antara) untuk pembentukan acetat maupun etanol. Dari pembentukan senyawa Acetyl Coa, laju reaksi bisa di dorong menuju pembentukan etanol dengan penambahan 2 molekul hidrogen lagi, atau asetat bisa digunakan juga sebagai building block untuk pembentukan etanol. Pembentukan etanol dari 2 molekul CO<sub>2</sub> memerlukan 6 molekul H<sub>2</sub> atau 12 e<sup>-</sup>, dan sudah terbukti bisa dilakukan dengan fermentasi *syngas* oleh (Kundiyana *et al.* 2010; Klasson *et al.* 1992) dan (Lee 2010), tapi sayangnya penelitian yang berkaitan dengan pembentukan etanol dari CO<sub>2</sub> secara bioelektrosintesis belum bisa menampilkan hasil yang maksimal, hanya penelitian oleh (Steinbusch *et al.* 2010) yang dapat dijadikan referensi yang berarti itupun pembentukan etanol dari asetat, bukan dari karbon dioksida, dan dengan bantuan redox mediator. **Mekanisme transfer elektron dari sistem MES.**

Hambatan yang dialami dalam penerapan sistem MES untuk pembentukan senyawa organik yang valuable seperti etanol salah satunya dikarenakan belum jelasnya mekanisme transfer elektron dari elektroda ke mikroorganisme. Mekanisme transfer elektron dari elektroda ke bakteri merupakan hal yang sangat penting untuk dipahami, karena berkaitan dengan seberapa besar efisiensi dari sistem MES guna mendesain sistem MES yang sanggup menyuplai cukup elektron untuk pembentukan senyawa organik.



**Gambar 3.** Konversi CO<sub>2</sub> ke asetat dan ethanol oleh bakteri asetogen melalui *Wood-Ljungdahl pathway* (Kopke et al., 2011).

Ada tiga bentuk mekanisme transfer elektron dari elektroda ke mikroorganisme, yaitu *Direct Electron Transfer (DET)* dimana mikroorganisme dapat membentuk biokatoda menempel di permukaan katoda dan dapat menerima transfer elektron secara langsung seperti dalam kasus *S ovata* (Nevin et al. 2010), *Mediated Elektron Transfer (MET)* adalah ketika mikroorganisme tidak elektroaktif sehingga tidak bisa langsung menerima elektron dari elektroda tetapi mengandalkan mediator seperti metil viologen atau AQDS untuk menerima elektron dan mengumpulkannya ke mikroorganisme seperti dalam kasus (Steinbusch et al. 2010), dan *Indirect Electron Transfer (IET)* dimana ada pembentukan hidrogen dari elektrolisis air pada potensial katoda lebih dari -0,8 vs SHE di sistem MES sehingga mikroorganisme dapat memanfaatkan hidrogen tersebut untuk reduksi

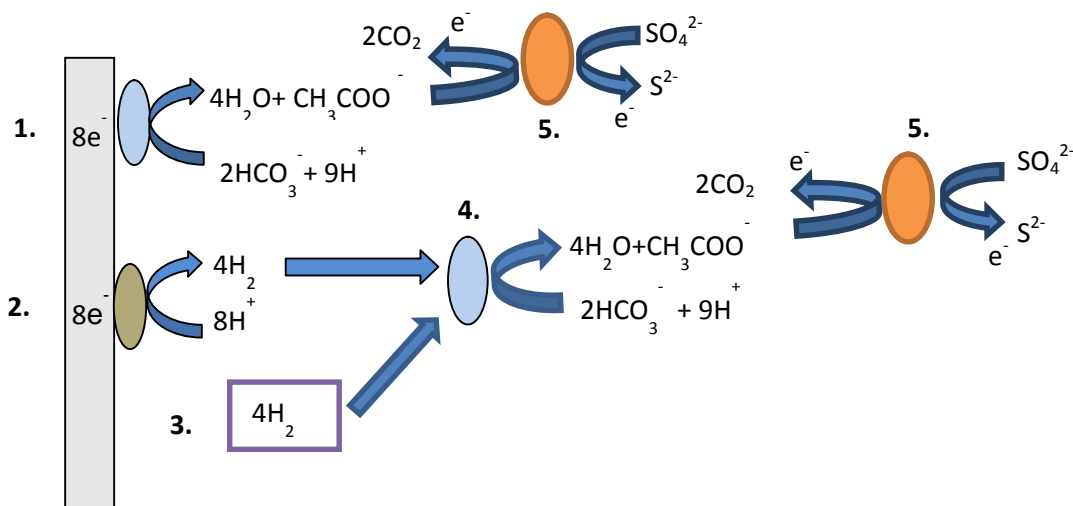
CO<sub>2</sub> (Jeremiase et al., 2010, Liang et al., 2013).

Untuk kasus reduksi CO<sub>2</sub> menjadi senyawa etanol apabila menggunakan kultur campuran kemungkinan mekanisme transfer elektron dapat dilihat pada gambar 4. Selain 3 mekanisme yang sudah disebutkan tadi diatas yaitu direct, mediated dan indirect, penggunaan mikroorganisme dengan kultur campuran juga mengakibatkan ada kompetisi dari mikroorganisme selain asetogen, bisa *sulfur reducing bacteria (SRB)*, ataupun metan. Ada atau tidaknya kompetisi di dalam sistem MES tergantung pada 1) adanya elektron akseptor selain karbondioksida (misalnya sulfat atau nitrat) 2) kondisi sistem di MES misalnya pH, dalam kasus metan, dimana kondisi pH yang basa sangat cocok untuk pertumbuhan metanogen dan tidak cocok untuk pertumbuhan asetogen.



Dari ketiga mekanisme transfer elektron tersebut, untuk pengembangan aplikasi MES yang lebih efisien kedepannya, direct elektron transfer menjadi mekanisme yang paling prospektif. *Mekanisme Direct electron transfer (DET)* paling efisien karena membutuhkan paling sedikit energi listrik per satuan produk yang dihasilkan. *Mediated electron transfer (MET)* dengan menggunakan mediator seperti Metil viologen (MV) atau AQDS sangat tidak disarankan untuk aplikasi skala besar karena akan memakan biaya yang

sangat besar untuk pembelian bahan kimia MV dan AQDS. Sedangkan untuk *indirect electron transfer (IET)* mungkin menjadi alternatif yang lebih fisibel. Walaupun dengan IET energi listrik yang dibutuhkan akan lebih besar dari DET akan tetapi untuk saat ini dengan masih terbatasnya pengetahuan akan elektroaktif mikroorganisme, IET menjadi salah satu solusi yang aplikabel apalagi jika menggunakan kultur bakteri campuran di biokatoda.



Gambar 4. Contoh mekanisme *electron transfer* pada bioelektrosintesis etanol dari CO<sub>2</sub> (diadaptasi dari (van Eerten-Jansen et al. 2014)

Di ekosistem yang kompleks misalnya ketika biokatoda menggunakan konsorsium bakteri yang beraneka ragam, walaupun dalam sistem MES sudah dilakukan mekanisme seleksi yaitu misalnya *adjustment pH*, tetapi kompetisi antara asetogen dan bakteri lainnya masih mungkin terjadi. Gambar 4 menggambarkan reaksi reduksi CO<sub>2</sub> menjadi asetat dalam ekosistem kompleks kultur campuran.

**Keterangan Gambar 4 :**

**Route 1 – 5**

*Direct electron transfer (DET)*, elektrosintesis CO<sub>2</sub> menjadi acetate oleh asetogen (*blue oval*) and kemungkinan asetat dioksidasi oleh SRB (*orange oval*) membentuk CO<sub>2</sub>.

**Route 2-4-5:** produksi hidrogen dari elektrolisis air, *indirect electron transfer (IET)*, kemudian hidrogen digunakan oleh asetogen untuk reduksi CO<sub>2</sub> ke asetat (*blue oval*) dan kemudian acetate oksidasi menjadi CO<sub>2</sub> oleh SRB.

**Route 3-4-5:** *External hydrogen supply (syngas fermentasi)* digunakan oleh asetogen untuk produksi acetate, kemudian acetate dioksidasi menjadi CO<sub>2</sub> oleh SRB.

**KESIMPULAN**

Reduksi gas karbon dioksida menjadi berbagai senyawa organik secara bioelektrokimia sudah terbukti menjadi suatu teknologi yang potensial untuk diaplikasikan dimasa yang akan datang. Sampai saat ini, Asetat adalah produk utama yang dapat dihasilkan oleh teknologi ini, tetapi tidak tertutup kemungkinan produk yang lebih berharga seperti etanol juga bisa dihasilkan. Walaupun teknologi MES ini masih belum bisa diaplikasikan dalam skala pilot plant dikarenakan banyaknya hambatan yang dihadapi, tetapi seiring dengan bertambahnya pengetahuan tentang teknologi MES dan semakin populernya penelitian terkait teknologi ini, diharapkan pengembangan teknologi MES ini nantinya akan dapat menuju ke arah aplikasi. Sampai saat ini dalam skala laboratorium, produksi tertinggi senyawa organik yaitu asetat di capai oleh Su et al. 2013 dengan produksi sebanyak 2,35 mM asetat perhari dengan menggunakan kultur campuran dengan BESA sebagai metan inhibitor.

## Prospek kedepan

Untuk prospek pengembangan teknologi yang lebih ke arah aplikasi kedepannya, yang perlu diperhatikan dalam mendesain MES adalah:

1. Pengembangan biokatoda yang kuat (*robust*) tahan lama, yang bisa dilakukan dengan pendekatan:
  - a. Pengembangan material yang cocok yang memungkinkan mikroorganisme menempel di katoda dan memungkinkan terjadinya *direct electron transfer (DET)*. Walaupun dalam artikel ini jenis, material dan luas area elektroda tidak dibahas, akan tetapi peran dari elektroda baik anoda dan katoda sangat penting untuk mereduksi overpotensial dari sistem MES.
  - b. Pengembangan elektrosintesis mikroorganisme baik kultur murni ataupun kultur campuran yang dapat menangkap elektron langsung dari elektroda dan tahan pada potensial yang tinggi.
2. Untuk aplikasi skala yang lebih besar, metode pemisahan *valuable product* seperti asetat dan etanol dari sistem MES perlu diperhatikan, apalagi jika menggunakan biokatoda yang terdiri dari kultur campuran dimana produk hasil dari reduksi karbondioksida bisa berbagai macam senyawa organik rantai C1-C5, gas metan dan hidrogen.
3. Teknologi MES selama ini kebanyakan masih dalam pengembangan skala laboratorium, skala *pilot plant* masih belum menampakkan hasil yang stabil dan optimum dikarenakan banyak sekali hambatan contohnya kebocoran sistem, rendahnya *output* produk, masih mahal bahan seperti elektroda dan membran (Wang dan Ren 2013).

## DAFTAR PUSTAKA

- Cheng, S. dan Hamelers, H.V.M., 2008. Critical Review Microbial Electrolysis Cells for High Yield Hydrogen Gas Production from Organic Matter. , 42(23).
- van Eerten-Jansen, M.C. a. a. et al., 2014. Analysis of the mechanisms of bioelectrochemical methane production by mixed cultures. *Journal of Chemical Technology dan Biotechnology*, 31(April), p.n/a–n/a. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/jctb.4413>.
- Van Eerten-Jansen, M.C.A.A. et al., 2013. Bioelectrochemical production of caproate and caprylate from acetate by mixed cultures. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*.
- Harnisch, F. dan Schröder, U., 2009. Selectivity versus mobility: Separation of anode and cathode in microbial bioelectrochemical systems. *ChemSusChem*, 2, pp.921–926.
- Jia, N. et al., 2005. Bioelectrochemistry and enzymatic activity of glucose oxidase immobilized onto the bamboo-shaped CNx nanotubes. *Electrochimica Acta*, 51(4), pp.611–618.
- Jiang, Y. et al., 2013. Bioelectrochemical systems for simultaneously production of methane and acetate from carbon dioxide at relatively high rate. *International Journal of Hydrogen Energy*.
- Klasson, K.T. et al., 1992. Bioconversion of synthesis gas into liquid or gaseous fuels. *Enzyme and Microbial Technology*, 14(8), pp.602–608.
- Köpke, M. et al., 2011. 2,3-butanediol production by acetogenic bacteria, an alternative route to chemical synthesis, using industrial waste gas. *Applied and environmental microbiology*.
- Kundiyana, D.K., Huhnke, R.L. dan Wilkins, M.R., 2010. Syngas fermentation in a 100-L pilot scale fermentor: Design and process considerations. *Journal of Bioscience and Bioengineering*.
- Lee, P., 2010. Syngas fermentation to ethanol using innovative hollow fiber membrane.
- Logan, B.E. dan Rabaey, K., 2012. Conversion of wastes into bioelectricity and chemicals by using microbial electrochemical technologies. *Science (New York, N.Y.)*, 337(6095), pp.686–90. Available at : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22879507> [Accessed July 9, 2014].
- Lovley, D.R. dan Nevin, K.P., 2013. Electrobiocommodities: Powering microbial production of fuels and commodity chemicals from carbon dioxide with electricity. *Current Opinion in Biotechnology*.
- Min, S., Jiang, Y. dan Li, D., 2013. Production of acetate from carbon dioxide in bioelectrochemical systems based on autotrophic mixed culture. *Journal of Microbiology and Biotechnology*.
- Nevin, K.P. et al., 2010. Microbial Electrosynthesis: Feeding Microbes Electricity To Convert Carbon Dioxide and Water to Multicarbon Extracellular Organic Compounds. , 1(2), pp.1–4.
- Nevin, K.P. et al., 2010. Microbial electrosynthesis: Feeding microbes electricity to convert carbon dioxide and water to multicarbon extracellular organic compounds. *mBio*.
- Sakai, S. et al., 2004. Ethanol production from H<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> by a newly isolated

- thermophilic bacterium, *Moorella* sp. HUC22-1. *Biotechnology Letters*.
- Schuchmann, K. dan Müller, V., 2014. Autotrophy at the thermodynamic limit of life: a model for energy conservation in acetogenic bacteria. *Nature reviews. Microbiology*, 12(12), pp.809–821. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25383604> [Accessed November 11, 2014].
- Steinbusch, K.J.J. et al., 2010. Bioelectrochemical ethanol production through mediated acetate reduction by mixed cultures. *Environmental Science and Technology*.
- Su, M., Jiang, Y. dan Li, D., 2013. Production of acetate from carbon dioxide in bioelectrochemical systems based on autotrophic mixed culture. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 23(8), pp.1140–1146.
- Teske, S. et al., 2010. Energy [R]evolution 2010—a sustainable world energy outlook. *Energy Efficiency*, 4(3), pp.409–433. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s12053-010-9098-y> [Accessed January 6, 2015].
- Wang, H. dan Ren, Z.J., 2013. A comprehensive review of microbial electrochemical systems as a platform technology. *Biotechnology Advances*.

---

## **KAJIAN PENERAPAN PRODUKSI BERSIH DI INDUSTRI TAHU DI DESA JIMBARAN, BANDUNGAN, JAWA TENGAH**

### **STUDY OF THE APPLICATION OF CLEANER PRODUCTION IN THE TOFU INDUSTRY IN JIMBARAN, BANDUNGAN, CENTRAL JAVA**

**Silvy Djayanti**

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri  
Jl. Kimangunsarkoro No. 6 - Semarang  
Email : silvy\_bbtppi@yahoo.com

Naskah diterima tanggal 29 Juli 2015, disetujui tanggal 1 Oktober 2015

#### **ABSTRACT**

*The role of small industries in some areas of Semarang is importance in supporting the economy, particularly around the location of the industry. One of the small industries that have the potential to growth is the tofu industry. In Java there are approximately 500 tofu industry, which still continues to develop its production capacity. The tofu industry is one of a small industry that could potentially cause environmental problems. Nearly the entire industry is small, especially the tofu industry that most do not have the installation of waste utilization and reprocessing waste, because it takes a big investment to build it. By looking at the issue, an approach that can solve the problem is to how to implement cleaner production. Study of application of clean technology is done by the method of quick scanning at each stage of the production process. The production process consists of the selection of tofu soybean, weighing soybeans, soaking, washing, filtering, extraction, milling, cooking, clothing, separation of the whey, encasement, presses, ripening, and packaging. In the process of making tofu in this industry has the little bit difference of tofu making in the tofu industry than another tofu process. There is the addition of salt and garlic to add a savory products out. The results of the study of the application of cleaner production in the tofu industry is good housekeeping, recycle, reduce and reuse. Based on some of the eligibility criteria, the application of clean production alternative for the industry in the form of a modification of the furnace is equipped with a chimney, a modification of the engine with filtering tools, installation and construction of typical analysis for digester biogas. Conclusion this study tofu industry it has not known a clean production. the benefits gained from the implementation of cleaner production are fuel savings, increased yield in the filtrate of tofu, and environmental hygiene.*

**Keywords:** *Cleaner production, tofu industry, Quick Scanning*

#### **ABSTRAK**

Peran industri kecil di beberapa wilayah Kabupaten Semarang sangat penting dalam menunjang perekonomian, khususnya di sekitar lokasi industri tersebut. Salah satu industri kecil yang memiliki potensi berkembang adalah industri tahu. Di Jawa tengah ada sekitar 500 industri tahu, yang sampai saat ini masih terus mengembangkan kapasitas produksinya. Industri tahu adalah salah satu industri kecil yang berpotensi menyebabkan masalah lingkungan. Hampir seluruh industri kecil, terutama industri tahu, sebagian besar tidak memiliki instalasi pemanfaatan limbah dan pengolahan limbah, karena dibutuhkan investasi yang besar untuk membangun unit tersebut. Dengan melihat masalah tersebut, pendekatan yang dapat menyelesaikan masalah tersebut adalah dengan cara menerapkan produksi bersih. Kajian penerapan teknologi bersih ini dilakukan dengan metode quick scanning pada setiap tahapan proses produksi. Proses produksi tahu terdiri dari pemilihan kedelai, penimbangan kedelai, perendaman, pencucian, penggilingan, ekstraksi, penyaringan, pemasakan, penggumpalan, pemisahan whey, pembungkusan, pengepresan, pemasakan, dan pengemasan. Pada proses pembuatan tahu di industri ini memiliki perbedaan dari pembuatan tahu di Industri tahu lain, yaitu terdapat penambahan garam dan bawang putih untuk menambah sedap produk tahu. Hasil kajian penerapan produksi bersih di industri tahu adalah good house keeping, recycle, reduce dan reuse. Berdasarkan beberapa kriteria kelayakan, alternatif penerapan produksi bersih untuk industri ini berupa modifikasi tungku yang dilengkapi dengan cerobong asap, modifikasi alat penyaringan dengan mesin, dan pembangunan instalasi digester untuk penghasil biogas. Kesimpulan kajian ini industri tahu ini belum mengenal produksi bersih. Manfaat yang diperoleh dari penerapan produksi bersih berupa penghematan bahan bakar, peningkatan rendemen filtrat tahu, dan kebersihan lingkungan.

**Kata kunci :** *Produksi bersih, industri tahu, Quick Scanning.*

## PENDAHULUAN

Industri kecil pembuatan tahu di Desa Jimbaran, Bandungan-Jawa Tengah merupakan salah satu pusat produksi tahu di Kabupaten Semarang yang terus berkembang. Salah satu industri tahu yang terkenal di lokasi ini adalah Tahu Suharno. Tahu yang dihasilkan memiliki kadar air 78,39%, warna keputihan, rasa normal, bau normal, dan memiliki kadar NaCl 1,19%. Selain produk, juga dihasilkan keluaran lain yang berupa ampas tahu dan limbah cair tahu (Basir dkk, 2014)

Teknologi yang digunakan masih sangat sederhana, banyak mengandalkan tenaga manusia, dan proses kurang optimal. Mulai dari proses pencucian, penggilingan, dan pengepresan dilakukan oleh tenaga manusia. (Basir dkk, 2014) Sentralisasi industri tahu secara umum memberikan dampak positif maupun negatif pada berbagai aspek termasuk lingkungan. Dampak negatif antara lain akumulasi dan intensitas polutan yang tinggi di kawasan tersebut, sedangkan sisi positifnya adalah kemudahan dalam pembinaan lingkungan industri.

Pencemaran lingkungan disebabkan oleh volume limbah yang besar dan pembuangan langsung ke lingkungan tanpa pengolahan yang memadai. Tingkat kesadaran pengusaha dan kemampuan finansial menjadi kendala di dalam penanganan limbah industri tahu. Hal ini menunjukkan juga bahwa industri tahu ini belum mengenal produksi Bersih. Pada kenyataannya produksi bersih (*cleaner production*) menjadi strategi yang potensial diterapkan pada industri, karena ada peran aktif pelaku industri, nilai tambah langsung, dan pengurangan resiko lingkungan. (Basir dkk, 2014)

Dalam rangka menciptakan *green industry* dan meningkatkan daya saing industri tahu maka perlu dikaji alternatif-alternatif strategi produksi bersih yang dapat diterapkan di sentra industri kecil tahu. Tujuan kajian ini adalah mendapatkan alternatif strategi produksi bersih dan aplikasinya untuk sentra industri kecil tahu khususnya di Bandungan, Kabupaten- Semarang Jawa Tengah. Kajian ini meliputi identifikasi proses produksi, status produksi bersih pada industri tahu dan peluang penerapan lebih lanjut, dan cara memperbaiki efisiensi produksi melalui penerapan produksi bersih. (Anas dkk, 2008)

## METODE

### Identifikasi Proses Produksi

Kajian dilakukan pada sentra industri tahu di Dukuh Blater, Desa Jimbaran,

Bandungan, Kabupaten Semarang. Kapasitas produksi 100 kg kedelai per hari. Produk yang dihasilkan berupa tahu dan kemudian didistribusikan ke beberapa outlet makanan di Semarang dan sekitarnya. Selain mengetahui teknologi yang digunakan, tahap ini juga untuk menghitung neraca massa.

### Analisis Penerapan Produksi Bersih

Analisis dilakukan berdasarkan survey lapangan, wawancara dengan pelaku industri, dan pendapat pakar. Pengamatan dan wawancara dilakukan di sebuah industri tahu di desa Blater, Bandungan, Kabupaten Semarang. Tujuan tahap ini adalah mengidentifikasi strategi produksi bersih yang telah diterapkan dan yang potensial untuk diterapkan lebih lanjut.

### Penentuan Strategi

Penerapan produksi bersih didasarkan pada dua aspek yaitu teknis dan aspek finansial (PBP). Metode yang digunakan untuk menganalisis penerapan produksi bersih adalah metode *quick scanning* terhadap keseluruhan proses di industri tahu ini.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Proses Produksi Tahu

Proses produksi tahu pada umumnya terdiri dari pemilihan kedelai, penimbangan kedelai, perendaman, pencucian, penggilingan, ekstraksi, penyaringan, pemasakan, penggumpalan, pemisahan whey, pembungkusan, pengepresan, pemasakan, dan pengemasan. Pada proses pembuatan tahu Suharno ini memiliki perbedaan dari pembuatan tahu di industri tahu lain, yaitu terdapat penambahan garam dan bawang putih untuk menambah sedap produk tahu. Bahan baku berupa kedelai dan proses-proses tersebut menggunakan banyak air. Keluaran proses produksi selain tahu, juga dihasilkan limbah cair dan limbah padat yang berupa ampas tahu. Berikut adalah urutan proses produksi tahu :

### Pemilihan kedelai

Dalam pembuatan tahu, pemilihan kedelai akan sangat menentukan hasil akhir dari produksi tahu yang akan dibuat. Di industri tahu ini, produsen menggunakan kedelai import dengan kualitas I yang ditandai dengan: warna dan ukuran kedelai seragam, mengkilat dan kulitnya tidak berkerut.

### Penimbangan kedelai

Proses pembuatan tahu dilakukan secara *batch* dengan kapasitas 25 kg sekali proses.

Perendaman Kedelai hasil penimbangan kemudian direndam dengan air sebanyak kurang lebih tiga kali berat kedelai (60 L) selama empat jam.

#### **Pencucian dan Perendaman**

Pencucian kedelai bertujuan untuk melunakkan struktur sel kedelai sehingga mudah untuk digiling sehingga menghasilkan dispersi dan suspensi bahan padat kedelai lebih baik pada waktu ekstraksi. Perendaman juga bertujuan untuk mempermudah proses penggilingan sehingga hasil bubur dari penggilingan tersebut dapat kental. Selanjutnya kedelai yang telah direndam akan dilakukan proses pencucian dalam air yang mengalir. Setelah dicuci kedelai kemudian digiling dengan menggunakan mesin sehingga menjadi bentuk bubur kedelai. Kedelai rendaman dibuang airnya lalu dicuci dengan air sebanyak empat kali. Setiap pencucian menggunakan 60 L air.

#### **Penggilingan**

Penggilingan merupakan tahapan yang penting dalam pembuatan tahu. Kedelai yang telah direndam, selanjutnya digiling menggunakan mesin penggiling kedelai/blender. Pada saat penggilingan ditambah air sebanyak dua kali berat kedelai (50 L).

#### **Ekstraksi**

Kedelai yang telah digiling kemudian direbus untuk mendenaturasi protein dari kedelai sehingga protein mudah terkoagulasi saat penambahan asam. Kedelai giling kemudian ditambah air mendidih sebanyak enam kali berat kedelai (150 L), sambil diaduk selama 5-10 menit.

#### **Penyaringan**

Selanjutnya kedelai yang telah diekstraksi, disaring terus menerus sehingga didapatkan ampas yang disebut ampas kering. Ampas tadi disisihkan dan biasanya dimanfaatkan untuk makanan ternak atau pembuatan dasar tempe gembus. Setelah disaring, cairan yang berwarna putih susu tadi dilakukan pemasakan dengan menggunakan uap bertekanan.

Penyaringan menggunakan kain sivon, menghasilkan filtrat dan ampas tahu.

#### **Pemasakan**

Pemasakan menggunakan uap air bertekanan langsung ke dalam filtrat. Pemasakan dilakukan selama 15 – 30 menit. Volume masakan yang dihasilkan 700 L.

#### **Penggumpalan**

Setelah dilakukan pemasakan sampai suhu 70° C, ditambah dengan asam cuka/jantu untuk mengendapkan dan menggumpalkan protein sehingga dapat memisahkan whey dengan gumpalan.

#### **Pemisahan whey dan gumpalan protein.**

Masakan yang telah digumpalkan dengan cara memasukkan saringan dari bambu lalu air yang ada didalam saringan diambil dengan gayung. Endapan yang ada tadi merupakan bahan utama untuk mencetak Tahu yang akan diakhir dengan proses pencetakan dan pengepresan.

#### **Pembungkusan**

Gumpalan protein kemudian dibungkus dengan kain. Tiap bungkus berisi 120 g, lalu dipadatkan sampai berbentuk kotak.

#### **Pengepresan**

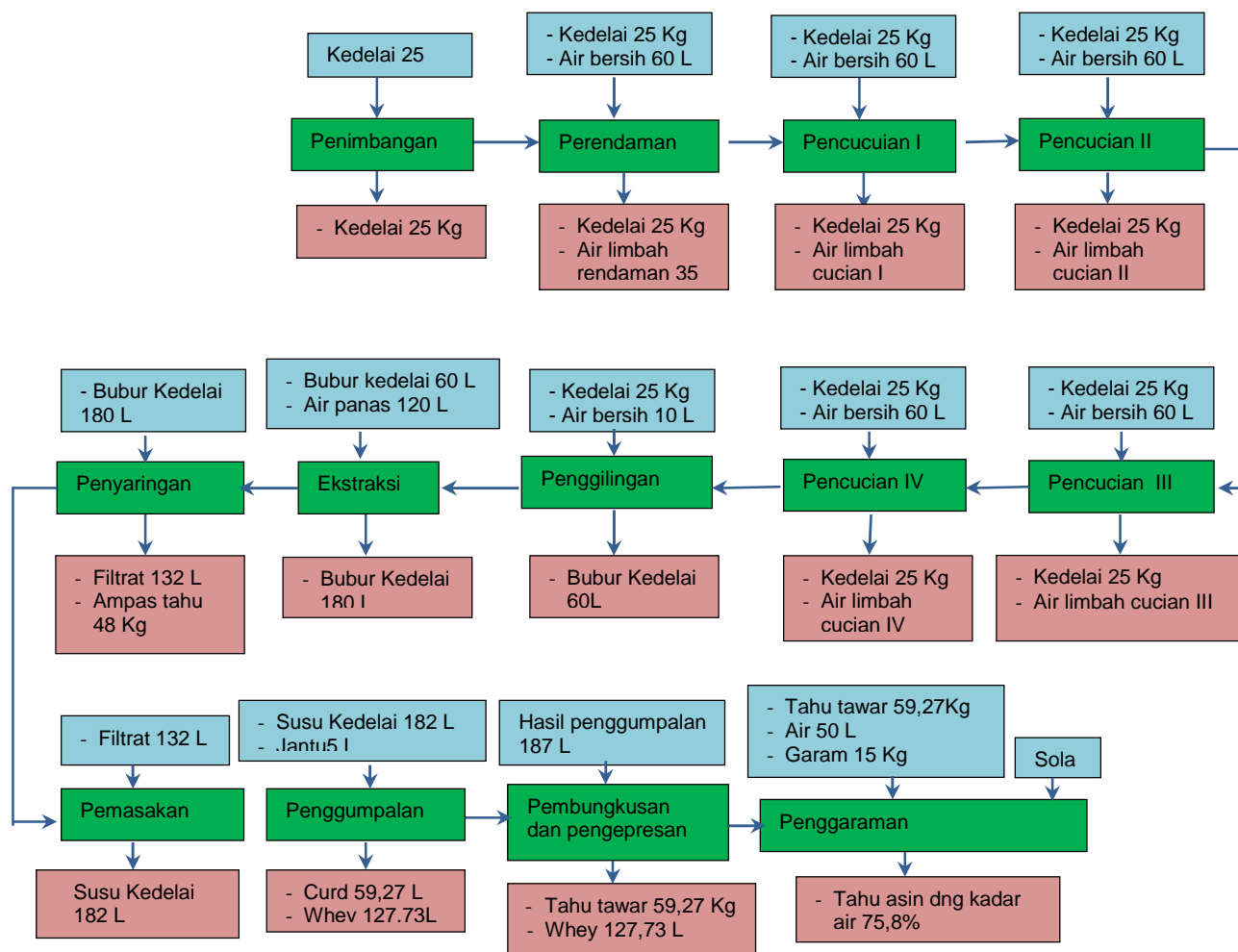
Setelah benar-benar padat, bungkus kain dibuka kemudian ditiriskan untuk selanjutnya dilakukan pemasakan dengan penambahan bawang dan garam.

#### **Penggaraman**

Pemasakan tahu dilakukan selama 5 menit dalam air mendidih yang sudah diberi bumbu bawang putih dan garam. Selanjutnya tahu ditiriskan dan kemudian dilakukan pengemasan.

#### **Peluang Penerapan Produksi Bersih**

Penerapan Produksi Bersih perlu disosialisasikan pada industri tahu karena dapat membantu pencegahan dan menurunkan dampak lingkungan melalui siklus hidup produk. Siklus hidup produk dimulai dari penyediaan bahan baku hingga menjadi produk dan sampai pada pembuangan akhir. Strategi produksi bersih yang dapat diterapkan pada industri ini meliputi strategi dengan melihat proses dan melihat produk akhir. Strategi dengan melihat proses berupa pencegahan kerusakan pada bahan baku, meminimumkan penggunaan energi, menghilangkan penggunaan bahan baku yang berbahaya dan beracun serta mengurangi kadar racun yang terkandung di emisi dan limbah sebelum meninggalkan proses. Strategi pada produk akhir dilakukan dengan mengurangi dampak lingkungan sepanjang daur hidup produk mulai dari pembuatan produk hingga pembuangan akhir.



Gambar 1. Neraca Massa Proses Pembuatan Tahu

## Penilaian Kelayakan

### Kelayakan Teknis

Penilaian kelayakan teknis dilakukan dengan pembobotan terhadap alternatif penerapan produksi bersih yang ditawarkan. Beberapa alternatif produksi bersih ditawarkan dengan kondisi teknis yang mendukung. Analisis teknis terhadap beberapa alternatif tersebut yaitu :

#### a. Mengurangi penggunaan air.

Mengurangi penggunaan air akan berdampak baik bagi jumlah air limbah yang dikeluarkan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, penggunaan air cucian ke IV kedelai rendam dapat digunakan kembali sebagai air pencuci pertama pada kedelai rendam di industri tahu. Hal ini tidak banyak berpengaruh pada kualitas produk tahu jika dibandingkan dengan penggunaan air tanpa daur ulang.

#### b. Good house keeping

Good house Keeping atau pengaturan tata letak yang baik dilakukan untuk menjaga

lingkungan sekitar dari tindakan –tindakan yang dapat mengotori. Ruang produksi yang bersih dapat mendukung pada produktivitas. Ceceran air untuk proses produksi dan buburan kedelai merupakan salah satu hal yang dapat menyebabkan lingkungan kotor dan licin. Selain itu pemborosan energi menjadi sesuatu yang sangat penting karena air dimasak dengan energi dan buburan juga dihasilkan dengan melibatkan energi. Sebagian besar industri kecil dan menengah memiliki lantai tanah. Aspek teknis untuk menjaga kebersihan adalah hal penting untuk diperhatikan, dan ini memerlukan kesadaran tenaga kerja dan pemilik usaha.

#### c. Memperbaiki alur tata cara proses

Upaya untuk memperbaiki alur tata cara proses operasi seharusnya dilakukan. Perbaikan ini diharapkan memberikan dampak pada efektifitas waktu produksi. Produksi dapat terus dilaksanakan setiap hari dengan pengaturan waktu masing- masing proses operasi secara tepat. Perbaikan ini dapat juga dilakukan dengan pembuatan SOP ( Standard

Operating Procedure )/ Standard Acuan Kerja dalam pelaksanaan proses operasi. SOP ini menjadi dasar bagi pekerja dalam melakukan pekerjaannya. Secara teknis hal ini agak mudah dilaksanakan, namun untuk industri kecil sangat sulit diimplemen-tasikan.

d. Modifikasi peralatan

Modifikasi peralatan di industri kecil pembuatan tahu ini sangat penting dilakukan. Efisiensi dan efektifitas dalam proses menjadi alasan untuk dilakukan hal ini. Peralatan penyaringan dan pengerasan masih menggunakan tenaga manusia sehingga kadar cairan/ fitrat tahu yang terbuang masih tinggi. Sebaiknya proses ini perlu dilakukan modifikasi peralatan penyaringan dengan tenaga mesin press sehingga dapat mengurangi tenaga kerja penyaringan dan mengurangi hasil produksi yang terbuang.

Untuk penyediaan air panas dan uap panas, industri tahu ini masih menggunakan drum–drum air untuk menghasilkan air panas, hal ini bisa digantikan dengan boiler dengan ukuran 0,5 Ton/ jam sehingga waktu dan tenaga lebih efisien.

Sebaiknya mulai diupayakan membuat digester dan instalasi pemanfaatan biogas, karena limbah yang dihasilkan industri tahu dapat menghasilkan biogas yang jika tidak dimanfaatkan akan mencemari lingkungan. Pemanfaatan biogas sebagai bahan bakar proses di industri tahu dapat mengurangi penggunaan bahan bakar yang sehari – hari digunakan oleh industri tahu ini yaitu minyak solar.

e. Penggunaan Kembali Air Pemasakan

Air pemasakan yang sudah dibubuhi garam dan bawang bisa digunakan kembali untuk memasak tahu lagi.

f. Perbaikan Alur Tata Cara Proses Operasi

Perbaikan alur tata cara proses operasi juga dapat memberikan kontribusi keuntungan karena ada efisiensi waktu dan tenaga para pekerja dalam pembuatan tahu.

g. Modifikasi tungku

Pada saat ini pabrik tahu ini masih menggunakan minyak solar untuk menggerakkan mesin penghasil uap. Diharapkan penggunaan bahan bakar gas metan bisa diterapkan di industri ini. Hal ini perlunya modifikasi tungku pada mesin penghasil uap. Penggantian bahan bakar dari minyak solar menjadi gas metan diharapkan dapat mengurangi biaya bahan bakar secara signifikan.

h. Pembuatan Cerobong Asap

Pembuatan cerobong asap ini dilakukan bertujuan agar asap yang keluar tidak mengganggu lingkungan sekitar.

**Kelayakan Ekonomis**

Penilaian kelayakan ekonomis ini hanya didasarkan pada besar keuntungan dan parameter Jangka waktu pengembalian biaya Modal (*pay back periode*) . Perhitungan pendapatan yang diperoleh perusahaan belum ada alternatif produksi bersih dan perhitungan pendapatan sesudah ada produksi bersih. Penerimaan industri tahu sebelum diterapkan produksi bersih selama satu tahun sebesar Rp. 810.000.000,00. Pengeluaran industri tahu ini meliputi pengeluaran biaya produksi selama satu tahun adalah Rp. 638.000.000,00 Keuntungan setiap tahun sebesar Rp. 172.000.000,00

a. *Good House Keeping* (Tata letak yang baik)

*Good house keeping* dilakukan untuk mengurangi ceceran air untuk menghasilkan buburan kedelai. Ceceran air panas tersebut berpotensi terhadap pemborosan energi yang digunakan. Selain itu terdapat ceceran dalam bentuk buburan kedelai yang sebelum disaring maupun yang sudah disaring. Hal ini akan mengurangi produk tahu yang dihasilkan.

b. Perbaikan Alur Tata Cara Proses Operasi

Perbaikan alur tata cara proses ini di harapkan dapat mempermudah dan mempercepat proses produksi, yang berimbas pada waktu dan jumlah produk yang dihasilkan.

c. Modifikasi Peralatan

Modifikasi alat saring dengan tenaga mesin akan dapat menaikkan efisiensi sampai 30%.

d. Modifikasi Tungku dan cerobong.

Modifikasi tungku dan pembakar dari bahan bakar minyak solar menjadi tungku dengan bahan bakar gas, akan menghapus kebutuhan minyak solar sebesar Rp. 2.000.000,00 perhari.

e. Penggunaan kembali air untuk pencucian kedelai ke IV

Penggunaan air cucian ke IV untuk digunakan untuk cucian I akan mengurangi kebutuhan air sebesar 60 Liter per batch produksi. Sehingga kebutuhan listrik yang dikeluarkan akan menurun sebesar 7,5 Kwh. Penghematan air memberikan kontribusi sebesar Rp. 518.400,00.



## KESIMPULAN

Dapat ditarik kesimpulan bahwa industri tahu ini belum mengenal produksi bersih. Penerapan produksi bersih yang dilakukan dapat berupa tata letak yang baik (*good house keeping*), mendaur ulang (*recycle*), mengurangi (*reduce*) dan menggunakan kembali (*reuse*). Berdasarkan beberapa kriteria kelayakan, alternatif penerapan produksi bersih untuk industri ini berupa modifikasi tungku yang dilengkapi dengan cerobong asap, modifikasi alat penyaringan dengan mesin, dan pembangunan instalasi *digester* untuk penghasil biogas. Manfaat yang diperoleh dari penerapan produksi bersih berupa penghematan bahan bakar, peningkatan rendemen filtrat tahu, dan kebersihan lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anas M. Fauzi, Ainy Rahmawakhida, dan Yaoi Hidetoshi, 2008. Kajian Strategi Produksi Bersih Di Industri Kecil Tapioka: Kasus Kelurahan Ciluar, Kecamatan Bogor Utara. *Jurnal Teknik Pertanian Vol 18(2)*, 60-65
- Basir, Nani Hariastuti, Silvy Djayanti, Sartamtomo, 2014. Pilot Project Inkubator Teknologi Industri Tahu Yang Efisien Dan Ramah Lingkungan
- Nusa Idaman Said, 2002. Teknologi Pengolahan Limbah Cair Dengan Proses Biologis. Dalam Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri. Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, Deputi Bidang Teknologi Informasi, Energi, Material dan Lingkungan. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Bekerjasama Dengan Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Daerah Pemerintah Kota Samarinda. Bagian 1-C. Halaman.79-146
- Davis Mackenzie L, Cornwell David .A ,1998, Introduction To Environmental Engineering. Third Edition. WCB McGraw-Hill New York, San Francisco, California, St Louis , Missouri.
- Owen William F, 1982. Energy in Wastewater Treatment. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Metcalf and Eddy, 1991. Wastewater Engineering. Treatment, Disposal and reuse. Third Edition. MCGraw-Hill, Inc. New York St. Louis Auckland Bogota London Mexico New Delhi Sydney Tokyo Toronto.

