



MYANMAR



THAILAND

SINGAPORE



INDONESIA



LAOS

VIETNAM



Komite Akreditasi Nasional
Certification Body for Quality System
LSSM-009-10N

PROSIDING SEMINAR NASIONAL



POLINES

NNATIONAL **E**NGINEERING **S**EMINAR II
(**P**NES II) 2014

**PERAN PERGURUAN TINGGI di INDUSTRI
MANUFAKTUR MENYONGSONG ERA AEC 2015**



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
POLITEKNIK NEGERI SEMARANG

Buku II

ISBN 978-979-3514-46-8



Politeknik Negeri Semarang, 12 November 2014



Prosiding Seminar Nasional

Polines National Engineering Semarang (PNES)II 2014 Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang



Reviewer

Prof. Dr. Erry Yulian T. Adesta (UIA Malaysia)
Ass Prof. Dr. Sukur Abu Hasan (UTM)
Dr. Drs. Anwar Sukito Ardjo, M.Kom (Polines)
Dr. Eng. Sidiq Syamsul Hidayat, ST, MT. (Polines)
Dr. Bambang Supriyo (UNY)
Dr. Darwin Rio Budi Syaka, ST, MT (UNJ)
Dr. M. Tauviquirrahman ST, MT (UNDIP)
Dr. Rifky Ismail, MT (UNDIP)

Lay Out:

M Denny Surindra, ST, MT
Anis Roihatin, ST, MT

Diterbitkan Oleh:

Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Semarang

ISBN 978-979-3514-46-8

KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah kami haturkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa sehingga Polines National Engineering Seminar (PNES) II 2014 dapat terlaksana. PNES merupakan kegiatan yang dilaksanakan rutin setiap dua tahun oleh Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang. PNES II tahun 2014 ini dilaksanakan pada hari Rabu, 12 November 2014 di Plaza Hotel Semarang dan mengambil tema “Peran Perguruan Tinggi di Industri Manufaktur Menyongsong Era AEC 2015”. Dengan tema tersebut, diharapkan dapat menguatkan atmosfer akademik, pelaksanaan Tri Dharma Perguruan Tinggi dari sisi pengembangan SDM yang diarahkan untuk memberikan dukungan pencapaian visi dan misi untuk menyongsong AEC 2015.

Prosiding ini disusun dalam 3 topik utama, yaitu (1) Perancangan, Manufaktur dan Material, Otomotif dan Perawatan Industri, (2) Konversi Energi, Kimia Industri dan Lingkungan, serta (3) Mekatronika dan Elektronika Industri, Teknologi Telekomunikasi dan Teknologi Informasi. Keseluruhan makalah yang termuat dalam prosiding ini berjumlah 106 makalah yang berasal dari 20 institusi perguruan tinggi.

Panitia PNES II 2014 mengucapkan terima kasih kepada jajaran direksi Politeknik Negeri Semarang, para pembicara kunci, para pemakalah yang berkontribusi dalam buku ini, seluruh civitas akademika jurusan Teknik Mesin Khususnya dan Politeknik Negeri Semarang pada umumnya, donatur dan semua partisipan yang menghadiri seminar ini

Panitia PNES 2014 juga menyampaikan permohonan maaf yang setinggi-tingginya apabila ada kesalahan dalam proses editing dan lainnya. Kami mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari pemakalah maupun pembaca pada umumnya.

PANITIA PNES II 2014

**PANITIA SEMINAR NASIONAL
POLINES NASIONAL ENGINEERING SEMINAR (PNES) II 2014
POLITEKNIK NEGERI SEMARANG**

Penanggung Jawab: Sugeng Ariyono, B.Eng, M.Eng, Ph.D.

Ketua Pelaksana : Dr. Totok Prasetyo, B.Eng, MT
Wakil Ketua : Drs. Poedji Haryanto, S.ST, MT

Sekretaris : M Denny Surindra, ST, MT
Anis Roihatin, ST, MT
Ariawan Wahyu P , ST, M.Eng
Hery Tristijanto, ST, M.Eng
Aryo Satito, ST, M.Eng
Drs. Amrul
Joko Mujihartono, ST
Rusli, SE
Mulyono, Amd

Bendahara : Suwarti, ST, MT
Dwiana Hendrawati, ST, MT

Humas : Bambang Sumiyarso, ST, MT
F. Gatot Sumarno, ST, MT

Reviewer Seminar

1. Prof. Dr. Erry Yulian T. Adesta (UIA Malaysia)
2. Ass Prof. Dr. Sukur Abu Hasan (UTM)
3. Dr. Drs. Anwar Sukito Ardjo, M.Kom (Polines)
4. Dr. Eng. Sidiq Syamsul Hidayat, ST, MT. (Polines)
5. Dr. Bambang Supriyo (UNY)
6. Dr. Darwin Rio Budi Syaka, ST, MT (UNJ)
7. Dr. M. Tauviqirrahman ST, MT (UNDIP)
8. Dr. Rifky Ismail, MT (UNDIP)

Sekretariat

Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang
Semarang, Indonesia 50275
Telp.(024) 7473417, 7499585
Email: pnespolines@gmail.com
Web: www.polines.ac.id/pnes2-2014

DAFTAR ISI

TEPUNG BUAH MANGROVE TERMODIFIKASI SECARA HIDROLISIS ASAM DAN REAKSI PHOTOKIMIA UV SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI GANDUM Agustien Zulaidah	B.1
KARAKTERISASI DAN UJI STABILITAS MEMBRAN ULTRAFILTRASI MODIFIKASI METODE PEMISAHAN FASE REAKTIF Anis Roihatin, Heru Susanto, Didi Dwi Anggoro	B.8
EKSTRAKSI MINYAK ATSIRI DENGAN GELOMBANG MIKRO UNTUK PRODUKSI MINYAK JAHE (GINGER OIL) BERKADAR ZINGIBEREN TINGGI Dwi Handayani, Diyono Ikhsan, Mohamad Endy Y	B.17
PEMANFAATAN LIMBAH PATI AREN SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN CARBOXY METHYL CELLULOSE MENGGUNAKAN METODE ETHERIFIKASI Herman Yoseph Sriyana, Ronny Windu Sudrajat, Sri Sutanti	B.24
ANALISA KERUGIAN KALOR (HEAT LOSS) PADA KOLEKTOR SURYA PELAT DATAR DENGAN TIGA DAN ENAM PIPA Nugroho Gama Yoga, Supria Wiganda, Afria Melatisari H	B.28
ANALISA PENGARUH DEBIT ALIRAN AIR PENGAMBIL PANAS TERHADAP EFISIENSI KOLEKTOR SURYA PLAT DATAR DENGAN TIGA DAN ENAM PIPA Nugroho Gama Yoga, Supria Wiganda, Fauzia Andriyani	B.34
STRATEGI PENGURANGAN EMISI GAS CO ₂ DENGAN RANCANG BANGUN MOTOR BAKAR BERBAHAN BAKAR RAMAH LINGKUNGAN R Suharto	B.38
DAMPAK PENGELOLAAN AGROFORESTRY BAGI LINGKUNGAN DI KABUPATEN BANJARNEGARA Rini Umiyati, Hartuti Purnaweni, Sutarno	B.49
PENINGKATAN KADAR ETHANOL DENGAN OPTIMASI PROSES FERMENTASI, DESTILASI DAN KONDENSASI PADA MESIN DISTILATOR BIOETHANOL Rochmad Winarso, Bahtiar Setya N, Ahmat Irtandi, Sirojul Munir	B.55
PEMBUATAN BIOFILM POLI ASAM LAKTAT/POLI VINIL ALKOHOL MENGGUNAKAN METODE SOLUTION CASTING Sari Purnavita, Herman Yoseph Sriyana, Sri Hartini	B.61
ANALISIS PERPINDAHAN PANAS GAS TURBINE CLOSED COOLING WATER HEAT EXCHANGER DI SEKTOR	B.66

PEMBANGKITAN PLTGU CILEGON
Slamet Priyoatmojo

PRINSIP KERJA TENAGA ANGINTURBIN SAVOUNIUS DI DEKAT PANTAI KOTA TEGAL
Soebyakto B.71

PENGELOLAAN MANGROVE PESISIR BETAHWALANG DEMAK
Sri Subekti B.78

TEKNOLOGI PEMBUATAN VERNIS ALAMI BERBAHAN DASAR GONDORUKEM UNTUK FINISHING KERAJINAN ECENG GONDOK
Sri Sutanti, Sari Purnavita, Herman Yoseph Sriyana B.84

KARAKTERISTIK PEMANASAN DAN POTENSI ENERGI HASIL PEMBAKARAN SAMPAH RUMAH TANGGA DENGAN INSINERATOR SISTEM KONTINYU
Subagiyo, Eko Naryono, Sandra Santoso, Bambang Irawan B.90

PERKEMBANGAN TEKNOLOGI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI TAHU: OVERVIEW
S Setyowati Rahayu, Purwanto, Budiyono B.96

REKAYASA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI KECIL BATIK YANG MENGANDUNG TIMBAL DENGAN METODE ELEKTROLISA
S Setyowati Rahayu, Sri Astuti, Vonny SAB B.103

KONTRIBUSI GAS RUMAH KACA PADA INDUSTRI KECIL BATIK TERHADAP PEMANASAN GLOBAL
Velma Nindita B.110

PEMODELAN KINETIKA REAKSI TRANSESTERIFIKASI ENZIMATIS MINYAK IKAN TUNA DENGAN BIOKATALIS LIPASE CANDIDA RUGOSE IMMOBILE MENJADI LIPID TERSTRUKTUR KAYA OMEGA-3
Wahyuningsih, Margaretha Tuti S B.119

PENGGUNAAN ZEOLIT ALAM SEBAGAI KATALIS DITINJAU TERHADAP KONSUMSI BAHAN BAKAR, EMISI GAS BUANG
Yuniarto Agus Winoko, Bambang Irawan, Bambang Sulistiyono B.124



**TOPIK B. KONVERSI ENERGI, KIMIA INDUSTRI DAN
LINGKUNGAN**



ProsidingPNES II2014
JurusanTeknikMesinPoliteknikNegeri Semarang
ISBN 978-979-3514-46-8

TEPUNG BUAH MANGROVE TERMODIFIKASI SECARA HIDROLISIS ASAM DAN REAKSI PHOTOKIMIA UV SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI GANDUM

Agustien Zulaidah^{1*}

¹Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Pandanaran

Jl. Banjarsari Barat No. 1 Tembalang Semarang

*Email : zagustien@yahoo.com

Abstrak

Potensi hutan mangrove Indonesia sangatlah besar mengingat kondisi geografis Indonesia sebagai negara kepulauan dengan garis pantai yang cukup panjang. Tanaman mangrove khususnya buah lindur (*Bruguiera gymnorrhiza*) berpotensi untuk dapat dikembangkan menjadi sumber bahan pangan alternatif sebagai bahan substitusi beras dan gandum karena buah lindur ini mempunyai kandungan karbohidrat yang cukup besar dan keberadaannya cukup melimpah di Indonesia. Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan tepung buah lindur termodifikasi secara hidrolisis asam dan reaksi fotokimia UV.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh konsentrasi asam, waktu pengeringan dengan sinar matahari dan waktu penyinaran lampu UV terhadap sifat rheologi dan psikokimia tepung buah lindur termodifikasi. Alat utama yang digunakan adalah sebuah reaktor berpengaduk yang dilengkapi rangkaian lampu UV. Sedangkan bahan utama yang digunakan adalah buah lindur (*Bruguiera gymnorrhiza*), garam dapur dan asam laktat.

Tahapan penelitian dibagi dalam 3 tahap. Tahap pertama penyiapan bahan baku, tahap kedua modifikasi dan tahap ketiga pengujian sifat psikokimia dan rheologi tepung yang meliputi analisis swelling power, kelarutan dan baking ekspansinya. Hasil optimum yang didapat menunjukkan nilai swelling power, kelarutan dan baking ekspansi berturut-turut 25,11; 2,24% dan 3,71 ml/gr. Perubahan sifat psikokimia dan rheologi tepung buah lindur termodifikasi terlihat signifikan jika dibandingkan dengan tepung buah lindur tanpa modifikasi dan gandum.

Kata Kunci : Buah lindur, reaksi hidrolisis, reaksi fotokimia UV.

1. PENDAHULUAN

Kondisi demografi Indonesia dengan jumlah penduduk sekitar 245 juta jiwa membutuhkan ketahanan pangan yang baik. Untuk itu diperlukan adanya rekayasa proses yang dapat menciptakan sumber pangan alternatif yang dapat mensubstitusi kebutuhan pangan yang dominan yaitu beras dan gandum (Zulaidah A, 2011).

Potensi hutan mangrove Indonesia sangatlah besar mengingat kondisi geografis Indonesia sebagai negara kepulauan dengan garis pantai yang cukup panjang (Dahuri, 1996). Menurut Bengen (2002) jenis tanaman mangrove sangatlah beragam dan yang banyak ditemukan antara lain adalah jenis api-api (*Avicennia sp.*), bakau (*Rhizophora sp.*), tancang/lindur (*Bruguiera sp.*), dan bogem atau pedada (*Sonneratia sp.*) yang merupakan tumbuhan mangrove utama.

Tanaman mangrove khususnya buah lindur (*Bruguiera gymnorrhiza*) berpotensi untuk dapat dikembangkan menjadi sumber bahan pangan alternatif sebagai bahan substitusi beras dan gandum karena buah lindur ini mempunyai kandungan karbohidrat yang cukup besar dan keberadaannya cukup melimpah di Indonesia (Wanma, 2007).

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian pembuatan tepung dengan bahan mangrove, diantaranya Permadi dkk (2012) yang meneliti tentang pengaruh konsentrasi abu gosok dan waktu perendaman air terhadap kandungan nutrisi tepung buah mangrove. Penelitian lain dilakukan oleh Sarofa Ulfa dkk (2013) yang meneliti tentang pembuatan cookies berserat tinggi dengan memanfaatkan tepung ampas mangrove (*sonneratiacaseolaris*). Pada penelitian ini diketahui proporsi tepung terigu dan tepung ampas mangrove dengan penambahan margarine terhadap kualitas cookies. Putu dkk (2012) meneliti tentang pemanfaatan tepung buah mangrove jenis lindur (*Bruguiera gymnorrhiza*) menjadi kue kering putri salju yang bertujuan untuk mengetahui kualitas kue putri salju dari tepung buah mangrove jenis lindur. Penelitian tentang pembuatan pati termodifikasi dengan

kombinasi reaksi hidrolisis dan fotokimia UV juga telah dilakukan oleh Pudjihastuti I (2010) tetapi menggunakan bahan baku tepung tapioka.

Penelitian tentang hidrolisis asam laktat dengan radiasi sinar UV telah diteliti oleh Bertolini dkk (2000) yang menyatakan bahwa pada saat proses hidrolisis asam laktat akan merubah amilosa sehingga dapat mempengaruhi sifat rheologi, misal turunnya viskositas pasta dari tepung. Adanya asam laktat dapat menurunkan viskositas, disamping itu radiasi UV juga meningkatkan keasaman dan peningkatan volume adonan tepung selama pemanggangan

Pembuatan tepung mangrove sudah banyak dilakukan, tetapi kebanyakan penelitian yang dilakukan tidak mengkaji masalah sifat psikokimia dan rheologi tepung yang dihasilkan. Disamping itu proses pembuatan tepung buah mangrove tidak banyak yang melakukan modifikasi pada prosesnya. Dalam penelitian ini sifat psikokimia dan rheologi yang akan diuji adalah baking ekspansi, kelarutan (*solubility*) dan *swelling power*.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh konsentrasi asam, waktu pengeringan dengan sinar matahari dan waktu penyinaran lampu UV terhadap sifat rheologi dan psikokimia tepung buah lindur termodifikasi. Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah reaktor berpengaduk yang dilengkapi rangkaian lampu UV. Sedangkan bahan utama yang digunakan adalah buah lindur (*Bruguiera gymnorrhiza*), garam dapur dan asam laktat.

Dalam penelitian ini akan dilakukan modifikasi proses dengan cara kombinasi reaksi hidrolisis dengan menggunakan asam laktat dan reaksi fotokimia UV. Penelitian dilakukan dengan menggunakan sebuah reaktor berpengaduk yang dilengkapi lampu UV dan pengeringan tepung yang dihasilkan dengan menggunakan sinar matahari yang diharapkan hanya membutuhkan waktu lebih singkat untuk memperoleh hasil tepung mangrove termodifikasi, dengan karakteristik fisikokimia dan rheologi yang bisa dipakai sebagai substitusi atau pengganti tepung terigu dalam pembuatan roti.

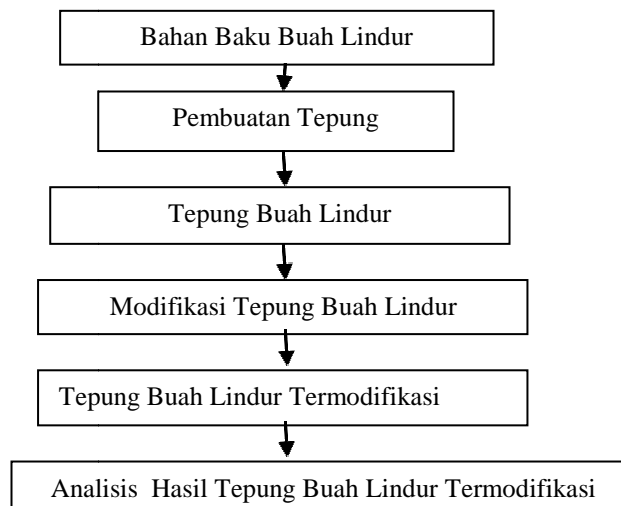
2. METODE PENELITIAN

Alat dan bahan

Dalam penelitian ini alat utama yang dipakai adalah sebuah reaktor berpengaduk yang dilengkapi dengan lampu UV. Daya lampu UV yang digunakan adalah 25 Watt. Sedangkan bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah buah mangrove jenis Lindur (*Bruguiera gymnorrhiza*), asam laktat, garam dapur dan aquadest.

Rancangan Penelitian

Diagram alir penelitian secara keseluruhan adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Penelitian dilakukan dalam 3 tahap. Tahap pertama adalah pembuatan tepung buah lindur. Tahap kedua adalah modifikasi tepung buah lindur secara hidrolisis asam dan reaksi fotokimia. Tahap ketiga adalah analisa hasil.

Prosedur Penelitian

Pembuatan tepung buah lindur .

Buah lindur yang telah dipilih kemudian dicuci dan direbus, setelah dingin kemudian dikupas. Untuk melarutkan HCN dan tanin, buah lindur yang telah dikupas kemudian direndam selama 3 hari dengan mengganti air rendaman setiap hari (Putu, 2012). Kemudian perendaman dilanjutkan dalam larutan garam dapur 5 % selama 6 jam (Zulaidah A, 2011). Proses selanjutnya adalah penirisan dan peghalusan buah lindur untuk mempercepat proses pengeringan. Pengeringan dilakukan dengan oven pada suhu 80°C selama 3 jam, lalu dilanjutkan dengan penggilingan dan diayak dengan ayakan 100 mesh.

Modifikasi Tepung Buah Lindur dengan Hidrolisis Asam dengan Radiasi UV

Pada tahapan hidrolisis asam dengan radiasi UV dilakukan 15 run dengan 3 variabel berubah. Penelitian dilakukan dengan menggunakan rancangan percobaan dengan distribusi perlakuan sebagaimana tertera pada Tabel berikut :

Tabel 1. Variabel Proses

Run	Pengeringan Sinar Matahari (jam)	Penyinaran UV (menit)	C Asam Laktat (%)	Pengukuran / Analisis	Hasil
1.	3	20	1,5		
2.	4	20	1,5		
3.	5	20	1,5	Baking Ekspansi	A Opt
4.	6	20	1,5		
5.	7	20	1,5		
6.	A Opt	15	1,5		
7.	A Opt	20	1,5		
8.	A Opt	25	1,5	Baking Ekspansi	B Opt
9.	A Opt	30	1,5		
10.	A Opt	35	1,5		
11.	A Opt	B Opt	0,5		
12.	A Opt	B Opt	1,0		
13.	A Opt	B Opt	1,5	Baking Ekspansi	C Opt
14.	A Opt	B Opt	2,0		
15.	A Opt	B Opt	2,5		
16.	A Opt	B Opt	C Opt	Sifat fisikokimia dan rheologi	

Prosedur kerja modifikasi tepung

Tepung buah lindur sebanyak 500 gr dilarutkan dalam larutan asam laktat sesuai dengan konsentrasi yang bervariasi 0,5 ; 1; 1,5; 2 dan 2,5 %, sinari dengan lampu UV selama 15, 20, 25, 30 dan 35 menit, perlakuan ini dilakukan dalam beker glass 2 liter diatas magnetic stirer dengan pengadukan kecepatan skala 8. Produk yang diperoleh kemudian disaring dengan menggunakan kain saringan, hasil penyaringan dikeringkan diatas portabel pengering sinar matahari dengan variasi lama pengeringan 3; 4; 5; 6 dan 7 jam. Tepung kering yang diperoleh kemudian dihaluskan dan diayak dengan ayakan 100 mesh.

Analisis hasil

Tepung buah lindur termodifikasi secara hidrolisis asam dan reaksi photokimia kemudian dianalisa baking ekspansi, % kelarutan dan swelling powernya. Pengujian baking ekspansi dilakukan dengan cara mencampur 12,5 gr tepung buah lindur termodifikasi dengan susu, mentega, garam, gula, telur, air, yeast diaduk dengan mixer kecepatan sedang selama 5 menit. Suspensi (campuran adonan) ditimbang (50 gram) dimasukkan kedalam cetakan muffin dan dipanggang dalam oven selama 25 menit pada suhu 135 °C. Setelah dingin kue muffin ditimbang dan diukur volumenya, spesifik volume (baking ekspansi) adalah ml/ gram (Maria’s cook,2002 dalam Pudjiastuti I, 2011).

Pengujian Swelling power (Leach dkk, 1959) dilakukan dengan cara melarutkan 0,1 gr tepung buah lindur termodifikasi dalam aquadest 10 ml, kemudian larutan dipanaskan menggunakan water

bath dengan temperatur 60°C selama 30 menit. Supernatan dipisahkan menggunakan centrifuge dengan kecepatan 2500 rpm selama 15 menit. Swelling power dihitung dengan rumus :

$$\text{Swelling power} = \frac{\text{berat pasta}}{\text{Berat sampel kering}}$$

Pengujian Solubility (Kainuma dkk, 1967) dilakukan dengan cara melarutkan 1 gr tepung buah lindur termodifikasi dalam 20 ml aquadest, kemudian larutan dipanaskan dalam water bath dengan temperatur 60 °C selama 30 menit. Supernatant dipisahkan menggunakan centrifuge dengan kecepatan 3000 rpm selama 20 menit lalu diambil 10 ml untuk dikeringkan dalam oven dan dicatat berat endapan keringnya. % solubility dihitung dengan rumus :

$$\% \text{ Solubility} = \frac{\text{berat endapan kering}}{\text{volume supernatant}}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa bahan baku (buah lindur) yang dilakukan meliputi analisa kadar air, analisa kadar abu, analisa kadar lemak, analisa kadar protein dan analisa kadar karbohidrat.

Tabel 2. Komposisi Kimia buah lindur (*Bruguiera gymnorhiza*)

No	Analisa Proksimat	Jumlah (%)	Perkasa,HB (2013) (%)	Priyono <i>et al.</i> (2010) (%)
1	Kadar air	65,73	62,92	73,76
2	Kadar abu	0,96	1,29	0,34
3	Kadar Lemak	0,52	0,79	1,24
4	Kadar protein	3,16	2,11	1,12
5	Kadar Karbohidrat	29,63	32,91	23,52

Dari hasil pengujian komposisi kimia buah lindur untuk beberapa peneliti tidak sama, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya faktor habitat, letak geografis , cuaca dan musim serta asupan nutrisi makanan yang tersedia di lingkungan hidupnya (Perkasa HB, 2013).

Analisa Baking Ekspansi dari produk tepung buah lindur termodifikasi secara hidrolisis asam dan reaksi fotokimia UV dengan variabel berubah waktu pengeringan dengan matahari, waktu penyinaran sinar UV dan konsentrasi asam laktat, disajikan dalam tabel dibawah ini :

Tabel 3. Analisa Baking Ekspansi

Run	Pengeringan Sinar Matahari (jam)	Penyinaran UV (menit)	C Asam Laktat (%)	Baking Ekspansi (gr/ml)
1.	3	20	1,5	3,13
2.	4	20	1,5	3,29
3.	5	20	1,5	3,44
4.	6	20	1,5	3,67
5.	7	20	1,5	3,53
6.	6	15	1,5	3,02
7.	6	20	1,5	3,44
8.	6	25	1,5	3,71
9.	6	30	1,5	3,68
10.	6	35	1,5	3,66
11.	6	25	0,5	2,89
12.	6	25	1,0	3,30
13.	6	25	1,5	3,71
14.	6	25	2,0	3,17

15.	6	25	2,5	3,06
-----	---	----	-----	------

Pengaruh pengeringan sinar matahari terhadap baking ekspansi

Pada percobaan untuk run 1 sampai run 5 pembuatan tepung buah lindur termodifikasi secara hidrolisis asam dan reaksi fotokimia sinar UV dilakukan pada kondisi konsentrasi asam laktat 1,5 % b/b dan lama penyinaran dengan lampu UV selama 20 menit, sedangkan variabel berubahnya yaitu waktu pengeringan tepung dengan sinar matahari yaitu selama 3, 4, 5, 6 dan 7 jam. Masing-masing run hasilnya kemudian dilakukan analisa *baking ekspansi*.

Baking ekspansi merupakan perbandingan antara nilai spesifik volume dengan berat roti, dimana spesifik volume dari roti muffin yang diukur mewakili perluasan karakteristik dari tepung yang dimodifikasi (Pudjihastuti I, 2010). Hasil pengujian baking ekspansi berturut-turut untuk run ke-1 sampai run ke-5 yaitu 3,13; 3,29; 3,44; 3,67 dan 3,53. Nilai *baking ekspansi* terbesar diperoleh pada kondisi lamanya pengeringan tepung termodifikasi selama 6 jam yaitu 3,67. Semakin lama waktu pengeringan semakin tinggi intensitas radiasi UV yang mempengaruhi sifat tepung. Pada waktu pengeringan 7 jam harga baking ekspansi mulai menurun, hal ini disebabkan pengeringan yang terlalu lama akan mengurangi ukuran amilosa dan amilopektin yang menyebabkan terjadinya depolimerisasi dari tepung yang akan mengurangi gaya hambatan untuk ekspansi sehingga menurunkan volume roti muffin (Bertolini, 2001).

Pengaruh penyinaran UV terhadap baking ekspansi

Pada percobaan untuk run 6 sampai run 10 dilakukan pada kondisi konsentrasi asam laktat 1,5 % b/b, dan lamanya waktu penyinaran dengan lampu UV bervariasi selama 15, 20, 25, 30 dan 35 menit. Hasil tepung dari setiap perlakuan kemudian dikeringkan dengan sinar matahari selama 6 jam dan dilakukan pengujian *baking ekspansi*. Hasil pengujian *baking ekspansi* ditunjukkan pada tabel 3 dimana berturut-turut untuk run 6 sampai run 10 yaitu 3,02; 3,44; 3,71; 3,68 dan 3,66. Nilai baking ekspansi terbesar ditunjukkan pada kondisi lamanya penyinaran sinar UV yaitu selama 25 menit yaitu 3,71.

Debate dkk, 1999 dalam penelitiannya menyatakan bahwa asam yang berdifusi kedalam granula pati selama reaksi hidrolisis berlangsung akan mendorong terjadinya degradasi granula pati menjadi molekul- molekul yang lebih kecil dan mudah larut dalam air. Semakin lama penyinaran lampu UV maka makin tinggi intensitas radiasi yang mempengaruhi sifat tepung yang terhidrolisis. Nilai baking ekspansi tertinggi pada saat kondisi penyinaran lampu UV selama 25 menit dan selanjutnya nilai baking ekspansi cenderung stabil. Pada kondisi tersebut kemampuan granula pati untuk menyerap air dan jumlah amilopektin sudah maksimum. Amilopektin mempunyai sifat cenderung tidak larut dalam air, sehingga jika kandungan amilopektin tidak meningkat maka banyaknya pasta yang terbentuk dan baking ekspansinya juga mulai stabil (Pudjihastuti I, 2010).

Pengaruh konsentrasi asam terhadap baking ekspansi

Pada run ke-11 sampai run ke-15, proses hidrolisis asam dan reaksi fotokimia UV dilakukan pada kondisi operasi lamanya waktu penyinaran lampu UV selama 25 menit dengan konsentrasi asam laktat yang bervariasi yaitu 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; dan 2,5%. Hasil tepung dari masing-masing perlakuan kemudian dikeringkan dengan sinar matahari selama 6 jam dan kemudian dianalisa baking ekspansinya.

Hasil pengujian baking ekspansi untuk run ke-11 sampai run ke-15 ditunjukkan pada tabel 3 dimana berturut-turut sebesar 2,89; 3,30; 3,71; 3,17 dan 3,06. Dari hasil pengujian, nilai baking ekspansi terbesar ditunjukkan pada kondisi konsentrasi asam laktat 1,5 %. Pada kondisi konsentrasi asam laktat 2,0 % dan 2,5 % besarnya baking ekspansi semakin menurun. Kesselmans dkk (2004) dalam penelitiannya menyatakan bahwa semakin besar konsentrasi asam laktat berarti derajat keasamannya semakin kecil. Pengaruh derajat keasaman pada tepung terdapat pada penambahan gugus karbonil (C=O) dan gugus karboksil (C-O-O-H). Viscositas dari pasta yang terbentuk dipengaruhi oleh kedua gugus tersebut. Gugus karbonil sangat berpengaruh pada proses degradasi amilosa, sehingga semakin meningkatnya degradasi amilosa maka pasta yang terbentuk akan semakin sedikit dan akan menurunkan nilai baking ekspansi. Pada konsentrasi asam 2,0% nilai baking ekspansi

mulai mengalami penurunan karena adanya gugus amilosa yang terbentuk sehingga cenderung larut dalam air dan menyebabkan berkurangnya pasta yang terbentuk (Pudjiastuti I, 2010)..

Hasil analisis produk akhir

Dari hasil percobaan didapat kondisi operasi yang optimal dalam pembuatan tepung buah lindur yaitu waktu pengeringan dengan sinar matahari 6 jam, waktu penyinaran lampu UV 25 menit dan konsentrasi asam laktat 1,5 %. Dalam tabel 4 ditampilkan sifat psikokimia dan rheologi antara tepung buah lindur alami, tepung buah lindur termodifikasi dan gandum.

Tabel. 4. Sifat psikokimia dan rheologi

Bahan	Baking Ekspansi (ml/gr)	Swelling power	Kelarutan (%)
Tepung buah lindur alami	2,69	21,27	1,98
Tepung buah lindur termodifikasi	3,71	25,11	2,24
Gandum	3,89	27,36	2,30

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa sifat psikokimia dan rheologi dari tepung buah lindur yang telah dimodifikasi lebih baik jika dibandingkan dengan tepung buah lindur alami, hal ini terlihat dengan semakin meningkatnya nilai baking ekspansi, *swelling power* dan kelarutannya. Jika dibandingkan dengan gandum, sifat psikokimia dan rheologi dari tepung buah lindur termodifikasi hampir setara. Ini menunjukkan bahwa tepung buah lindur termodifikasi dapat dijadikan bahan substitusi maupun pengganti gandum untuk membuat bahan olahan yang berbasis gandum.

Nilai *swelling power* mempengaruhi sifat dari produk olahan yang dihasilkan. *Swelling power* tinggi karena meningkatnya amilopektin pada kandungan tepung. Dalam produk makanan, amilopektin bersifat merangsang terjadinya proses mekar (*puffing*) dimana produk makanan yang berasal dari pati yang kandungan amilopektinnya tinggi akan bersifat ringan, porous, garing dan renyah.

Untuk warna dari tepung yang dihasilkan, tepung buah lindur alami warnanya lebih coklat jika dibandingkan dengan tepung buah lindur yang dimodifikasi. Hal ini disebabkan karena adanya proses modifikasi yang dapat mendegradasi kandungan tanin dan pigmen warna yang ada pada buah lindur.

4. KESIMPULAN

Dalam pembuatan tepung buah lindur termodifikasi secara hidrolisis asam dan reaksi photokimia UV, kondisi operasi yang paling baik adalah konsentrasi asam laktat 1,5%, lama penyinaran UV 25 menit dan lama pengeringan dengan matahari 6 jam. Analisa hasil dari tepung yang dihasilkan baking ekspansi, *swelling power* dan kelarutannya berturut–turut 3,71 ml/gr; 25,11 dan 2,24. Hasil dari penelitian terlihat adanya perubahan pada sifat psikokimia dan rheologi yang cukup signifikan antara tepung buah lindur termodifikasi dengan tepung buah lindur alami, ini terlihat dari meningkatnya nilai baking ekspansi, *swelling power* dan kelarutan. Nilai baking ekspansi, *swelling power* dan kelarutan dari tepung buah lindur termodifikasi nilainya mendekati nilai dari gandum, ini mengisyaratkan bahwa tepung hasil modifikasi dapat dipakai sebagai pengganti atau substitusi kebutuhan akan gandum. Warna dari tepung buah lindur alami lebih coklat jika dibandingkan dengan tepung buah lindur yang termodifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, “ *Sejuta Manfaat Mangrove* “, diakses 02 Agustus 2014.
- Bengen D. 2002. *Sinopsis Ekosistem dan Sumber Daya Alam Pesisir dan Laut*. Pusat Kajian Sumber Daya Pesisir dan Lautan IPB, Bogor.
- Bertolini. A.C, Mestres. C, Colonna. P, Raffi. J., 2001, *Free radical formation in UV- and gamma – irradiated cassava starch* . Carbohydrate Polymers 44 : 269-271
- Dahuri, R., “ *Panduan Pengelolaan Wilayah Pesisir Secara Terpadu*”. Pusat Penelitian Lingkungan Hidup. Institut Pertanian Bogor. Bogor.1996
- Demiata. I.M, Dupuy.N, Huvenne.J.P, Wosiacki.G. 2000.*Relationship between baking behavior of modified cassava starch and starch chemical structure determined by FTIR spectroscopy*. Carbohydrate Polymers 42: 149-158.
- Kainuma K, odat T, Cuzuki S, 1967, *Study of starch Phosphates Monoester*. J. Technol, Soc. Starch 14: 24-28.
- Kesselmans.Annen. Ido Pleter Blecker, and Ten Boer.2004.Oxidation of Starch, United States Patent no 6.777.548.B1, 23 November 2004.
- Leach,H.W.,L.D.Mc.Cowan dan T.J.Schoch, 1959, *Cereal Chem*, 36 : 534.
- Perkasa, H.B., 2013, *Pemanfaatan Tepung Buah Lindur (Bruguiera gymnorrhiza) Dalam Pembuatan Biskuit*, URI: <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/61348>
- Permadi dkk (2012), *Pengaruh Konsentrasi Abu Gosok dan Waktu Perendaman Air Terhadap Kandungan Nutrisi Tepung Buah Mangrove Avicenia marina* ,Journal of Marine Research . Volume 1, Nomor 1, Hal: 39-47
- Priyono A, Iminingtyas D, Mohson, Yuliani LS, Hakim TL. 2010. *Beragam Produk Olahan Berbahan Dasar Mangrove*. Semarang: Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro.
- Pudjihastuti I,(2010), *Pengembangan Proses Inovatif Kombinasi Reaksi Hidrolisis Asam dan Reaksi Fotokimia UV untuk Produksi Pati Termodifikasi dari Tapioka* “, Tesis, Magister Teknik Kimia, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Putu,dkk.(2012), *Pemanfaatan Tepung Buah Mangrove Jenis Lindur (bruguiera gymnorrhiza) Menjadi Kue Kering Putri Salju*, Jurusan Pendidikan Kesejahteraan Keluarga, FTK Universitas Pendidikan Ganesha Singaraja, Indonesia
- Sarofa Ulfa, dkk (2013), *Pembuatan Cookies Berserat Tinggi dengan Memanfaatkan Tepung Ampas Mangrove (Sonneratiacaseolaris)*”, Tek.Pangan,FTI UPN “Veteran” Jatim.
- Sulistiyawati,dkk. (2012). *Produksi Tepung Buah Lindur (Bruguiera gymnorrhiza Lamk) Rendah Tanin dan HCN Sebagai Bahan Pangan Alternatif*. Jurnal Teknologi Pertanian, Volume 13 No 13, Hal: 187 – 198).
- Wanma A. 2007. *Pemanfaatan Hutan Bruguiera gymnorrhiza (L) Lamk. Sebagai Bahan Penghasil Karbohidrat*. Warta Konservasi Lahan Basah 15(2): 6-7.
- Zulaidah,A. 2011. *Modifikasi Ubi Kayu secara Biologi Menggunakan Starter Bimo-Cf menjadi Tepung Termodifikasi Pengganti Gandum*. Tesis Program Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.

KARAKTERISASI DAN UJI STABILITAS MEMBRAN ULTRAFILTRASI MODIFIKASI METODE PEMISAHAN FASE REAKTIF

Anis Roihatin^{1*}, Heru Susanto², Didi Dwi Anggoro²

¹ Jurusan Teknik Mesin, Program Studi, Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. H. Soedarto, S.H., Tembalang, Semarang 50275.

² Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Soedarto, S.H., Tembalang, Semarang 50275.

*Email: anis.roihatin@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi membran di Indonesia semakin pesat beberapa tahun terakhir ini. Keunggulan teknologi membran sebagai teknologi bersih menjadi pilihan yang menjanjikan. Hal ini menjadikan ketersediaan membran di Indonesia menjadi sangat penting. Selama ini kebutuhan membran dipenuhi dengan impor dari luar negeri. Untuk itu perlu dilakukan penelitian tentang pembuatan membran untuk menunjang ketersediaan membran secara mandiri. Membran komersial yang selama ini ada di pasaran, dibuat dengan modifikasi tertentu untuk memperoleh spesifikasi tertentu pula. Penelitian ini dimaksudkan untuk membuat membran ultrafiltrasi dengan modifikasi penambahan inisiator redoks dan agen crosslinking. Karakterisasi komprehensif - dengan pengukuran fluks, SEM dan FTIR- adalah dasar untuk lebih memahami kinerja membran hasil modifikasi. Permeabilitas air dari semua membran menunjukkan karakteristik membran UF. Penambahan PEG Dan PEGMA pada membran meningkatkan permeabilitas air. Penambahan inisiator redoks dalam larutan polimer cenderung menurunkan permeabilitas air dari membran. Fenomena serupa juga terlihat untuk penambahan MBAA dalam larutan polimer. Morfologi permukaan membran dengan SEM menunjukkan bahwa semua membran memiliki ukuran pori dalam rentang nanometer. Membran PES yang dimodifikasi dengan PEG/PEGMA memiliki ukuran pori lebih kecil membran PES. Selanjutnya, membran PES-PEG atau PES-PEGMA yang dimodifikasi dengan menambahkan inisiator redoks dan MBAA sebagai agen crosslinking menunjukkan ukuran pori lebih kecil dari membran yang tidak dimodifikasi. Analisis FTIR menunjukkan bahwa semua membran memiliki spektrum khas PES, namun tidak ada puncak tambahan pada membran PES dengan penambahan PES/PEGMA, inisiator redoks dan juga agen crosslinking. Uji stabilitas membran menunjukkan penambahan inisiator redoks dalam larutan polimer dapat meningkatkan stabilitas membran. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengetahui kinerja membran dan pengaruh adsorptif fouling pada membran.

Kata kunci: agen crosslinking, inisiator redoks, membran, PEG, PEGMA,

1. PENDAHULUAN

Aplikasi teknologi membran di Indonesia mengalami kemajuan yang sangat pesat selama kurun waktu 10 tahun terakhir. Industri makanan dan minuman, pengolahan air dan limbah cair serta industri farmasi juga mulai menerapkan aplikasi teknologi membran ini. Kemajuan dalam teknologi membran ini berbanding lurus dengan kebutuhan modul membran itu sendiri sehingga ketersediaan membran di Indonesia menjadi sangat penting. Selama ini kebutuhan membran di industri dipenuhi dengan cara

mengimpor dari negara lain. Hal ini membuat teknologi membran menjadi mahal untuk diaplikasikan di Indonesia. Oleh karena itu, ketersediaan membran secara mandiri mutlak diperlukan.

Penggunaan membran secara luas di industri mempunyai permasalahan klasik, yaitu fouling yang dapat menurunkan fluks dan merubah selektifitas membran. Fouling tidak bisa dihindari namun bisa diperlambat dan bisa dikendalikan. Beberapa metode untuk mengendalikan fouling pada membran telah banyak dikembangkan, di antaranya cara fisika, hidrodinamika maupun kimia (Hilal dkk., 2005). Namun demikian, dalam banyak kasus fluks permeat sangat jelas dipengaruhi oleh karakteristik membran itu sendiri. Membran komersial yang selama ini digunakan di industri kebanyakan dimodifikasi untuk memenuhi spesifikasi aplikasi di industri tertentu. Berdasarkan analisis di atas, penelitian ini difokuskan pada pembuatan membran polimer fouling rendah dengan modifikasi pemisahan fase reaktif. Membran ultrafiltrasi dengan fluks tinggi dapat dibuat dari polyethersulfon (PES) dengan metode pemisahan fase. PES merupakan membran ultrafiltrasi yang sering digunakan dalam skala komersial karena mempunyai kekuatan mekanik, thermal dan stabilitas kimia. Namun karakter hidrofobik menyebabkan rentan terhadap fouling sehingga perlu ditambahkan aditif hidrofilik (yang lebih tahan fouling). Aditif yang biasa digunakan adalah PEG, PVP dan Pluronic. Penambahan aditif dapat mengurangi terjadinya fouling namun stabilitas aditif di dalam matrik polimer lebih rendah karena interaksi yang terjadi hanya secara fisika. Oleh karena itu modifikasi membran perlu dilakukan untuk membuat membran fouling rendah.

Sejauh ini telah dikembangkan tiga pendekatan untuk meningkatkan hidrofilisitas dari membran PES, yaitu (i) modifikasi polimer sebagai bahan membran (*pre-modification*) (Chalida dkk., 2011) (ii) pencampuran membran polimer dengan zat aditif (Liu dkk., 2003 dan Idris dkk., 2007) dan (iii) modifikasi permukaan setelah pembuatan membran (*post-modification*) (Susanto dkk., 2007). Modifikasi polimer bahan membran dapat menghasilkan membran hidrofilik tetapi membutuhkan waktu yang lama. Sedangkan untuk penambahan aditif pada membran, dihasilkan membran dengan struktur yang berbeda dan dapat meningkatkan hidrofilisitas dari membran. Namun stabilitas aditif di dalam matrik polimer masih menjadi persoalan. Modifikasi pada permukaan membran (*post-modification*) dapat meningkatkan hidrofilisitas dari membran dengan stabilitas yang tinggi. Akan tetapi, beberapa perlakuan dapat menyebabkan perubahan pada struktur membran.

Penggabungan antara metode pencampuran aditif dan modifikasi kimia merupakan solusi terbaik yang sederhana dan efektif untuk membuat membran fouling rendah dengan stabilitas tinggi. Pengembangan metode pemisahan fase pada pembuatan membran dimodifikasi dengan reaksi polimerisasi redoks diharapkan dapat menghasilkan membran fouling rendah dan meningkatkan stabilitas pada membran.

2. METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Polimer PES Ultrason E 6020P yang digunakan dibeli dari BASF (Ludwigshafen, Jerman) dan dikeringkan lebih dulu pada suhu 120 °C selama 4 jam. N-methyl-2-pyrrolidone (NMP) sebagai pelarut dibeli dari Merck. Aditif hidrofilik, polyethylene glycol (PEG) dibeli dari Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim, Jerman. Poly(ethylene glycol) methacrylate (PEGMA 400, nomor menunjukkan berat molekul) dibeli dari Polysciences Inc., Warrington, Amerika Serikat digunakan sebagai monomer fungsional. TEMED (N,N,N,N'-tetramethylethylenediamine) dan ammonium peroxydisulfate (APDS) digunakan sebagai inisiator redoks, dibeli dari Fluka Chemica GmbH. Pottasium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4) dan disodium hydrogen phosphate dihydrate ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) sebagai larutan buffer dibeli dari Fluka Chemie AG, Jerman. N,N'-metylenbisacrylamide (MBAA) sebagai agen crosslinking dan Bovine serum albumin (BSA) dibeli dari ICN Biomedicals, Inc. (California, USA). Humic acid (HA) dibeli dari Sigma-Aldrich. Hydrogen peroxide (H_2O_2), natrium hydroxide (NaOH) dan hydrochloric acid (HCl, semua dalam kualitas analisa, dibeli dari Fluka Chemie AG, Jerman. Gas nitrogen dibeli dari Rejo Makmur,

Semarang, Indonesia. Air purifikasi dengan sistem RO dari Laboratorium MeR-C Undip digunakan untuk semua percobaan.

Pembuatan membran polimer

Polimer PES polymer dilarutkan dalam N-methyl-2-pyrrolidone. Aditif hidrofilik, polyethylene glycol (PEG) dan poly(ethylene glycol) methacrylate (PEGMA) kemudian ditambahkan pada larutan polimer. Sebagai tambahan, oksidator (TEMED) sebagai inisiator dan MBAA sebagai agen *crosslinking* juga ditambahkan pada larutan polimer. Larutan polimer yang sudah homogen didiamkan hingga tidak ada gelembung hasil pengadukan. Membran dibuat dengan menggunakan casting knife yang tersedia di Laboratorium Membrane Research Center Undip. Larutan polimer dicetak dengan ketebalan 200 μm dengan casting knife pada lapisan kaca. Selanjutnya, membran-proto disolidifikasi dengan direndam pada bak koagulasi yang terdiri dari air dan reduktor (APDS) selama 1 jam. Membran yang dihasilkan kemudian dicuci dan direndam dalam air selama 24 jam sebelum dikeringkan.

Karakterisasi Membran

Karakterisasi membran meliputi permeabilitas hidrolik, struktur morfologi (dengan SEM), dan kimia permukaan (FTIR). Pengukuran permeabilitas air dengan menggunakan sistem filtrasi dead-end dengan pengadukan (Amicon cell model 8010) yang dihubungkan pada tangki air (~1 L) and dan dialirkan dengan tekanan dari gas nitrogen. Sebelum pengukuran, membran dikompaksi dengan air murni pada tekanan 400 kPa selama 1 jam. Permeabilitas hidrolik membran diukur pada tekanan 300 kPa and dan dilakukan pengukuran sebanyak 3x untuk masing-masing membran. Morfologi permukaan membran diobservasi dengan menggunakan Quanta 400 FEG (FEI) environmental scanning electron microscope (ESEM) pada konsidi vakum. Sebelum observasi, pelapisan permukaan luar sampel dengan emas / paladium harus dilakukan. Untuk analisis penampang, membran akan rusak dalam nitrogen cair dan dibiarkan selama 1,5 menit, sedangkan untuk analisis permukaan membran luar, dilakukan selama 0,5 menit. Kimia permukaan membran dianalisa dengan *Attenuated Total Reflection Infrared (ATR-IR) Spectroscopy*. Sebanyak 64 scan pada resolusi 4 cm^{-1} akan dilakukan. Sebuah program akan digunakan untuk mencatat spektrum yang berbeda dibandingkan dengan spektrum latar belakang yang sesuai.

2.3. Uji Stabilitas Membran

Stabilitas dari aditif makromolekul pada matrik membran diuji dengan menginkubasi membran dalam air, larutan 0.1 % V hidrogen peroksida (H_2O_2), larutan 0.01 M natrium hidroksida (NaOH) dan larutan 0.01 M asam klorida (HCl) selama 30 hari. Air biasa digunakan untuk pencucian membran sebelum pencucian kimia dilakukan sedangkan larutan hidrogen peroksida (H_2O_2), natrium hidroksida (NaOH) dan asam klorida (HCl) diketahui sebagai larutan pembersih kimia untuk menghilangkan fouling tak larut (Arkhangelsky dkk., 2007; Rouaix dkk., 2006, Liu, C dkk, 2006). Karakterisasi kimia permukaan dengan FTIR digunakan untuk mengidentifikasi perubahan membran setelah diinkubasi.

3. Hasil dan Pembahasan

Pembuatan membran

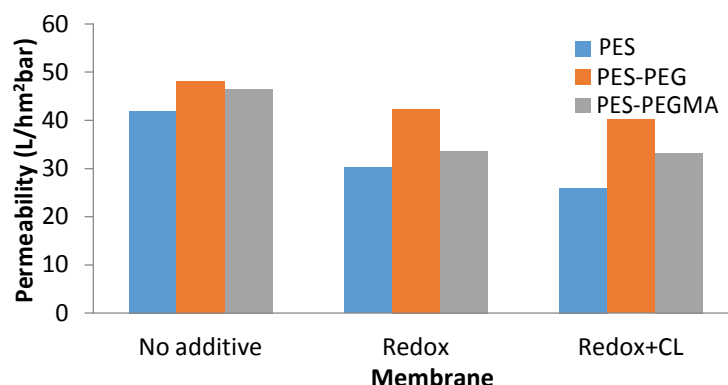
Pada penelitian ini, membran ultrafiltrasi dibuat dengan metode pemisahan fase reaktif. Polimer PES dilarutkan pada N-methyl-2-pyrrolidone (NMP). Aditif hidrofilik, polyethylene glycol (PEG) dan poly (ethylene glycol) methacrylate (PEGMA) ditambahkan pada larutan polimer. Selanjutnya, inisiator redoks dan agen *crosslinking* juga ditambahkan pada larutan polimer. Inisiator yang digunakan

adalah N,N,N,N'-tetramethylenediamine (TEMED) and ammonium peroxydisulfate (APDS). Sedangkan N,N'-metylenbisacrylamide (MBAA) digunakan sebagai agen crosslinking. Membran PES yang dihasilkan dikarakterisasi dengan mengukur permeabilitas hidrolis, SEM dan FTIR. Uji stabilitas membran dilakukan untuk mengevaluasi stabilitas aditif pada matriks membran.

Karakterisasi Membran

Karakterisasi membran meliputi permeabilitas hidrolis, struktur morfologi (SEM) dan kimia permukaan (FTIR). Pengukuran permeabilitas hidrolis dilakukan pada membran PES murni dan membran PES hasil modifikasi untuk mengetahui pengaruh penambahan PEG, PEGMA, inisiator redoks dan agen crosslinking. Permeabilitas dari membran PES murni dan membran PES hasil modifikasi ditunjukkan pada gambar 1.

Dari gambar 1, secara umum permeabilitas hidrolis dari semua membran menunjukkan karakteristik dari membran ultrafiltrasi, dimana permeabilitas hidrolisnya antara 10-50 L/h.m².bar (Mulder, 1996). Penambahan PEG dan PEGMA pada membran meningkatkan permeabilitas membran. PEG merupakan polimer hidrofilik dan juga agen pembentuk pori (Wang dkk., 2006). Penambahan PEG pada larutan polimer dapat menyebabkan pembentukan pori dan meningkatkan porositas sehingga meningkatkan permeabilitas hidrolisnya. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya (Arthanareeswaran dkk, 2010; Su dkk., 2009). Fenomena yang sama juga diperoleh dengan menambahkan PEGMA sebagai aditif dan hasil ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Susanto dkk sebelumnya (2007).

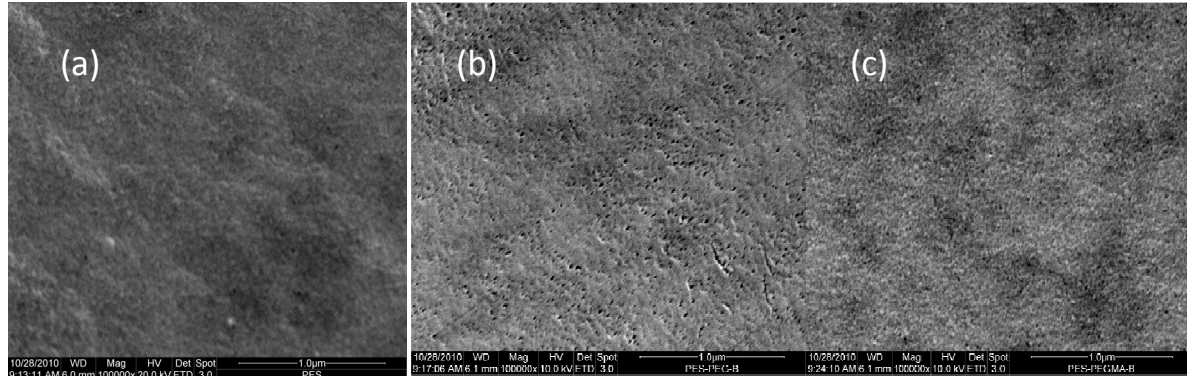


Gambar 1. Permeabilitas dari membran PES murni dan membran PES hasil modifikasi

Penambahan inisiator redoks pada larutan polimer menurunkan permeabilitas hidrolis dari membran yang dihasilkan. Fenomena yang sama juga ditunjukkan dengan penambahan MBAA sebagai agen crosslinking pada larutan polimer. Adanya inisiator redoks dan agen crosslinking memungkinkan terbentuknya ikatan silang (crosslinking). Hasil ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Peeva dkk (2010). Ikatan silang dengan penambahan MBAA menghasilkan lapisan hidrogel (tak berpori) dense pada permukaan membran sehingga menurunkan permeabilitas hidrolisnya.

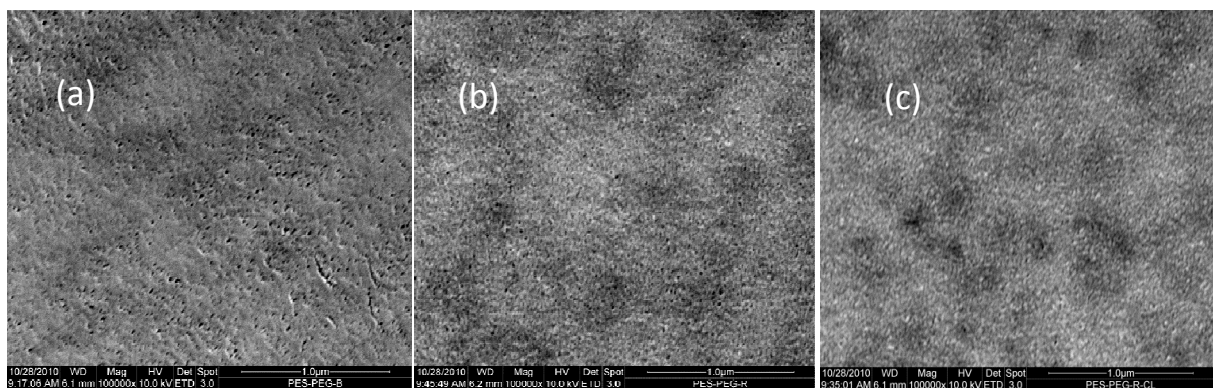
Morfologi permukaan membran diobservasi dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM). Gambar 2, 3 and 4 menunjukkan morfologi permukaan dari membran PES murni dan membran PES hasil modifikasi. Hasil SEM menunjukkan bahwa semua membran mempunyai ukuran pori dalam skala nanometer. Perbandingan antara membran PES murni dan membran PES hasil

modifikasi dengan penambahan PEG atau PEGMA menunjukkan perbedaan ukuran pori yang cukup signifikan. Sesuai dengan peneliti sebelumnya, membran PES murni mempunyai ukuran pori yang lebih kecil daripada membran PES yang ditambahkan PEG atau PEGMA (Arthanareeswarana dkk., 2010; Susanto and Ulbircht, 2009). Hal ini sesuai dengan permeabilitas hidrolis membran yang dihasilkan.

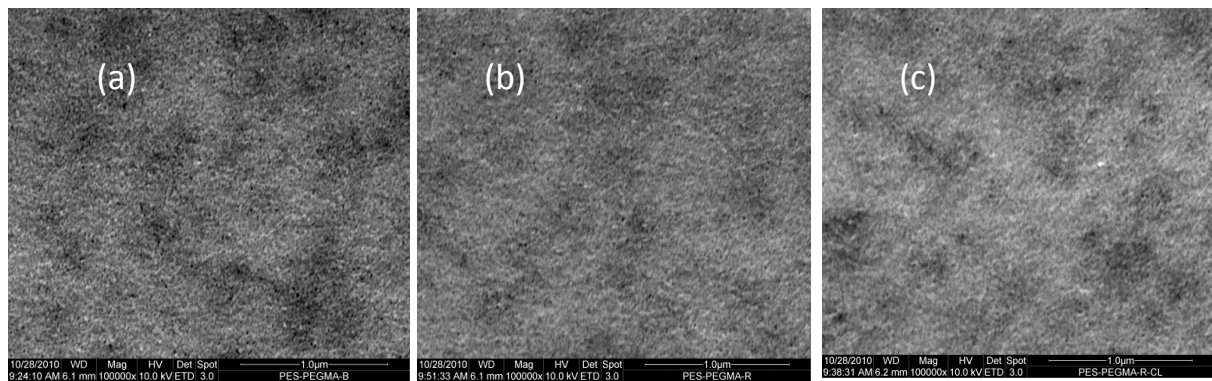


Gambar 2. Morfologi permukaan membran PES (a), PES-PEG (a) dan PES-PEGMA (c)

Lebih lanjut, membran PES –PEG dan PES-PEGMA dimodifikasi dengan penambahan inisiator redoks dan agen crosslinking (MBAA) menunjukkan ukuran pori yang lebih kecil dibandingkan membran PES-PEG murni maupu membran PES-PEGMA murni. Inisiator redoks menghasilkan radikal bebas pada permukaan membran membentuk gugus fungsional yang baru dan berikatan pada permukaan membran (Zhao dkk., 2013). Peeva dkk (2010) menyatakan bahwa MBAA sebagai agen crosslinking menghasilkan lapisan hidrogel tak berpori diatas membran berpori.



Gambar 3. Morfologi permukaan membran (a) PES-PEG, (b) PES-PEG-R, (c) PES-PEG-R-CL



Gambar 4. Morfologi permukaan membran (a) PES-PEGMA, (b) PES-PEGMA-R, (c) PES-PEGMA-R-CL

Karakterisasi kimia permukaan dari membran dengan menggunakan FTIR (Gambar tidak ditampilkan). Hasil FTIR menunjukkan bahwa semua membran menampilkan spektrum yang identik dengan PES, antara lain ikatan aromatis pada 1578 and 1485cm^{-1} dari cincin benzena and ikatan C-C stretch dan ikatan ether aromatis pada 1240cm^{-1} . Namun tidak ditemukan puncak baru untuk membran PES hasil modifikasi dengan penambahan PEG maupun PEGMA. Hal ini disebabkan karena adanya *band* yang saling tumpang tindih dari ikatan terkuat dari PEG dan PEGMA dengan ikatan pada polimer PES. Memang, peningkatan yang signifikan pada transmisi $\sim 1105\text{cm}^{-1}$, karena intensitas tambahan ikatan stretch obligasi C-O dari PEG teramati dan ini menegaskan kehadiran aditif dalam matriks membran polimer. Penambahan PEGMA pada membran PES menunjukkan sebuah *band* baru yang berikatan dengan getaran C=O dalam molekul ester, yang terletak di 1714cm^{-1} tetapi tidak menunjukkan puncak baru. Penambahan inisiator redoks dan agen crosslinking (MBAA) juga menunjukkan spektrum yang identik. Kemungkinan alasan untuk hal ini adalah aditif (PEG, PEGMA, inisiator redoks dan agen crosslinking) yang ditambahkan dalam jumlah kecil. Tumpang tindih ikatan tersebut didukung oleh penelitian sebelumnya oleh Belfer dkk (2000) dan Susanto dan Ulbricht (2009).

Uji Stabilitas Membran

Stabilitas membran hasil modifikasi dengan penambahan PEG dan inisiator redoks diamati dengan menginkubasi membran dalam air dan beberapa larutan pembersih kimia selama 30 hari. Larutan pembersih kimia yang digunakan adalah H_2O_2 , NaOH dan HCl . FTIR digunakan untuk mengevaluasi stabilitas membran. Analisis data FTIR menunjukkan absorbansi ATR-IR dari membran tidak berubah setelah diinkubasi dalam larutan pembersih kimia selama 30 hari. Hal ini berarti elemen komposisi membran tidak berubah setelah inkubasi, hanya menurun dalam jumlah. Tabel 1 menunjukkan intensitas absorbansi yang dinormalisasi (dengan membandingkan absorbansi membran awal sebelum inkubasi dan membran setelah diinkubasi) dari membran PES-PEG dan PES-PEG-R pada gelombang 1105cm^{-1} (intensitas ikatan C-O obligasi dari PEG). Hasil ini sesuai dengan evaluasi stabilitas film PEG ultrathin yang dicangkokkan oleh Sharma dkk (2004).

Tabel 1. Intensitas absorbansi membran PES-PEG dan PES-PEG-R pada 1105 cm⁻¹ (C-O dari PEG)

Larutan pembersih kimia	Intensitas absorbansi pada 1105 cm ⁻¹	
	PES-PEG	PES-PEG-R
Air	0.91	0.93
H ₂ O ₂	0.80	1.00
HCl	1.00	1.07
NaOH	0.99	1.09

Dari Tabel 1, secara umum intensitas absorbansi membran PES-PEG yang diinkubasi dalam larutan pembersih kimia lebih rendah dari intensitas absorbansi membran PES-PEG-R. Hal ini menunjukkan bahwa stabilitas PEG dalam matriks membran polimer cukup rendah. Akibatnya, karakter hidrofilik membran yang dihasilkan akan dengan mudah berkurang ketika digunakan larutan pembersih kimia (Susanto dan Ulbricht, 2009). Sedangkan penambahan inisiator redoks dalam membran PES-PEG meningkatkan stabilitas membran.

Membran PES-PEG yang diinkubasi dalam larutan H₂O₂ menunjukkan intensitas absorbansi terendah daripada yang lain. Alasan untuk fenomena ini adalah H₂O₂ adalah oksidator dan PEG bisa terurai dengan adanya oksigen (stabilitas relatif rendah). Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Liu dkk (2006). Sedangkan saat inkubasi dalam larutan HCl, membran PES-PEG dan membran PES-PEG-R menunjukkan intensitas absorbansi lebih dari satu seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Membran PES-PEG-R memiliki intensitas absorbansi yang lebih tinggi daripada membran PES-PEG. Hal ini menunjukkan bahwa HCl mungkin bereaksi dengan membran PES-PEG-R. Demikian juga larutan NaOH mungkin bereaksi dengan membran dengan menyerap eter aromatik sampai batas tertentu atau dengan menghidrolisis ikatan dalam posisi para untuk ikatan eter (Zhu dkk., 1998).

4. KESIMPULAN

Modifikasi membran UF PES dengan metode pemisahan fasa reaktif melalui polimerisasi redoks menggunakan monomer hidrofilik (PEG/PEGMA), inisiator redoks dan juga MBAA sebagai agen crosslinking menghasilkan membran UF rendah fouling dan meningkatkan stabilitas membran. Karakterisasi komprehensif - dengan pengukuran fluks, SEM dan FTIR- adalah dasar untuk lebih memahami kinerja membran hasil modifikasi. Permeabilitas air dari semua membran menunjukkan karakteristik membran UF, yang memiliki permeabilitas air di kisaran 10-50 L / h.m².bar. Penambahan PEG Dan PEGMA pada membran meningkatkan permeabilitas air. Penambahan inisiator redoks dalam larutan polimer cenderung menurunkan permeabilitas air dari membran. Fenomena serupa juga terlihat untuk penambahan MBAA dalam larutan polimer. Morfologi permukaan membran dengan SEM menunjukkan bahwa semua membran memiliki ukuran pori dalam rentang nanometer. Membran PES yang dimodifikasi dengan PEG/PEGMA memiliki ukuran pori lebih kecil membran PES. Selanjutnya, membran PES-PEG atau PES-PEGMA yang dimodifikasi dengan menambahkan inisiator redoks dan MBAA sebagai agen crosslinking menunjukkan ukuran pori lebih kecil dari membran yang tidak dimodifikasi. inisiator Redoks menghasilkan radikal bebas pada permukaan membran dan membentuk gugus fungsional baru pada permukaan membran. Analisis FTIR menunjukkan bahwa semua membran memiliki spektrum khas PES, namun tidak ada puncak tambahan pada membran PES dengan penambahan PEG / PEGMA, inisiator redoks dan juga

agen crosslinking. Alasan untuk hasil ini akan tumpang tindih ikatan aditif dengan ikatan pada gugus fungsi dari PES. Uji stabilitas membran dengan menginkubasi membran dalam air dan pembersih kimia menunjukkan penambahan inisiator redoks dalam larutan polimer dapat meningkatkan stabilitas membran. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui kinerja membran dan pengaruh adsorptif fouling pada membran.

DAFTAR PUSTAKA

- Arkhangelsky, E., Kuzmenko, D., Gitis, V. 2007. Impact of chemical cleaning on properties and functioning of polyethersulfone membranes, *J. Membr. Sci.* 305:176-185.
- Arthanareeswarana, G., Mohan, D., Raajenthiren, M. 2010. Preparation, characterization and performance studies of ultrafiltration membranes with polymeric additive. *J. Membr. Sci.* 350: 130-138.
- Belfer, S., Fainchtain, R., Purinson, Y., Kedem, O. 2000. Surface characterization by FTIR-ATR spectroscopy of polyethersulfone membranes-unmodified, modified and protein fouled. *J. Membr. Sci.* 172: 113–124.
- Chalida, K., Ladewig, B.P., Max Lu G.Q., Wang, L. 2011. [Preparation and characterization of sulfonated polyethersulfone for cation-exchange](#) membranes. *J. Membr. Sci.* 368(1-2):48-53.
- Hilal, N., Ogunbiyi, O.O., Miles, N.J, Nigmatullin, R. 2005. Methods employed for control of fouling in MF and UF membranes: A comprehensive review, *Sep. Sci. Technol.* 40 :1957-1964.
- Idris, A., Zain, N.M., Noordin, M.Y. 2007. Synthesis, characterization and performance of asymmetric polyethersulfone (PES) ultrafiltration membranes with polyethylene glycol of different molecular weights as additives. *Desalination* 207 :324-333.
- Kim, J.H., Lee, K.H. 1998. Effect of PEG additive on membrane formation by phase separation. *J. Membr. Sci.* 138:153-161.
- Liu, C., Caothien, S., Hayes, J., Caothuy, T., Otoyoy, T., Ogawa, T. 2006. *Membrane Chemical Cleaning: From Art to Science*. Pall Corporation. Port Washington. NY 11050. USA. http://www.pall.com/water_19565.asp (accessed May 30, 2013).
- Liu, Y., Koops, G.H., Strathmann, H. 2003. Characterization of morphology controlled polyethersulfone hollow fiber membrane by the addition of polyethylene glycol to the dope and bore liquid solution. *J. Membr. Sci.* 223:187-195.
- Mulder, M. 1996. *Basic Principle of Membrane Technology*. 2nd ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Peeva, P.D., Pieper, T., Ulbricht, M. 2010. Tuning the ultrafiltration properties of anti-fouling thin-layer hydrogel polyethersulfone composite membranes by suited crosslinker monomers and photo-grafting conditions. *J. Membr. Sci.* 362: 560–568
- Rouaix, S., Causeserand, C., Aimar, P. 2006. Experimental study of the effects of hypochlorite on polysulfone membrane properties. *J. Membr. Sci.* 277 :137-145.
- [Sharma, S.](#), [Johnson, R.W.](#), [Desai, T.A.](#) 2004. Evaluation of the stability of nonfouling ultrathin poly(ethylene glycol) films for silicon-based microdevices. *Langmuir.* 20(2) : 348-356.
- Su, Y.L., Cheng, W., Li, C., Jiang, Z. 2009. Preparation of antifouling ultrafiltration membranes with poly(ethylene glycol)-graft-polyacrylonitrile copolymers. *J. Membr. Sci.* 329: 246-252.

Susanto, H. 2007. Fouling Study in Ultrafiltration : Mechanism and Control via Membrane Surface Modification. Duisburg-Essen University.

Susanto, H., Balakrishnan, M., Ulbricht, M. 2007. [Via surface functionalization by photograft copolymerization to low-fouling polyethersulfone-based ultrafiltration membranes](#) J. Membr. Sci. 288(1-2): 157-167.

Susanto, H., Ulbricht, M. 2009b. Characteristics, performance and stability of polyethersulfone ultrafiltration membranes prepared by phase separation method using different macromolecular additives. J. Membr. Sci. 327 :125-134.

Wang, Y.Q., Wang, T., Su Y.L., Peng, F.B., Wu, H., Jiang Z.Y. 2006. Protein-adsorption resistance and permeation property of polyethersulfone and soybean phosphatidylcholine blend ultrafiltration membranes. J Membr. Sci. 270:108–141.

Zhu, H., Nyström, M. 1998. Cleaning results characterized by flux, streaming potential FTIR measurements. Colloids Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 138: 309–312.

EKSTRAKSI MINYAK ATSIRI DENGAN GELOMBANG MIKRO UNTUK PRODUKSI MINYAK JAHE (*GINGER OIL*) BERKADAR ZINGIBEREN TINGGI

Dwi Handayani^{1*}, Diyono Ikhsan^{2*} Mohamad Endy Yulianto^{1*}

¹Jurusan Teknik Kimia, Program Studi Diploma III, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, S.H., Tembalang, Semarang 50275.

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, S.H., Tembalang, Semarang 50275.

^{1*}Email : dwihandayanimt@gmail.com

Abstrak

Minyak jahe Indonesia masih mempunyai kadar Zingiberen yang rendah karena dengan distilasi konvensional sehingga Zingiberen mengalami dekomposisi. Maka perlu adanya kebaruan dan inovasi untuk meningkatkan rendemen dan kadar Zingiberen dalam minyak jahe. Salah satunya dengan Ekstraksi Gelombang Mikro (Microwave Assisted Extraction) atau MAE dengan keuntungan antara lain : waktu ekstraksi relatif cepat, kebutuhan pelarut minimal, yield meningkat, lebih akurat dan presisi. Riset bertujuan untuk mengetahui faktor yang berpengaruh, rendemen dan kadar Zingiberen yang dihasilkan. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Separasi Program Diploma Teknik Kimia UNDIP. Kegiatan penelitian meliputi eksperimen, analisa laboratorium dan pengolahan data. Eksperimen dilakukan dengan variabel bebas jumlah pelarut, jenis pelarut dan suhu operasi. Variabel kendali adalah massa rimpang jahe dan variabel terganggunanya adalah volume minyak yang dihasilkan. Data hasil penelitian dianalisa dengan eksperimental desain 2³ untuk menentukan variabel yang paling berpengaruh dan analisa laboratorium untuk mengetahui kadar zingiberen yang dihasilkan. Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa faktor yang berpengaruh terhadap produksi minyak jahe dengan MAE adalah jenis pelarut. Kadar Zingiberen yang dihasilkan mencapai 23,09022 %, sehingga telah memenuhi syarat ekspor yaitu > 20%. Rendemen yang dicapai sebesar 1,33% sehingga belum maksimal karena kadar minyak dalam jahe antara 1-3%. Maka perlu dilakukan penelitian lanjut untuk meningkatkan rendemen ekstraksi.

Kata kunci : ekstraksi, gelombang mikro, minyak jahe, zingiberen

1. PENDAHULUAN

Usaha industri minyak atsiri merupakan peluang yang cukup potensial, baik untuk pasar dalam negeri maupun luar negeri. Saat ini 13 jenis minyak atsiri Indonesia telah memasuki pasar minyak atsiri dunia, diantaranya adalah minyak nilam, serai wangi, cengkeh, jahe, pala, lada, kayu manis, cendana, melati, akar wangi, kenanga, kayu putih dan kemukus.

Salah satu tanaman penghasil minyak atsiri dari famili *Zingiberaceae* yang dikembangkan di Indonesia adalah jahe (*Zingiber officinale*). Beberapa propinsi penghasil jahe adalah Jawa Tengah, Jawa barat, Lampung dan Sumatera Barat (Sastromidjojo, 2005). Indonesia merupakan salah satu dari lima besar negara pengeksport jahe di dunia. Walaupun volume ekspor jahe cukup tinggi, sebagian besar ekspor jahe masih dalam bentuk bahan mentah (rimpang jahe segar) dan setengah jadi (jahe asinan dan jahe kering). Hingga saat ini ekspor jahe dalam bentuk olahan (minyak jahe, oleoresin jahe) masih kecil. Data ekspor minyak jahe hanya 0,4% dari total ekspor minyak atsiri Indonesia (Hadipoentyanti, 2005).

Minyak jahe diketahui memiliki berbagai fungsi, diantaranya digunakan dalam industri kosmetik, makanan, aroma terapi dan farmasi. Oleh karenanya minyak atsiri yang dihasilkan dari tanaman jahe mempunyai nilai cukup tinggi di pasar dunia. Permasalahan utama yang dihadapi industri minyak jahe di Indonesia adalah bahwa minyak jahe dari

Indonesia tidak dapat memenuhi persyaratan karakteristik mutu yang ditentukan pada standar Internasional (Tabel 1). Dari semua parameter mutu yang ditentukan, ternyata nilai putaran optik minyak sangat berbeda dengan standar yang berlaku, dimana besaran putaran optik yang dikehendaki bernilai negatif (-), sementara angka yang diperoleh dari ketiga contoh minyak jahe Indonesia bernilai positif (+) (Ma'mun, 2006).

Tabel 1. Karakteristik Minyak Jahe

Karakteristik	Minyak Jahe			Standar Internasional ISO 7355
	Jawa Tengah	Lampung	Eksportir	
Berat Jenis	0,8965	0,8959	0,8916	0,870-0,890
Indeks Bias	1,4890	1,4878	1,4868	1,480-1,490
Putaran Optik	+12 ^o 40'	+10 ^o 30'	+6 ^o 20'	(-20 ^o) – (-45 ^o)
Kelarutan dlm Etanol 90%	Larut 1:7	Larut 1:5	Larut 1:5	Larut 1:4
Bilangan Asam	2,40	2,82	2,16	2,00-5,00
Bilangan Ester	10,20	16,85	20,45	10-40

Sumber: Ma'mun 2006

Saat ini hasil penyulingan minyak jahe yang ada di Indonesia mempunyai komposisi zingiberen yang rendah dikarenakan dilakukan dengan proses distilasi konvensional yang memerlukan waktu 10-18 jam sehingga zingiberen mengalami degradasi thermal. Zingiberen merupakan senyawa yang bersifat thermolabile (Agarwal, 2001). Salah satu upaya untuk mendapatkan minyak jahe dengan kadar zingiber yang tinggi dilakukan dengan ekstraksi menggunakan gelombang mikro (*Microwave Assited Extraction*) atau MAE.

Pemilihan MAE didasari pada mekanisme pemanasan gelombang mikro yang unik, menyebabkan tidak ada panas yang hilang ke lingkungan. Ekstraksi menggunakan gelombang mikro ini diharapkan untuk mendapatkan minyak jahe dengan kadar Zingiberen yang memenuhi standard kualitas ekspor sehingga akan membantu UMKM industri minyak atsiri, khususnya industri minyak jahe.

Tabel 2. Standart Mutu Minyak Atsiri Jahe

No.	Spesifikasi	Persyaratan
1.	Warna	kuning muda – kuning
2.	Bobot jenis 25/25°C	0,879-0,884
3.	Indeks bias (n_D)	1,486– 1,492
4.	Putaran optik	-28°C - (-45°C)
5.	Bilangan penyabunan, maksimum	20

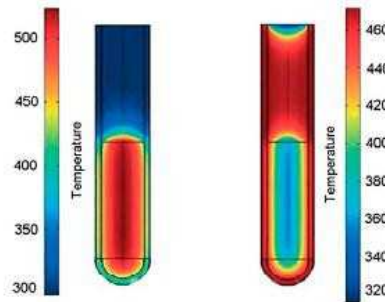
(Ebookpangan.com)

MAE merupakan teknik untuk mengekstraksi bahan-bahan terlarut di dalam bahan tanaman dengan bantuan gelombang mikro (Castro., 1999). Keuntungan proses MAE antara lain: waktu ekstraksi relatif cepat, kebutuhan pelarut minimal, yield ekstraksi meningkat, lebih akurat dan presisi (Ganzler, 1986; Castro et. al., 1999; Then, 2001; Ali et. al., 2001; Gomez dan Witte, 2001; Pan, 2002; Kerem, 2005; Deng., 2006).

Energi gelombang mikro menjadi alternatif yang menarik guna menggantikan proses pemanasan konvensional karena pada pemanasan konvensional, perpindahan panas terjadi melalui gradien panas, sedangkan pada pemanasan menggunakan gelombang mikro (microwave), pemanasan terjadi melalui interaksi langsung antara material dengan gelombang mikro. Perbedaan profil temperatur pada pemanasan konvensional dan pemanasan menggunakan gelombang mikro disajikan pada Gambar 1. Akibatnya transfer energi

berlangsung lebih cepat, dan berpotensi meningkatkan kualitas produk (Venkatesh dan Ragvahan 2004).

Hal ini terjadi, karena pemanasan menggunakan gelombang mikro berdasarkan tumbukan langsung dengan material polar atau pelarut dan diatur oleh dua fenomena yaitu konduksi ionik dan rotasi dipol yang berlangsung secara simultan.



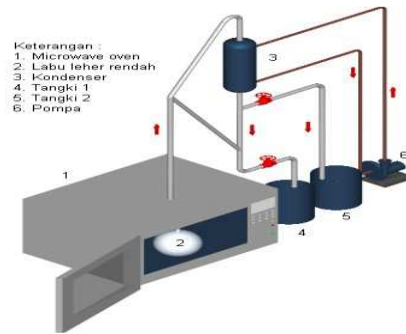
Gambar 1. Profil temperatur untuk pemanasan konvensional dan gelombang mikro
(<http://laps.colorado.edu>)

Konduksi ionik mengacu pada migrasi elektrophoretik ion dalam pengaruh perubahan medan listrik. Oleh karenanya, resistansi yang ditimbulkan larutan terhadap proses migrasi ion akan menghasilkan friksi yang dapat memanaskan larutan. Sedangkan rotasi dipol merupakan pengaturan kembali dipol-dipol molekul akibat medan listrik yang berubah dengan cepat, sehingga proses pemanasan berlangsung sangat cepat. Konsepnya bahwa radiasi gelombang mikro akan melewati bahan yang diekstrak dan molekul-molekul tersebut akan menyerap energi elektromagnetik. Proses penyerapan energi ini disebut sebagai pemanasan dielektrik (*dielectric heating*). Molekul-molekul yang bersifat elektrik dipol (*electric dipoles*), memiliki muatan negatif pada satu sisi dan muatan positif pada sisi yang lain. Akibatnya, dengan kehadiran medan elektrik yang berubah-ubah yang diinduksikan melalui gelombang mikro pada masing-masing sisi akan berputar untuk saling mensejajarkan diri satu sama lain. Pergerakan molekul ini akan menciptakan panas seiring dengan timbulnya gesekan antara molekul yang satu dengan molekul lainnya. Energi panas yang dihasilkan oleh peristiwa inilah yang berfungsi sebagai agen pemanasan bahan di dalam ekstraksi (Kingston, 1997).

2. METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan untuk penelitian adalah rimpang jahe emprit yang digiling, dengan penambahan pelarut sesuai variabel dengan volume sesuai variabelnya. Sedangkan peralatan yang digunakan terdiri dari Alat destilasi konvensional dan seperangkat alat ekstraksi minyak atsiri dengan gelombang mikro.

Ekstraktor MAE termodifikasi berupa seperangkat alat oven jenis *mikrowave* yang akan dilengkapi dengan seperangkat ekstraktor terdiri dari labu leher rendah dan kondensor. *Mikrowave* yang akan digunakan memiliki daya 800 W dengan frekuensi iradiasi sebesar 2450 Mhz. Rangkaian alat ekstraktor gelombang mikro seperti pada gambar berikut :

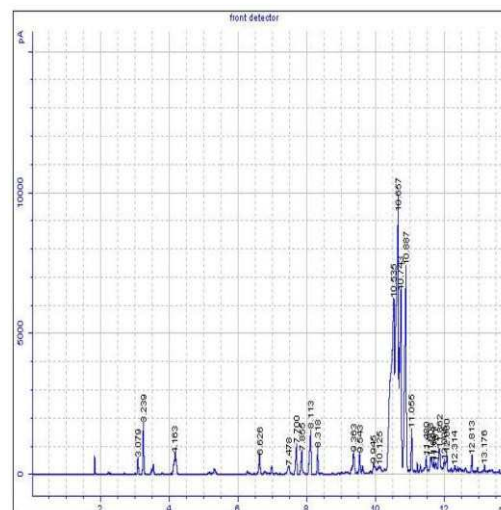


Gambar 2. Ekstraktor Gelombang Mikro

Variabel penelitian proses ekstraksi Gelombang Mikro adalah jenis pelarut (Air-Alkohol), volume pelarut(1000 – 2000 ml) dan suhu ekstraksi(80-90°C), dengan variabel kendali massa bahan : rimpang jahe (200 gr/kering). Sedangkan variabel tergantung adalah volume dan kadar Zingiberen minyak jahe yang dihasilkan. Analisa kadar zingiberene dilakukan dengan GC. Metode Pengolahan Data : Eksperimental Desain 2³

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisa Kadar Zingiberen dengan GC



Gambar 3. Grafik Analisa GC

Tabel 3. Analisa GC

Signal	Retention Time [min]	Type	Width [min]	Area [pA*s]	Area %	Name
1	3.079	VB	0.029	1081.81863	0.54733	
1	3.239	BB	0.031	3547.11333	1.79460	
1	4.163	VV	0.065	3435.38798	1.73807	
1	6.626	VV	0.044	1957.93211	0.99058	
1	7.478	VV	0.081	1542.22477	0.78026	
1	7.700	VV	0.041	2804.51950	1.41890	
1	7.855	VB	0.047	2501.58594	1.26563	
1	8.113	BV	0.045	4721.66491	2.38834	Citral
1	8.318	VV	0.031	1903.56154	0.96307	
1	9.363	VV	0.056	3109.66727	1.57328	
1	9.543	VV	0.037	1704.65061	0.86244	
1	9.945	VV	0.070	1946.98972	0.98505	
1	10.125	VV	0.071	1498.20627	0.75799	
1	10.535	VV	0.098	46794.96854	23.67510	Alpha-curcumin
1	10.657	VV	0.073	45636.94193	23.09022	Zingiberence
1	10.743	VV	0.054	24619.01118	12.45556	farnasene
1	10.887	VV	0.049	25884.36182	13.09574	
1	11.055	VV	0.034	3481.73387	1.76152	
1	11.480	VV	0.052	2407.29482	1.21793	
1	11.608	VV	0.059	2672.90929	1.35231	
1	11.694	VV	0.035	1059.31458	0.53594	
1	11.761	VV	0.051	1472.08907	0.74478	
1	11.862	VV	0.066	3894.03953	1.97012	
1	12.005	VV	0.043	1576.36505	0.79753	
1	12.080	VV	0.041	2302.33258	1.16432	
1	12.314	VV	0.057	1269.41201	0.64224	
1	12.813	VV	0.038	1725.26878	0.87237	
1	13.176	VV	0.046	1101.45212	0.55726	

Total Area = 197654.838

Hasil analisa CG menunjukkan bahwa kadar Zingiberen dalam minyak hasil ekstraksi dengan gelombang mikro mencapai 23,09022%, sehingga telah memenuhi syarat standar ekspor minyak jahe, yaitu > 20%.

Tabel 4. Produksi Minyak Jahe dengan Ekstraksi menggunakan Gelombang Mikro

No	Variabel Ekstraksi	Volume minyak yang dihasilkan (ml)
1.	Air,1000 ml, 90°C	2,10
2.	Air,2000 ml, 90°C	2,40
3.	Air,1000 ml, 80°C	2,20
4.	Air,2000 ml, 80°C	3,00
5.	Alkohol ,1000 ml, 90°C	1,20
6.	Alkohol,2000 ml, 90°C	1,00
7.	Alkohol,1000 ml, 80°C	1,40
8.	Alkohol,2000 ml, 80°C	1,20

Tabel 5. Analisa Eksperimental Desain 2³

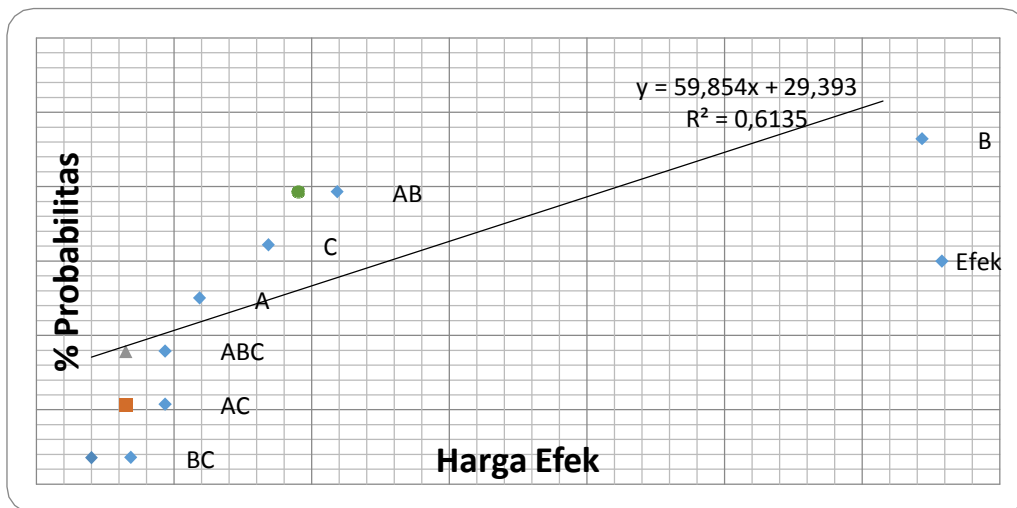
Variabel	Level Bawah (-)	Level Atas (+)
----------	-----------------	----------------

Jumlah Pelarut (A)	1 liter	2 liter
Jenis Pelarut (B)	Air	Alkohol
Suhu Operasi (C)	80 °C	90 °C

Run	KodeFaktor			Volume Minyak (ml)
	A	B	C	
1.	-	-	-	2,20
2.	+	-	-	3,00
3.	-	+	-	1,40
4.	+	+	-	1,20
5.	-	-	+	2,10
6.	+	-	+	2,40
7.	-	+	+	1,20
8.	+	+	+	1,00

Tabel 6. Perhitungan Persen Probabilitas

Notasi Efek	Nilai Efek	P =	—
BC	0,08	7,14	
AC	0,13	21,43	
ABC	0,13	35,71	
A	0,18	50,00	
C	0,28	64,29	
AB	0,38	78,57	
B	1,23	92,86	



Gambar 4. Grafik Distribusi Faktorial Desain 2^3

Dari tabel 5 dan grafik gambar 4 tersebut menunjukkan bahwa faktor yang paling berpengaruh adalah B (jenis pelarut) dengan nilai efek 1,23 dan probabilitas 92,86 %.

4. KESIMPULAN

- Kadar Zingiberen dalam minyak jahe mencapai 23,09022 %, sehingga telah memenuhi syarat ekspor minyak jahe yaitu > 20 %.
- Faktor yang berpengaruh terhadap laju produksi minyak jahe dengan Ekstraksi Gelombang Mikro adalah Jenis Pelarut.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal,N.,2001, '' Insect growth inhibition, antifeedant and antifungal activity of compounds isolated/derived from Zingiber officinale Roscoe (ginger) rhizomes'',NCBI.
- Anonim., 2005. Kumpulan Laporan Hasil Analisis Minyak Atsiri, Laboratorium Pengujian, Balai Penelitian Rempah dan Obat.
- Guenther, E., 1952. ''The essential Oils Volume 5'' D. Van Nostrand Com pany Inc. New York. 420 pp.
- Handayani D., Ikhsan D., 2012 ''Pemanfaatan Ampas Jahe limbah Industri Jamu dan Minuman Kesehatan untuk Produksi Minyak Jahe dengan distilasi vakum.
- Kerem,Z,2005, '' Microwave Assisted Extraction of Saponin '' J.Food Science.
- Ketaren, S. 1985. Pengantar Teknologi Minyak Atsiri. Balai Pustaka, Jakarta.
- Leung Albet, 1980., Encyclopedie of Common Natural Ingridients, John Wiley & Sons, New York.406 pp.
- Ma'mun, 2006. Karakteristik beberapa Minyak Atsiri Famili Zingiberaceae dalam Perdagangan. Bul.Litro. Vol.XVII No.2,p.91-98.
- Othmer K., 1980.,Chemical Technology. The Avi Publishing Company, New York. 975 pp.
- Pan,N 2003' ''Microwave Assisted Extraction of Caffein and Polyphenol of Camelia Sinensis '' Ind.Eng.Chem.
- Publick Ledger, 2006. Daily Market Price Agra Informa, Ltd. Kent Tnizeen, United Kingdom. 35 pp.

PEMANFAATAN LIMBAH PATI AREN SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN *CARBOXY METHYL CELLULOSE* MENGUNAKAN METODE ETHERIFIKASI

Herman Yoseph Sriyana*), Ronny Windu Sudrajat, dan Sri Sutanti

Program Studi Teknik Kimia Akademi Kimia Industri Santo Paulus Semarang

Jl.Sriwijaya 104 Semarang 50241Telp (024)8442979

*)Penulis korespondensi : hy_sriyana@yahoo.co.id

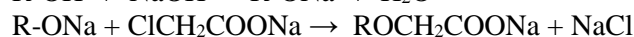
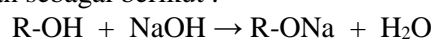
Abstrak

Carboxy Methyl Cellulose (CMC) merupakan bahan aditif yang memiliki fungsi sebagai stabilizer, thickener, adhesive, dan emulsifier, dapat diproduksi dari berbagai jenis tanaman atau limbah pertanian yang mengandung selulosa. Potensi limbah selulosa salah satunya adalah limbah pati aren. Penelitian ini bertujuan untuk pembuatan CMC melalui proses etherifikasi terhadap limbah pati aren. Tujuan yang ingin dicapai adalah mendapatkan kondisi optimum etherifikasi untuk menghasilkan CMC. Proses etherifikasi dilakukan melalui tahapan perlakuan pendahuluan, alkalisasi dan etherifikasi. Perlakuan pendahuluan dilakukan dengan mengeringkan limbah ampas aren pada suhu 100°C dilanjutkan mengecikan ukuran sebesar 100 mesh. Tahapan alkalisasi bertujuan untuk membentuk Natrium Selulosa, dilakukan dengan mereaksikan 50 gr limbah pati aren dengan 400 ml isopropil alkohol dan larutan NaOH 30% tetes demi tetes selama 3,5 jam. Natrium Selulosa yang terbentuk dilakukan etherifikasi untuk menghasilkan CMC menggunakan Natrium Kloroasetat (14, 20, 26, 32 g) dengan waktu etherifikasi (2, 4, 6, 8 jam). Setelah terbentuk CMC kemudian dilakukan netralisasi dan dikeringkan. Berdasarkan hasil penelitian, karakter CMC terbaik didapatkan dari etherifikasi menggunakan natrium kloasetat 26 g dengan waktu etherifikasi 8 jam. Perolehan CMC yang didapat adalah sebesar 32,8 g, derajat substitusi (DS) 0,83, dengan kemurnian 88,8 %.

Kata kunci : CMC, etherifikasi,, limbah pati aren

1. PENDAHULUAN

Carboxy Methyl Cellulose (CMC) merupakan zat turunan selulosa dengan kelompok karboksimetil (-CH₂-COOH) yang mengikat beberapa gugus hidroksil dari monomer glukopiranos, berwarna putih kekuningan, bersifat higroskopis (Wolfgang,1986). Pembuatan CMC meliputi tahap alkalisasi dengan mereaksikan selulosa dengan NaOH, yang dilanjutkan dengan reaksi eterifikasi antara alkaliselulosa dengan garam Natriumkloroasetat (Fennema dan Karen,1996). Reaksi yang terjadi dituliskan sebagai berikut :



Carboxy Methyl Cellulose (CMC) dapat diproduksi dari berbagai jenis tanaman atau limbah pertanian yang mengandung selulosa. Potensi limbah selulosa salah satunya adalah limbah ampas aren. Dari penelitian sebelumnya (Sriyana dan Purnavita, 2010), diketahui bahwa limbah ampas pati aren mengandung komponen-komponen sebagai berikut : selulosa (72,78%), hemiselulosa (9,25%), lignin (12,30%), gula reduksi (0,4123%), air (4,42%), dan lain-lain (0,8286%). Kandungan selulosa total (selulosa dan hemiselulosa) yang tinggi (82,03%) berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan CMC.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan alat utama yang terdiri dari reaktor berpengaduk, *magnetic stirrer*, *condenser*, motor pengaduk, *centrifuge*, pH meter, furnace, oven, viscometer, piknometer, thermometer. Bahan baku yang digunakan pada penelitian adalah limbah ampas pati aren yang berasal dari sentra industri pati aren di Dusun Margoluwih, Desa Daleman, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah. Sedangkan bahan pendukungnya adalah NaOH, Natriumkloroasetat, H₂SO₄, K₂CrO₄, AgNO₃, Penolptaline, etanol, methanol, CH₃COOH.



Gambar 1. Limbah pati aren

Variabel Penelitian

Variabel Terikat : Jumlah CMC, karakteristik CMC (DS, pH, kemurnian)

Variabel Bebas : Jumlah Natrium kloroasetat (14, 20, 26, 32 g), waktu eterifikasi (2, 4, 6, 8 jam)

Variabel Tetap : Massa ampas pati aren 50 g, suhu eterifikasi 55°C

Prosedur penelitiannya meliputi :

- 1). Perlakuan pendahuluan bahan baku (limbah ampas pati aren)

Proses perlakuan pendahuluan terhadap limbah ampas aren dilakukan dengan proses sebagai berikut : mengeringkan ampas aren pada suhu 100°C dengan menggunakan oven, lalu mengecilkan ukuran ampas aren dengan alat size reduction dan diayak dengan ayakan 100 mesh.

- 2). Proses alkalisasi

Memasukkan 50 g limbah ampas aren dalam labu leher tiga yang ditempatkan pada *waterbath* kemudian menambahkan 400 ml isoprofil alkohol dan melakukan pengadukan. Kemudian menambahkan larutan NaOH 30% tetes demi tetes, proses alkalisasi ini berlangsung selama 3,5 jam. Setelah reaksi alkalisasi selesai akan dihasilkan Natrium Selulosa.

- 3). Proses eterifikasi

Memasukkan Natrium Selulosa dalam labu leher tiga kemudian memanaskan dengan sistem *waterbath* pada suhu 55°C. Memasukkan Natrium kloroasetat sedikit demi sedikit kedalam larutan Natrium Selulosa dan mereaksikan sesuai waktu yang ditentukan. Setelah reaksi selesai akan dihasilkan CMC.

- 4). Proses Netralisasi dan Pengeringan

Setelah terbentuk CMC kemudian melakukan netralisasi dan pengeringan dengan cara menambahkan CH₃COOH sampai pH netral dan menambah methanol kemudian menyaring dengan bantuan pompa vakum. Melakukan proses pengeringan dengan membungkus CMC dalam aluminium foil kemudian mengeringkan dalam oven selama 4 jam pada suhu 60°C.

- 5). Uji kualitas CMC

Melakukan uji kualitas Produk CMC yang sudah dihasilkan meliputi Derajat Substitusi (DS), Viskositas, kemurnian).

- a). Penentuan Derajat Substitusi (DS)

Sebelum menentukan DS maka perlu mengetahui dahulu kadar air CMC. Menentukan DS dengan cara : menimbang CMC sebesar 0,7 g, kemudian membungkus dengan aluminium foil, memasukkan dalam furnace selama 5 jam pada suhu 750°C. Setelah itu memindahkan dalam oven selama 12 jam pada suhu 100°C kemudian memasukkan dalam eksikator selama 2 jam. Meletakkan sampel dalam gelas kimia dalam gelas kimia, menambahkan 35 ml H₂SO₄ 0,1 N, 250 ml akuades dan mendidihkan selama 30 menit. Mendinginkan sampel kemudian menambahkan indikator PP lalu melakukan titrasi dengan NaOH 0,1 N sambil mengaduk sampai terjadi perubahan warna menjadi muda. Mencatat volume NaOH untuk menghitung derajat substitusi.

- b). Pengukuran viskositas

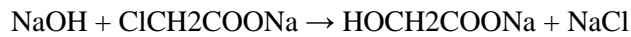
Menimbang 4,4 g berat kering CMC kemudian memasukkan dalam gelas kimia dan menambahkan aquades 100 ml. Mengocok larutan selama 30 menit dan menuangkan kedalam gelas kimia. Memasukkan dalam viskometer kemudian memutar dengan kecepatan 30 rpm selama 3 menit, selanjutnya melakukan pembacaan skala.

c). Pengukuran kemurnian CMC

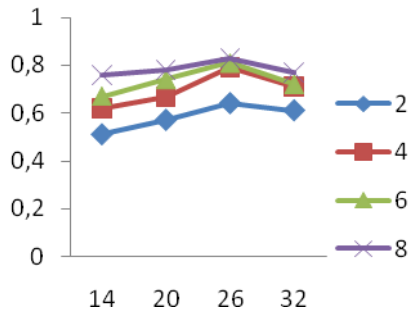
Sebelum pengukuran kemurnian CMC dilakukan dulu pengukuran kadar NaCl. Pengukuran NaCl dilakukan dengan cara menimbang 1 g berat CMC kering memasukkan kedalam Erlenmeyer dan mengencerkan dengan 200 ml aquades. Melakukan titrasi larutan ini kemudian dengan AgNO₃ 0,1 N dan indikator K₂CrO₄ 5%. Volume AgNO₃ dicatat untuk menghitung kadar NaCl. Menghitung kemurnian CMC dengan cara : 100% - % NaCl.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

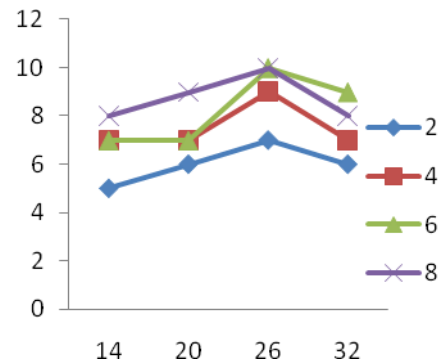
Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh derajat substitusi yang semakin besar seiring bertambahnya jumlah sodium kloroasetat dan bertambahnya waktu reaksi. Derajat substitusi terbesar diperoleh pada penambahan 26 g sodium kloroasetat dengan waktu reaksi 8 jam yakni derajat substitusi (DS) sebesar 0,83. Menurut penelitian Ott & Spurlin (1995), seharusnya penambahan sodium kloroasetat akan menaikkan derajat substitusi, Hal ini menunjukkan bahwa penambahan sodium kloroasetat telah mengembangkan selulosa secara maksimal dan melakukan substitusi terhadap natrium glikolat (R-ONa) membentuk carboxy methyl cellulose (CMC). Pada penambahan sodium kloroasetat 32 g akan terbentuk sodium glikolat (HOCH₂COONa) dan NaCl (natrium klorida) yang mengakibatkan menurunnya derajat substitusi. Reaksi tersebut sesuai dengan persamaan:



Berdasarkan pustaka FAO (2011), rentang DS untuk CMC hasil reaksi alkalisasi oleh NaOH dilanjutkan reaksi etherifikasi oleh sodium kloroasetat adalah antara 0,2 – 1,50. Apabila DS dari CMC kurang dari 0,2 maka kelarutannya sangat kecil, sedangkan apabila DS diatas 0,2 akan mudah larut dalam air.

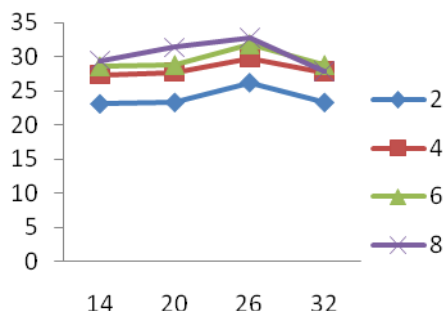


Gambar 2. Derajat substitusi CMC

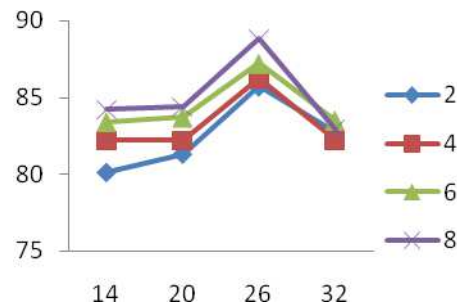


Gambar 3. Viskositas CMC

Dilihat dari Gambar 3 harga viskositasnya tertinggi dicapai pada penambahan 26 g sodium kloroasetat dengan waktu reaksi 8 jam sebesar 10 cP. Hal ini karena pada kondisi ini dihasilkan derajat substitusi (DS) terbesar sehingga CMC yang terbentuk juga paling besar. *Carboxy Methyl cellulose* (CMC) yang bersifat hidrofilik akan mengikat air sehingga air yang tadinya bebas bergerak diluar granul tidak lagi bebas bergerak dan akibatnya akan terjadi kenaikan viskositas.



Gambar 4. Berat CMC



Gambar 5. Kemurnian CMC

Dari hasil penelitian terlihat bahwa berat CMC terbaik sebanyak 32,8 g CMC dengan kemurnian 88,8%, didapat pada etherifikasi dengan penambahan 26 g sodium kloroasetat dan waktu etherifikasi 8 jam. *Carboxy Methyl cellulose* yang didapat linier dengan derajat substitusi yang dihasilkan, dimana pada perlakuan yang sama juga didapat hasil derajat substitusi terbaik. Hasil ini menunjukkan bahwa reaksi berlangsung sempurna pada perlakuan yang sama, sehingga terjadi konversi maksimal dari gugus hidroksil selulosa menjadi CMC. Menurut Adinugraha dkk (2005), kelebihan sodium kloroasetat akan membentuk *by-product* sodium glukolat yang lebih dominan dibanding reaksi pembentukan CMC, yang akan berakibat penurunan DS dan kemurnian CMC.

4. KESIMPULAN

Limbah pati aren dapat diproduksi menjadi Carboxy Methyl Cellulose (CMC) melalui reaksi etherifikasi. Karakteristik CMC terbaik didapatkan dari reaksi etherifikasi menggunakan sodium kloroasetat 26 g dengan waktu etherifikasi 8 jam. Hasil CMC yang didapat sebesar 32,8 g, derajat substitusi (DS) 0,83, dengan kemurnian 88,8 %.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adinugraha, M.P., Marseno, D.W., Haryadi., (2005), Synthesis and characterization of sodium carboxy methyl cellulose from Cavendish banana pseudo stem, *carbohydrate polymers*, 62(2), pp.164-169.
- FAO, (2011), *Copendium of food additive specifications, Food and Agriculture Organization of the United Nations 74th Meeting*, hal 115 – 119.
- Fennema, O.R., and Karen, (1996), *Principle of Food Science*, The AVI Publishing, Connecticut.
- Ott and Spurlin, (1995), *Cellulose and cellulose Derivative*, vol 5, part 2, Inter Science Publisher Inc, New York.
- Pecsok, R.L., Shields, L.D., Cairns, T., McWilliam, I. G., (1976), *Modern Method of Chemical Analysis*; Wiley and Sons, New York.
- Sriyana, H.Y., dan Purnavita, S., (2010), Pemanfaatan Limbah Ampas Pati Aren Menjadi Briket Biomassa Sebagai Upaya Mendapatkan Sumber Energi Alternatif, *Jurnal Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian*, Vol. 6, No 2, hal. 56-59.
- Wolfgang, G., (1986), *Ullmann's Encyclopedia of industrial chemistry*, vol A5, hal 477 – 479, New York.

Analisa Kerugian Kalor (*Heat Loss*) Pada Kolektor Surya Pelat Datar Dengan Tiga Dan Enam Pipa

Nugroho Gama Yoga¹, Supria Wiganda², Afriza Melatisari Hartanto³
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta
Jl. Rawamangun Muka, Jakarta Timur
E-mail: yoga_ngy@yahoo.co.id

Abstrak

*Penelitian ini bertujuan untuk mencari tau proses pembuatan kolektor surya dan menganalisa kerugian kalor (*Heat Loss*) pada kolektor surya pelat datar dengan tiga dan enam pipa. Pada penelitian ini, desain kolektor surya pelat datar menggunakan tiga dan enam pipa dengan debit aliran air yang berbeda-beda yakni 0,003 m³/s, 0,0003 m³/s, 0,007 m³/s. Kolektor surya ini memiliki dimensi yang berbeda-beda, yakni (1200 mm x 300 mm) untuk kolektor berpipa tiga dan (600 mm x 600 mm) untuk kolektor berpipa enam. Hasil yang dicapai pada penelitian ini adalah *Q Loss* rata-rata tertinggi sebesar 359.94 Watt terjadi pada 08 Juli 2014 dengan debit sangat kecil yakni 0.0003 m³/s dan *Q Loss* (*Heat Loss*) rata-rata terendah pada kolektor surya pelat datar enam pipa sebesar 199.83 Watt terjadi pada 18 Juli 2014 dengan debit sebesar 0.003 m³/s.*

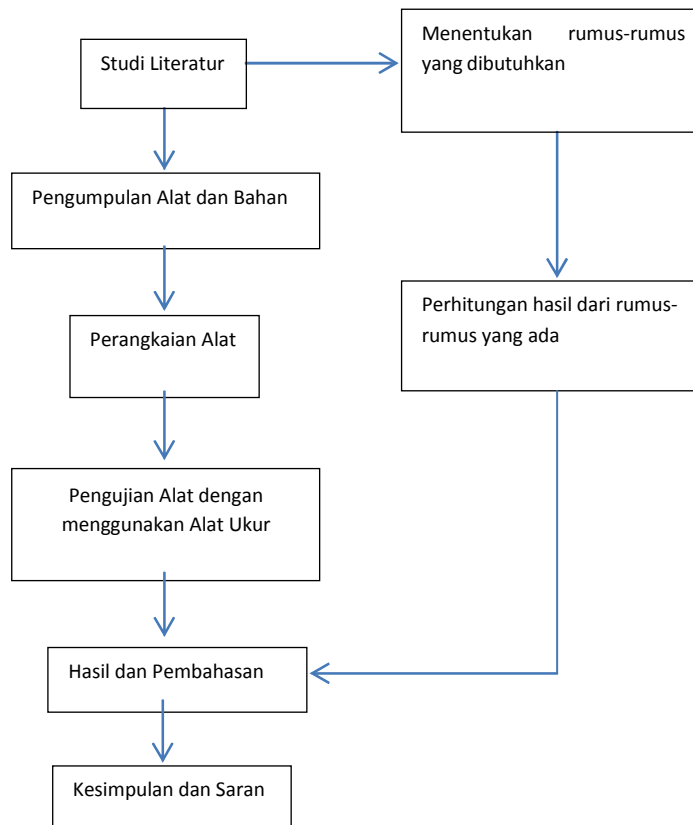
*Kata kunci : Kolektor Surya, Kerugian Kalor (*Heat Loss*), LabView.*

1. Pendahuluan

Peningkatan populasi dan kebutuhan manusia akan suatu energi, merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi penambahan pembangunan sumber energi yang berbahan bakar fosil. Ketersediaan bahan bakar fosil tersebut terbatas sehingga semakin lama semakin habis, jadi diperlukan sumber energi berbahan bakar alternatif. Oleh karena itu perlu adanya sumber energi lain yang bisa menjadi energi alternatif ketika energi lain semakin menipis persediaannya. Ada beberapa sumber daya yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif, antara lain sinar matahari, angin, panas bumi, air, dan lain-lain. Matahari merupakan sumber energi yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, antara lain untuk pemanas air, pemanas udara, dan lain-lain. Apalagi kita sadari bahwa negara Indonesia terletak pada daerah khatulistiwa yang kaya akan pancaran energi matahari, sehingga kita dapat memanfaatkan kondisi tertentu untuk berbagai keperluan tersebut. Energi ini dipilih karena ketersediaannya yang tak terbatas dan bisa dimanfaatkan dengan biaya yang tidak terlalu mahal. Sel surya atau juga sering disebut fotovoltaik adalah alat yang mampu mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi listrik. Sel surya bisa disebut sebagai pemeran utama untuk memaksimalkan potensi sangat besar energi cahaya matahari yang sampai ke bumi, walaupun sering digunakan untuk menghasilkan listrik, energi dari matahari juga bisa dimaksimalkan energi panasnya melalui sistem *solar thermal*. *Solar thermal* merupakan sistem yang digunakan untuk mengumpulkan energi panas ataupun daya matahari yang nantinya bisa dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, salah satunya untuk pemanas air. Untuk dapat memanfaatkan energi radiasi matahari untuk memanaskan air digunakan suatu perangkat untuk mengumpulkan energi radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi dan mengubahnya menjadi energi kalor yang berguna. Perangkat ini disebut dengan

kolektor surya. Berdasarkan latar belakang diatas, maka tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil analisa kerugian kalor pada kedua dimensi kolektor tersebut. 2. Metode Penelitian

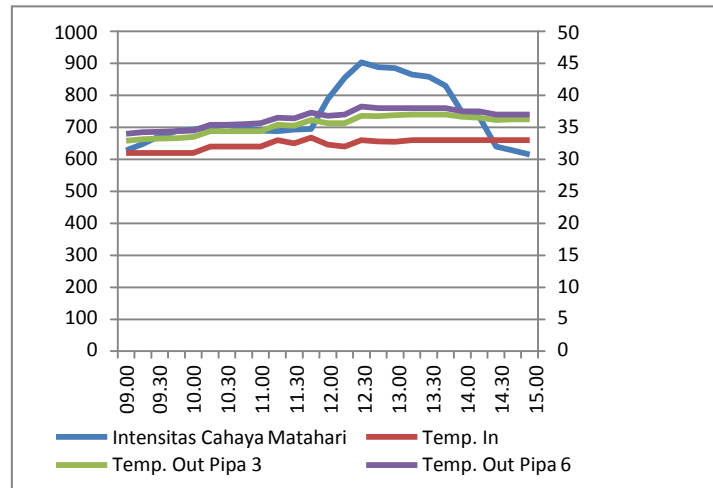
Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen. Penggunaan metode penelitian eksperimen dalam penelitian ini meliputi pengumpulan data dan literatur, pengukuran intensitas cahaya matahari, debit aliran air, pengambilan data temperatur pipa tembaga, temperatur pelat absorber, temperatur kaca, untuk dianalisa kerugian kalornya.



Gambar 2. Alur Penelitian

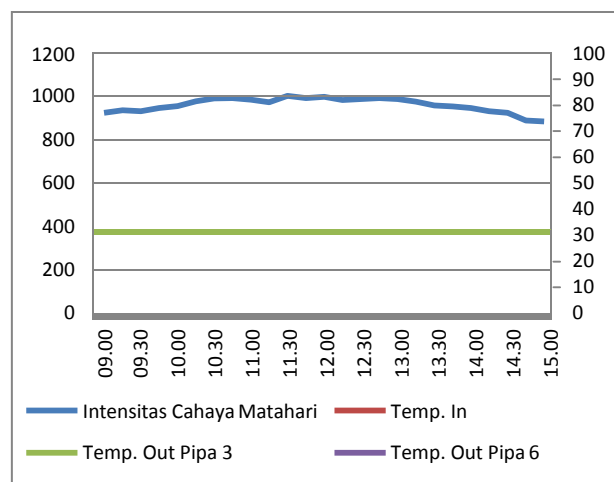
1. Hasil dan Pembahasan

Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Temperatur Akhir Air



Gambar 2. Intensitas cahaya matahari dan temperatur air pada tanggal 03 Juli 2014 dengan debit aliran air sebesar 0.007 m³/s

Pada grafik tanggal 03 Juli 2014 tersebut menunjukkan kenaikan dan penurunan intensitas cahaya matahari dan temperatur air, dimana pada kondisi ini temperatur akhir air rata-rata 35°C untuk kolektor berpipa tiga dan 36°C untuk kolektor berpipa 6 dengan intensitas rata-rata sebesar 736.8 W/m². Pada grafik tanggal 18 Juli 2014 di bawah ini menunjukkan kenaikan dan penurunan intensitas cahaya matahari dan temperatur air, dimana pada kondisi ini temperatur akhir air rata-rata 38°C untuk kolektor berpipa tiga dan 41°C untuk kolektor berpipa 6 dengan intensitas rata-rata sebesar 961.48 W/m².



Gambar 3. Intensitas cahaya matahari dan temperatur air pada tanggal 18 Juli 2014 dengan debit aliran air sebesar 0.003 m³/s

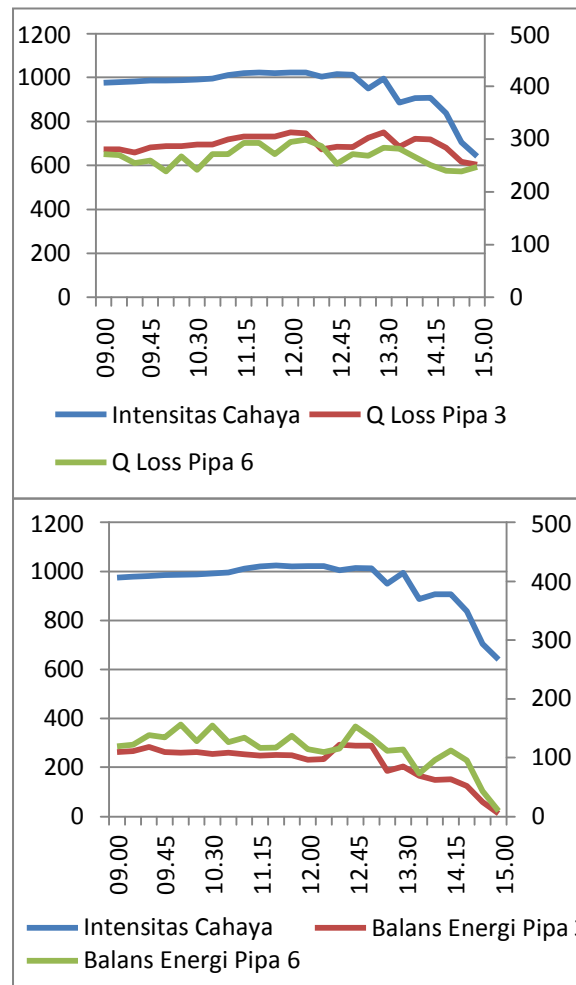
Pengaruh Debit Aliran Air Terhadap *Heat Loss*

Debit merupakan suatu kecepatan aliran fluida yang memberikan banyaknya volume fluida dalam pipa. Debit berbanding terbalik dengan heat loss. Ketika intensitas cahaya tinggi sedangkan debit kecil, maka heat loss akan semakin besar.

No	TGL	Rentang Intensitas (Watt/m ²)	Debit (m ³ /s)	Heat Loss Rata-Rata Kolektor Pipa Tiga	Heat Loss Rata-Rata Kolektor Pipa Enam
1	03	610 - 902	0.007	237.05	214.01
2	04	654 - 950	0.007	261.12	251.72
3	07	641 - 1024	0.007	290.10	267.21
4	08	643 - 1020	0.000 ₃	359.94	348.14
5	10	678 - 1023	0.000 ₃	332.67	321.65
6	14	719 - 1025	0.000 ₃	355.01	341.84
7	16	930 - 1052	0.003	227.55	217.69
8	17	835 - 1025	0.003	230.41	219.03
9	18	884 - 1002	0.003	206.76	199.83

Bertambahnya intensitas matahari dan semakin kecilnya debit air akan mengakibatkan temperatur pelat, temperatur fluida dan temperatur cover meningkat. Peningkatan temperatur akan membuat beda temperatur antara sistem dengan lingkungan naik, dan beda temperatur yang tinggi akan mengakibatkan kehilangan panas yang besar.

Grafik tanggal 07 Juli 2014 di bawah ini berbeda dari grafik-grafik sebelumnya. Intensitas cahaya matahari pada grafik ini sejak pukul 09.00 sudah menyentuh angka hampir 1000 W/m² sampai pukul 12.30, lalu pada pukul 13.00 intensitas mulai berangsur-angsur turun hingga pukul 15.00. Rata-rata Q Loss sebesar 290.10 Watt untuk kolektor berpipa tiga dan 267.21 Watt untuk kolektor berpipa enam. Besar Q Loss dan balans energi sama-sama cukup stabil.



4. Kesimpulan

Dari penelitian analisa *heat loss* pada kolektor surya pelat datar dengan tiga dan enam pipa menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Q Loss rata-rata tertinggi adalah 359.94 Watt terjadi pada 08 Juli 2014 dengan debit sangat kecil yakni $0.0003 \text{ m}^3/\text{s}$.
2. Batas waktu efisien dalam penyerapan panas adalah pukul 14:00 setelah pukul 14:00 tidak terjadi kenaikan temperatur pada tangki penyimpanan.
3. Q Loss (*Heat Loss*) rata-rata terendah pada kolektor surya pelat datar enam pipa adalah 199.83 Watt terjadi pada 18 Juli 2014 dengan debit sebesar $0.003 \text{ m}^3/\text{s}$.

5. Daftar Pustaka

Duffie, John A. dan William A. Beckam. *Solar Engineering of Thermal Processes*. New Jersey : John Wiley & Soons, 1980.

Jansen, Ted J. *Teknologi Rekayasa Surya* Terjemahan Prof. Aris Munandar. Jakarta:PT. Pradnya Paramita, 1995.

Keith, Frank. *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas* Terjemahan Arko Prijono. Jakarta : Penerbit Erlangga, 1997.

Lunde, Peter J. *Solar Thermal Engineering : Space Heating and Hot Water Systems*. New York : John Wiley & Sons, 1980.

Yoga, Nugroho Gama dkk. *Kaji Eksperimental Penggunaan Pipa Kalor Dalam Kolektor Surya Sebagai Penyerap Energi Termal Surya Untuk Penyuplai Pompa Kalor Temperatur Tinggi*. (Palembang : Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin ke-9, 2010)

<http://id.wikipedia.org/wiki/Termokopel>, diakses pada 21.00, 12 Juli 2014

ANALISA PENGARUH DEBIT ALIRAN AIR PENGAMBIL PANAS TERHADAP EFISIENSI KOLEKTOR SURYA PLAT DATAR DENGAN TIGA DAN ENAM PIPA

Nugroho Gama Yoga, Supria Wiganda, Fauzia Andriyani

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta

Jl. Rawamangun Muka, Jakarta Timur

E-mail: yoga_ngy@yahoo.co.id

Abstrak

Telah dibuat dua buah kolektor surya dengan tiga dan enam pipa yang mempunyai luas bidang penyerap sama, yaitu panjang 1200 mm dan lebar 300 mm pada kolektor surya menggunakan tiga pipa, sedangkan pada kolektor enam pipa memiliki dimensi panjang 600 mm dan lebar 600 mm. Penelitian ini bertujuan untuk mencari pengaruh aliran masa fluida dan temperatur fluida masuk T_i , terhadap efisiensi kolektor surya. Pengujian dilakukan dengan membandingkan

dua desain pipa dan tiga variasi laju aliran air, kemudian melakukan analisis dengan bantuan program komputer Labview 2011. Hasil yang diperoleh adalah efisiensi tertinggi kolektor Efisiensi tertinggi pada kolektor surya plat datar yaitu 42%. Penggunaan 6 pipa menghasilkan efisiensi lebih besar daripada penggunaan 3 pipa dengan dimensi luas kolektor surya plat datar yang sama. Hasil efisiensi termal dari kolektor surya dalam penelitian ini tergantung dari temperatur lingkungan, tingkat radiasi surya, temperatur fluida pada lubang masuk dan debit aliran fluida.

Kata kunci : kolektor surya plat datar, debit aliran fluida, efisiensi.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi terus meningkat seiring bertambah pesatnya perkembangan teknologi di semua bidang. Dengan kebutuhan energi yang bertambah banyak maka gas bumi dan bahan bakar fosil yang biasa digunakan tidak mampu mencukupi semua kebutuhan manusia. Energi fosil juga menyebabkan pemanasan global, Salah satu energi yang berkembang saat ini ialah energi solar (surya).

Energi solar merupakan salah satu energi yang dapat dimanfaatkan untuk teknologi energi surya termal dan surya fotovoltaiik. dimanfaatkan sumber energi yang ramah lingkungan dan tidak akan ada habisnya, seperti energi panas bumi, energi angin, energi solar (surya), energi bioethanol, dan energi hidro (air). Energi surya dapat dikembangkan karena negara Indonesia terletak di daerah khatulistiwa mempunyai potensi energi surya yang tinggi dengan radiasi harian rata-rata sebesar 4,5 kWh/m²/hari. Potensi ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif yang relatif murah, tidak menimbulkan polusi dan tersedia sepanjang tahun.

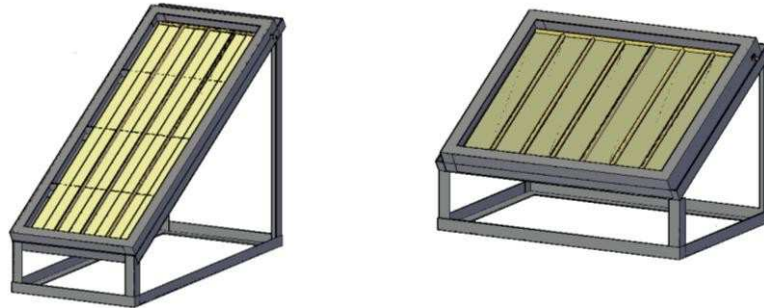
Energi surya termal dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, salah satunya untuk pemanas air. Untuk dapat memanfaatkan energi surya untuk memanaskan air digunakan suatu perangkat untuk mengumpulkan energi surya yang sampai ke permukaan bumi dan mengubahnya menjadi energi kalor yang berguna. Perangkat ini disebut dengan kolektor surya. Kemampuan kerja kolektor surya bergantung pada banyak faktor, antara lain ketersediaan intensitas radiasi matahari, temperatur udara sekitar, fluida yang digunakan, karakteristik kebutuhan energi, dan karakteristik kalor sistem kolektor surya tersebut.

Pada penelitian ini akan dikaji pengaruh laju aliran masa fluida dan temperatur fluida masuk T_i , terhadap efisiensi sesaat kolektor surya. Dengan cara membandingkan besar

kenaikan temperatur fluida yang keluar dan yang masuk ke dalam kolektor dengan intensitas cahaya matahari yang diterima kolektor.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan pada eksperimen ini meliputi pengumpulan literatur, pengukuran debit, pengukuran intensitas cahaya matahari, pengukuran temperatur air masuk, air keluar, dan temperatur lingkungan. Pengambilan data dilakukan dengan tiga debit berbeda dan dua dimensi kolektor yang berbeda untuk dianalisa pengaruh laju aliran air terhadap efisiensinya.



Gambar 1. Susunan pipa pada kolektor surya



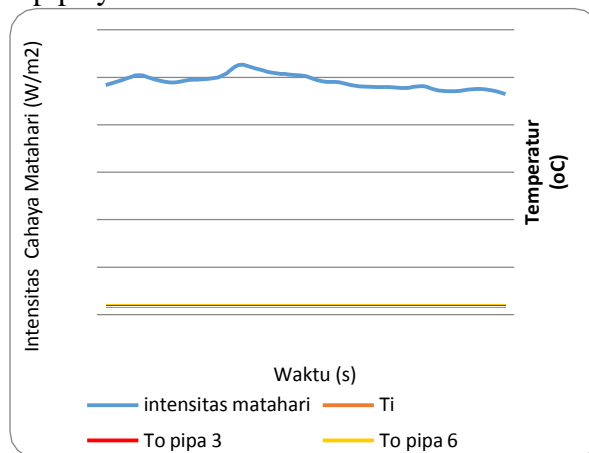
Gambar 2. Foto kolektor surya

3. HASIL

Dari hasil intensitas cahaya matahari yang didapat pada pengambilan data dapat terlihat bahwa intensitasnya dari jam 09.00 akan naik, di atas jam 10.00 mulai terjadi perubahan yang tidak merata kadang intensitas cahaya matahari naik dan kadang juga turun. Penurunan intensitas cahaya matahari disebabkan oleh awan yang terkadang menutupi matahari, sehingga intensitasnya matahari yang sampai ke bumi berubah-ubah sesuai penyinaran yang di dapat. Hasil perbandingan intensitas cahaya matahari dengan temperatur keluaran pada pengambilan data bahwa pada saat intensitas matahari tinggi suhu temperatur keluar air juga naik, ketika nilai intensitas matahari menurun, temperatur suhu keluaran tidak langsung karena panas pada kolektor masih tersimpan sehingga suhu air tidak mengalami penurunan.

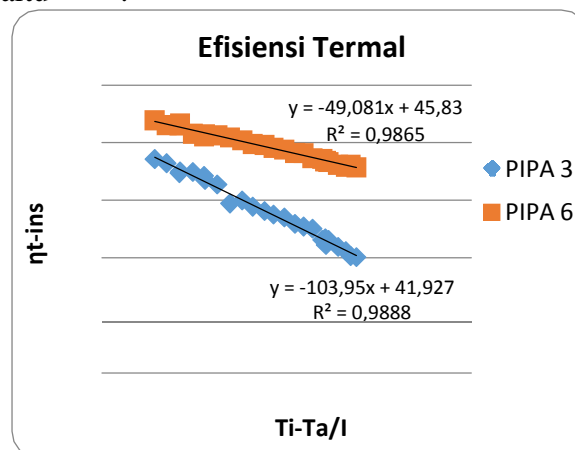
Perbandingan intensitas cahaya matahari dengan temperatur fluida pada tanggal 16 Juli 2014 pengambilan data menggunakan debit aliran $0.003\text{m}^3/\text{s}$. Pada tanggal 16 Juli 2014, nilai intensitas radiasi matahari turun naik terus karena adanya awan hitam yang kadang menutup matahari. Intensitas pada hari 16 Juli 2014 tertinggi pada jam 11.00 WIB, tetapi temperatur keluar air tertinggi ditunjukkan pada jam 13.15 WIB di saat nilai intensitas radiasi matahari lebih rendah dari jam 11.00 WIB. Pada tanggal 16 Juli 2014 dengan menggunakan debit aliran air $0,003\text{ m}^3/\text{s}$ suhu keluaran tertinggi pada kolektor surya plat datar menggunakan 3 pipa yaitu , dengan suhu awal air sebesar . Perbedaan suhu awal air dan suhu akhir air sebesar . Pada kolektor surya plat datar menggunakan 6 pipa suhu

keluaran air tertinggi yaitu pada jam yang sama yaitu jam 11.00 wib dan 11.30 wib, dengan suhu awal air sebesar . Perbedaan suhu awal air dan suhu akhir air sebesar . Rata-rata suhu masuk air , rata-rata suhu keluar air pada kolektor surya plat datar menggunakan 3 pipa dan menggunakan 6 pipa yaitu sebesar .



Gambar 3. Grafik Perbandingan intensitas cahaya matahari terhadap temperatur fluida tgl 16 Juli 2014.

Pada tanggal 16 Juli 2014 dengan menggunakan debit aliran air 0,003 m³/s. Efisiensi tertinggi pada kolektor surya plat datar menggunakan 3 pipa yaitu dan efisiensi terendah yaitu . Efisiensi tertinggi pada kolektor surya plat datar menggunakan 6 pipa yaitu , dan efisiensi terendah yaitu .



Gambar 4. Grafik efisiensi termal tanggal 16 Juli 2014

4. KESIMPULAN

Pengaruh debit aliran air pengambil panas terhadap efisiensi dari kolektor surya plat datar dengan tiga dan enam pipa menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Temperatur tertinggi suhu keluaran pada kolektor surya plat datar yaitu 45°C.
2. Efisiensi tertinggi pada kolektor surya plat datar yaitu 42%
3. Penggunaan debit aliran mempengaruhi suhu keluaran kolektor, semakin besar debit aliran maka semakin kecil suhu pada air yang keluar, dan semakin besar efisiensi yang di dapatkan.
4. Efisiensi termal dari kolektor surya dalam penelitian ini tergantung dari temperatur lingkungan, tingkat radiasi surya dan temperatur fluida pada lubang masuk.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Bachtiar, Muhammad. *Prosedur Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Perumahan (Solar Home System)*. (Palu:Jurnal SMARTek, Volume 4 No.3, 2006)
- Duffie, John A. dan William A. Beckam. *Solar Engineering of Thermal Processes*. New Jersey : John Wiley & Soons, 1980.
- Jansen, Ted J. *Teknologi Rekayasa Surya* Terjemahan Prof. Aris Munandar. Jakarta:PT. Pradnya Paramita, 1995.
- Keith, Frank. *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas* Terjemahan Arko Prijono. Jakarta : Penerbit Erlangga, 1997.
- Lunde, Peter J. *Solar Thermal Engineering : Space Heating and Hot Water Systems*. New York : John Wiley & Sons, 1980.
- Ridwan. *Seri Diktat Kuliah Mekanika Fluida Dasar*. (Jakarta : Gunadarma, 1999).
- Yoga, Nugroho Gama dkk. *Kaji Eksperimental Penggunaan Pipa Kalor Dalam Kolektor Surya Sebagai Penyerap Energi Termal Surya Untuk Penyuplai Pompa Kalor Temperatur Tinggi*. (Palembang : Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin ke-9, 2010)
- Yulius, Leonardi. *Stydi Eksperimental Pemanas Air Energi Surya Sistem Termosifon Dengan Menggunakan Kolektor Plat Datar*. (Surakarta :Skripsi Teknik Mesin UNS, 2002).
- <http://angahazhari.blogspot.com/2011/10/termokopel.html>, diakses 28 Juni 2014, jam 10.15 WIB.

**STRATEGI PENGURANGAN EMISI GAS CO₂
DENGAN RANCANG BANGUN MOTOR BAKAR
BERBAHAN BAKAR RAMAH LINGKUNGAN**

R. Suharto, ST., M.Si.

Abstrak

Bahan bakar fosil seperti batubara, minyak bumi adalah sumber penghasil emisi gas CO₂. Dengan peningkatan konsumsi kebutuhan energi fosil di Jawa Tengah khususnya dan Indonesia umumnya, maka jumlah emisi gas CO₂ juga akan meningkat ini salah satu penyebab terjadinya pemanasan bumi secara global. Teknologi yang harus dikembangkan adalah mengefisienkan terjadinya emisi gas CO₂ pada sektor transportasi yang paling banyak menghasilkan emisi gas tersebut. Untuk itu pada penelitian Strategi Pengurangan Emisi Gas CO₂ dengan merubah energi pembakaran pada motor bakar bensin menggunakan bahan bakar yang ramah lingkungan dengan melakukan modifikasi system pembakarannya. Adapun dalam penelitian ini akan digunakan beberapa bahan bakar yang mempunyai emisi gas CO₂ lebih kecil dari bahan bakar sebelumnya. Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian yaitu :Premium, gas Butane dan LPG. Hasil penelitian gas Butane mempunyai emisi CO₂ paling kecil 63,38 dan LPG 62,66 sedangkan Premium 68,56 , sehingga dalam hal ini emisi CO₂ yang dihasilkan motor bakar berbahan bakar Premium dapat dikurangi dengan bahan bakar yang ramah lingkungan dengan emisi CO₂ lebih kecil. Bila sektor transportasi dapat diatasi, maka populasi peningkatan emisi gas CO₂ di Jawa Tengah khususnya dan Indonesia umumnya dapat diminimaliskan, juga devisa bahan bakar minyak bumi dapat teratasi.

Kata Kunci : Pengurangan emisi gas CO₂, energi ramah lingkungan, modifikasi system pembakaran pada motor bakar bensin.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi fosil seperti batubara, minyak bumi dan gas bumi merupakan sumber penghasil emisi CO₂, sehingga peningkatan penggunaan energi fosil tersebut dengan sendirinya akan meningkatkan produksi emisi CO₂. Dapat dikatakan bahwa korelasi antara laju pertumbuhan pemanfaatan energi fosil dan emisi CO₂ yang dihasilkan adalah seimbang.

Secara histories berdasarkan hasil penelitian bahwa pada kurun waktu empat tahun yaitu mulai tahun 2000 sampai dengan tahun 2004, rata-rata laju pertumbuhan emisi CO₂ yang diproduksi dari pembakaran sumber energi di sector rumah tangga komersial dan pemerintah (Ruskom), industri, transportasi dan pembangkit listrik adalah sekitar 7,52 % per tahun. Penghasil emisi CO₂ tertinggi pada tahun 2004 adalah sector industri yang mencapai 32,73 % dari total emisi CO₂ kemudian disusul sector transportasi (30,78 %) dan pembangkit listrik (21,93), serta yang paling kecil adalah sector Ruskom (14,56 %) (Erwin Siregar dan Indah Nurdyastuti, 1999, Penelitian Analisis Produksi Emisi Terhadap Strategi Penyediaan Energi oleh Tim Perencanaan Energi – BPPT).

Dengan semakin meningkatnya pemakaian energi di masa mendatang, emisi CO₂ yang diproduksi juga akan meningkat. Produksi emisi CO₂ dapat dikurangi juga salah satu program mengatasi permasalahan Global Warming yang terjadi saat ini, dengan memanfaatkan teknologi yang berefisiensi tinggi dan ramah lingkungan. Tetapi biasanya dengan pemanfaatan teknologi efisien dan ramah lingkungan akan meningkatkan biaya produksi. Oleh karena itu dalam pemilihan teknologi yang efisien dan ramah lingkungan harus dibuat strategi yang didasarkan harga minimal dengan memperhitungkan nilai keekonomisan terhadap setiap jenis teknologi yang dimanfaatkan dan hendaknya teknologi tersebut mudah dioperasikan, aman, dan handal.

Beberapa teknologi yang dapat dimanfaatkan guna menunjang pengurangan emisi CO₂ antara lain gasifikasi, fuel cell, dan combined cycle serta kogenerasi. Dalam pemilihan teknologi pengurangan emisi CO₂ tersebut diperlukan adanya Strategi Pengurangan Emisi CO₂, sehingga pendekatan pengurangan emisi CO₂ sampai batas yang diinginkan dapat tercapai.

B. Permasalahan

Permasalahan yang dihadapi masyarakat Jawa tengah khususnya dan Indonesia umumnya dalam penggunaan kebutuhan energi semakin meningkat, ditinjau dari sisi kebutuhan, pengurangan emisi CO₂ dapat dibedakan atas pemanfaatan energi yang lebih efisien. Di sektor Ruskom, industri dan transportasi pemanfaatan ini dapat dilakukan dengan cara menggunakan lampu hemat energi, kulkas, air conditioner (AC) dan mesin yang mempunyai kecepatan bervariasi. Secara keseluruhan dari pemilihan pengurangan emisi CO₂ di sektor tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Mesin pendingin (kulkas) biasanya dibedakan atas dua katagori yaitu high dan low consuming refrigerator. Biasanya high consuming refrigerator mengkonsumsi 500 KWH/jam, dan low consuming refrigerator mengkonsumsi 324 KWH/jam.
- b. Mengganti lampu incandescent yang mempunyai 13 lumen per watt dengan compact fluorescent (CFL) yang mempunyai 50 lumen per watt dapat dengan magnetic ataupun electronic ballast. Umumnya electronic ballast mempunyai efisiensi yang tinggi dengan magnetic. Electronic ballast dapat langsung start-up dan cahaya yang dihasilkan terang tanpa kelap-kelip.
- c. Ada dua jenis AC yang digunakan di Indonesia yaitu jenis window dan system split. Sistem window hanya dapat mendinginkan satu ruangan dapat dibuat secara local dengan biaya yang relative rendah dengan efisiensi energi sekitar 7 – 11, sedangkan system split dapat mendinginkan beberapa ruangan dan alat ini diimpor dari jepang, sehingga harganya lebih mahal dan memiliki efisiensi energi sekitar 10 -15.
- d. Di sektor industri konsumsi listrik untuk operasi motor listrik dapat dikurangi dengan menggunakan mesin dengan kecepatan yang bervariasi. Biasanya motor listrik dioperasikan pada beban penuh, mesin yang kecepatannya bervariasi dapat mengatur kecepatan motor listrik dengan frekuensi yang bervariasi untuk mensuplai tenaga pada motor listrik. Rata-rata motor listrik yang kecepatannya bervariasi dapat mengurangi konsumsi daya listrik sekitar 11,4 %.
- e. Di sektor transportasi penambahan jumlah kendaraan bermotor sangat besar, hal ini menyebabkan kebutuhan bahan bakar minyak cair sangat besar. Terutama bahan bakar premium dimana jumlah kendaraan jenis motor bakar bensin jauh lebih banyak dari kendaraan bahan bakar diesel. Sampai saat ini belum banyak dikembangkan perubahan pemakaian bahan bakar cair menjadi bahan gas.

Untuk memecahkan masalah ini maka dibuatkan alat bantu untuk pemakaian dari bahan bakar cair menjadi bahan bakar gas . Dengan menggunakan alat bantu ini diharapkan akan meningkatkan penggunaan bahan bakar gas, sehingga membantu pemerintah dalam mengatasi kelangkaan bahan bakar cair untuk masyarakat. Dalam penelitian ini akan menggunakan Premium, Butane dan LPG.

Pilihan teknologi yang telah disebutkan tersebut, baik untuk pengurangan emisi CO₂ ditinjau dari sisi penyediaan energi maupun ditinjau dari sisi kebutuhan energi perlu diperhitungkan terhadap kelayakan tekno-ekonomi sebelum dimasukkan sebagai input Model MARKAL. Untuk itu dibutuhkan adanya data penunjang, Data biaya investasi, operasi dan perawatan berbagai peralatan yang potensial untuk dimanfaatkan dalam strategi pengurangan CO₂.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah membantu bengkel Mesin jurusan Perawatan dan Perbaikan Politeknik Negeri Semarang untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas peralatan untuk praktek mahasiswa Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang.

Secara spesifik hal – hal yang akan di teliti adalah sebagai berikut :

- Membuat alat untuk konversi bahan bakar cair ke bahan bakar gas.
- Membandingkan pemakaian bahan bakar cair dengan gas pada emisi gas CO₂ hasil proses pembakaran.
- Membandingkan efisiensi dengan penggunaan Premium, Butana dan LPG.

- Membandingkan daya yang dihasilkan oleh energi yang ramah lingkungan.
- Pengurangan emisi CO₂ dapat dilakukan melalui sisi penyediaan energi dan sisi kebutuhan energi.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini dapat dipergunakan untuk membangkitkan pola pikir mahasiswa jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang bahwa suatu peralatan masih dapat dilakukan perubahan untuk menjadi lebih sempurna.

Untuk masyarakat dapat segera melakukan perubahan pemakaian bahan bakar cair menjadi bahan bakar gas dengan melakukan perubahan pada sistem pembakaran pada kendaraan yang digunakan khususnya yang berbahan bakar bensin (premium). Dengan demikian program pemerintah untuk melakukan konservasi energi untuk kendaraan transportasi di Indonesia dapat segera terwujud, sehingga beban APBN untuk subsidi bahan bakar untuk masyarakat dapat dikurangi bahkan mungkin dapat dihilangkan.

E. Ruang Lingkup

Pengurangan emisi CO₂ pada kendaraan bermotor sebagai alat transportasi dengan penggantian pemakaian bahan bakar fosil yang mempunyai emisi CO₂ yang tinggi ke bahan bakar yang ramah lingkungan, ini salah satu pemecahan masalah untuk memanfaatkan penggunaan energi baru terbarukan.

Strategi pengurangan CO₂ didasarkan pada pilihan teknologi pengurangan emisi CO₂ yang tersedia. Kriteria yang dipertimbangkan dalam mengembangkan strategi ini adalah pemilihan teknologi yang didasarkan pada biaya investasi, biaya operasi dan perawatan serta tingkat kemampuan pengurangan emisi gas buang. Oleh karena itu dalam mengembangkan strategi pengurangan CO₂ digunakan, Premium, Butane dan LPG yang merupakan bahan bakar ramah lingkungan.

F. Kerangka Pikir / Alur Pikir

Pemakaian bahan bakar pada kendaraan bermotor yang banyak digunakan sebagai alat transportasi saat ini menggunakan bahan bakar fosil, sebagai bahan bakar yang tidak ramah lingkungan. Disamping itu kebutuhan bahan bakar fosil setiap tahunnya selalu meningkat, dengan demikian beban APBN untuk subsidi bahan bakar tersebut akan menjadi devisit pada pemerintah. Salah satu metoda yang dapat diterapkan untuk mengatasi hal tersebut dan juga masalah Global Warming akibat yang ditimbulkan oleh emisi CO₂, maka strategi pengurangan emisi CO₂ pada sistem pembakaran motor bakar bensin perlu dilakukan penggantian bahan bakar yang ramah lingkungan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Faktor emisi atau koefisien emisi adalah nilai rata-rata yang berhubungan dengan jumlah emisi dari kegiatan atau proses teknologi energi. Faktor emisi ini biasanya dinyatakan dalam satuan berat dan emisi dibagi unit energi yang dikonversi atau diproduksi misalnya kg/TJ. Dalam hal inventori emisi gas rumah kaca (GHG), factor emisi setiap jenis GHG dapat dipergunakan untuk memperoleh jumlah emisi setiap jenis GHG dari kegiatan energi. Misalnya untuk mendapatkan total emisi GHG yaitu total emisi gas CO₂ (T.E_{CO₂}), terlebih dahulu perlu ditentukan faktor emisi (E.F) dari GHG. Faktor emisi menunjukkan hubungan antara emisi yang dikeluarkan dengan input energi atau aliran output dari setiap teknologi pengguna / penghasil energi. Jadi selain dipengaruhi oleh jenis energi yang digunakan faktor emisi juga sangat dipengaruhi oleh teknologi yang diterapkan. Faktor emisi (kg/TJ) dari berbagai jenis bahan bakar dan teknologi yang digunakan ditentukan berdasarkan informasi dari IPCC Work Book untuk inventori nasional gas-gas rumah kaca 1996.

Total emisi gas CO₂ (T E_{CO₂})

$$T E_{CO_2} = 44 / 12 (\text{total konsumsi bahan bakar setiap sector} \times E.F_{CARBON} - \text{ karbon yang tertinggal} \times \text{fraksi oksidasi}) \dots\dots\dots IPCC \quad 1996$$

(1)

Faktor Emisi CO₂ (E.F_{CARBON})

Emisi gas CO₂ pada sektor energi umumnya dihasilkan dari reaksi antara karbon dengan oksigen sewaktu pembakaran energi. Besarnya emisi gas CO₂ dipengaruhi oleh jumlah kandungan karbon dalam bahan bakar dan sistem pembakaran yang digunakan. Mengingat setiap bahan bakar mempunyai kandungan karbon yang berbeda, emisi gas CO₂ yang dihasilkanpun akan berbeda pula. Dengan kandungan karbon tersebut menyebabkan emisi gas CO₂ merupakan jenis emisi yang dominan dalam GHG. Perkiraan besarnya emisi gas CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar didasarkan atas jenis energi dan besarnya kandungan karbon, dengan asumsi bahwa semua kandungan karbon dalam energi berubah menjadi gas CO₂.

Total emisi gas CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran energi merupakan hasil perkalian antara total konsumsi energi dengan factor emisi untuk setiap bahan bakar. Hasilnya dikalikan dengan faktor 44 /12 yang berasal dari berat molekul (BM) CO₂ dibagi dengan berat molekul (BM) C. Faktor ini digunakan untuk merubah berat C menjadi berat CO₂. Adapun faktor emisi berbagai jenis bahan bakar fosil sesuai Guidelines IPCC ditunjukkan pada table 1

Tabel 1. E.F_{CARBON} BERBAGAI JENIS BAHAN BAKAR

Jenis Bahan Bakar	E.F_{CARBON} (kgC/GJ)	Jenis Bahan Bakar	E.F_{CARBON} (kgC/GJ)
Crude Oil	20.0	Other Oil	20.0
Natural Gas Liquids	17.2	Anthracite	26.8
Gasoline	18.9	Cooking Coal	25.8
Jet Kerosine	19.5	Bituminous Coal	25.8
Other Kerosine	19.6	Sub-Bituminous Coal	26.2
Gas/Diesel Fuel	20.2	Lignite	27.6
Residual Fuel Oil	21.1	Peat	28.9
LPG	17.2	BKB & Patent Fuel	25.8
Ethane	15.8	Coke	29.5
Naptha	20.0	Natural Gas (dry)	15.3
Bitumen	22.0	Solid Biomass	29.9
Lubricants	20.0	Liquid Biomass	20.0
Petroleum Coke	27.5	Gas Biomass	30.6
Refinery Feedstocks	20.0		

Sumber IPCC, 1996

Tabel 1 memperlihatkan bahwa biomasa mempunyai faktor emisi CO₂ yang paling tinggi. Selain itu, biomasa yang paling banyak digunakan adalah solid biomass yang terdiri atas kayu bakar dan limbah pertanian. Nampak pula bahwa batubara merupakan bahan bakar fosil yang paling tinggi faktor emisi CO₂ diantara sumber-sumber energi fosil lainnya. Anthracite merupakan jenis batubara yang mempunyai koefisien faktor CO₂ yang tinggi diantara jenis-jenis batubara lainnya. LPG dapat dikatakan merupakan sumber bahan bakar yang mempunyai faktor emisi CO₂ cukup rendah dibandingkan dengan bahan bakar lainnya.

III. METODE PENELITIAN

Strategi Pengurangan Emisi Gas CO₂ dengan Rancang Bangun Mesin Bahan Bakar Ramah Lingkungan dilaksanakan dengan mencari data besarnya emisi gas CO₂ yang terjadi pada motor bakar bensin untuk kendaraan transportasi yang digunakan masyarakat, baik emisi gas CO₂ sebelumnya maupun emisi gas CO₂ masa datang melalui pendekatan perhitungan koefisien emisi karbon dikalikan dengan total konsumsi dan perbandingan antara berat molekulnya CO₂ dan karbon, seperti ditunjukkan pada persamaan :

$$T. E_{CO_2} = 44 / 12 (\text{total konsumsi bahan bakar setiap sector} \times E.F_{CARBON} - \text{karbon yang tertinggal} \times \text{fraksi oksidasi})$$

(2)

DATA PENGUJIAN**Fuel : Premium**

NO	Konsumsi Bahan Bakar MI	Lama Operasi menit	CO % Vol	CO₂ % Vol	HC ppm Vol	O₂ % Vol	Temperatur °c
1	200	67	6,071	3,71	722	20,90	31
2	200	65	2,524	1,79	1838	20,90	31
3	200	69	2,233	4,68	90	20,90	32
4	200	70	2,828	1,91	1561	20,90	31
5	200	65	2,233	4,68	90	20,90	59

Fuel : Butane

NO	Konsumsi Bahan Bakar gram	Lama Operasi	CO % Vol	CO 2 % Vol	HC ppm Vol	O2 % Vol	Temperatur °c
1	220	17	0,975	1,09	297	20,90	31
2	220	15	1,028	1,19	317	20,90	31
3	220	19	0,963	1,18	310	20,90	31
4	220	15	0,928	1,21	315	20,90	31
5	220	15	0,973	1,24	340	20,90	31

Fuel : LPG

NO	Konsumsi Bahan Bakar gram	Lama Operasi	CO % Vol	CO 2 % Vol	HC ppm Vol	O2 % Vol	Temperatur °c
1	200	37	1,075	1,79	332	20,90	31
2	200	35	1,248	1,79	438	20,90	31
3	200	40	1,233	1,88	380	20,90	31
4	200	40	1,328	1,91	415	20,90	31
5	200	55	1,233	1,78	390	20,90	31

PEMBAHASAN

Dalam pembahasan ini akan dihitung banyaknya emisi CO₂ yang dihasilkan pada data pengujian di atas , selanjutnya dibuat tabel pengolahan data.

T. E_{CO2} = 44 / 12 (total konsumsi bahan bakar setiap sector x E.F_{CARBON} - karbon yang tertinggal x fraksi oksidasi)

$$= 44/12 \{ (200 \times 18,9) - (3,71 \times 44,01) \} / 1000$$

$$= 13,70 \text{ Kg /GJ}$$

Untuk data yang lain dapat dilihat pada tabel pengolahan data di bawah ini :

TABEL PENGOLAHAN DATA**FUEL PREMIUM**

NO	Konsumsi Bahan Bakar ml	CO 2 % Vol	EF Carbon kg C/GJ	Fraksi Oksidasi CO 2	Total Emisi CO 2 Kg /GJ	Harga 1 liter	Biaya
1	200	3,71	18,9	44,01	13,70	6500	1300
2	200	1,79	18,9	44,01	13,78	6500	1300
3	200	4,68	18,9	44,01	13,65	6500	1300
4	200	1,91	18,9	44,01	13,78	6500	1300
5	200	4,68	18,9	44,01	13,65	6500	1300
JUMLAH					68,56		6500

TABEL PENGOLAHAN DATA**FUEL BUTANE**

NO	Konsumsi Bahan Bakar gram	CO 2 % Vol	EF Carbon kg C/GJ	Fraksi Oksidasi CO 2	Total Emisi CO 2 Kg /GJ	Harga 220 gram Rp.	Biaya
1	220	1,09	15,8	58,12	12,68	12.000	12.000
2	220	1,19	15,8	58,12	12,68	12.000	12.000
3	220	1,18	15,8	58,12	12,68	12.000	12.000
4	220	1,21	15,8	58,12	12,68	12.000	12.000
5	220	1,24	15,8	58,12	12,67	12.000	12.000

JUMLAH	63,38		60.000
--------	-------	--	--------

TABEL PENGOLAHAN DATA

FUEL LPG

NO	Konsumsi Bahan Bakar gram	CO 2 % Vol	EF Carbon kg C/GJ	Fraksi Oksidasi CO 2	Total Emisi CO 2 Kg /GJ	Harga 1kilo gram Rp.	Biaya
1	200	1,79	17,2	44,097	12,53	6000	1200
2	200	1,79	17,2	44,097	12,53	6000	1200
3	200	1,88	17,2	44,097	12,53	6000	1200
4	200	1,91	17,2	44,097	12,53	6000	1200
5	200	1,78	17,2	44,097	12,53	6000	1200
JUMLAH					62,66		6000

PEMBAHASAN

Dari hasil pengolahan data dapat dilihat total emisi CO₂ yang dihasilkan oleh motor bakar dengan bahan bakar premium sebanyak 1 liter menghasilkan Emisi CO₂ sebanyak 68,56 sedangkan dengan menggunakan bahan bakar Butane sebanyak 1,1 kg menghasilkan Emisi CO₂ sebanyak 63,38 serta dengan menggunakan bahan bakar LPG sebanyak 1 kg menghasilkan Emisi CO₂ sebanyak 62,66 Kg/GJ.

Dari sini dapat dilihat jumlah emisi CO₂ yang dihasilkan dengan jumlah konsumsi bahan bakar sama sebanyak 1 Kg, bahan bakar butane menghasilkan jumlah emisi CO₂ yang paling kecil akan tetapi biaya harga bahan bakar yang paling tinggi juga harga gas butane Rp.54.545,- /Kg sedangkan harga gas LPG Rp.6.000,-/Kg.

Jadi strategi yang memungkinkan dilakukan perubahan bahan bakar dari premium digantikan dengan gas LPG.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian motor bakar dengan menggunakan bahan bakar premium, butane dan LPG dapat diketahui jumlah emisi CO₂ yang paling kecil adalah bahan bakar gas butane, karena harga bahan bakar gas butane sangat tinggi Rp.54.545,- /Kg tidak mungkin untuk dikembangkan yang memungkinkan untuk dikembangkan ke depan oleh pemerintah adalah dengan menggunakan bahan bakar gas LPG. Berdasarkan hasil penelitian strategi pengurangan emisi CO₂, tindak lanjut oleh pemerintah mengembangkan penggantian penggunaan bahan bakar premium dengan bahan bakar gas LPG mengingat ketersediaan bahan bakar gas LPG sudah mudah didapatkan dimana tempat oleh masyarakat. Penelitian mendatang perlu dikaji kembali tentang ketahanan material motor bakar yang menggunakan bahan bakar gas LPG sehingga dalam melakukan penggantian bahan bakar masyarakat tidak dirugikan.

DAFTAR PUSTAKA

Abdul Kadir, Prof, Ir, 1995, ENERGI, penerbit Universitas Indonesia

Direktorat Konversi dan Konservasi Energi, BPP Teknologi 1999, "Ringkasan Hasil Penelitian Pengaruh Krisis Ekonomi Terhadap Penyediaan Energi Nasional Jangka Panjang"

Harsanto, Ir, 1984, MOTOR BAKAR, Penerbit Djambatan

Intergovernmental Panel on Climate Change, 1996,"Greenhouse Gas Inventory Reference Manual" Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, volume 2

Kementerian Lingkungan Hidup, 2003, Informasi Dampak Pencemaran Terhadap Kesehatan Berbasis Gender.

State Ministry For Environment Republic Of Indonesia 1998,"First Exercise on Initial National Communication Under the United Nations Framework Convention on Climate Change".

The State Ministry of Environment Republic of Indonesia, 1996, "Inventory of Greenhouse Gases Emissions and Sinks in Indonesia".US-EPA Indonesia Country Study Program.

DAMPAK PENGELOLAAN AGROFORESTRY BAGI LINGKUNGAN DI KABUPATEN BANJARNEGARA

Rini Umiyati¹, Hartuti Purnaweni², Sutarno²

Teknik Lingkungan¹, Universitas PGRI Semarang

Jl. Lontar no. 1 Semarang

Magister Ilmu Lingkungan², Universitas Diponegoro

Jl. Imam Bardjo SH., Semarang

riniruy@yahoo.com

Abstrak

Sistem pengelolaan lahan hutan yang direncanakan oleh pemerintah ditujukan untuk pemberdayaan masyarakat dengan berasaskan kelestarian hasil hutan dari aspek ekosistem, kesejahteraan masyarakat yang berkelanjutan, pengelolaan sumberdaya alam yang demokratis dan berkeadilan sosial. Agroforestry merupakan suatu sistem budidaya tanaman pertanian (tanaman semusim) dengan tanaman kehutanan (pohon-pohonan). Kegiatan Agroforestry banyak dijumpai di desa-desa yang lebih dikenal dengan nama wanatani. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pelaksanaan dan dampak pelaksanaan Agroforestry bagi lingkungan di Kabupaten Banjarnegara. Penelitian dilakukan di 2 (dua) desa di Kecamatan Sigaluh, Kabupaten Banjarnegara yaitu Desa Prigi dan Desa Panawaren. Kedua desa tersebut merupakan desa dengan luas agroforestry terbesar di Kecamatan Sigaluh sehingga diharapkan dapat mewakili desa-desa yang ada di Kecamatan Sigaluh. Jenis data yang dikumpulkan adalah data sekunder dan data primer. Teknik pengambilan sampel menggunakan metode purposive sampling, sedangkan pengumpulan data dilakukan dengan wawancara. Tingkat keberhasilan pengendalian erosi di lokasi penelitian diketahui dengan menggunakan pendekatan metode USLE (Universal Soil Loss Equation). Sehingga dapat diketahui bahwa tingkat laju erosi mencapai 8,136 ton/ha/th dan tingkat bahaya erosi mencapai 0,848 ton/ha/th yang termasuk dalam kategori rendah. Hal ini sangat sesuai untuk diterapkan di Kabupaten Banjarnegara yang memiliki topografi daerah perbukitan dengan kemiringan 15-45%. Dari segi ekonomi pelaksanaan pengelolaan Agroforestry ini menguntungkan tidak hanya bagi petani pengelola hutan rakyat maupun pengusaha industri primer pengolah kayu tetapi juga bagi masyarakat umum.. Dibutuhkan peran serta yang aktif tidak hanya dari pemerintah akan tetapi juga dari masyarakat agar tercapai pengelolaan agroforestry yang lestari dan berkelanjutan.

Kata kunci : agroforestry, erosi, ekonomi

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kabupaten Banjarnegara merupakan daerah dengan topografi berbukit-bukit dan kemiringan yang tinggi dan bervariasi. Penggunaan lahan yang semena-mena di daerah ini tanpa mengindahkan kaidah lingkungan akan berimbas pada berbagai sektor kehidupan, sebagai contoh DAS Merawu yang merupakan kawasan lindung yang berada di dataran tinggi Dieng, Kabupaten Banjarnegara. Kawasan lindung yang seharusnya berfungsi untuk melindungi kawasan-kawasan disekitarnya akan tetapi karena kegiatan produksi dan kegiatan-kegiatan manusia lainnya sehingga merusak fungsi lindungnya. Pada kenyataannya kawasan ini dieksploitasi secara besar-besaran untuk memenuhi kebutuhan masyarakat di sekitarnya dengan ditanami tanaman semusim seperti kentang dan sayur-sayuran. Tanaman kentang telah menjadi primadona masyarakat Dieng akan tetapi teknik budidaya yang digunakan tidak memperhatikan kaidah konservasi sehingga merusak lingkungan disekitarnya karena menyebabkan erosi dan merusak ekologi.

Kerusakan lingkungan di daerah hulu yang lebih cepat daripada upaya rehabilitasi menyebabkan akumulasi sedimentasi di Bendungan Mrica mencapai 97.929.382 m³. Hal ini mengganggu perputaran turbin pembangkit listrik tenaga air bendungan dimana penyumbang terbesar adalah sungai Merawu yang berhulu di dataran tinggi Dieng (Indonesia Power, 2011).

Menurut Suripin (2004), daerah pertanian merupakan lahan yang paling rentan terhadap terjadinya erosi, lahan pertanian yang terus menerus ditanami tanpa istirahat dan tanpa disertai cara

pengelolaan tanaman, tanah dan air yang baik dan tepat, khususnya di daerah-daerah basah dengan curah hujan di atas 1500 mm pertahun akan mengalami penurunan produktivitas tanah.

Agroforestry

Salah satu model pengusahaan lahan hutan sekunder dengan pemberdayaan masyarakat lokal adalah *Agroforestry* yang merupakan salah satu model pengusahaan hutan rakyat dengan memadukan komponen tanaman kehutanan dengan komponen tanaman pertanian dengan mengembangkan tanaman kayu lunak seperti Sengon (*Paraserianthes falcataria*) sebagai tanaman utama dan Salak Pondoh sebagai tanaman kedua. Pemilihan jenis tanaman seperti Sengon dan Salak Pondoh didasarkan pada nilai ekonomi yang banyak disukai dan harga yang cukup tinggi, selain itu tanaman ini cocok dengan kondisi tanah di Kabupaten Banjarnegara.

Pengelolaan hutan rakyat diharapkan dapat memberikan manfaat yang besar bagi peningkatan kualitas lingkungan maupunantisipasi terhadap permasalahan global warming. Kabupaten Banjarnegara dengan topografi berbukit-bukit dan memiliki tingkat kemiringan yang tinggi dan bervariasi merupakan daerah dengan permasalahan lingkungan yang cukup kompleks. Pengelolaan hutan rakyat dengan sistem *Agroforestry* di Kabupaten Banjarnegara diharapkan dapat menjadi contoh pengelolaan lingkungan untuk mengatasi permasalahan lingkungan menyangkut erosi yang menyebabkan peningkatan sedimentasi di Bendungan Soedirman.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

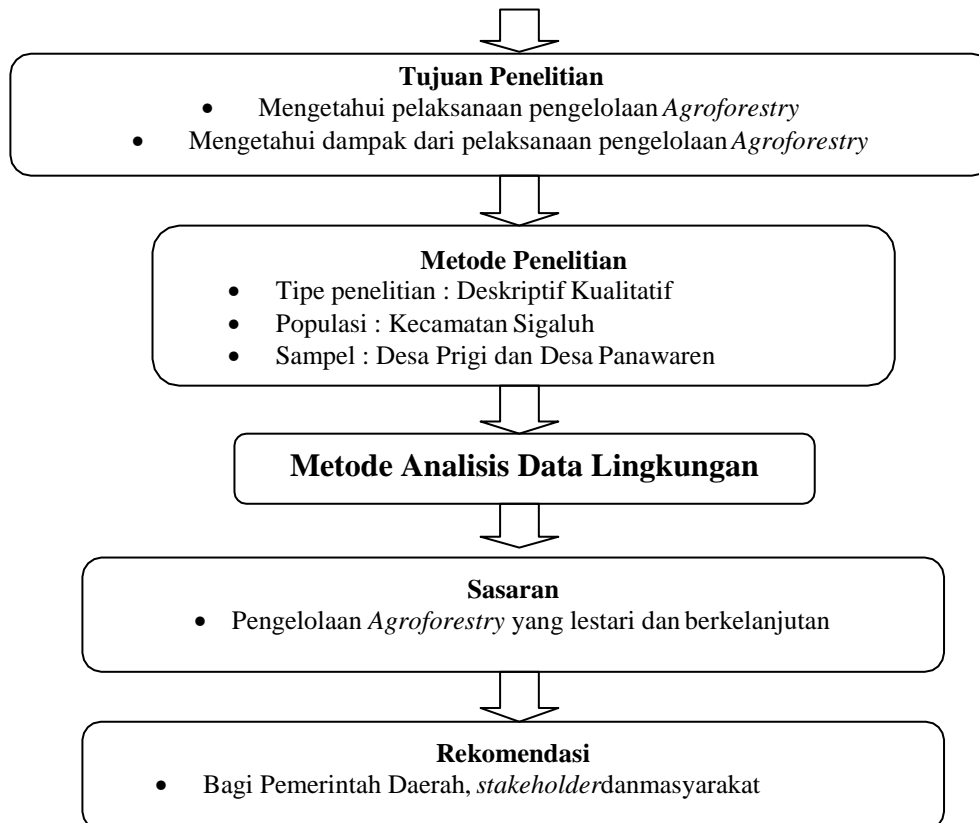
1. Mengetahui pelaksanaan *agroforestry* di Kabupaten Banjarnegara.
2. Mengetahui dampak pelaksanaan *agroforestry* khususnya bagi lingkungan di Kabupaten Banjarnegara

2. METODE PENELITIAN

Kerangka Pikir Penelitian

Latar Belakang

- Sedimentasi di Bendungan Soedirman mencapai 4.257.799m³/tahun
- Antusiasme masyarakat Kab. Banjarnegara mengelola *Agroforestry*



Gambar 1. Kerangka Pikir Penelitian

Ruang Lingkup Penelitian

- a. Dampak pengelolaan hutan rakyat terhadap peningkatan kualitas lingkungan khususnya mitigasi terhadap erosi dibatasi pada tingkat erosi di lokasi penelitian dengan menggunakan pendekatan metode USLE (*Universal Soil Loss Equation*), besarnya sedimentasi di Bendungan Soedirman, tingkat erosi di Dataran Tinggi Dieng dan Kawasan Sindoro Sumbing berdasarkan data sekunder yang sudah ada.
- b. Lokasi penelitian adalah Kecamatan Sigaluh, Kabupaten Banjarnegara. Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret – April 2012. Alasan dari pemilihan lokasi adalah Kecamatan Sigaluh merupakan kecamatan dengan kesadaran masyarakat yang cukup tinggi untuk mengubah memanfaatkan lahan kritisnya menjadi lahan hutan dengan sistem *Agroforestry*.

2.3 Metode Analisis Data

Tingkat keberhasilan pengendalian erosi di lokasi penelitian diketahui dengan menggunakan pendekatan metode USLE (*Universal Soil Loss Equation*).

Bahan yang dibutuhkan adalah peta penggunaan lahan untuk mengetahui penggunaan dan penutupan lahan, serta peta topografi untuk mengetahui kemiringan lahan dan membuat peta kelas lereng.

Untuk keperluan prediksi erosi metode USLE, dibutuhkan data indeks erosivitas hujan (**R**), faktor erodibilitas tanah (**K**), faktor panjang dan kemiringan lahan (**LS**), faktor penutupan vegetasi (**C**) dan faktor tindakan konservasi tanah (**P**).

Untuk menghitung besarnya erosi digunakan rumus USLE (Wischmeier dan Smith, 1978), sebagai berikut:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Dimana:

A = estimasi jumlah erosi (t/ha/tahun)

R = indeks erosivitas hujan

K = faktor erodibilitas tanah

L = faktor panjang lereng

S = faktor kemiringan lahan

C = faktor penutupan tanah

P = faktor pengelolaan tanah

3. HASIL DAN PEMBAHASAN**Sejarah Agroforestry**

Berdasarkan hasil wawancara dengan Penyuluh Kehutanan Kabupaten Banjarnegara diketahui tentang sejarah *Agroforestry* di Kecamatan Sigaluh adalah sebagai berikut: sebelum tahun 1998 Kecamatan Sigaluh merupakan daerah dengan *Agroforestry* yang mayoritas ditumbuhi oleh tanaman Cengkeh. Pada tahun 1998, ketika harga Cengkeh turun drastis dari Rp. 100.000/kg menjadi Rp.3.000/kg untuk Cengkeh kering dan Rp. 30.000/kg menjadi Rp. 1.000/kg untuk Cengkeh basah, masyarakat beramai-ramai mengganti tanaman Cengkeh dengan tanaman Salak Pondoh yang pada waktu itu mencapai harga sekitar Rp.8500/kg.

Pada tahun 2001 dilakukan sosialisasi pengelolaan *Agroforestry* oleh Dinas Kehutanan dengan tanaman Sengon sebagai wujud keprihatinan terhadap kondisi lingkungan yang semakin lama semakin memburuk dengan meningkatnya erosi yang terjadi. Akan tetapi usaha tersebut tidak berhasil sampai akhirnya pada tahun 2004, ketika harga Salak Pondoh menurun drastis sekitar Rp. 1000 – Rp. 1500/kg, masyarakat mulai panik dan meminta bantuan dari Dinas Kehutanan dan Perkebunan untuk mengatasi permasalahan yang terjadi. Dinas Kehutanan dan Perkebunan khususnya penyuluh kehutanan di Kecamatan Sigaluh melakukan upaya penanaman Sengon di antara tanaman Salak Pondoh dengan melakukan percobaan menggunakan 100 bibit tanaman Sengon yang sebelumnya dikembangkan terlebih dahulu selama 1 tahun. Setelah berumur 1 tahun ternyata bibit tanaman Sengon tersebut berkembang sangat pesat mencapai tinggi sekitar 3 – 4 m, kemudian baru dilakukan pencangkakan dengan harapan tanaman tersebut akan cepat tumbuh di antara tanaman Salak Pondoh yang sangat rimbun. Setelah berumur kurang lebih 1 bulan dan upaya pencangkakan berhasil, tanaman Sengon dipindahkan ke perkebunan Salak Pondoh. Ternyata upaya tersebut membuahkan

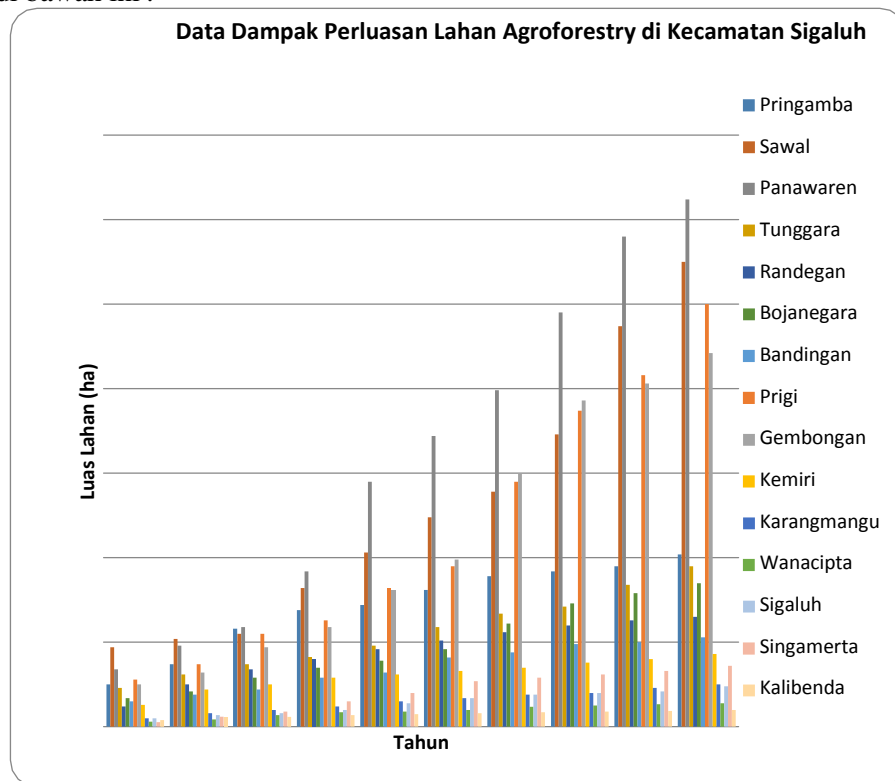
hasil yang sangat menggembirakan karena tanaman Sengon tersebut dapat tumbuh pesat diantara tanaman Salak Pondoh yang sangat rimbun dan dapat mencapai diameter sekitar 20 cm pada umur 4 tahun. Hal itu yang menyebabkan petani di Kecamatan Sigaluh mengembangkan *Agroforestry* dengan tanaman Sengon dan Salak Pondoh sampai sekarang.

Ada beberapa hal yang mendorong petani di Kecamatan Sigaluh antusias mengembangkan *Agroforestry* dengan tanaman Sengon dan Salak Pondoh, yaitu :

- Siklus panen pendek, umur 4 – 5 tahun sudah bisa dipanen.
- Bisa ditanam dengan pola tumpang sari dengan tanaman lain sehingga lebih tahan terhadap serangan hama.
- Pemasaran mudah dan harga meningkat tiap tahunnya.
- Bisa dimanfaatkan untuk dibuat mebelair selain dijual ke pabrik sebagai bahan baku pembuatan *vener* kayu lapis.
- Pertumbuhan lebih cepat karena mendapat nutrisi dari kegiatan pemupukan Salak Pondoh.

Pengelolaan *Agroforestry* di Kecamatan Sigaluh

Luas lahan *Agroforestry* di Kecamatan Sigaluh dari tahun ke tahun mengalami peningkatan yang sangat memuaskan. Adapun data dampak perluasan lahan *Agroforestry* di Kecamatan Sigaluh disajikan pada di bawah ini :



**Gambar 1. Data Dampak Perluasan Lahan *Agroforestry* di Kecamatan Sigaluh
Sumber : Dinas Kehutanan Kabupaten Banjarnegara, 2012**

3.2. Pengelolaan *Agroforestry* sebagai upaya peningkatan kualitas lingkungan

Di bawah ini adalah data mengenai laju perkembangan sedimentasi Bendungan Soedirman dan laju erosi daerah aliran sungai di sekitarnya dan perbandingan dengan laju erosi pada daerah dengan pengelolaan *Agroforestry* di Kabupaten Banjarnegara.

Tabel 1. Perkembangan Laju Sedimentasi Bendungan Soedirman dan Tingkat Erosi Daerah Aliran Sungai di sekitarnya (Indonesia Power, 2011)

No	Periode Pengukuran	Sedimen Yang	Kumulatif Sedimen	Pola Sedimentasi	Tingkat Laju Erosi Per tahun Daerah Aliran Sungai	Keterangan
----	--------------------	--------------	-------------------	------------------	---	------------

		Mengendap	Yang Mengendap	Dibawah Elektif Storage (M ³)	Diatas Elektif Storage (M ³)	Serayu (MM)	Merawu (MM)	Lumajang (MM)	
1	Des'88 s/d Okt'89	3.382.678	3.382.678	1.850.211	1.532.467	1,90	5,80	0,20	
2	Nop'89 s/d Okt'90	3.441.288	6.823.966	4.278.512	2.545.454	2,60	13,60	0,20	
3	Nop'90 s/d Okt'91	6.018.471	12.842.437	9.102.177	3.740.260	2,85	12,90	0,10	
4	Nop'91 s/d Okt'92	3.782.662	16.625.099	12.391.333	4.233.766	3,60	10,30	0,50	
5	Nop'92 s/d Okt'93	3.487.578	20.112.677	15.849.381	4.268.296	2,70	7,40	0,30	
6	Nop'93 s/d Okt'94	3.386.697	23.499.374	19.273.418	4.225.956	3,30	8,70	2,40	
7	Nop'94 s/d Okt'95	5.022.637	28.522.011	24.117.040	4.404.971	4,90	7,40	2,00	
8	Nop'95 s/d Okt'96	4.604.384	33.126.395	28.387.994	4.738.401	6,30	5,00	5,70	
9	Nop'96 s/d Okt'97	2.174.447	35.300.842	30.127.232	5.173.610	2,50	5,97	0,72	
10	Nop'97 s/d Okt'98	5.999.578	41.300.420	35.051.329	6.249.091	6,40	14,30	4,70	
11	Nop'98 s/d Okt'99	4.537.659	45.838.079	39.339.919	6.498.160	5,30	10,90	7,70	
12	Nop'99 s/d Okt'00	7.027.165	52.865.244	44.417.652	8.447.592	6,13	13,30	3,11	
13	Nop'00 s/d Okt'01	3.381.701	56.246.945	48.106.043	8.140.902	4,06	16,41	3,41	
14	Nop'01 s/d Okt'02	3.523.077	59.770.022	50.784.500	8.985.522	4,21	13,73	2,06	
15	Nop'02 s/d Okt'03	4.435.166	64.205.188	53.783.210	10.421.978	5,83	10,70	5,40	
16	Nop'03 s/d Okt'04	2.895.168	67.100.356	56.955.487	10.144.869	3,42	7,25	1,89	
17	Nop'04 s/d Okt'05	4.627.772	71.728.128	58.487.611	13.240.517	5,74	12,89	4,66	
18	Nop'05 s/d Okt'06	3.992.261	75.720.389	63.436.992	12.283.397	5,19	11,48	4,17	
19	Nop'06 s/d Okt'07	3.772.284	79.492.673	65.112.233	14.380.440	3,64	8,37	1,61	
20	Nop'07 s/d Okt'08	4.299.048	83.791.721	69.708.349	14.083.372	4,40	8,90	3,82	
21	Nop'08 s/d Okt'09	4.763.895	88.555.616	73.606.116	14.949.500	6,18	13,30	5,30	
22	Nop'09 s/d Okt'10	4.054.992	92.610.608	78.108.453	14.502.155	6,59	14,56	5,8	
23	Nop'10 s/d Okt'11	5.318.774	97.929.382	79.692.006	18.237.376	4,72	9,67	4,00	
	RATA-RATA	4.257.799	-	-	-	4,45	10,56	3,03	

Perhitungan besarnya nilai erosi untuk *Agroforestry* adalah :

$$A = 2991,011 \times 0,04 \times 6,8 \times 0,01 = 8,136 \text{ ton/ha/th}$$

Dari hasil perhitungan dugaan besarnya erosi dapat dicari Tingkat Bahaya Erosi. Nilai TBE diperoleh melalui rumus Hammer (1981) dalam Arsyad (1989) sebagai berikut:

Nilai TBE untuk *Agroforestry* dengan tingkat kedalaman tanah ± 30 cm adalah :

$$TBE = 8,136/9,6 = 0,848 \text{ ton/ha/th}$$

Dari perhitungan Tingkat Bahaya Erosi dan diklasifikasikan sesuai dengan tingkat bahaya erosi menurut Hammer (1981) dalam Arsyad (1989) adalah masuk kategori rendah. Hal ini dapat diartikan bahwa penggunaan lahan di Kecamatan Sigaluh dengan peruntukan sebagai *Agroforestry* dan lahan sawah tidak memberikan kontribusi yang besar terhadap erosi yang mengakibatkan terjadinya sedimentasi di Bendungan Soedirman.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

- 1) Pengelolaan *Agroforestry* di Kabupaten Banjarnegara khususnya Kecamatan Sigaluh dari tahun ketahun selalu mengalami peningkatan luas lahannya dan pada tahun 2011 telah mencapai 1610 ha meningkat 161 ha dibandingkan tahun 2010. Adapun faktor-faktor yang menjadi pendorong petani di dalam mengembangkan *Agroforestry* dengan tanaman Sengon dan Salak Pondoh adalah :
 - Siklus panen pendek, umur 4 – 5 tahun sudah bisa dipanen.
 - Bisa ditanam dengan pola tumpang sari dengan tanaman lain sehingga lebih tahan terhadap serangan hama.
 - Pemasaran mudah dan harga meningkat tiap tahunnya.
 - Bisa dimanfaatkan untuk dibuat mebelair selain dijual ke pabrik sebagai bahan baku pembuatan *veneer* kayu lapis.
 - Pertumbuhan lebih cepat karena mendapat nutrisi dari kegiatan pemupukan Salak Pondoh.
- 2). Dari hasil perhitungan besarnya laju erosi di Kecamatan Sigaluh diperoleh nilai sebesar 8,136 ton/ha/th untuk *Agroforestry* dan 3,254 ton/ha/th untuk lahan sawah murni, perhitungan ini

masuk dalam kategori Tingkat Bahaya Erosi Rendah yaitu 0,848 ton/ha/th untuk *Agroforestry* dan 0,339 ton/ha/th untuk lahan sawah murni. Dari segi lingkungan dapat dikatakan bahwa pemanfaatan lahan di Kecamatan Sigaluh telah memenuhi kaidah konservasi sesuai dengan kondisi geografis daerah yang ada.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S., 1989, *Konservasi Tanah dan Air*, Penerbit IPB, Bogor
- Dinas Kehutanan dan Perkebunan Kabupaten Banjarnegara, 2011, *Rencana Tahunan Rehabilitasi Hutan dan Lahan Tahun 2012*, PEMDA Banjarnegara Dinas Kehutanan dan Perkebunan, Banjarnegara.
- Indonesia Power, 2011,
- Suripin, 2004, *Pelestarian Sumberdaya Tanah dan Air*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- Syahrani, HA, 2003, *Analisis Kelayakan Finansial Pengusahaan Kebun Hutan dengan Tanaman Buah Durian (Durio Zibethis Murr) di Kabupaten Kutai Kertanegara, Propinsi Kalimantan Timur*, Universitas Mulawarman, Samarinda
- Wischmeier, W. H. And Smith, D. D., 1978, *Predicting Rainfall Erosion Losses (A Guide to Conservation Planning)*, U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook.

PENINGKATAN KADAR ETHANOL DENGAN OPTIMASI PROSES FERMENTASI, DESTILASI DAN KONDENSASI PADA MESIN DISTILATOR BIOETHANOL

Rochmad Winarso^{1*}, Bahtiar Setya Nugraha¹, Ahmat Irtandi¹, Sirojul Munir¹

¹ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muria Kudus
Gondang Manis, Bae, PO.BOX 53 Kudus.

*Email: boswin2001@gmail.com

Abstrak

Bioetanol (C_2H_5OH) merupakan salah satu biofuel yang hadir sebagai bahan bakal alternatif yang ramah lingkungan dan sifatnya yang terbarukan. Penelitian dibidang pengolahan bioethanol saat ini telah banyak dilakukan. Winarso dkk pada tahun 2013 telah melakukan penelitian tentang pengembangan alat distilator bioethanol dengan kapasitas 200 liter. Hasil pengujian pada alat yang dikembangkan tersebut menunjukkan bahwa kadar ethanol yang dihasilkan masih cukup rendah yaitu hanya berkadar 66%. Hasil tersebut tentunya masih perlu untuk dikembangkan lagi sehingga diharapkan alat tersebut mampu menghasilkan kadar yang lebih besar dari kadar yang telah dihasilkan tersebut. Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah mengetahui pengaruh optimasi proses fermentasi terhadap kadar ethanol yang dihasilkan dan mengetahui pengaruh optimasi konstruksi kolom pada proses distilasi terhadap kadar ethanol yang dihasilkan. Metode penelitian meliputi tahap persiapan dimulai dengan proses pengumpulan data tentang bahan pembuatan bioetanol dan proses pembuatannya berdasarkan referensi yang tersedia dan dilanjutkan dengan proses penentuan spesifikasi peralatan pembuat bioetanol (distilator) yang akan dimodifikasi. Tahap pelaksanaan dimulai dengan penentuan rencana modifikasi distilator yang meliputi modifikasi menara refluks, modifikasi tabung kondensor dan memperbaiki saluran air pendingin. Tahap pengujian dilakukan setelah alat distilator selesai dimodifikasi. Tahap ini diperlukan untuk mengetahui kinerja dari peralatan yang telah dibuat. Pengujian dilakukan terhadap dua material utama yaitu hasil fermentasi dari ketela pohon dengan variabel lama fermentasi dan fermentasi dari ketela pohon dengan variabel komposisi fermentor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi fermenter mempengaruhi hasil kadar etanol. Proses fermentasi dengan komposisi ragi 5 gram menghasilkan ethanol dengan kadar 71,5%, ragi 15 gram menghasilkan ethanol dengan kadar 74,5% dan ragi dengan 25 gram menghasilkan ethanol dengan kadar 77,5%. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa lama proses fermentasi mempengaruhi hasil kadar etanol. Proses fermentasi dengan waktu 3hari menghasilkan ethanol dengan kadar 77%, lama 5 hari menghasilkan ethanol dengan kadar 77,5% dan lama 7 hari menghasilkan ethanol dengan kadar 81%.

Kata kunci: Bioethanol, ketela pohon, fermentasi, distilasi.

1. PENDAHULUAN

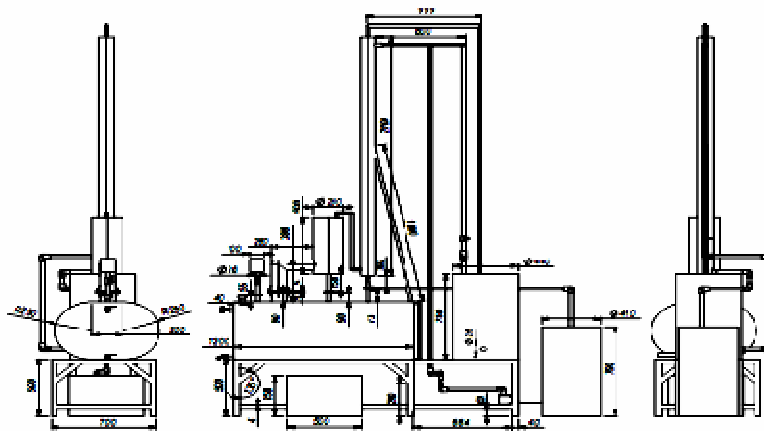
Permasalahan energi saat ini bukan lagi masalah suatu negara tetapi telah menjadi permasalahan global. Dari tahun ke tahun kebutuhan energi semakin meningkat, walaupun laju pertumbuhan penduduk mengalami penurunan, namun dengan adanya pertumbuhan PDB yang meningkat menyebabkan kebutuhan Energi di Indonesia juga meningkat. Peningkatan kebutuhan energi tersebut diperkirakan mengalami kenaikan rata rata sebesar 4,8% untuk periode tahun 2000 sampai tahun 2035. Kebutuhan energi di Jawa mengalami pertumbuhan tertinggi sekitar 5,1% dan Sumatra yang terkecil sekitar 4,5%. Mengenai pangsa kebutuhan energi, Jawa mempunyai pangsa terbesar sekitar 50% sedangkan pangsa terkecil ada pada Kalimantan, sekitar 8%. Jika dilihat menurut sektor, sektor transportasi tumbuh paling tinggi. Seiring dengan meningkatnya PDB, kebutuhan akan transportasi juga semakin tinggi (Joko Santoso, 2008).

Bioetanol (C_2H_5OH) merupakan salah satu biofuel yang hadir sebagai bahan bakal alternatif yang ramah lingkungan dan sifatnya yang terbarukan. Bioetanol dapat diproduksi dari berbagai bahan baku yang banyak terdapat di Indonesia, sehingga sangat potensial untuk

diolah dan dikembangkan karena bahan bakunya sangat dikenal masyarakat. Tumbuhan yang potensial untuk menghasilkan bioetanol antara lain tanaman yang memiliki kadar karbohidrat tinggi, seperti: tebu, nira, aren, sorgum, ubi kayu, jambu mete (limbah jambu mete), garut, batang pisang, ubi jalar, jagung, bonggol jagung, jerami dan bagas (Hambali, 2007).

Krisis energi terjadi karena adanya kebutuhan konsumsi tiap tahun yang meningkat sedangkan produksinya cenderung mengalami penurunan. Berdasarkan Kebijakan Umum Bidang Energi (KUBE) dari Departemen Pertambangan dan Energi, sifat dari minyak bumi dan gas alam yang tidak terbarukan (*non renewable*) serta cadangan di dalam bumi kita diperkirakan akan menurun, oleh karena itu pemerintah telah berusaha menggalakkan usaha-usaha penghematan energi dan pengembangan sumber energi alternatif. (<http://web.ipb.ac.id>) Penelitian dibidang pengolahan bioethanol saat ini telah banyak dilakukan. Winarso dkk pada tahun 2013 telah melakukan penelitian tentang pengembangan alat distilator bioethanol dengan kapasitas 200 liter.

Hasil lengkap proses pengembangan alat distilator sebagaimana Gambar 1.



Gambar 1. Hasil pengembangan alat distilator bioethanol

Spesifikasi Mesin Destilator Bioethanol

Rangka mesin

Rangka utama : Baja profil L dengan ukuran 40 x 40 x 4 mm.

Rangka pendukung : Baja plat dengan ukuran 40 x 4 mm.

Tanki Destilator

- Plat Stainless Steel A 304 tebal 2 mm
- Pipa Stainless Steel A 304 Ø 500 mm
- Stainless steel profil 50 mm x 30 mm

Menara pendingin

- Pipa Stainless Steel A 304 Ø ½"
- Pipa Stainless Steel A 304 Ø 4"
- Plat Stainless Steel A 304 tebal 2 mm

Tanki Kondensor

- Pipa galvanis Ø ¾"
- Drum galvanis Ø 440 mm dengan tinggi 750 mm

Hopper

- Pipa tembaga Ø ¾"
- Pipa Stainless Steel A 304 Ø 4"
- Plat Stainless Steel A 304 tebal 2 mm

Berdasarkan hasil pengujian pada alat yang dikembangkan tersebut menunjukkan bahwa kadar ethanol yang dihasilkan masih cukup rendah yaitu hanya berkadar 66%. Hasil

tersebut tentunya masih perlu untuk dikembangkan lagi sehingga diharapkan alat tersebut mampu menghasilkan kadar yang lebih besar dari kadar yang telah dihasilkan tersebut.

Berdasarkan analisa permasalahan yang telah dilakukan didapatkan suatu kesimpulan bahwa penyebab rendahnya kadar ethanol yang dihasilkan dari mesin tersebut adalah proses fermentasi, destilasi dan kondensasi yang kurang sempurna. Proses fermentasi yang dilakukan hanya menggunakan satu jenis fermentor saja yaitu enzim *alfa amylase*. Hal tersebut berakibat pada proses sakarifikasi tidak dapat berjalan dengan maksimal sehingga kadar ethanol yang dihasilkan rendah. Proses destilasi juga berpengaruh terhadap kadar ethanol yang dihasilkan dari mesin tersebut. Proses destilasi yang kurang sempurna dapat menyebabkan rendahnya kadar ethanol. Mesin yang telah dikembangkan belum dapat melakukan proses destilasi dengan baik yang diakibatkan oleh sistem saluran uap dalam tabung destilasi tidak bekerja maksimal. Proses kondensasi pada mesin tersebut belum berjalan maksimal sehingga sebagian uap masih terbuang dari kondensor. Hal tersebut terjadi karena panjang lilitan dalam kondensor terlalu pendek sehingga tidak mampu bekerja dengan baik. Ketiga permasalahan tersebut diperlukan perbaikan sehingga kinerja dari mesin dapat lebih optimal lagi.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan tahapan sebagai berikut:

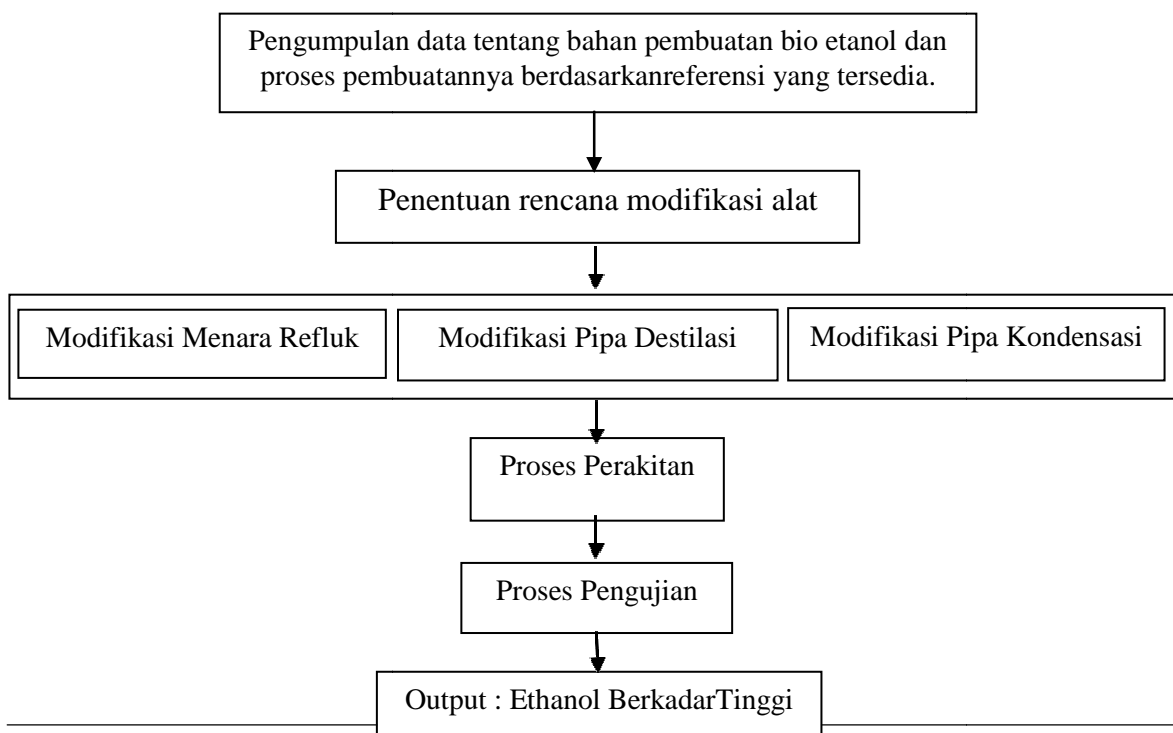
Tahap Persiapan yang dimulai dengan proses pengumpulan data tentang bahan pembuatan bioetanol dan proses pembuatannya berdasarkan referensi yang tersedia. Setelah data terkumpul dilanjutkan dengan proses penentuan spesifikasi peralatan pembuat bioetanol (distilator) yang akan dimodifikasi. Tahap pelaksanaan dimulai dengan penentuan rencana modifikasi distilator yang meliputi modifikasi menara refluk, modifikasi tabung kondensor dan memperbaiki saluran air pendingin. Modifikasi menara refluk dengan mengubah sistem saluran uap dan saluran air pada pipa refluk, menentukan dimensi pipa refluk yang digunakan dan menentukan jumlah uliran pipa refluk. Modifikasi tabung kondensor dilakukan dengan mengganti material pipa kondensor dengan material dari pipa tembaga ukuran $\frac{1}{2}$ ' dengan panjang 6 meter. Perbaikan saluran pendingin dilakukan dengan merubah saluran air secara kontinyu dan searah serta melengkapi pompa air dengan sistem otomatis. Hasil proses modifikasi sebagaimana Gambar 2.



Gambar 2. Mesin Destilator yang telah dimodifikasi

Tahap pengujian dilakukan setelah alat distilator selesai dimodifikasi. Tahap ini diperlukan untuk mengetahui kinerja dari peralatan yang telah dibuat. Pengujian dilakukan terhadap dua material utama yaitu hasil fermentasi dari ketela pohon dengan variabel lama fermentasi dari ketela pohon yaitu 3 hari, 5 hari dan 7 hari, dan dengan variabel komposisi fermentor (ragi) yaitu 5 gram, 15 gram dan 25 gram. Tahapan penelitian sebagaimana Gambar 2.

Pengujian mesin dilakukan dengan tahapan sebagai berikut: mengupas kulit ketela pohon dengan pisau kemudian diparut. Ketela pohon yang sudah diparut selanjutnya ditambahkan air bersih sebanyak 15 liter (1,5 x berat bahan baku) dan diaduk hingga merata. Selanjutnya masukan bahan baku kedalam drum untuk dimasak menggunakan kompor gas atau dengan menggunakan kayu bakar. Hasil singkong yang sudah diparut dimasak sambil diaduk terus menerus selama 1 jam dengan menggunakan kayu pengaduk. Pengadukan dilakukan hingga adonan mengental seperti jelly dan mulai terasa berat ketika diaduk (proses gelatinasi). pemeriksaan suhu adonan bubur ketela pohon menggunakan thermometer celup. Apabila suhu sudah mencapai $80^{\circ} - 95^{\circ}\text{C}$ masukan 10 ml enzim *alfa amylase* sambil terus diaduk sampai adonan berubah menjadi lebih cair seperti sup dan terasa ringan ketika diaduk hingga mencapai suhu $90^{\circ} - 95^{\circ}\text{C}$ selama 1 jam dengan cara mengatur besar api kompor atau kayu bakar. Dinginkan adonan hingga mencapai suhu 60°C dan masukan enzim *gluco amylase* 10 ml sambil adonan diaduk hingga merata selama 1 jam dan kemudian didinginkan. Kemudian pindahkan cairan tersebut kedalam wadah dari drum plastik dan masukan 20 gram pupuk urea dan 5 gram pupuk NPK dan kemudian masukan Ragi (*yeast*) dengan takaran yang berbeda (5 gram, 15 gram dan 25 gram). Untuk percobaan kedua dengan langkah yang sama tapi dengan waktu/lama fermentasi yang berbeda yaitu terdiri dari 3 hari, 5 hari dan 7 hari. Tutup rapat drum plastik dan diamankan selama waktu yang direncanakan tersebut. Selama proses fermentasi secara anaerob akan menghasilkan cairan Etanol dan CO_2 . Cairan hasil fermentasi kemudian didestilasi dengan menggunakan mesin destilator untuk menghasilkan etanol. Hasil etanol diukur dengan menggunakan alkohol meter untuk mengetahui kadar etanol yang dihasilkan.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian mesin yang telah dilakukan proses modifikasi dengan variasi kandungan fermentor sebagaimana Tabel 1. Sedangkan Hasil pengujian mesin yang telah dilakukan proses modifikasi dengan variasi kandungan fermentor sebagaimana Tabel 2.

Tabel 1. Rata-rata kadar ethanol dengan variasi lama fermentasi.

Lama Fermentasi (hari)	Kadar Ethanol (%)
3	77%
5	77,5%
7	81%

Tabel 2. Rata-rata kadar ethanol dengan variasi lama fermentasi.

Massa ragi (gram)	Kadar Ethanol (%)
5	73
15	75
25	80

Dalam Tabel 1 menunjukkan bahwa kadar ethanol tertinggi diperoleh pada lama fermentasi 7 hari dan menurun pada lama fermentasi 3 dan 5 hari. Kadar ethanol tertinggi yang diperoleh adalah 81% sedangkan kadar terendah yang diperoleh adalah 77%. Lama fermentasi berpengaruh terhadap jumlah mikroba, sehingga dengan waktu 7 hari, pertumbuhan mikroba berjalan maksimal. Semakin lama fermentasi berlangsung jumlah mikroba juga akan semakin banyak sehingga ethanol yang dihasilkan juga semakin banyak. Proses ini akan terhenti jika kadar ethanol sudah meningkat sampai tidak dapat ditolerir lagi oleh mikroba.

Dari Tabel 2 di atas menunjukan bahwa penambahan ragi dapat berpengaruh terhadap kandungan kadar etanol, dari penambahan ragi yang paling baik adalah penambahan dengan presentase massa 25 gram untuk ketela pohon 10 kg dengan menghasilkan kandungan kadar etanol 80%. Penambahan presentase 25 gram memperoleh kandungan kadar etanol yang optimum dibanding dengan massa ragi yang lain yaitu 5 gram dan 15 gram.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa telah dilakukan proses modifikasi pada alat distilator bioethanol yang meliputi:

- 1) Perbaikan pada proses fermentasi dengan menggunakan dua enzim yaitu *enzym alfa amylase* dan *enzym gluco amylase* sehingga proses sakarifikasi dapat berjalan optimal.
- 2) Modifikasi sistem saluran uap dengan membalik aliran uap dan aliran air sehingga fungsi destilasi dapat berjalan lebih efektif.
- 3) Modifikasi sistem kondensasi dengan mengganti lilitan kondensor yang semula dari bahan pipa galvanis dengan panjang 1,5 meter dengan pipa tembaga dengan panjang 3 meter sehingga proses kondensasi dapat berjalan lebih efektif.

Dasil uji coba pada hasil proses distilasi fermentasi ketela pohon dengan variasi lama fermentasi dan variasi massa fermentor (ragi) menunjukkan bahwa lama fermentasi 7 hari dan kandungan massa ragi sebanyak 25 gram menunjukkan hasil yang terbaik pada penelitian ini.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Anonimus. <http://web.ipb.ac.id>. Diakses 20 Mei 2014, Jam 10.00.
- Santosa, J., Yudiartono, (2008), *Analisis Prakiraan Kebutuhan Energi Nasional Jangka Panjang di Indonesia, Strategi Penyediaan Listrik Nasional Dalam Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batubara Skala Kecil, PLTN, Dan Energi Terbarukan*.
- Hambali, Eliza, dkk, 2007, *Teknologi Bioenergi, Jakarta, ArgoMedia Pustaka Putra, P, Y, D, 2010, Analisa perbandingan unjuk kerja motor berbahan bakar premium dan campuran premium bioethanol (BE30, BE50, BE70, BE90)*, Fakultas Teknik, Universitas Panca Sakti, Tegal.
- Winarso R, dkk, 2014, *Pengembangan Alat Destilator Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Alternatif*, Prosiding Seminar Nasional Unwahas.

PEMBUATAN BIOFILM POLI ASAM LAKTAT/POLI VINIL ALKOHOL MENGGUNAKAN METODE *SOLUTION CASTING*

Sari Purnavita^{1*}, Herman Yoseph Sriyana¹, dan Sri Hartini²

1. Program Studi Teknik Kimia, Akademi Kimia Industri Santo Paulus Semarang
Jl. Sriwijaya no 104 Semarang
2. Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana
Jl. Diponegoro no 52-60 Salatiga

*) Email: saripurnavita@yahoo.com

Abstrak

Pembuatan biofilm poli asam laktat dengan penambahan poli vinil alkohol dilakukan dengan metode solution casting menggunakan pelarut kloroform. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh komposisi Poli Asam Laktat (PLA) dan Poli Vinil Alkohol (PVA) sebesar 1,2; 1,6 dan 2 dan pengaruh ketebalan biofilm (50, 100, 150, 200, dan 250 mikron) terhadap analisis termal (suhu transisi gelas) serta pengaruh ketebalan terhadap morfologi film yang dianalisis dengan metode Scanning Electron Microscopy (SEM). Komposisi PLA/PVA dengan perbandingan 1,2 dan ketebalan 250 mikron memberikan nilai suhu transisi gelas (T_g) tertinggi, yaitu 51°C. Ketebalan biofilm 250 mikron menghasilkan morfologi biofilm yang paling baik.

Kunci : biofilm, poli asam laktat, poli vinil alkohol

1. PENDAHULUAN

Pengembangan plastik kemasan di Indonesia mulai diarahkan pada produk yang biodegradabel seperti biofilm yang terbuat dari bahan alami. Hal ini dikarenakan ketersediaan sumber daya alam di Indonesia sangat melimpah. Berbagai hasil pertanian maupun limbah pertanian sangat potensial apabila dikembangkan menjadi biopolimer seperti poli asam laktat (PLA). Bahan baku yang dapat digunakan dalam pembuatan PLA adalah semua bahan yang mengandung pati atau selulosa seperti limbah ampas pati aren. Pati atau selulosa diproses menjadi glukosa melalui proses hidrolisis dan selanjutnya glukosa akan difermentasi oleh mikroorganisme seperti bakteri *Lactobacillus* menjadi asam laktat (Purnavita dkk, 2014). Selanjutnya, asam laktat digunakan sebagai monomer yang dipolimerisasi menjadi PLA dengan bantuan katalis Timah (II) Oktoat (Purnama dkk, 2012). Poli asam laktat adalah biopolimer yang dapat digunakan untuk memproduksi biofilm.

Biofilm PLA memiliki sifat biokompatibel dan biodegradabel sehingga sangat cocok untuk aplikasi plastik kemasan pangan dan alat kesehatan. Menurut Ibrahim dkk (2006), PLA homopolimer tidak bisa dibentuk film tanpa penambahan filler. Menurut Khurma dkk, sifat PLA dapat ditingkatkan melalui kopolimerisasi atau pencampuran dengan polimer lain (blend polimer). Menurut Rodica dkk (2008), poli vinil alkohol (PVA) merupakan polimer sintetik yang memiliki sifat termoplastik, fleksibel, biodegradabel dan biokompatibel. Pencampuran PVA dan PLA akan meningkatkan potensi untuk mudah dibentuk menjadi biofilm. Biofilm untuk aplikasi kemasan harus mempunyai ketahanan terhadap panas. PVA merupakan polimer hidrofilik, sedangkan PLA merupakan polimer hidrofobik. Senyawa hidrofilik biasanya mempunyai ketahanan panas yang lebih tinggi karena memiliki T_g yang tinggi (Paramawati, 2001). Penambahan PVA pada pembuatan biofilm PLA diharapkan akan meningkatkan kemampuan pembentukan film dan meningkatkan T_g . Selain karakteristik termal juga diperlukan struktur morfologi yang kompak dan rata. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk

mengetahui pengaruh komposisi PLA/PVA dan ketebalan biofilm terhadap karakteristik termal dan pengaruh ketebalan biofilm terhadap struktur morfologi. Menurut Grigale dkk (2010), apabila PLA dicampurkan pada polimer lain seperti PS, PVC, PVA akan mempengaruhi penurunan suhu transisi gelas.

2. METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan – bahan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya : poli asan laktat hasil polimerisasi asam laktat dari limbah ampas pati aren yang memiliki BM 3944 berdasarkan analisis dengan metode *Gel Permatation Chromatography (GPC)*, poli vinil alkohol, kloroform, dan gliserol.

Metode Penelitian

Biofilm PLA dibuat dengan metode *solution casting*. Tahap awal dilakukan pelarutan PLA dengan kloroform pada suhu kamar dan pelarutan PVA dengan air pada suhu 90°C. Tahap selanjutnya dilakukan pencampuran kedua larutan tersebut sesuai komposisi yang telah ditentukan (1,2; 1,6; 2) dan ditambahkan gliserol sebagai plastiziser sebanyak 1% b/b didalam beaker glass, kemudian dipanaskan dan diaduk diatas hotplate stirrer selama 10 menit pada suhu 60°C. Larutan yang sudah homogen dituang pada cetakan pisau *casting* ukuran 5 cm x 20 cm yang berada diatas plate kaca ukuran 20 cm x 20 cm. Larutan ditarik pada plate kaca sesuai variabel ketebalan yang telah ditentukan (50, 100, 150, 200, 250 mikron) dan dikeringkan pada suhu kamar selama semalam. Setelah kering biofilm dilepas dari plate kaca dan selanjutnya dilakukan uji sifat termal dan analisis permukaan film dengan SEM pada lima perbesaran (500, 1000, 2500, 5000, 10.000x).



Gambar 1. Proses pembuatan biofilm dengan metode *solution casting*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Termal Terhadap Biofilm Poli Asam Laktat

Tabel 1. Rerata *glass transition temperature (Tg)* biofilm PLA/PVA

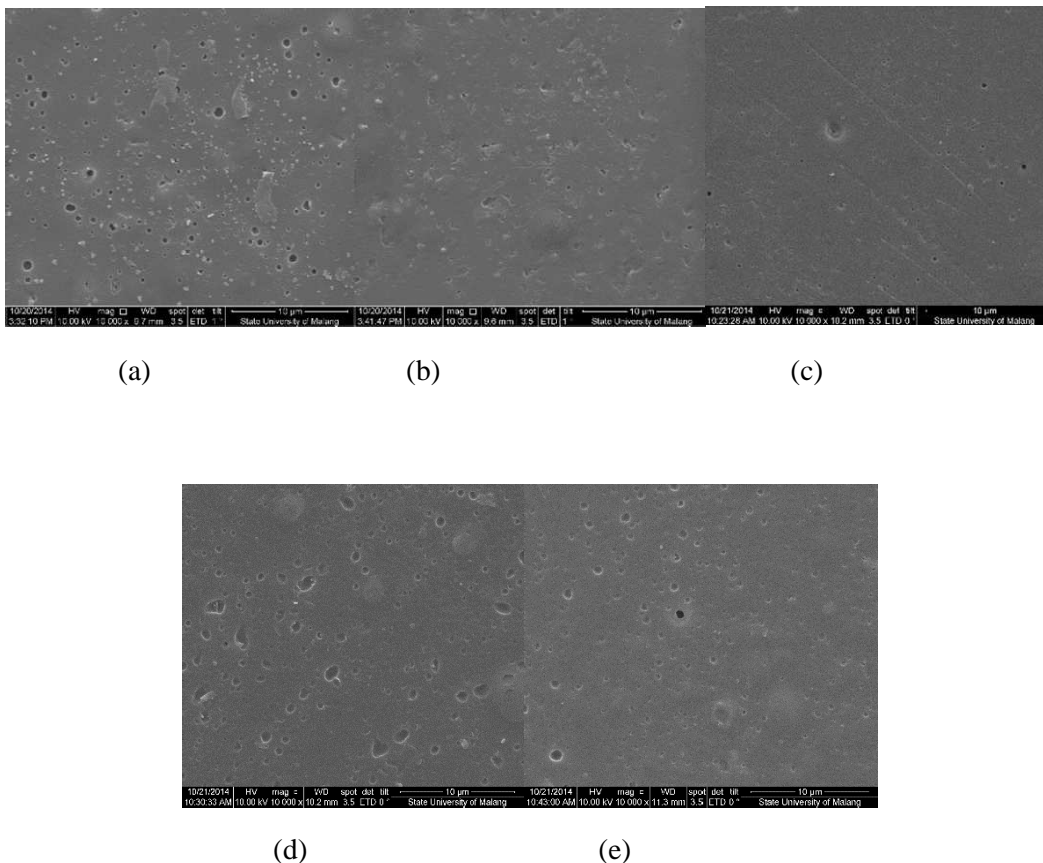
Ketebalan Biofilm	PLA/PVA		
	1,2 b/b	1,6 b/b	2 b/b
50 mikron	45	40	35
100 mikron	47	40	36
150 mikron	48	42	38
200 mikron	50	45	37
	51	46	39

250 mikron

Komposisi PLA/PVA dan ketebalan biofilm yang berbeda memberikan *glass transition temperature* (T_g) yang berbeda. Semakin besar komposisi PLA/PVA untuk berbagai ketebalan yang berbeda memberikan nilai T_g yang semakin rendah. Hal ini sesuai dengan penelitian Rodica dkk (2008) yang menambahkan PLA pada pembuatan film PVA/PLA, semakin banyak penambahan PLA maka nilai T_g akan menurun dan pada komposisi PLA/PVA sebesar 0,43 memberikan nilai T_g 50 °C. Hasil penelitian yang disajikan pada Tabel 1, komposisi PLA/PVA sebesar 1,2 pada berbagai ketebalan memberikan nilai T_g antara 45 °C - 51°C, hal ini menunjukkan bahwa biofilm tersebut dapat diaplikasikan sebagai plastik kemasan pangan dan alat kesehatan yang memerlukan ketahanan panas diatas suhu kamar. Namun untuk komposisi PLA/PVA diatas 1,2, yaitu 1,6 dan 2 kurang layak untuk diaplikasikan sebagai plastik kemasan yang membutuhkan ketahanan suhu diatas suhu kamar.

Hasil Analisis Morfologi Terhadap Biofilm Poli Asam Laktat

Struktur morfologi biofilm dianalisis menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk mengetahui perbedaan struktur internal permukaan biofilm pada berbagai ketebalan yang berbeda, yaitu 50, 100, 150, 200, dan 250 mikron. Struktur morfologi biofilm tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Penampang permukaan biofilm (perbesaran 10.000 kali) Ketebalan 50 mikron, b) Ketebalan 100 mikron, c) Ketebalan 150 mikron, d) Ketebalan 200 mikron, e) Ketebalan 250 mikron

Pada gambar 2, tampak bahwa struktur permukaan biofilm dengan komposisi PLA/PVA sebesar 1,2 dengan ketebalan yang berbeda, yaitu 50 mikron, 100 mikron, 150 mikron, 200 mikron, dan 250 mikron. Semakin besar ketebalan biofilm maka struktur permukaan biofilm semakin kompak dan gelembung porinya semakin sedikit. Penampakan struktur permukaan biofilm dengan ketebalan 250 mikron terlihat lebih rata, sementara penampakan permukaan biofilm dengan ketebalan terendah (50 mikron) terlihat paling kasar dan banyak gelembung/bercak putih. Hal ini disebabkan karena pada saat proses pengeringan, untuk biofilm dengan ketebalan rendah (tipis) akan lebih mudah ditembus oleh udara dan tinggal pada permukaan biofilm dalam bentuk gelembung-gelembung.

4. KESIMPULAN

Komposisi PLA/PVA dan ketebalan film yang berbeda memberikan suhu transisi gelas (T_g) yang berbeda. Nilai T_g tertinggi diperoleh pada komposisi PLA/PVA sebesar 1,2 dengan ketebalan biofilm 250 mikron.

Ketebalan biofilm yang berbeda berpengaruh pada morfologi film. Morfologi film paling baik diperoleh pada ketebalan 250 mikron.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DP2M Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan dan Kopertis Wilayah VI yang telah memberikan kesempatan dan pendanaan pada penelitian ini. Direktur Akademi Kimia Industri Santo Paulus Semarang dan Rektor Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga yang telah memberikan ijin dan fasilitas guna mendukung pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Grigale, Z., Martins, K., Anda, D., dan Velta, T., (2010), Biodegradable Plasticized Poly (lactic acid) Films, *Scientific Journal of Riga Technical University Material Science and Applied Chemistry*, Volume 21.
- Ibrahim, A., Hanny, C., Wijaya., Suminar, S., Achmadi., dan Yadi, H., (2006), Polikondensasi Azeotropik Asam Laktat Menjadi Poli Asam Laktat Sebagai Bahan Baku Kemasan, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, Volume 8, Nomor 1, hal 58-64.
- Khurma, J. R., Rohindra, D. R., dan Devi, R., Miscibility study of solution cast blends of poly(lactic acid) and poly(vinyl butyral), *The University of the South Pacific, Faculty of Science and Technology School of Chemical Sciences*, Suva, Fiji
- Purnama, P., Youngmee, J., Chae, H.H., Do, S.H., and Soo, H.K., (2012), Synthesis of Poly(D-lactide) with Different Molecular Weight via Melt-Polymerization, *Macromolecular Research*, Vol. 20, No. 5, pp. 515-519.
- Purnavita S, Sriyana, H.Y., dan Hartini, S., (2014), Rekayasa Proses Produksi Asam Laktat Dari Limbah Ampas Pati Aren Sebagai BahanBaku Poli Asam Laktat, *Jurnal Momentum*, Volime 10, Nomor 1, hal 14-18.
- Paramawati, R., (2001), Kajian Fisik dan Mekanik Terhadap Karakteristik Film Kemasan Organik dari Zein Jagung. *Disertasi. Pascasarjana*, IPB.

Rodica, L., Nita, T., dan Cornelia, V., (2008), Poly(Vinyl Alcohol) / Poly(Lactic Acid) Blends Biodegradable Films Doped With Colloidal Silver, *Revue Roumaine de Chimie*, 53(5) pp 405-413.

ANALISIS PERPINDAHAN PANAS GAS TURBINE CLOSED COOLING WATER HEAT EXCHANGER DI SEKTOR PEMBANGKITAN PLTGU CILEGON

Slamet Priyoatmojo

¹ Jurusan Teknik Mesin, Program Studi, Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. H. Soedarto, S.H., Tembalang, Semarang 50275.

*Email: nama_peneliti@polines.ac.id(10 pt)

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis perpindahan panas dan efektivitas Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger pada jam 08.00 pagi-16.00 sore karena adanya pengaruh dari udara ambient. Pengambilan data dengan metode observasi di PT. PLN (PERSERO) Sektor Pembangkitan PLTGU Cilegon. Untuk mengetahui perpindahan panas dan efektivitas Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger digunakan metode perhitungan NTU dilengkapi dengan metode LMTD. Hasil perhitungan tertinggi perpindahan panas pada Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger adalah 2914486,227 W dan yang terendah adalah 2582780,941 W. NTU Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger adalah 0,77 dan yang terendah adalah 0,52. Efektivitas Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger tertinggi adalah 43,13 % dan yang terendah adalah 34,2 %.

Kata kunci: temperatur, perpindahan panas, efektivitas.

1. PENDAHULUAN

Pada Proses industri di PLTGU Cilegon terdapat *Heat Exchanger* yaitu *Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger*, alat tersebut digunakan untuk proses pendinginan pendingin air yang memiliki temperature tinggi akibat dari system pelumasan alat-alat yang melumasi bantalan-bantalan turbin gas dengan pelumasan berupa oli. Proses Pendinginan yang dilakukan *Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger* dengan bantuan *fan* yang memanfaatkan udara *ambient*, sehingga dari proses pendinginan tersebut untuk mengetahui seberapa besar perpindahan kalor yang dipindahkan, mempertahankan alat-alat pelumas turbin gas dapat bekerja dengan continue atau maksimal, serta mempertahankan material pada alat-alat pelumas ataupun turbin gas dari temperature tinggi.

Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai berpindahnya energy dari satu daerah ke daerah lainnya sebagai akibat dari beda suhu antara daerah-daerah tersebut. Karena beda suhu terdapat di seluruh alam semesta, maka hal ikhwal aliran panas bersifat seuniversal hal ikhwal yang berkaitan dengan tarikan gravitasi. Tetapi tidak sebagaimana halnya gravitasi, aliran panas tidak dikendalikan oleh sebuah hubungan yang unik, namun oleh kombinasi dari berbagai hukum fisika yang tidak saling bergantung (Frank Kreith, 1991).

Perpindahan panas adalah ilmu untuk memprediksi perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Ilmu perpindahan panas tidak hanya

menjelaskan bagaimana energy kalor itu berpindahan dari suatu benda ke benda lain, tetapi juga dapat memprediksi laju perpindahan yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Perbedaan ilmu perpindahan dengan ilmu lain adalah dapat menganalisis laju perpindahan panasnya yang disebabkan karena pada waktu proses perpindahan itu berlangsung, system tidak berada dalam keadaan seimbang, contohnya suatu batangan besi panas dicelupkan ke dalam air, ilmu perpindahan panas dapat memprediksi berapa lama suhu batangan besi atau air mengalami keseimbangan atau pada suhu berapa besi atau air mengalami keseimbangan. (J.P. Holman, 1994)

Perpindahan panas dapat dibedakan dengan tiga cara pemindahan panas yang berbeda, yaitu:

- Konduksi
- Konveksi
- Radiasi

Permasalahan yang akan diselesaikan adalah sebagai berikut :

Bagaimana pengaruh udara *ambient* terhadap laju perpindahan panas dan efektivitas pada *Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger* di PLTGU Cilegon pada jam 08.00 pagi-16.00 sore tanggal 1-3 April 2014. Tujuan Menganalisa Perpindahan Panas Pada *Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger* dengan Metode NTU dengan dilengkapi metode LMTD untuk mendapatkan efektivitas.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dan pengambilan data dengan tujuan mendapatkan parameter yang nantinya sebagai bahan dalam pengolahan untuk mendapatkan hasil penelitian yang baik dan efektif. Bab ini berisi penjelasan tentang cara atau metode yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini. Menggunakan perhitungan secara teoritis dan menganalisis hasil perhitungan untuk mengambil kesimpulan dari hasil pengolahan data dan perhitungan tersebut. Metode-metode tersebut diharapkan dapat menghasilkan data yang tepat dan akurat, kemudian dapat melakukan analisa dan menghasilkan prediksi yang benar.

Data yang diperoleh antara lain tanggal, bulan, tahun, beban aktual, temperature *inlet* dan *outlet* fluida panas, serta temperature *inlet* fluida dingin pada *Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger*.

3.3 Pengambilan Data

Pengambilan Data dilakukan tanggal 1-3 April 2014 pada jam 08.00 pagi – 16.00 sore. Parameter pada *Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger*:

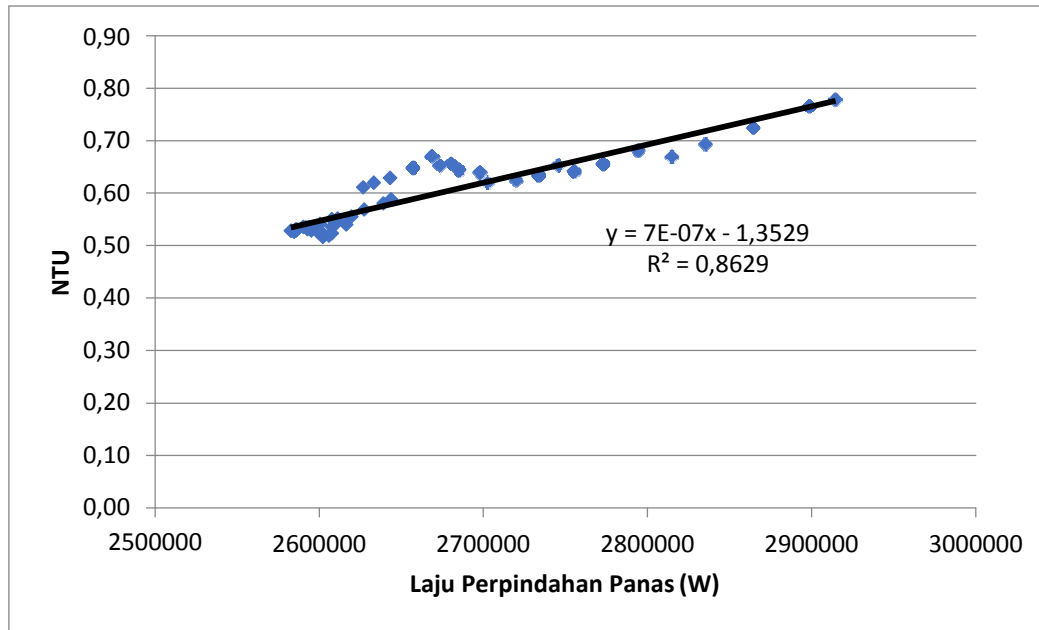
- T_{hi} = Temperature hot inlet
Yaitu temperature fluida panas (*closed cooling water*) yang masuk pada *Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger*. Data diambil dari komputer monitoring di Center Control Room (CCR).
- T_{ho} = Temperature hot outlet
Yaitu temperature fluida panas (*closed cooling water*) yang keluar pada *Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger*. Data diambil dari komputer monitoring di Center Control Room (CCR).
- T_{ci} = Temperature cold inlet
Yaitu temperature fluida dingin (*temperature ambient*) di *Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger*. Data diambil dari komputer monitoring di Center Control Room (CCR).

- *Gas Turbine Actual Load*
Yaitu beban actual keluaran dari generator turbin gas. Data diambil dari komputer monitoring di *Center Control Room (CCR)*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Data

Analisa Grafik Laju Perpindahan Panas Terhadap *Number of Transfer Unit (NTU)*

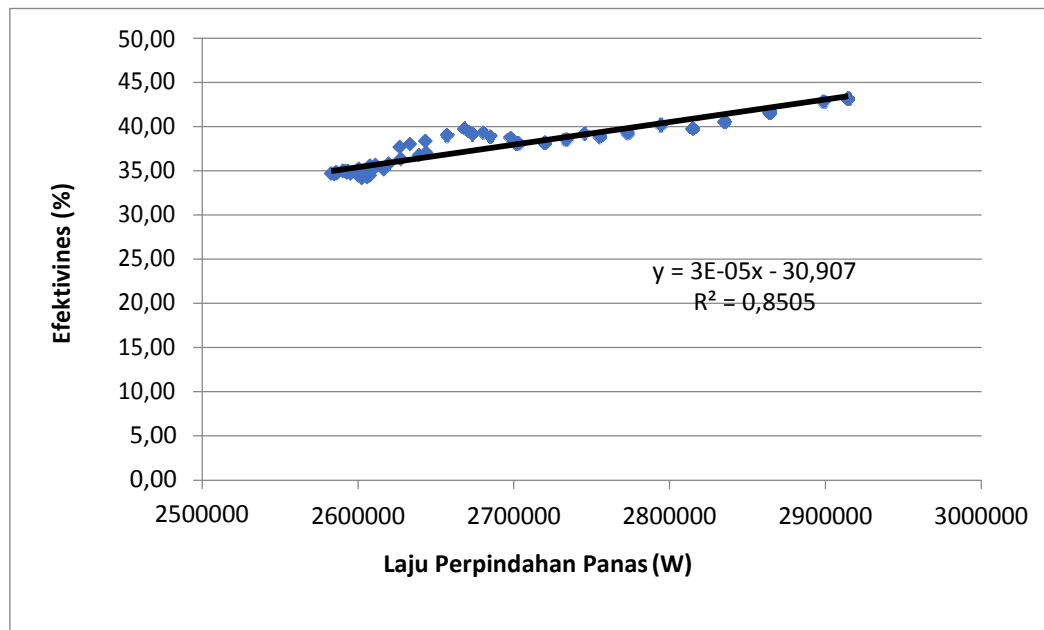


Gambar 4.1 Grafik Hubungan Laju Perpindahan Panas terhadap NTU

Gambar 4.2 menyatakan hubungan antara Laju Perpindahan Panas terhadap *Number of Transfer Unit (NTU)* pada *Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger*, Dalam Grafik dapat diketahui bahwa nilai dari Laju Perpindahan Panas sebesar 2914486,227 W menghasilkan NTU sebesar 0,77 dan pada Laju Perpindahan Panas dengan nilai 2582780,941 W menghasilkan NTU sebesar 0,53.

Dari data dan grafik yang digambarkan di atas bahwa besarnya nilai Laju Perpindahan Panas dapat mempengaruhi nilai NTU karena Apabila Laju Perpindahan Panas semakin besar maka dapat mempengaruhi nilai koefisien perpindahan panas total yaitu U sehingga panas yang dipindahkan atau ditransfer dapat semakin besar dengan sebanding pada Laju Perpindahan Panas dan Luas penampang yang dipindahkan dengan luasan yang sama yaitu pada data ini seluas 33225 m². Sehingga Apabila nilai laju panas yang dipindahkan semakin besar maka panas yang dipindahkan pun juga semakin besar.

Analisa Grafik Laju Perpindahan Panas Terhadap Efektivitas



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Laju Perpindahan Panas terhadap Efektivitas

Gambar 4.3 menyatakan hubungan antara Laju Perpindahan Panas (q) terhadap Efektivitas pada *Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger*. Dalam grafik dapat diketahui bahwa nilai dari Laju Perpindahan Panas sebesar yaitu 2914486,227 W menghasilkan Efektivitas sebesar 43,13 % dan pada Laju Perpindahan Panas dengan nilai 2602382,865 W menghasilkan Efektivitas sebesar 34,2 %.

Dalam data dan grafik ini laju perpindahan sebesar 2914486,227 W dapat menghasilkan Efektivitas sebesar 43,13 % karena dalam laju perpindahan panas yang dihasilkan besar dengan arti panas yang dipindahkan semakin besar karena pengaruh dari temperature pendingin yang memiliki nilai lebih kecil yaitu factor udara ambient, sehingga akan menghasilkan kapasitas panas fluida yang lebih kecil, laju perpindahan panas yang dihasilkan besar dan transfer panas yang dipindahkan semakin besar maka efektivitas yang dihasilkan pun akan semakin besar.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari tugas akhir ini adalah :

1. Laju Perpindahan Panas terbesar dihasilkan sebesar 2914486,227 W dengan *Number Of Transfer Unit* (NTU) sebesar 0,77 dan Laju Perpindahan Panas terkecil dihasilkan sebesar 2582780,941 W dengan *Number Of Transfer Unit* (NTU) sebesar 0,53
2. Semakin besar laju perpindahan panas pada *Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger* menyebabkan semakin besar nilai efektivitas pada *Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger*
3. Efektivitas terbesar pada *Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger* sebesar 43,13 % dan dihasilkan efektivitas terkecil sebesar 34,2 %
4. Efektivitas *Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger* kecil disebabkan oleh besarnya temperatur air sebagai media pemanas dan besarnya temperature udara ambient sebagai media pendingin sehingga menyebabkan Laju perpindahan panas semakin kecil, artinya sedikitnya panas yang dipindahkan oleh alat *heat exchanger* tersebut

DAFTAR PUSTAKA

2004. *PT. PLN (Persero) Cilegon Combined Cycle Power Plant (740 MW) Design Manual*. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

_____.2014.*Mitsubishi Confidential And Proprietary Information*

Holman, J.P. 1994. *Perpindahan Kalor*. E. Jajfji. Jakarta :Erlangga.

Kreith, Frank. 1991. *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*. Arko Prijono. Jakarta :Erlangga.

Wuryanti, Sri.1995. *Perpindahan Panas*. Bandung: Penerbit Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik

Yunus, A. Cengel. 2003. *Heat and Mass Transfer. A Practical Approach*, 2nd, New York : Mc.Graw-Hill

PRINSIP KERJA TENAGA ANGIN TURBIN SAVONIUS DI DEKAT PANTAI KOTA TEGAL

Soebyakto

Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal

E-mail : soebyakto@gmail.com

Abstrak

Tenaga angin sering disebut sebagai tenaga bayu, merupakan salah satu energi terbarukan yang ramah lingkungan dan diharapkan memiliki efisiensi kerja yang baik jika dibandingkan dengan energi terbarukan lainnya. Prinsip kerja tenaga angin adalah dengan memanfaatkan energi kinetik angin yang masuk ke dalam area efektif turbin untuk memutar baling-baling/kincir angin, menghasilkan energi putar yang memiliki daya poros turbin dan daya sapuan turbin. Luas sapuan turbin angin Savonius dirancang dengan diameter rotor, $D = 52$ cm dan ketinggian rotor, $H = 36$ cm. Rancangan dasar Savonius adalah sebuah turbin dibentuk menyerupai huruf S dibuat dengan dua double setengah lingkaran. Rotor Savonius dirancang dengan dua sudu (two blades). Dua bentuk setengah lingkaran ditutup dengan lembaran aluminium. Turbin angin Savonius adalah suatu alat yang memanfaatkan energi angin untuk membangkitkan tenaga mekanik atau tenaga listrik. Dua rancangan turbin Savonius yang dilakukan dalam penelitian ini, memiliki aspek rasio 0,7. Rancangan 1 turbin Savonius memiliki massa jenis 70 kg/m^3 dan rancangan 2 turbin Savonius memiliki massa jenis $30,5 \text{ kg/m}^3$. Rancangan 1 ternyata tidak berputar dalam interval kecepatan angin $1 - 3 \text{ m/s}$. Rancangan 2 dapat berputar pada interval kecepatan angin tersebut. Turbin angin Savonius akan ideal untuk area dengan angin yang sangat turbulen dan membangkitkan torsi yang tinggi. Prinsip kerja tenaga angin Savonius di dekat pantai Kota Tegal, dibuat sedemikian rupa sehingga mendapatkan daya mekanik yang diharapkan berguna. Penggunaan energi mekanik ini antara lain salah satunya untuk membangkitkan generator listrik $9 - 25 \text{ Watt}$.

Kata Kunci : Tenaga angin, Turbin Savonius, Energi mekanik angin, Generator listrik.

1. PENDAHULUAN

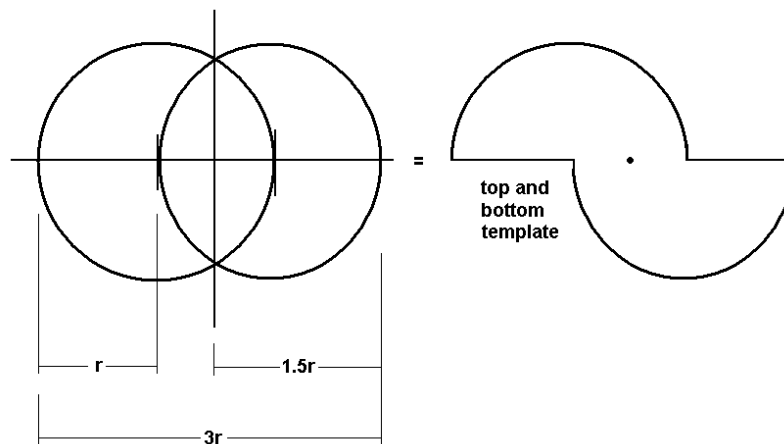
Angin timbul akibat sirkulasi di atmosfer yang dipengaruhi oleh aktivitas matahari dalam menyinari bumi yang berotasi. Dengan demikian, daerah khatulistiwa akan menerima energi radiasi matahari lebih banyak daripada di daerah kutub, atau dengan kata lain, udara di daerah khatulistiwa akan lebih tinggi dibandingkan dengan udara di daerah kutub. Perbedaan berat jenis dan tekanan udara inilah yang akan menimbulkan adanya pergerakan udara. Pergerakan udara inilah yang didefinisikan sebagai angin. Angin bertiup dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. Asumsi pendekatan yang digunakan bahwa angin mengikuti ketentuan persamaan gas ideal. Atas dasar ini tekanan angin berbanding lurus dengan suhu udara dan berbanding terbalik dengan volume udara. Suhu udara naik, maka akan diikuti volume udara bertambah. Kenaikan suhu udara menyebabkan tekanan udara rendah. Angin laut adalah angin yang timbul akibat adanya perbedaan suhu antara daratan dan lautan. Seperti yang kita ketahui bahwa sifat air dalam melepaskan panas dari radiasi sinar matahari lebih lambat daripada daratan, sehingga suhu di laut pada malam hari akan lebih tinggi dibandingkan dengan suhu di daratan. Semakin tinggi suhu, tekanan udara akan semakin rendah. Akibat adanya perbedaan suhu ini akan menyebabkan terjadinya perbedaan tekanan udara di atas daratan dan lautan. Hal inilah yang menyebabkan angin akan bertiup dari arah darat ke arah laut. Sebaliknya, pada siang hari dari pukul 09.00 sampai dengan pukul 16.00 angin akan berhembus dari laut ke darat akibat sifat air yang lebih lambat menyerap panas matahari.

Perbedaan suhu udara menyebabkan terjadinya perbedaan tekanan udara. Semakin besar perbedaan tekanan, semakin besar kecepatan angin. Prinsip kerja tenaga angin turbin Savonius di dekat pantai Kota Tegal, angin yang mengenai turbin Savonius pada poros harus lebih kecil daya anginnya dibandingkan pada sudu turbin, sehingga turbin dapat berputar.

2. METODE PENELITIAN

Tahap pertama penelitian, melakukan observasi lapangan, mempelajari beberapa situasi yang berkaitan langsung dengan keadaan pada lokasi pengujian. Dari hasil pengamatan terhadap beberapa daerah yang dianggap baik untuk melakukan pengujian, maka dipilih daerah yang memiliki kecepatan angin yang mampu menggerakkan turbin Savonius, yaitu pantai Kota Tegal dan atau di daerah dekat pantai tegal, di Kampus Universitas Pancasakti Tegal. Selanjutnya adalah studi literatur untuk mengumpulkan data dari referensi terkait berikut data-data dari penelitian sebelumnya, kemudian dijadikan suatu perbandingan dengan menganalisa rumus-rumus yang berkaitan pada penelitian ini. Demikian juga dengan pencarian informasi melalui media internet untuk mendukung proses pengumpulan data turbin angin.

Tahap kedua, Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimental (*experimental research*) yaitu melakukan pengamatan untuk mencari data sebab akibat dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat mengetahui pengaruh jarak celah sudu terhadap sumbu poros kerja turbin angin savonius. Peneliti melakukan pembuatan turbin Savonius dengan tidak sebagaimana mestinya.




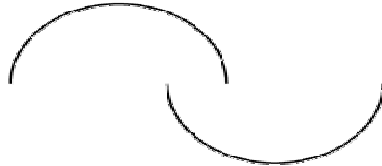
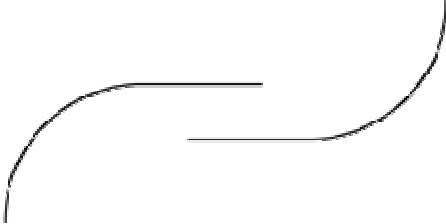
Gambar 1. Bagan Turbin Savonius

Turbin Savonius dibuat sesuai gambar 1, akan tetapi ketinggian turbin tidak memenuhi ketentuan $2 \times$ diameter rotor turbin, yaitu ketinggian turbin seharusnya, $h = 2 \times 3r = 6r$. Turbin Savonius terbuat dari rangka plat logam besi dan selubung setengah lingkarannya terbuat dari seng. Pembuatan Turbin Savonius dengan diameter $D = 45$ cm, ketinggian $h = 30$ cm.



Gambar 2. Turbin Savonius $h \neq 2D$, $D = 45$ cm, $h = 30$ cm

Tahap tiga, pembuatan turbin sesuai rancangan turbin Savonius, salah satu dari tiga jenis rancangan turbin berikut ini , gambar 3b :

 <p style="text-align: center;">Gambar 3a</p>	<p>Desain turbin Savonius yang sangat kuat terhadap poros pusat, tetapi sangat kurang efisien dibandingkan dengan dua lainnya. Namun, kekuatan ekstra memungkinkan rotor didukung pada satu ujung saja.</p>
 <p style="text-align: center;">Gambar 3b</p>	<p>Desain ini sangat sederhana, dapat dibuat dengan mudah dari drum logam atau bagian pipa. Desainnya sedikit lebih efisien dari yang di atas seperti beberapa udara dibelokkan oleh baling-baling kedua saat keluar yang pertama.</p>
 <p style="text-align: center;">Gambar 3c</p>	<p>Desain savonius yang paling efisien. Ini tidak hanya memiliki keuntungan dari udara yang dibelokkan dua kali seperti desain di atas, tetapi juga bahwa baling-baling bertindak sebagian seperti airfoil ketika mereka tepi-on ke angin, menciptakan efek angkat kecil dan dengan demikian meningkatkan efisiensi. Desain ini jauh lebih sulit untuk membangun, membutuhkan baling-baling digulung dari lembaran logam bukannya dipotong dari drum atau pipa.</p>

Turbin Savonius terbuat dari rangka plat logam besi dan selubung setengah lingkarannya terbuat dari lembaran aluminium. Diameter rotor turbin, $D = 52 \text{ cm}$ dan ketinggian turbin 36 cm .

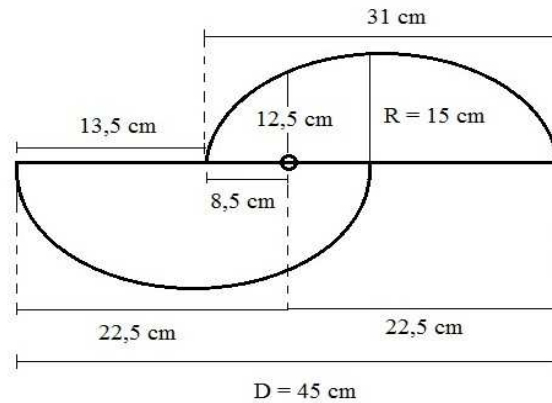


Gambar 3. Turbin Savonius $h \neq 2D$, $D = 52 \text{ cm}$, $h = 36 \text{ cm}$

Dua turbin Savonius gambar 1 dan gambar 2 dibuat untuk mengetahui pengaruh jarak celah sudu terhadap poros vertikal turbin Savonius. Pengaruh terhadap ketinggian turbin Savonius dan diameter rotor turbin dalam hal luas sapuan turbin.

3. HASIL DAN ANALISA PENELITIAN

Hasil turbin Savonius rancangan 1, dilihat dari penampang atas adalah sebagai berikut :



Gambar 4. Penampang atas turbin Savonius rancangan 1

Spesifikasi rancangan 1 turbin Savonius

- Massa turbin (m) : 3,29 kg
- Diameter rotor (D) : 45 cm
- Ketinggian turbin (H) : 30 cm
- Lebar celah berlubang (L) : 13,5 cm
- Diameter ½ lingkaran : 31 cm
- Jari-jari lingkaran (r) : 15 cm
- Diameter poros sumbu vertikal : 8 mm
- Jumlah sudu : 2 buah
- Tinggi menara : 2 m

ρ = Massa jenis udara = 1,225 kg/m³.

Luas sapuan turbin Savonius :

$$A = D \times H = 45 \times 30 = 1350 \text{ cm}^2.$$

Volume dan massa udara yang mengenai turbin :

$$R = \frac{D}{2} = \frac{45}{2} = 22,5 \text{ cm}$$

$$V_t = (\pi \cdot R^2) \cdot H = (3,14) \cdot (22,5)^2 \cdot (30) = 47688,75 \text{ cm}^3.$$

$$M_t = \rho \cdot V_t = (1,225) \cdot (47688,75 \times 10^{-6}) = 0,06 \text{ kg} = 60 \text{ gram}$$

Volume udara yang masuk ke celah turbin :

$$V_i = (1/4) \cdot \pi \cdot R^2 \cdot H = (0,25) \cdot (47688,75) = 11922,1875 \text{ cm}^3 = 11922,1875 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Massa udara yang masuk turbin :

$$M_i = \rho \cdot V_i = (1,225) \cdot (11922,1875 \times 10^{-6}) = 0,015 \text{ kg} = 15 \text{ gram}$$

Berdasarkan data angin hari Kamis, 16 Oktober 2014

Jam	Kecepatan, v (m/s)
11:00	3,21
11:30	3,53
$\Delta t = 30$ menit	$\Delta v = 0,32$

Gaya dorong angin total yang mengenai turbin Savonius rancangan 1:

$$P = F \cdot v = (1/2) \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

$$F = (0,5) \cdot (1,225) \cdot (0,1350) \cdot (3,21 \times 3,21) = 0,85 \text{ N}$$

$$F = M_t \cdot a$$

$$a = \frac{F}{M_t} = \frac{0,85}{0,06} = 14,2 \text{ m/s}^2$$

Gaya dorong angin yang masuk pada celah turbin Savonius rancangan 1:

$$F = M_i \cdot a = 0,015 \times 14,2 = 0,213 \text{ N}$$

Gaya berat turbin Savonius rancangan 1, jika gravitasi bumi, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, maka

$$W = m \cdot g = 3,29 \times 9,81 = 32,2749 \text{ N}$$

Gaya yang diterima turbin Savonius :

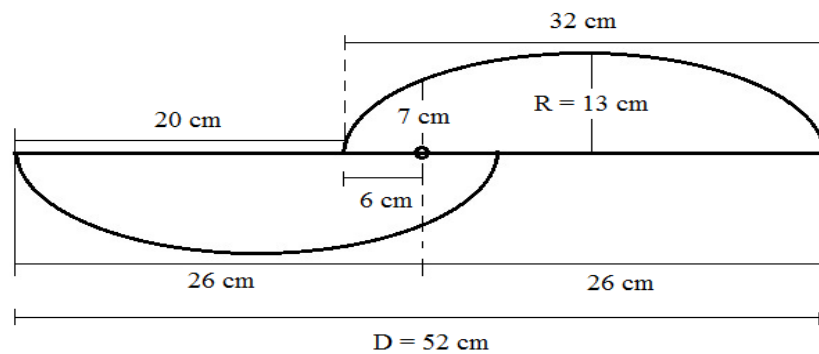
$$F = m \cdot a = 3,29 \times 14,2 = 46,718 \text{ N}$$

$$\text{Aspek rasio, } AR = \frac{H}{D} = \frac{30}{45} = 0,7$$

$$\text{Massa jenis turbin, } \rho = \frac{m}{V_t} = \frac{3,29}{0,047} = 70 \text{ kg / m}^3$$

Dari hasil penelitian rancangan 1 turbin Savonius tidak dapat berputar.

Pada turbin Savonius rancangan 2, dilihat dari penampang atas adalah sebagai berikut :



Gambar 5. Penampang atas turbin Savonius rancangan 2

Spesifikasi rancangan 2 turbin Savonius

Massa turbin (m) : 2,32 kg

Diameter rotor (D) : 52 cm

Ketinggian turbin (H) : 36 cm

Lebar celah berlubang (L) : 20 cm

Diameter $\frac{1}{2}$ lingkaran : 32 cm

Jari-jari lingkaran (R) : 13 cm

Diameter poros sumbu vertikal : 10 mm

ρ = Massa jenis udara = $1,225 \text{ kg/m}^3$.

Luas sapuan turbin Savonius :

$$A = D \times H = 52 \times 36 = 1872 \text{ cm}^2.$$

Volume dan massa udara yang mengenai turbin :

$$R = \frac{D}{2} = \frac{52}{2} = 26 \text{ cm}$$

$$V_t = (\pi \cdot R^2) \cdot H = (3,14) \cdot (26)^2 \cdot (36) = 76415,04 \text{ cm}^3.$$

$$M_t = \rho \cdot V_t = (1,225) \cdot (76415,04 \times 10^{-6}) = 0,094 \text{ kg} = 94 \text{ gram}$$

Volume udara yang masuk ke celah turbin :

$$V_i = (1/4) \cdot \pi \cdot R^2 \cdot H = (0,25) \cdot (76415,04) = 19103,76 \text{ cm}^3 = 19103,76 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Massa udara yang masuk turbin :

$$M_i = \rho \cdot V_i = (1,225) \cdot (19103,76 \times 10^{-6}) = 0,023402 \text{ kg} = 23,4 \text{ gram}$$

Berdasarkan data angin hari Kamis, 16 Oktober 2014

Jam	Kecepatan, v (m/s)
11:00	3,21
11:30	3,53
$\Delta t = 30$ menit	$\Delta v = 0,32$

Gaya dorong angin total yang mengenai turbin Savonius rancangan 2:

$$P = F \cdot v = (1/2) \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \\ = (0,5) \cdot (1,225) \cdot (0,1872) \cdot (3,21 \times 3,21 \times 3,21) = 3,8 \text{ Watt}$$

$$F = (0,5) \cdot (1,225) \cdot (0,1872) \cdot (3,21 \times 3,21) = 1,18 \text{ N}$$

$$F = M_t \cdot a$$

$$a = \frac{F}{M_t} = \frac{1,18}{0,094} = 12,6 \text{ m/s}^2$$

Gaya dorong angin yang masuk pada celah turbin Savonius rancangan 2:

$$F = M_i \cdot a = 0,023402 \times 12,6 = 0,294 \text{ N}$$

Gaya berat turbin Savonius rancangan 1, jika gravitasi bumi, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, maka

$$W = m \cdot g = 2,32 \times 9,81 = 22,7592 \text{ N}$$

Gaya yang diterima turbin Savonius :

$$F = m \cdot a = 2,32 \times 12,6 = 29,232 \text{ N}$$

$$\text{Aspek rasio, AR} = \frac{H}{D} = \frac{36}{52} = 0,7$$

$$\text{Massa jenis turbin, } \rho = \frac{m}{V_t} = \frac{2,32}{0,076} = 30,5 \text{ kg/m}^3$$

Aspek rasio adalah kriteria kasar untuk menghitung performansi aerodinamik rotor Savonius. Dari hasil penelitian rancangan 2 turbin Savonius dapat berputar.

Untuk desain turbin dengan diameter rotor, $D = 52 \text{ cm}$, dan ketinggian turbin, $h = 104 \text{ cm}$, maka akan diperoleh luas sapuan turbin, $A = D \times h = 5408 \text{ cm}^2 = 0,5408 \text{ m}^2$. Kecepatan angin, $v = 3,21 \text{ m/s}$, akan mendapatkan daya angin :

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 = (0,5) \cdot (1,225) \cdot (0,5408) \cdot (3,21^3) = 11 \text{ Watt}$$

Penerapan tenaga angin ke daya mekanik, yang dikonversikan ke generator listrik, digunakan data kecepatan angin maksimum. Hal ini dilakukan untuk menghindari terbakarnya generator listrik pada kecepatan angin maksimum. Apabila fluktuasi kecepatan angin tidak menentu, maka pemilihan daya maksimum generator listrik perlu dilengkapi alat pemutus arus mana kala kecepatan angin mencapai diluar daya kemampuan daya generator yang dipilih.

4. KESIMPULAN

- (1). Perbedaan berat jenis dan tekanan udara akan menimbulkan adanya pergerakan udara (angin).
- (2). Pemilihan desain turbin Savonius akan berpengaruh pada efisiensi gerakan turbin.
- (3). Berat dan volume turbin sangat berpengaruh, berputar atau tidaknya turbin dalam kondisi kecepatan angin tertentu.
- (4). Daya generator dipilih berdasarkan data kecepatan angin maksimum dan dilengkapi pemutus arus – tegangan untuk mencegah terbakarnya generator.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Andreas Andi Setiawan, dkk. 2014. Pengaruh Jarak Celah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Vertikal Savonius. <<http://mesin.ub.ac.id/>>.
- Dwi Sandra Hasan, dkk. 2013. Studi Eksperimental *Vertical Axis Wind Turbine* Tipe Savonius dengan Variasi Jumlah *Fin* pada Sudu. *Jurnal Teknik Pomits* Vol. 2, No. 2, (2013) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print).
- Mike Edwards. 2007. Savonius Turbine Design. <<http://onearmedman.com/~medwards/?q=node/250>> [11:33].
- Lance Turner. 2014. Making a simple Savonius wind turbine. <<http://www.macarthurmusic.com/johnkwilson/MakingasimpleSavoniuswindturbine.htm>> [21:55].

PENGELOLAAN MANGROVE PESISIR BETAHWALANG DEMAK

Sri Subekti

Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Pandanran Semarang

Jln. Banjarsari Barat No. 1 Semarang

Email: bek1_04@yahoo.com

ABSTRAK

Pesisir Betahwalang merupakan salah satu wilayah pesisir yang sering terkena dampak banjir pasang surut air laut atau yang dikenal dengan sebutan banjir rob. Pencemaran dan sedimentasi yang terjadi di hilir DAS dipengaruhi oleh perubahan tatanan kehidupan masyarakat di hulu DAS. Pencemaran yang terlihat di Desa Betahwalang yaitu banyaknya tumpukan sampah organik anorganik di sempadan sungai yang nantinya bermuara ke pantai serta masih adanya masyarakat yang membuang limbah rumah tangga tanpa melalui pengolahan terlebih dahulu.

Mangrove merupakan karakteristik dari bentuk tanaman pantai, estuari atau muara sungai, dan delta di tempat yang terlindung daerah tropis dan sub tropis. Dengan demikian maka mangrove merupakan ekosistem yang terdapat di antara daratan dan lautan dan pada kondisi yang sesuai mangrove akan membentuk hutan yang ekstensif dan produktif.

Kawasan pantai Betahwalang berdasarkan kajian kelayakan lingkungan layak untuk mendapatkan perlindungan pantai mengingat intensitas ancaman abrasi dan kemungkinan terjadinya akresi yang semakin meningkat. Pemecah gelombang lepas pantai sangat diperlukan untuk mencegah abrasi maupun akresi, hal ini dikarenakan bangunan yang dibuat sejajar pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai dan bangunan ini direncanakan untuk melindungi pantai yang terletak di belakangnya dari serangan gelombang.

Penanaman mangrove perlu dilakukan sebagai upaya mencegah abrasi dan akresi pantai. Penanaman mangrove hendaknya ditanam sesudah bangunan alat pemecah ombak selesai dengan harapan tanaman mangrove tersebut tidak akan tergerus ombak. Pemantauan dalam kegiatan ini perlu dilakukan minimal dua bulan sekali sehingga nantinya akan diketahui keloloshidupan dari mangrove yang sudah ditanam. Jika ada tanaman mangrove yang mati hendaknya dilakukan penanaman kembali.

Kawasan pantai Betahwalang tidak layak apabila dilakukan reklamasi pantai dan beban bangunan yang cukup tinggi apabila dilakukan reklamasi dan dikuatirkan mempercepat terjadinya land subsidence.

Berdasarkan Sosial Ekonomi masyarakat yang sebagian besar bergantung di perairan tambak dan nelayan maka perlu adanya perlindungan pantai agar nantinya tidak terjadi kerusakan pantai seperti kehilangan tanah tambak yang berakibat kepada perekonomian masyarakat. Dengan kondisi seperti ini maka Kawasan Pantai Betahwalang layak untuk mendapatkan penanganan perlindungan pantai.

Kata Kunci: Pesisir Pencemara Pengelolaan Mangrove

PENDAHULUAN

Wilayah Kabupaten Demak merupakan salah satu wilayah pesisir yang sering terkena dampak banjir pasang surut air laut atau yang dikenal dengan sebutan banjir rob. Sejak tahun 1997 sampai sekarang, frekuensi kejadian banjir rob semakin meningkat dan cenderung semakin meluas (suara merdeka.com, Mei 2011). Selain adanya banjir rob, wilayah pesisir Kabupaten Demak juga mengalami abrasi serta akresi seperti yang terjadi di pantai yang salah satunya terjadi di Desa Betahwalang, Kecamatan Bonang. Kasus abrasi dan akresi ini merupakan salah satu akibat terjadinya pemanasan global dan perubahan iklim yang sedang berlangsung.

Berdasarkan pendekatan secara ekologis, wilayah pesisir merupakan kawasan daratan yang masih dipengaruhi oleh proses-proses kelautan seperti pasang surut dan instrusi air laut dan kawasan laut yang masih di pengaruhi oleh proses-proses daratan, seperti sedimentasi dan pencemaran.

Pencemaran yang terlihat di Desa Betahwalang yaitu banyaknya tumpukan sampah organik anorganik di sempadan sungai yang nantinya bermuara ke pantai serta masih adanya masyarakat yang membuang limbah rumah tangga tanpa melalui pengolahan terlebih dahulu.

Terjadinya abrasi yang begitu cepat dan besar disepanjang pantai Kabupaten Demak khususnya Pantai Betahwalang dan sekitarnya akibat dari naiknya permukaan air laut ataupun adanya pengaruh pemanfaatan lahan sekitar Pantai Betahwalang dalam budidaya tambak sehingga barrier pantai yang sifatnya alami berupa tanaman pelindung pantai berupa mangrove dan sebagian tambak terkena abrasi hingga lebih kurang 100 meter dari bibir pantai.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metodologi primer yang ditujukan untuk mendapatkan data faktual di lapangan berdasarkan hasil observasi langsung pada kawasan. Metode yang dilakukan dengan cara wawancara, observasi dan dokumentasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembagian administratif Kabupaten Demak terdiri atas 14 kecamatan yaitu Demak, Wonosalam, Karang Tengah, Bonang, Wedung, Mijen, Karang Anyar, Gajah, Dempet, Guntur, Sayung, Mranggen, Karang Awen dan Kebon Agung, yang dibagi lagi atas sejumlah 247 desa dan kelurahan. Pusat pemerintahan berada di Kecamatan Demak.

Erosi pantai merupakan salah satu dari masalah yang ada di daerah pantai. Erosi pantai dapat mengakibatkan kerugian yang besar dengan rusaknya kawasan pemukiman dan fasilitas yang ada di daerah tersebut. Untuk menanggulangi erosi pantai, langkah pertama yang harus dilakukan adalah mencari penyebab terjadinya erosi. Dengan mengetahui penyebabnya, selanjutnya dapat ditentukan cara penanggulangannya, yang biasanya adalah dengan membuat bangunan pelindung pantai, menambah suplai sedimen dengan memperhatikan kondisi biotik daerah pantai.

Pencemaran dan sedimentasi yang terjadi di hilir DAS dipengaruhi oleh perubahan tatanan kehidupan masyarakat di hulu DAS. Salah satu dampak dari perubahan tersebut adalah akibat pola pemanfaatan ruang dan sumber daya alam di kawasan hulu tanpa memperhatikan dampak negatif yang dapat ditimbulkannya. Faktor yang tidak bisa dilupakan adalah tingkat pertumbuhan penduduk yang sangat pesat dengan tekanan ekonomi, akan tetapi luas DAS yang relatif tetap dapat semakin meningkatkan perubahan penggunaan lahan yang tidak mempertimbangkan aspek konservasi tanah dan air dalam pengelolaannya mengakibatkan terjadinya penurunan kondisi DAS itu sendiri.

Mangrove merupakan karakteristik dari bentuk tanaman pantai, estuari atau muara sungai, dan delta di tempat yang terlindung daerah tropis dan sub tropis. Dengan demikian maka mangrove merupakan ekosistem yang terdapat di antara daratan dan lautan dan pada kondisi yang sesuai mangrove akan membentuk hutan yang ekstensif dan produktif. Karena hidupnya di dekat pantai, mangrove sering juga dinamakan hutan pantai, hutan pasang surut, hutan payau, atau hutan bakau. Istilah bakau itu sendiri dalam bahasa Indonesia merupakan nama dari salah satu spesies penyusun hutan mangrove yaitu *Rhizophora* sp. Sehingga dalam percaturan bidang keilmuan untuk tidak membuat bias antara bakau dan mangrove maka hutan mangrove sudah ditetapkan merupakan istilah baku untuk menyebutkan hutan yang memiliki karakteristik hidup di daerah pantai. (Santoso, 2004)

Hutan mangrove sering disebut hutan bakau atau hutan payau. Dinamakan hutan bakau oleh karena sebagian besar vegetasinya didominasi oleh jenis bakau dan disebut hutan payau karena hutannya tumbuh di atas tanah yang selalu tergenang oleh air payau. Arti mangrove dalam ekologi tumbuhan digunakan untuk semak dan pohon yang tumbuh di daerah intertidal dan subtidal dangkal di rawa pasang tropika dan subtropika. Tumbuhan ini selalu hijau dan terdiri dari bermacam-macam campuran apa yang mempunyai nilai ekonomis baik untuk kepentingan rumah tangga (rumah, perabot) dan industri (pakan ternak, kertas, arang).

Metode biotik dapat dilakukan dengan membuat *green belt* dari tanaman jenis mangrove tertentu yang sesuai dengan wilayah. Mangrove adalah suatu komunitas vegetasi pantai tropik yang didominasi oleh beberapa spesies pohon khas dan semak-semak belukar yang mempunyai kemampuan tumbuh pada perairan yang asin. Tanaman mangrove ini banyak dijumpai di wilayah pantai yang terlindung dari gempuran ombak serta mempunyai daerah yang landai. Mangrove tumbuh bisa optimal di wilayah pantai yang memiliki muara sungai besar dan delta yang aliran airnya banyak mengandung lumpur.

Mangrove mempunyai fungsi penting dalam melindungi daerah pantai dari gelombang besar dan abrasi pantai. Penggunaan tumbuhan mangrove sangat berguna karena sabuk hijau mangrove tidak saja akan mencegah terjadinya abrasi tetapi, secara ekologis juga akan membantu mengembalikan serta meningkatkan produksi perikanan di perairan disekitarnya mengingat bahwa hutan mangrove merupakan tempat hidup dan tempat memijah dari banyak jenis organisme laut baik yang secara ekonomis penting maupun tidak. Selain itu mangrove mempunyai fungsi ekologis sebagai tempat berlindung dan nursery ground bagi beberapa jenis hewan seperti ikan, udang, ular, dan burung. Faktor faktor yang mempengaruhi kehidupan mangrove adalah sebagai berikut :

1. Iklim

Mangrove tumbuh subur pada daerah tropis dengan suhu udara lebih dari 20⁰ C dengan kisaran perubahan suhu udara rata-rata kurang dari 5⁰ C. Jenis *Avicennia* lebih mampu mentoleransi kisaran suhu udara dibanding jenis mangrove lainnya. Mangrove tumbuh di daerah tropis dimana daerah tersebut sangat dipengaruhi oleh curah hujan yang mempengaruhi tersedianya air tawar yang diperlukan mangrove.

2. Arus Laut

Distribusi mangrove dipengaruhi oleh arus laut yang dapat membawa bibit mangrove. Biasanya mangrove hidup di daerah yang mempunyai arus lemah.

3. Perlindungan terhadap Gelombang

Mangrove hanya dapat tumbuh dengan baik pada daerah pantai yang terlindung dari gelombang besar, seperti teluk, estuarin, laguna dan kepulauan.

4. Bentuk Pantai

Kemiringan pantai biasanya berpengaruh terhadap luasnya sebaran bibit mangrove, semakin landai suatu pantai maka penyebaran mangrove semakin luas. Hal ini tergantung dari lamanya penggenangan air laut di daerah itu.

5. Salinitas

Ketersediaan air tawar dan konsentrasi salinitas mengendalikan efisiensi metabolik dari ekosistem mangrove. Spesies mangrove memiliki mekanisme adaptasi terhadap salinitas yang tinggi, dimana kelebihan salinitas akan dikeluarkan melalui kelenjar garam atau dengan cara menggugurkan daun yang terakumulasi garam.

6. Pasang Surut

Mangrove berkembang hanya pada perairan yang dangkal dan daerah intertidal yang sangat dipengaruhi oleh pasang surut. Penetrasi pasang ke arah daratan akan memungkinkan mangrove tumbuh jauh ke daratan.

7. Substrat

Mangrove dapat tumbuh dengan baik pada substrat berupa pasir, lumpur atau batu karang. Namun paling banyak ditemukan adalah di daerah pantai berlumpur, laguna, delta sungai, dan teluk atau estuarin. Salah satu pedoman mudah yang dapat dilakukan untuk menentukan jenis mangrove yang tepat untuk ditanam disuatu lokasi adalah dengan melihat jenis tumbuhan mangrove yang terdapat disekitar lokasi tersebut. Apabila di suatu lokasi terdapat satu atau beberapa jenis mangrove, maka dapat dipastikan bahwa kondisi lingkungan lokasi tersebut sangat mendukung kehidupan jenis mangrove tersebut, dengan demikian maka jenis mangrove tersebutlah yang paling tepat untuk digunakan sebagai jenis mangrove yang ditanam.

Faktor utama yang mempengaruhi keberadaan, distribusi dan stabilitas mangrove adalah suplai air yang cukup, suplai nutrisi yang cukup, dan stabilitas substrat. Sehingga apabila lokasi kurang mendapatkan suplai air yang cukup, tidak mengandung nutrisi yang cukup serta substrat yang kurang baik merupakan lokasi yang tidak tepat untuk pertumbuhan mangrove. Bangunan pantai digunakan untuk melindungi pantai terhadap kerusakan karena serangan gelombang dan arus. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk melindungi pantai, yaitu :

- 1) Memperkuat atau melindungi pantai agar mampu menahan serangan gelombang,
- 2) Mengubah laju transpor sedimen sepanjang pantai,
- 3) Mengurangi energi gelombang yang sampai ke pantai,
- 4) Reklamasi dengan menambah suplai sedimen ke pantai atau dengan cara lain.

Pemecah gelombang lepas pantai adalah bangunan yang dibuat sejajar pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai. bangunan ini direncanakan untuk melindungi pantai yang terletak di belakangnya dari serangan gelombang. Pemecah gelombang lepas pantai dapat dibuat dari satu pemecah gelombang atau satu seri bangunan yang terdiri dari beberapa ruas pemecah gelombang yang dipisahkan oleh celah.

Apabila garis puncak gelombang pecah sejajar dengan garis pantai asli, terjadi difraksi di daerah terlindung di belakang bangunan, dimana garis puncak gelombang membelok dan terbentuk

busur lingkaran. Perambatan gelombang yang terdifraksi tersebut disertai dengan angkutan sedimen menuju ke daerah terlindung dan diendapkan di perairan di belakang bangunan. Pengendapan tersebut menyebabkan terbentuknya cuspate di belakang bangunan. Proses tersebut akan terus berlanjut sampai garis pantai yang terjadi sejajar dengan garis puncak gelombang terdifraksi. Pada keadaan tersebut transpor sedimen sepanjang pantai menjadi nol. Ada dua tipe pemecah gelombang tumpukan batu (“*rubble mound*”), yaitu :

- 1) “*Overtopping Breakwater*”, yaitu pemecah gelombang yang direncanakan dengan memperkenankan atau mengijinkan air melimpas diatas pemecah gelombang tersebut. Pemecah gelombang tipe ini biasanya direncanakan apabila daerah yang dilindungi tidak begitu sensitif terutama terhadap gelombang yang terjadi akibat adanya *overtopping* (pemecah gelombang untuk melindungi alur pelayaran, *jetty* ataupun *groin*). Jika pemecah gelombang direncanakan boleh *overtopping*, maka lereng pemecah gelombang bagian dalam (“*inner portion*”) harus terjamin tidak akan rusak pada saat terjadi hempasan air pada saat *overtopping*.
- 2) “*Non overtopping breakwater*”, yaitu pemecah gelombang yang direncanakan dengan tidak memperkenankan atau mengijinkan air melimpas di atas pemecah gelombang tersebut. Dalam hal ini tinggi mercu atau puncak pemecah gelombang harus direncanakan atau ditentukan berdasarkan “*wave run-up*” yang akan terjadi. Ukuran batu pelindung bagian lereng dalam, dalam hal ini dapat lebih kecil dari lapis lindung lereng luar. Kadang-kadang ukuran batu dibuat sama namun lereng dalam lebih tegak.

Pemecah gelombang tumpukan batu dibangun berlapis dengan lapisan paling luar terdiri dari batu lindung yang paling besar atau paling berat, sedangkan makin ke dalam ukurannya makin kecil. Dasar perencanaan konstruksi adalah lapis luar akan menerima beban gaya (dari gelombang) yang paling besar, sehingga ukurannya harus direncanakan sedemikian berat hingga masih cukup stabil. Mengingat batu ukuran besar harganya lebih mahal, maka bagian dalam dari pemecah gelombang dapat diisi dengan batu yang ukurannya lebih kecil. Syarat utama ukuran bahan yang dipakai lapisan dalam adalah tidak boleh tercuci lewat pori-pori atau rongga lapisan luar.

Bentuk pemecah gelombang biasanya sangat ditentukan oleh bahan bangunan yang tersedia di lokasi pekerjaan. Disamping itu perlu pula ukuran batu pemecah gelombang disesuaikan dengan peralatan yang akan dipergunakan untuk membangun.

KESIMPULAN

Kawasan pantai Betahwalang berdasarkan kajian kelayakan lingkungan layak untuk mendapatkan perlindungan pantai mengingat intensitas ancaman abrasi dan kemungkinan terjadinya akresi yang semakin meningkat. Pemecah gelombang lepas pantai sangat diperlukan untuk mencegah abrasi maupun akresi, hal ini dikarenakan bangunan yang dibuat sejajar pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai dan bangunan ini direncanakan untuk melindungi pantai yang terletak di belakangnya dari serangan gelombang.

Penanaman mangrove perlu dilakukan sebagai upaya mencegah abrasi dan akresi pantai. Penanaman mangrove hendaknya ditanam sesudah bangunan alat pemecah ombak selesai dengan harapan tanaman mangrove tersebut tidak akan tergerus ombak.

Pemantauan dalam kegiatan ini perlu dilakukan minimal dua bulan sekali sehingga nantinya akan diketahui kelolos hidupan dari mangrove yang sudah ditanam. Jika ada tanaman mangrove yang mati hendaknya dilakukan penanaman kembali sehingga pada area yang kosong akan terisi kembali.

Kawasan pantai Betahwalang tidak layak apabila dilakukan reklamasi pantai dan beban bangunan yang cukup tinggi apabila dilakukan reklamasi dan dkuatirkan mempercepat terjadinya land subsidence.

Berdasarkan Sosial Ekonomi masyarakat yang sebagian besar bergantung di perairan tambak dan nelayan maka perlu adanya perlindungan pantai agar nantinya tidak terjadi kerusakan pantai seperti kehilangan tanah tambak yang berakibat kepada perekonomian masyarakat. Dengan kondisi seperti ini maka Kawasan Pantai Betahwalang layak untuk mendapatkan penanganan perlindungan pantai.

REKOMENDASI

1. Perlu adanya studi Detail Engineering Design (DED) Kawasan Pantai Betahwalang
2. Sosialisasi mengenai pentingnya menjaga fungsi lindung sempadan pantai dari mulai usia dini.
3. Sosialisasi pengelolaan mangrove yang dimulai dari usia dini (pra sekolah).
4. Penanganan perlindungan pantai dengan penanaman hutan mangrove terlebih dahulu dilakukan perlindungan setempat.
5. Pada lokasi-lokasi ini dapat diberikan pengertian akan pentingnya peranan tanaman mangrove dan penyuluhan untuk memberikan kesadaran pada masyarakat agar tidak merusak tanaman mangrove. Salah satu cara untuk mengantisipasinya maka perlu diberikan bantuan modal usaha tani.
6. Rehabilitasi/ Reboisasi mangrove terutama ditujukan untuk kawasan-kawasan perlindungan dan budidaya perikanan. Hal ini sesuai dengan fungsi dari mangrove itu sendiri. Jenis mangrove yang ditanam disesuaikan dengan kondisi alam wilayahnya
7. Pengendalian pencemaran dan kerusakan wilayah pantai Betahwalang; Program ini bertujuan untuk mengantisipasi, mencegah serta mengendalikan potensi pencemaran dan kerusakan wilayah pantai dan laut. Perkembangan perikanan dan pemukiman di pantai menimbulkan pencemaran dan kerusakan lingkungan.
8. Abrasi yang terjadi di wilayah ini pada umumnya terjadi akibat perubahan peruntukan lahan di kawasan tersebut dimana hanya sedikit kawasan yang stabil. Oleh sebab itu penanganan abrasi lebih diarahkan kepada pengendalian perubahan fungsi lahan.
9. Perlu adanya payung hukum terhadap pengelolaan mangrove terutama terkait perannya sebagai sabuk pantai
10. Memberdayakan masyarakat agar dapat berperanserta secara aktif dan terlibat langsung dalam upaya penanggulangan kerusakan lingkungan lokal untuk menjamin dan menjaga kelestarian pemanfaatan sumberdaya dan lingkungan, sehingga diharapkan pula dapat menjamin adanya pembangunan yang berkesinambungan di wilayah bersangkutan.
11. Meningkatkan kesadaran masyarakat mengenai pentingnya menanggulangi kerusakan lingkungan
12. Meningkatkan kemampuan masyarakat untuk berperan serta dalam pengembangan rencana penanggulangan kerusakan lingkungan secara terpadu yang sudah disetujui bersama
13. Membantu masyarakat setempat memilih dan mengembangkan aktivitas ekonomi yang lebih ramah lingkungan
14. Memberikan pelatihan mengenai sistem pelaksanaan dan pengawasan upaya penanggulangan kerusakan lingkungan pesisir dan laut berbasis masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Bengen. 2002. *Ekosistem dan Sumberdaya Alam Pesisir. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan. Sinopsis. Institut Pertanian Bogor. Bogor.*
- Dahuri, R. 1996. *Panduan Pengelolaan Wilayah Pesisir Secara Terpadu. Pusat Penelitian Lingkungan Hidup. Institut Pertanian Bogor. Bogor.*
- Dahuri. 2003. *Keanekaragaman Hayati: Aset Pembangunan Berkelanjutan Indonesia. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.*
- Kitamura, dkk, 1997, *Handbook of Mangrove in Indonesia – Bali & Lombok, ISME & JICA*
- Kusmana, C. 1993a. *A Study on Mangrove Forest Management Based on Ecological Data in Eastern Sumatra, Indonesia. Ph.D. Dissertation, Faculty of Agriculture, Kyoto University, Japan. Unpublished.*
- Kepmen Kelautan dan Perikanan No. 10 tahun 2002
- Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia Wetlands International – Indonesia Programme, 1999
- Polunin, N.V.C. 1983. *The Marine Resources of Indonesia. Oceaonografi. Mar. Biol. Ann. Rev. 1983, 21:455-531.*
- Sudrajat *Mengelola Sampah Kota* Penebar Swadaya 2006

Supriharyono, *Pelestarian dan Pengelolaan Sumber Daya Alam di Wilayah Pesisir Tropis*,
Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama Jakarta, 2002

Sri Muniati Djamaludin, Sri Wahyono tentang *Pengomposan Sampah Skala Rumah Tangga*
Undang Undang Kehutanan No. 41 tahun 1999

Undang Undang No. 7 Tahun 2004 *tentang Sumber Daya Air*

Undang Undang No. 18 Tahun 2008 *tentang Pengelolaan Sampah*

Kepmen Kelautan dan Perikanan No. 10 tahun 2002

TEKNOLOGI PEMBUATAN VERNIS ALAMI BERBAHAN DASAR GONDORUKEM UNTUK *FINISHING* KERAJINAN ECENG GONDOK

Sri Sutanti*, Sari Purnavita, Herman Yoseph Sriyana

Akademi Kimia Industri Santo Paulus Semarang

*E-mail: butanti10@gmail.com

Abstrak

Finishing kerajinan eceng gondok bertujuan sebagai decorative dan protective guna meningkatkan nilai jual. Finishing dengan vernis sintesis melamin formaldehid akan berbahaya bagi manusia karena mengandung formalin yang termasuk golongan bahan berbahaya dan beracun (B3). Selain itu, finishing dengan melamin formaldehid menghasilkan lapisan yang keras dan kaku atau kurang fleksibel sehingga produk kerajinan akan mudah retak. Vernis alami dari gondorukem yang dimodifikasi dengan gliserol dan minyak linseed dapat menjadi solusi pengganti melamin formaldehid. Vernis alami dari gondorukem dibuat dengan cara mereaksikan 13% gliserol dengan 42% minyak linseed pada temperatur $\pm 250^{\circ}\text{C}$ selama 3 jam, dan hasilnya direaksikan lebih lanjut dengan 45% gondorukem pada temperatur yang sama selama 1,5 jam. Proses pembuatan vernis dilakukan dalam tanki berpengaduk. Finishing kerajinan eceng gondok dengan vernis alami dari gondorukem dilakukan dengan melarutkan vernis dalam terpentin menggunakan rasio 1 : 1 dan disemprotkan secara langsung menggunakan spray gun ke permukaan produk kerajinan. Vernis alami dari gondorukem ini lebih aman digunakan, dan mampu memberikan hasil lapisan yang gloss serta tidak kaku.

Kata kunci: *gondorukem, kerajinan eceng gondok, vernis alami.*

1. PENDAHULUAN

Di Kabupaten Semarang tepatnya di daerah Tuntang dan Banyubiru terdapat beberapa kelompok perajin eceng gondok. Kelompok perajin ini antara lain Kelompok Usaha (KUB) “RENITA” di Desa Banyubiru, Ambarawa dan KUB “Aliya Handycraft” di Desa Tuntang, Salatiga. Kedua KUB ini mengolah batang eceng gondok kering menjadi produk-produk tas, sandal, tempat tisu, vas bunga, sepatu hingga mebelair. Pemanfaatan eceng gondok sebagai bahan baku kerajinan merupakan usaha kreatif masyarakat dan menjadi salah satu solusi dalam mengatasi gulma eceng gondok di perairan danau Rawa Pening. Hampir 70% permukaan air danau dengan luas 2.770 ha. telah tertutup tanaman eceng gondok atau *Eichhornia Crassipes*. Produk kerajinan eceng gondok diharapkan bisa menjadi *icon* daerah setempat guna melengkapi promosi pariwisata.

Proses produksi kerajinan eceng gondok di KUB “RENITA” dan KUB “Aliya Handycraft” masih dikerjakan secara konvensional. Kapasitas produksi masih terbatas, bahkan untuk jenis produk tertentu baru diproduksi apabila ada pesanan. *Finishing* produk kerajinan selama ini dilakukan menggunakan bahan pelapis sintesis melamin formaldehid. Bahan pelapis ini mengandung formalin yang merupakan bahan beresiko bagi manusia dan lingkungan. Formalin dalam P P No. 18 Tahun 1999, pada kode limbah D216 termasuk ke dalam kelompok bahan berbahaya dan beracun (B3). Bahan pelapis sintetik ini berbau menyengat dan memberi efek perih di mata. *Finishing* dengan melamin formaldehid menyebabkan permukaan produk kerajinan menjadi keras dan kaku sehingga mudah retak. Hal ini yang menyebabkan produk kerajinan dari KUB “RENITA” dan KUB “Aliya Handycraft” belum mampu menembus pasar yang luas.

Pemasaran produk kerajinan eceng gondok hingga saat ini masih sebatas di tempat-tempat pariwisata di daerah sekitar, seperti Bukit Cinta, Wisata Danau Rawa Pening dan beberapa hotel di Jawa Tengah. Akibatnya omzet yang diperoleh juga terbatas. Kualitas produk sangat menentukan dalam pemasaran. Pemakaian bahan pelapis yang tidak ramah lingkungan juga menyebabkan produk kurang diminati oleh konsumen, terlebih untuk produk ekspor. Konsumen luar negeri sangat selektif dalam memilih produk (Sutanti, 2007).

Bahan pelapis melamin formaldehid dapat digantikan dengan bahan pelapis alami yang dapat dibuat dari bahan-bahan alam. Salah satu bahan alam untuk pembuatan bahan pelapis yaitu gondorukem. Dengan proses yang sesuai, akan dihasilkan bahan pelapis atau vernis alami yang aman dan ramah lingkungan.

2. METODOLOGI

Teknologi pembuatan vernis alami dari gondorukem untuk *finishing* kerajinan eceng gondok merupakan penerapan Iptek bagi masyarakat di KUB “RENITA” dan KUB “Aliya Handycraft” yang bertujuan untuk peningkatan kualitas pelapisan produk kerajinan eceng gondok. Metodologi pelaksanaannya dilakukan melalui dua tahapan proses, yaitu pembuatan vernis alami, dan aplikasi vernis alami untuk pelapisan kerajinan eceng gondok.

3. PEMBAHASAN

Pembuatan vernis alami dari gondorukem

Penerapan teknologi pembuatan vernis alami ini bertujuan agar perajin mampu membuat vernis alami sendiri. Vernis alami yang dihasilkan diharapkan mampu menggantikan melamin formaldehid yang selama ini digunakan oleh kedua kelompok perajin. Ditinjau dari bahan bakunya, vernis alami dari gondorukem yang dimodifikasi dengan gliserol dan minyak linseed dapat memberikan hasil *finishing* yang lebih fleksibel dan aman bagi manusia dan lingkungan.

Pembuatan vernis alami dilakukan dengan mengacu pada hasil penelitian yang telah dilakukan oleh tim I_bM. Vernis alami ini dibuat dari bahan – bahan alam, yaitu gondorukem, gliserol, dan minyak linseed. Komposisi bahan: 45% gondorukem, 13% gliserol, dan 42% minyak linseed (Sutanti, 2010).

Gondorukem

Gondorukem atau rosin, di Indonesia diperoleh dari getah pohon pinus (*Pinus merkusii*) yang banyak terdapat di Sumatera. Menurut Darma (2006), dari pengolahan 150 kg getah pinus akan dihasilkan gondorukem sebanyak 103,5 kg dan terpentin sebanyak 34,5 kg. Gondorukem juga dapat diperoleh dari limbah industri kertas (Hiller, dkk., (2007), dan Fiebach, (1993). Gondorukem dari getah pohon pinus dikenal dengan *gum rosin*, sedangkan gondorukem dari limbah industri kertas dikenal dengan *tall oil rosin*. *Gum rosin* mengandung 90% asam resin (terutama asam abietat, asam isopimaric, asam laevoabietat, dan asam pimaric) dan sisanya komponen bukan asam.

Gondorukem berbentuk kepingan padat berwarna kuning keemasan hingga kuning coklat, dan banyak digunakan sebagai bahan baku vernis. Pada proses pembuatan vernis, gondorukem harus dimodifikasi karena sifatnya yang rapuh, mudah teroksidasi oleh oksigen dari udara, dan dapat bereaksi dengan alkali serta garam logam. Modifikasi terhadap gondorukem dapat dilakukan dengan penambahan gliserol dan minyak linseed.

Gliserol

Gliserol merupakan senyawa kimia kelompok alkohol. Pada proses pembuatan biodiesel dapat dihasilkan 9% - 10% gliserol. Gliserol mempunyai tiga gugus hidroksil sehingga dikatakan gliserol mempunyai tiga fungsionalitas atau tiga kemampuan untuk berikatan dengan senyawa lain. Oleh karenanya, gliserol banyak digunakan dalam pembuatan bahan pelapis (vernis). Pada proses pembuatan vernis, gugus hidroksil dalam gliserol akan bereaksi dengan gugus karboksil dalam minyak linseed dan gondorukem membentuk senyawa ester. Menurut Brioude, dkk. (2007) dan Martens (1974), reaktan dengan fungsionalitas lebih dari dua akan mampu membentuk senyawa dengan struktur cabang yang dapat memberikan hasil lapisan yang tahan lama.

Minyak linseed

Minyak linseed atau minyak rami diperoleh dari proses ekstraksi biji rami. Minyak linseed mengandung asam lemak tidak jenuh cukup besar dan mempunyai *iodine value* tinggi, yaitu 180. Marten (1974) menjelaskan bahwa minyak linseed tergolong ke dalam minyak kering atau *drying oil* dan banyak digunakan untuk pembuatan cat. Penambahan minyak linseed untuk pembuatan vernis bertujuan meningkatkan fleksibilitas lapisan agar tidak rapuh. Sebagai *drying oil*, minyak linseed akan mempercepat proses pengeringan lapisan karena kandungan asam lemak tidak jenuhnya akan

mengalami auto-oksidasi bila kontak dengan oksigen dari udara, dan selanjutnya akan berpolimerisasi untuk proses pengeringannya (Marten, 1974).

Proses pembuatan vernis dilakukan dalam dua tahap reaksi, yaitu:

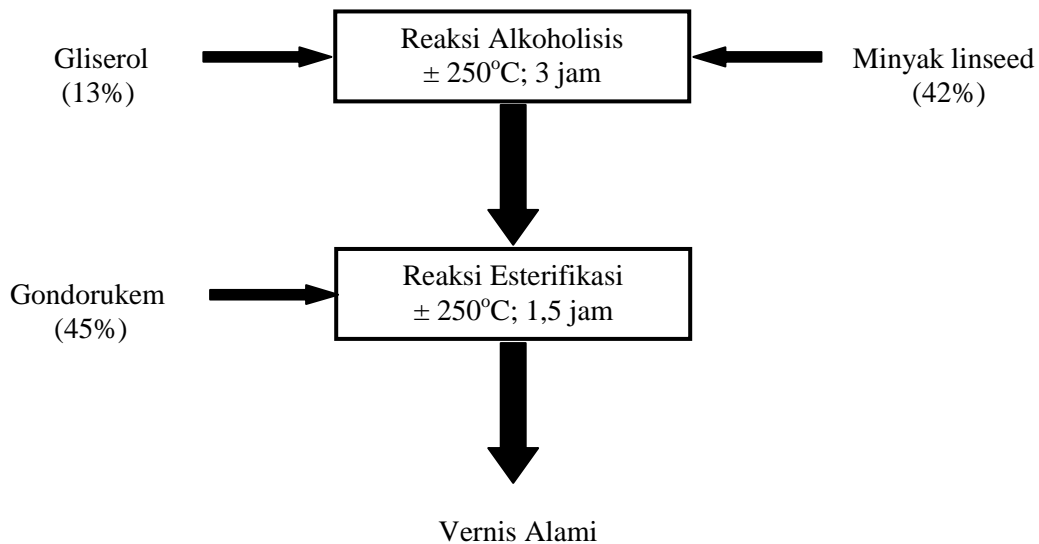
a. Reaksi gliserol dengan minyak linseed

Gliserol dan minyak linseed direaksikan pada temperatur $\pm 250^{\circ}\text{C}$ selama 3 jam, di dalam tanki berpengaduk. Reaksi tahap ini merupakan reaksi alkoholisis. Hasil yang diperoleh berupa cairan agak kental, berwarna coklat, dan mengandung monogliserida sebagai komponen terbesar, sedangkan sisanya adalah digliserida, sisa trigliserida, dan sisa gliserol (Juliati, 2002).

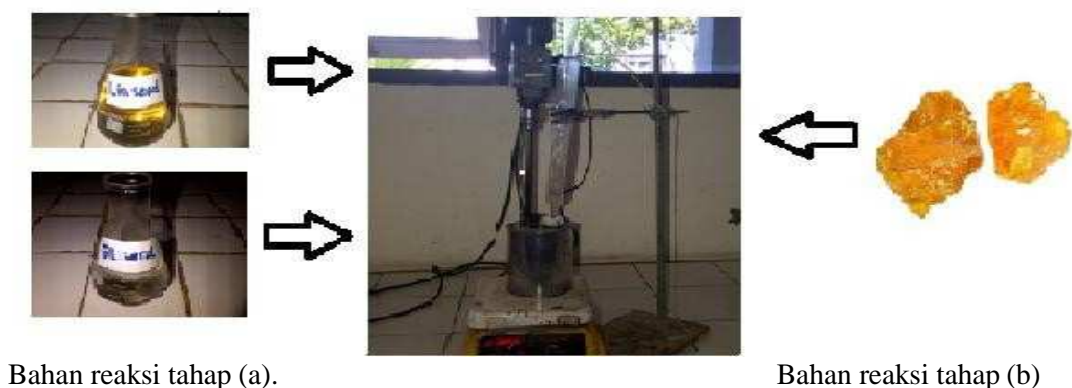
b. Reaksi hasil reaksi tahap pertama (a) dengan gondorukem

Hasil reaksi dari tahap (a) masih merupakan hasil *intermediate*, belum menjadi vernis. Hasil ini kemudian direaksikan lebih lanjut dengan gondorukem untuk membentuk vernis. Gondorukem akan bereaksi dengan monogliserida, digliserida dan sisa gliserol membentuk senyawa ester yang merupakan bahan vernis. Proses reaksi dilakukan pada temperatur yang sama dengan proses tahap pertama ($\pm 250^{\circ}\text{C}$) selama 1,5 jam.

Proses pembuatan vernis alami dari gondorukem ini ditunjukkan pada Gambar 1, 2 dan Gambar 3 sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Proses Pembuatan Vernis Alami dari Gondorukem



Gambar 2. Pembuatan Vernis Alami Gondorukem Di Laboratorium



Gambar 3. Pembuatan Vernis Alami Gondorukem Di Perajin Eceng Gondok

Aplikasi vernis alami untuk *finishing* kerajinan eceng gondok

Pelapisan merupakan tahap *finishing* dari seluruh tahap proses pembuatan produk kerajinan. Pelapisan yang benar akan meningkatkan keindahan dan keawetan serta menambah nilai jual produk kerajinan. Vernis sebagai bahan pelapis, menurut Sunaryo (1997), mempunyai fungsi ganda yaitu sebagai *decorative* dan *protective coating*. Pada proses pelapisan banyak faktor yang berpengaruh terhadap hasil pelapisan seperti: jenis bahan (substrat) yang akan dilapisi, jenis bahan pelapis, dan cara aplikasi atau pelapisan.

Pelapisan terhadap kerajinan eceng gondok sangat dipengaruhi oleh tingkat kekeringan dari batang eceng gondok yang dibentuk menjadi kerajinan. Batang eceng gondok harus benar-benar kering agar tidak ditumbuhi jamur. Adanya jamur akan menyebabkan bahan pelapis sulit melekat sehingga hasil pelapisan tidak optimum.

Bahan pelapis akan berpengaruh terhadap kualitas kerajinan. Pemilihan bahan pelapis yang tidak tepat akan menimbulkan permasalahan, seperti halnya melamin formaldehid yang berpotensi sebagai pemicu kanker (Purnavita, 2007). Melamin formaldehid memberikan hasil pelapisan yang kurang fleksibel atau kaku sehingga mudah retak. Sebagai pengganti melamin formaldehid dapat digunakan vernis alami dari gondorukem (Sutanti, 2010).

Cara pelapisan untuk produksi kecil seperti industri rumah tangga, biasanya dilakukan secara manual menggunakan kuas atau *spray gun*. Pelapisan dengan cara semprot menggunakan *spray gun* akan lebih cepat dan memberikan hasil lapisan lebih rata.

Aplikasi vernis alami dari gondorukem yang dimodifikasi dengan gliserol dan minyak linseed ini dilakukan dengan melarutkan vernis dalam terpentin dengan rasio 1 : 1, kemudian larutan disemprotkan ke permukaan kerajinan eceng gondok menggunakan *spray gun*.



Gambar 4. Aplikasi Vernis Alami Gondorukem Untuk *Finishing* Kerajinan Eceng Gondok di KUB “RENITA” dan KUB “Aliya Handycraft”



Sebelum Finishing



Setelah Finishing

Gambar 5. Kerajinan Eceng Gondok Sebelum dan Setelah Finishing Dengan Vernis Alami Gondorukem



Gambar 6. Kerajinan Eceng Gondok Dengan *Finishing* Vernis Alami Gondorukem

4. KESIMPULAN

Pembuatan vernis alami dari gondorukem yang dimodifikasi dengan gliserol dan minyak linseed dilakukan dengan menggunakan proses reaksi dua tahap agar diperoleh vernis hasil penggabungan tiga bahan menjadi satu senyawa yang kompak dengan fungsinya yang saling melengkapi.

Pemakaian vernis alami untuk *finishing* kerajinan eceng gondok merupakan solusi terhadap pemakaian bahan pelapis yang berbahaya dan beracun.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada DIKTI melalui Simlitabmas selaku Pemberi Dana program IbM, KUB “RENITA” dan KUB “Aliya Handycraft” selaku Mitra, Direktur serta P3M AKIN St. Paulus yang telah menyediakan fasilitas penunjang, dan kedua mahasiswa: Diyah Puspita Sari dan Kevin Dermawan yang telah membantu pelaksanaan IbM.

DAFTAR PUSTAKA

- Brioude, M. M., Guimaraes, D. H., Fiuza, R. P., Prado, L. A. S. A., Boaventura, J. S., Jose, N. M., 2007, Synthesis and Characterization of Aliphatic Polyesters from Glycerol, by-Product of Biodiesel Production, and Adipic Acid, *Materials Research*, Vol. 10, No. 4, pp. 335-339.
- Darma, 2006, *Hasil Hutan Non Kayu*, Departemen Kehutanan dan Perkebunan Balai Informasi dan Sertifikasi Hasil Hutan Wilayah III, Duta Rimba Edisi 3/Th.1/2006, <http://www.dephut.go.id/INFORMASI/PROPINSI/SUMSEL/hhmk.html>
- Fiebach, K., 1993, Resins, Natural, dalam Ullmann's, *Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Vol. A23, pp 73-88, VCH Verlagsgesellschaft, Federal Republic of Germany.
- Hiller, K. dan Herzig, MF., 2007, Die große Enzyklopaedie der Arzneipflanzen und Drogen, Elsevier Spektrum, Heidelberg, dalam *Wikipedia ensiklopedia*.

- Juliati, T. Br., 2002, Ester Asam Lemak, *USU digital library*, pp. 1-13.
- Martens, C.H., 1974, *Technology of Paints, Varnishes and Lacquers* , pp 23-41, Robert E. Krieger Publishing Company, New York.
- Purnavita, S., 2007, Pembuatan Vernis berbasis Bahan Nabati (Natural Varnish) yang ramah Lingkungan, *CV. Gatra*.
- Sunaryo, A., 1997, *Reka Oles Mebel Kayu*, PIKA, Kanisius, Yogyakarta.
- Sutanti, S., Sari, P., Lucia, H. R., Bambang, I., , 2007, *Penerapan teknologi finishing pada produk kerajinan enceng gondok menggunakan bahan pelapis ramah lingkungan*, AKIN Santo Paulus, Semarang.
- Sutanti, S., Sari, P., Herman, Y. S., 2010, *Pemanfaatan Minyak biji Rami (Linseed Oil) dan Gliserol By-Product Biodiesel untuk pembuatan Vernis Alami*, AKIN Santo Paulus, Semarang.

KARAKTERISTIK PEMANASAN DAN POTENSI ENERGI HASIL PEMBAKARAN SAMPAH RUMAH TANGGA DENGAN INSINERATOR SISTEM KONTINYU

Subagiyo^a; Eko Naryono^b; Sandra Santoso^c Bambang irawan^d

^{a,d}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang

^{b,c}Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

E-mail : subagiyo@polinema.ac.id

Abstrak

Proses pembakaran merupakan salah satu alternatif metode pengolahan sampah yang efektif digunakan pada pengolahan sampah organik rumah tangga. Pada penelitian ini digunakan insinerator system pembakaran kontinyu, laju aliran sampah 10 kg/jam dengan kandungan air 15% dan laju Tiupan udara 1,5 – 2,5 liter/detik. Panas pembakaran dimanfaatkan untuk memanaskan air dalam ketel yang dipantau/diukur temperature dan tekanan uapnya. Penelitian ini bertujuan memperoleh karakterisasi Pemanasan (temperature vs waktu) dan potensi energy yang dapat dimanfaatkan untuk memanaskan air dalam ketel yang berisi air 5 liter dengan pemanasan dari hasil pembakaran sampah organik rumah tangga secara eksperimen. Berdasarkan pengamatan visual dan pengukuran temperatur, pada pembakaran sampah organik rumah tangga ini menghasilkan pembakaran kontinyu sekitar 30 menit, dan temperature yang dicapai antara 350-400°C pada sisi luar dinding ketel / terdekat dengan ruang bakar, air dalam ketel mendidih (100°C) setelah waktu sekitar 25 menit, dari data hasil pengamatan ini dapat dihitung energy yang dimanfaatkan untuk pemanasan, yaitu dari sekitar 5000 KJ energy yang dihasilkan dari pembakaran sampah, 2000 sampai 3000 KJ dapat dimanfaatkan untuk pemanasan 5 Liter air dalam ketel.

Kata kunci : Potensi energy, sampah rumah tangga, incinerator, system kontinyu

I.PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kota Malang mempunyai permasalahan pada pengelolaan sampah padat hasil buangan rumah tangga sejalan dengan semakin bertambahnya penduduk, urbanisasi dan terbatasnya lahan untuk tempat pembuangan akhir. Berdasarkan data dari Dinas Kebersihan dan Pertamanan (DKP) kota Malang tahun 2011 volume rata rata sampah tiap bulan bervariasi pada rentang 21000 m³ sampai 28000m³ dengan rincian sampah rumah tangga 19000 m³ hingga 25000 m³, sampah pasar 2000 m³ hingga 5000 m³ sedangkan sampah industri dan pertamanan volumenya relatif kecil. Pengelolaan sebagian besar menggunakan sistem ditimbun pada lahan terbuka (*open dumping*) hanya sebagian kecil sekitar 2% yang didaur ulang untuk kompos dan dimanfaatkan kembali. Sisa sampah yang belum dimanfaatkan sangat besar yang pada jangka panjang apabila tidak dilakukan penanganan dengan baik dapat menimbulkan permasalahan lingkungan dan penyediaan lahan tempat pembuangan.

Salah satu alternatif pengolahan yang efektif digunakan adalah proses pengolahan secara termal untuk menghasilkan energi panas. Sistem ini mempunyai kelebihan dibandingkan dengan pengolahan komposting, landfill maupun *open dumping*. Kelebihan pengolahan termal adalah membutuhkan waktu yang lebih singkat untuk menguraikan sampah padat dibandingkan ketiga sistem tersebut. Proses pembakaran mampu mengurangi volume sampah sampai 90% sedangkan komposting, landfill dan *open dumping* hanya mampu menurunkan volume sebesar 40% (Oppelt, T.E; 2003). Produk yang dihasilkan sistem ini berupa energi panas yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi .

Pada penelitian ini akan dipelajari karakteristik pemanasan dari pembakaran sampah organik rumah tangga setelah tar yang terbentuk dipisahkan terlebih dahulu dengan cara dikondensasikan, dan melihat potensi energy yang dapat dimanfaatkan. Sampah organik yang digunakan diperoleh dari hasil pemilahan sampah rumah tangga. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar perancangan peralatan pembakar sampah ramah lingkungan

Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, dapat dibuat beberapa perumusan masalah berikut guna memperoleh metode penelitian yang tepat sehingga dapat menghasilkan data yang akurat :

- Bagaimana karakteristik pemanasan hasil pembakaran sampah organik rumah tangga untuk pemanasan ketel pada insinerator sistem kontinyu.
- Berapa energi panas yang dapat dimanfaatkan dari hasil pembakaran sampah organik rumah tangga pada insinerator system kontinyu.

Tujuan Penelitian

Berdasarkan acuan perumusan masalah di atas dapat ditentukan tujuan penelitian ini adalah:

- Mengetahui karakteristik pemanasan hasil pembakaran sampah untuk pemanasan ketel pada incenerator system kontinyu.
- Mengetahui besarnya energi panas yang dapat dimanfaatkan untuk pesawat pemanas atau yang lainnya dari hasil pembakaran sampah organik dengan incinerator system kontinyu.

II. METODE DAN BAHAN PENELITIAN

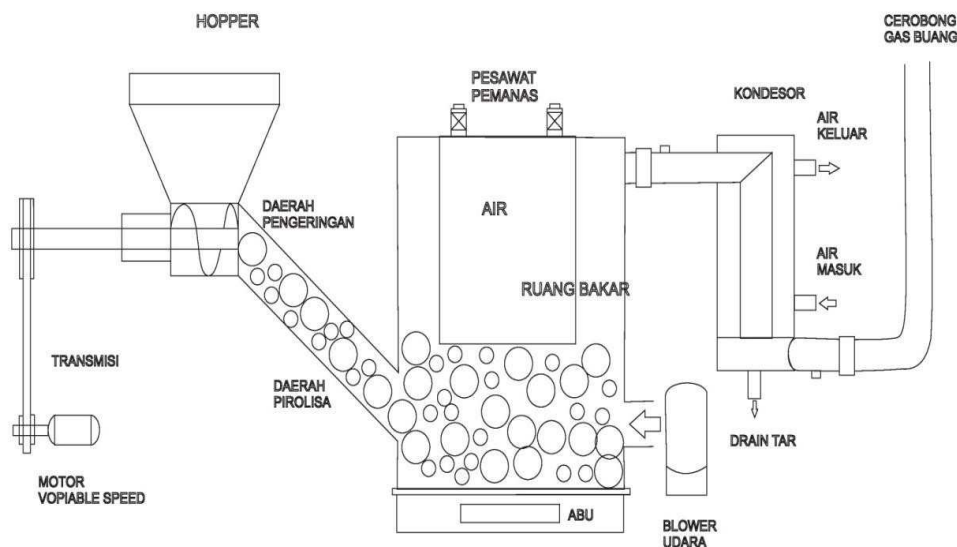
Penelitian dilakukan dengan menggunakan peralatan insenerator sistem kontinyu dengan kapasitas 10 Kg/jam, skema rancangan susunan gambar peralatan diperlihatkan pada gambar 2.1.

Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan untuk percobaan adalah sampah rumah tangga dari TPS Tlogo mas Kota Malang yang telah dipilah diambil sampah organiknya, dirajang dan dikeringkan sampai kandungan air maksimum 15%.

Rancangan susunan peralatan

Susunan peralatan yang digunakan untuk percobaan pemanfaatan energi panas hasil pembakaran sampah rumah tangga direnankan seperti terlihat pada gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1. Susunan peralatan percobaan

2.3. Prosedur Percobaan

Ekspirimen dibagi menjadi tiga tahap yaitu persiapan bahan baku, pembakaran sampah dan analisis potensi energy yang dapat dimanfaatkan.

Persiapan bahan baku: Bahan baku sampah diambil dari gerobak pengangkut di TPS Tlogo mas. Sampah mula mula dipilah antara bahan organik dan anorganik. Pengertian sampah anorganik adalah sampah yang tidak dapat didegradasi menggunakan proses biologi misalnya plastik, kertas koran, kain, ban, botol. Sampah organik adalah sampah yang dapat didegradasi secara biologi misalkan

makanan, sayur, buah dan daun dari tanaman. Selanjutnya sampah organik ini dipotong potong dengan ukuran 2 cm, kemudian dikeringkan sampai kandungan airnya mencapai 15%.

Pembakaran sampah : Sampel sampah dimasukkan kedalam tungku pembakar oleh feeder, setelah proses pembakaran kemudian dipirolisa pada peralatan pembakar sampah seperti terlihat pada gambar 2.1 Uap dan gas buang didinginkan pada kondensor, sehingga tar yang terbentuk mengembun. Selanjutnya gas yang tidak mengembun dan telah terpisah dari tar dialirkan ke pipa saluran keluar atau cerobong.

Analisis potensi energi : Analisis potensi energy dilakukan menggunakan data temperature pemanasan yang diukur dengan menggunakan thermo couple , laju aliran sampah dan konsumsi udara tiup, kemudian dihitung dengan formula yang ada maka dapat diketahui energy yang dapat diserap.

III. Hasil Dan Peahasan

Hasil analisis komposisi sampah.

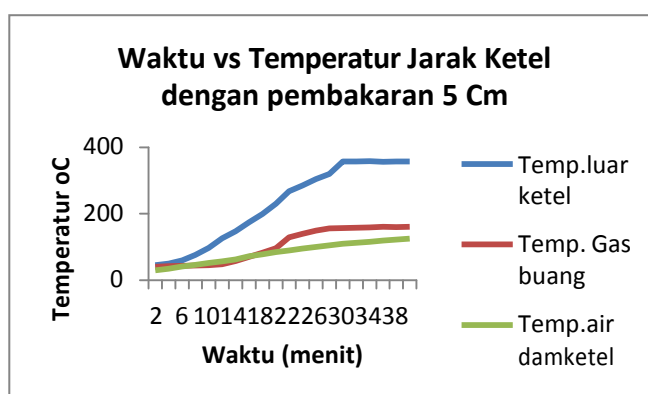
Hasil analisis komposisi sampah dapat dilihat pada tabel dan gambar –gambar berikut :

Tabel 3.1. Data hasil analisa komposisi sampah daun

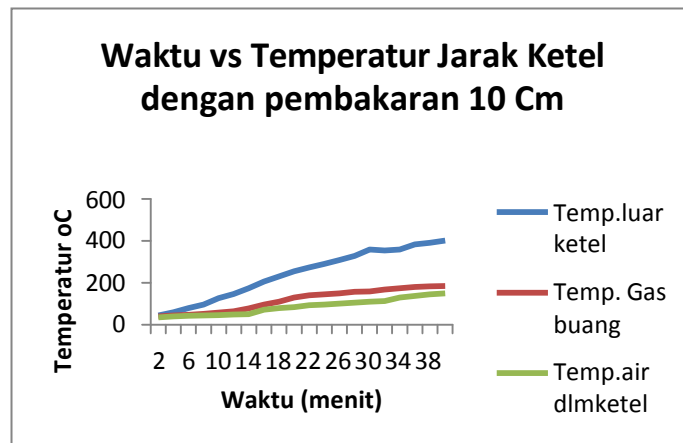
No	Komponen penyusun	% mass a
1	Karbon	47,8
2	Hidrogen	6
3	Oksigen	38
4	Nitrogen	3,4
5	Sulfur	0,3
6	Abu	4,5

Profil Temperatur pemanasan dinding ketel dengan jarak pembakaran bervariasi.

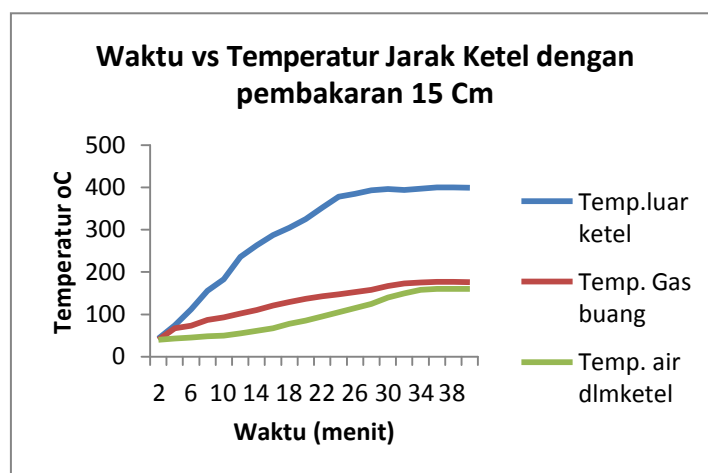
Temperatur pemanasan pada dinding ketel dengan jarak pemanasan yang berbeda dapat dilihat pada gambar 3.1, 3.2 dan 3.3, Kurva ini didapat dari pembakaran sampah dengan laju pengisian 10 kg/jam dengan tiupan udara 2,5 liter/detik dan air dalam ketel yang dipanaskan sebanyak 5 liter



Gambar 3.1 Profil Temperatur pemanasan dengan jarak 5 Cm dari pembakaran



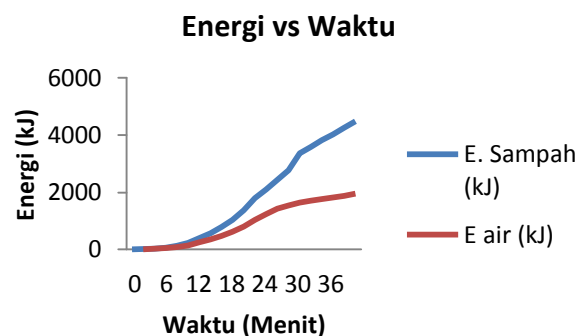
Gambar 3.2 Profil Temperatur pemanasan dengan jarak 10 Cm dari pembakaran



Gambar 3.3 Profil Temperatur pemanasan dengan jarak 15 Cm dari pembakaran

Dari hasil pembakaran sampah seperti terlihat pada kurva diatas energi yang dapat diserap oleh air didalam ketel dapat dilihat seperti berikut :

Penyerapan Energi panas oleh Air jarak 5 cm

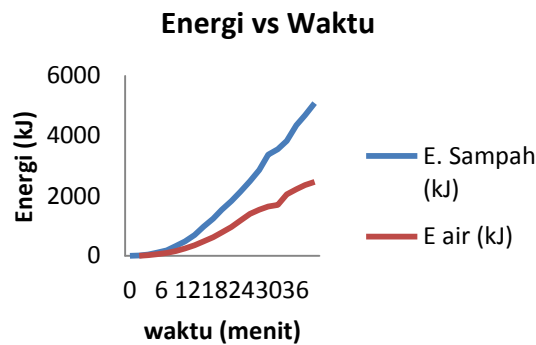


Gambar 3.4 Grafik waktu vs energi

Penelitian eksperimen menunjukkan hasil bahwa ada penyerapan energi oleh air didalam proses pembakaran sampah pada jarak bejana 5 cm. Dari gambar 3.4 grafik waktu vs energi diatas, energi yang bisa diserap oleh air tergantung dari waktu pembakaran sampah, semakin lama pembakarannya akan semakin besar energi yang bisa diserap oleh air hal ini disebabkan karena pelepasan energi kalor sampah semakin lama semakin besar. Pada waktu sekitar 40 menit penyerapan

energi panas oleh air sudah mulai stabil, energi yang bisa diserap sekitar 1947 kJ sedangkan energi yang dihasilkan oleh sampah sekitar 4475 kJ

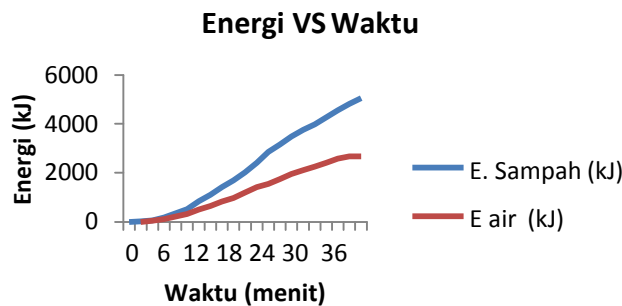
Penyerapan Energi panas oleh Air jarak 10 cm



Gambar 3.5 Grafik waktu vs energi

Penelitian eksperimen menunjukkan hasil bahwa ada penyerapan energi oleh air didalam proses pembakaran sampah pada jarak bejana 10 cm. Dari gambar 3.5 grafik waktu vs energi diatas, energi yang bisa diserap oleh air tergantung dari waktu pembakaran sampah, semakin lama pembakarannya akan semakin besar energi yang bisa diserap oleh air hal ini disebabkan karena pelepasan energi kalor sampah semakin lama semakin besar. Pada waktu sekitar 40 menit penyerapan energi panas oleh air sudah mulai stabil, energi yang bisa diserap sekitar 2460 kJ sedangkan energi yang dihasilkan oleh sampah sekitar 5091 kJ.

Penyerapan Energi panas oleh Air jarak 15 cm



Gambar 3.6 Grafik waktu vs energi

Penelitian eksperimen menunjukkan hasil bahwa ada penyerapan energi oleh air didalam proses pembakaran sampah pada jarak bejana 15 cm. Dari gambar 3.6 grafik waktu vs energi diatas, energi yang bisa diserap oleh air tergantung dari waktu pembakaran sampah, semakin lama pembakarannya akan semakin besar energi yang bisa diserap oleh air hal ini disebabkan karena pelepasan energi kalor sampah semakin lama semakin besar. Pada waktu sekitar 40 menit penyerapan energi panas oleh air sudah mulai stabil, energi yang bisa diserap sekitar 2665 kJ sedangkan energi yang dihasilkan oleh sampah sekitar 5050 kJ

Dari ketiga gambar diatas menunjukkan bahwa semakin jauh tempat bejana air dengan posisi pembakaran sampah energi yang diserap oleh air semakin besar, hal ini disebabkan pembakaran sampahnya semakin sempurna, pembakaran sampah lebih sempurna karena ada waktu dan ruang yang cukup untuk menyempurnakan pembakaran sampah. Bisa dilihat pada jarak 5 cm pembakaran sampahnya kurang baik karena waktu dan ruang pembakaran kurang besar. Dengan adanya transfer

energi dari pembakaran sampah ke air yang cukup besar maka sampah organik bisa dijadikan energi alternatif yang terbarukan.

IV. Kesimpulan

Dengan laju alir sampah 10 kg/jam dan laju alir udara tiup 2,5 liter, temperature steady diperoleh setelah waktu 30 menit, air mendidih (temperature 100°C) setelah 25 menit. Dari hasil pembakaran sampah ini Energi yang dapat diserap oleh air dalam ketel adalah:

1. Untuk jarak ketel dengan pembakaran 5 cm diperoleh 1947 KJ, dari yang dihasilkan sampah sekitar 4475 KJ.
2. Untuk jarak ketel dengan pembakaran 10 cm diperoleh 2460 KJ, dari yang dihasilkan sampah sekitar 5091 KJ.
3. Untuk jarak ketel dengan pembakaran 15 cm diperoleh 2665 KJ, dari yang dihasilkan sampah sekitar 5050 KJ.

Dari hasil diatas dapat dijelaskan bahwa semakin dekat ketel dengan jarak pembakaran energi yang dihasilkan sampah dan yang dapat diserap air semakin kecil, dan jika jarak ketel semakin jauh energi yang dihasilkan sampah mendekati stabil dan energi yang dapat diserap air meningkat sampai jarak 15 cm, dan jarak maksimum belum diketahui.

V.DAFTAR PUSTAKA

- Alter H, 1981, "Processing and Reuse of Municipal Waste for Energy Production", *Resources and Conservation*, 7, pp 327-335
- Chang, D.P.Y; 1996, "Chlorine in wate combustion", *Waste and Harzadous Materials* ; 13(1)
- Caballero, J.A; Marcilla, A; Front, R; Conesa, JA; 1997, "Characterisation of sludges primary and secondary pyrolysis", *J. Anal. Applied Pyrolysis*; 4041; pp 433-450
- Chang, YF; Lin, CJ; Chyan, J.M; Chen I.M; Chang, JE; 2007, "Multiple regression models for the lower heating value of municipal solid waste in Taiwan", *Journal of Environmental Management*, 85, pp 891- 899.
- Cheng, H; Hu, Y; 2010, "Municipal solid waste (MSW) as renewable source of energy current and future practices in China," *Boresource Technology* 101 , pp 3816- 3824.
- Jenkins, B.M; Baxterr, L.L; Miles Jr, T.R; Miles, TR; 1998, "Combustion 95roperties of biomass" *Fuel Processing Technology* 54, pp 17 – 46.
- Jinliang, Ma: 1996 " Soot Formation During Coal Pyrolysis", A Desertation , Department of Chemical Engineering, Brigham Young University
- Johnsson, J.E; 1994, "Formation and reduction of Nitrogen Oxides in fluidized bed combustion" *Fuel*; 73(9); pp 1398-141.
- Liu, YA; Liu, YU; 2005, "Novel incineration technology integrated with drying, pyrolysis, gasification, and combustion of MSW and ashes vitrification", *Enviromental Science Technology* 39 , pp 3855- 3863.
- Lee, C.C, YA; Lin, SD; 2007, "Handbook of environmental engineering calculations", 2nd edition 39 , Mc. Graw- Hill Companies.
- Qing Zang D, Jing He P, Ming Shao L (2009) "Potential gases emissions from the combustion of municipal solid waste by bio-drying ", *Journal of Hazardous Materials* 158, pp 1497-1503
- Werther, J; Ogada, T; 1999 "Sawage sludge combustion ", *Progress in energy and combustion Science* 25, pp 55-116.
- Yanwen Guan; Siyi Luo, Shiming Liu; Bo Xiao, Lei Cai 2009 "Steam catalytic gasification of municipal solid waste for producing tar-free fuels .

Perkembangan Teknologi Pengolahan Air

Limbah Industri Tahu: *Overview*

Suparni Setyowati Rahayu^{1,2}, Purwanto^{1,3}, Budiyo^{1,3}

¹) Program Doktor Ilmu Lingkungan Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Imam Bardjo, SH. No. 5 Semarang

²) Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. Sudarto, SH Tembalang Semarang
e-mail : suparnirahayu@yahoo.co.id

³) Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudarto, SH No. 1 Tembalang Semarang

ABSTRAK

Industri tahu merupakan salah satu industri yang mengeluarkan air limbah dalam jumlah yang besar dan pada umumnya tanpa diproses terlebih dahulu dan membuang limbahnya. Air limbah yang dihasilkan oleh industri tahu ini memiliki potensi pencemaran lingkungan yang cukup tinggi. Oleh karena itu perlu penanganan air limbah dengan teknologi inovatif dan ramah lingkungan untuk mengatasi permasalahan pencemaran lingkungan oleh air limbah tahu. Makalah ini memaparkan perkembangan penelitian tentang teknologi pengolahan air limbah industri tahu. *Overview* diawali dari sumber dan karakteristik limbah tahu dilanjutkan dengan perkembangan teknologi untuk pengolahan air limbah. Pada akhir dari makalah ini juga dipaparkan perkembangan tentang pengolahan tahu menggunakan reaktor *Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR)*.

Kata kunci : air limbah tahu, teknologi pengolahan air limbah, *Anaerobic Sequencing Batch Reactor*

PENDAHULUAN

Permasalahan limbah cair hingga kini masih sering muncul dalam industri tahu di Indonesia. Hal ini bisa dimungkinkan terjadi lantaran pembuangan limbah cair yang tidak melalui proses pengolahan selayaknya (Wagiman, 2006).

Menurut Perdana Ginting (2007) pada umumnya sistem pengolahan limbah di Indonesia masih *konvensional* berkuat pada sistem pengolahan secara biologis, atau fisika-kimia. Padahal sistem Pengolahan tersebut ternyata memiliki beberapa kelemahan, seperti bahayanya bahan kimia yang digunakan dan tak terproses, proses pengolahan yang berlangsung lama, selain juga membutuhkan areal pengolahan yang luas, operasional dan perawatan instalasi yang rumit dan kompleks, iemahnya kesadaran masyarakat tentang bahaya laten limbah, dan yang lebih buruk menghasilkan lumpur yang masih memerlukan proses lanjut.

Beberapa hal tersebut kemudian menjadi indikator mengapa proses pengelolaan limbah cair tahu terbilang mahal dan tidak efektif. Hingga akibatnya penerapan pengelolaan limbah cair pada industri tahu di Indonesia cenderung ditinggalkan (Santosa, 2011).

Berbagai pihak telah lama menyadari permasalahan ini, termasuk pihak industri. Akan tetapi sampai saat ini belum ditemukan sebuah solusi alternatif dan definitif yang bisa diterima semua pihak. Regulasi yang dibuat pemerintah serrfakin menunjukkan keberpihakannya pada kebersihan lingkungan. Akan tetapi dari semua faktor di atas yang

paling banyak dijadikan dalih pihak industri yang tidak mau mengelola limbahnya dengan benar adalah faktor finansial. Hal itu menyangkut biaya instalasi dan operasional IPAL yang dirasakan sangat mahal (Perdana Ginting, 2007). Untuk mengatasi persoalan itu diperlukan sebuah terobosan teknologi yang harus memiliki kriteria teknologi pengolahan air limbah yang maju, biaya investasi dan operasional murah, tidak memerlukan areal yang luas, operasi dan perawatan mudah dan sederhana.

Pada awalnya strategi pengelolaan lingkungan mengacu pada pendekatan kapasitas daya dukung. Namun pada kenyataannya, konsep tersebut tergolong sukar untuk diterapkan. Hal ini, dikarenakan oleh adanya kendala yang ditimbulkan. Seiring dengan perjalanan waktu, konsep strategi berubah menjadi upaya pemecahan masalah dengan pengolahan limbah yang terbentuk (*end of pipe treatment/EOP*) dengan harapan kualitas lingkungan bisa lebih ditingkatkan. Tetapi pada kenyataannya, masalah pencemaran lingkungan masih tetap terjadi (Azimi, AA dan Zaman Zadeh, 2004).

Menurut Han dan Yang (2004) dalam Safitri dkk, (2010) teknologi produksi bersih merupakan gabungan antara teknik pengurangan limbah pada sumber pencemar (*source reduction*) dan teknik daur ulang. Dalam produksi bersih, limbah yang dihasilkan dalam keseluruhan proses produksi merupakan indikator ketidakefisienan proses produksi. Oleh karena itu, apabila dilakukan optimasi proses, limbah yang dihasilkan juga akan berkurang.

Menurut Sulasih, dkk, (2012) limbah cair yang dihasilkan dalam proses produksi tahu terbentuk dalam tahapan perendaman, pencucian, penggumpalan, pengepresan dan pencucian alat. Triatmojo (2010), limbah yang dihasilkan oleh proses produksi tahu dari berbagai tahapan mempunyai karakteristik yang berbeda. Karakteristik air limbah tahu ini pada proses perendaman dan pencucian kedelai encer, suhu normal, dan sifat limbah tidak berbahaya, pada proses perebusan, pengepresan, pembungkusan dan pewarnaan pekat, suhu tinggi kandungan organik tinggi, pH cukup asam dan sifat limbah berbahaya

Penelitian A. Van Handle Wang, G.F. Guo, R.Z., Cheng, X., Liu, Q., Zhang, P.J. & Qian, G. R. (2006) kondisi suhu ini mempengaruhi kinerja pengolahan secara biologi, hal ini dikarenakan aktivitas mikroorganisme bekerja optimal dalam suhu 23-35 °C. Secara umum suhu juga mempengaruhi reaksi kimia yang terjadi, kelarutan zat-zat dalam limbah dan memperkuat rasa dan bau. Variasi temperatur akan mempengaruhi proses biologis secara keseluruhan. Temperatur digolongkan menjadi 3 (tiga) yaitu mesofilik 4-39 °C, termofilik 40-55 °C dan psikofilik yang dioperasikan pada suhu dibawah 4 °C (Eckenfelder, 1998).

Menurut Khabab and Akhena, (2011) tingkat keasaman limbah cair yang dihasilkan oleh industri kecil tahu dari proses penggumpalan dan pengepresan berkisar antara 3-5. Untuk sebagian besar bakteri, aktivitas enzim dipengaruhi oleh pH larutan dan aktivitas akan mencapai maksimum pada pH 6,5-8,5. ML Davis dan DA Comwell (2008) menyatakan bahwa bakteri tumbuh baik ketika kondisi lingkungan dalam keadaan basa sedangkan alga dan jamur tumbuh baik dalam keadaan asam. Tingkat keasaman limbah memberi pengaruh terhadap optimalisasi proses biologi an-aerobic Pada proses an-aerobic digestion kondisi pH limbah akan mempengaruhi tahapan-tahapan proses dalam pembentukan metane dari limbah cair industri tahu.

Suspended Solid merupakan kandungan zat-zat baik organik maupun non organik yang tersuspensi dalam limbah cair. *Suspended solid* ini berpengaruh terhadap tingkat kekeruhan limbah cair yang dihasilkan. *Suspended solid* ini merupakan polutan yang mudah untuk diendapkan hanya melalui sedimentasi atau diawali dengan koagulasi dan flokulasi terlebih dahulu (Del Poso R. and Dils V and Beltran's, (2000), hal ini akan memberikan hasil yang lebih baik karena material yang terlampau kecil akan sulit mengendap, dengan adanya koagulasi dan flokulasi maka SS dapat diendapkan dengan lebih efisien. Kandungan BOD limbah cair tahu lebih dari 4000 mg/ltr sehingga lebih efektif dan ekonomis jika dilakukan pengolahan secara an-aerobic. BOD adalah suatu analisa empiris yang coba mendekati secara

global proses-proses mikrobiologi yang terjadi dalam air. Nilai BOD ditentukan dari banyaknya oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk menguraikan hampir semua zat organik terlarut dan sebagian besar zat-zat organik tersuspensi (M. Merzouki, N Bernet, JP Delgenes, 2005).

Parameter-parameter kunci dari polutan yang diperoleh dari penelitian terdahulu tersaji dalam Tabel 1. Dari table 1 dapat terlihat bahwa limbah cair industri tahu dicirikan adanya bahan organik yaitu COD dan BOD, padatan tersuspensi, lemak, protein serta suhu dan pH. Teknik pengolahan air limbah industri tahu perlu dikembangkan teknologi pengolahan berdasarkan kandungan COD, BOD, padatan tersuspensi, serta koloid lemak dan protein. Untuk mengolah kandungan COD dan BOD yang tinggi digunakan pengolahan limbah secara biologi sedangkan pengolahan secara kimia fisika untuk mengatasi kandungan koloid dan padatan tersuspensi.

Table 1. Karakteristik Limbah Cair Tahu

Parameter	Konsentrasi Rata-rata dari Peneliti								
	Satuan	1	2	3	4	5	6	7	8
Suhu	°C	60	75	70	65	55	62	76	80
pH		5,5	4,3	5,2	4,7	4,5	4,65	4,46	4,5
BOD total	mgO ₂ /L	-	-	2000	-	5000	-	3600	4200
BOD terlarut	mgO ₂ /L	-	-	-	-	-	-	-	60
COD total	mgO ₂ /L	4065	4113	7586	8320	4040	5623	5386	6205
COD terlarut	mgO ₂ /L	-	-	3756	4132	-	-	-	-
Padatan tersuspensi	mg/L	1130	1020	2016	1456	1567	1110	1426	1086
Minyak dan lemak	mg/L	-	-	-	64	-	56	-	-
Nitrogen total	mg/L	-	-	520	-	165	-	-	-
Amonia-N	mg/L	250	-	48	-	-	-	-	-
Protein	mg/L	162	-	-	150	-	112	-	-

¹⁾ Ahlem Saddoud, Mariem Ellouze, Abdehafidh Dhouib; (2007), ²⁾ Borja, Caudia ET, Magali C Carmarota; (2002), ³⁾ DP Cassidy and E Belia, (2005) ⁴⁾ Damanhuri TP, N Hakim and S Nurtiono, (2006) ⁵⁾ George Nakla, Andre Lugowski, Jounika Patel, (2006), ⁶⁾ Hang – Qing Yu, Zhen Hu. Hu, Tan – Qiu Hong, Guo – Wei Gu; (2008), ⁷⁾ Jae – Hoon Choi, Seak Dockko, Keusuke Fuklusi, Kazuo Yamamoto, (2002), ⁸⁾ LA Nunez and B Martinez, (2009)

Penanganan limbah cair tahu di Indonesia pada dasarnya hanya dilakukan dengan cara penampungan dengan menggunakan bak-bak di setiap industri kemudian dialirkan ke saluran drainase tanpa pengolahan dan selanjutnya mengalir menuju ke badan air permukaan seperti sungai. Kondisi ini tentu akan beresiko terjadinya pencemaran di air permukaan akibat meningkatnya COD dan BOD serta menurunnya oksigen terlarut di badan air permukaan. Untuk itu seharusnya limbah cair tahu yang akan disalurkan melalui saluran drainase dilakukan pengolahan lebih dahulu bisa dalam bentuk *onsite treatment* (pengolahan setempat) atau *offsitetreatment* (pengolahan terpusat). Alternatif pengolahan yang paling ekonomis dan sederhana dalam mengolah limbah cair tahu dengan proses biologi. Proses pengolahan biologi terbagi menjadi dua yaitu proses aerob yang membutuhkan oksigen dan proses anaerob atau proses biologi tanpa bantuan oksigen.

Selama ini limbah cair yang dihasilkan oleh industri kecil tahu langsung dibuang ke badan sungai atau saluran. Limbah cair dengan kandungan organik tinggi ini akan terurai setelah 12 jam dan menghasilkan bau yang tidak sedap. Karena industri kecil tahu ini sering berada di tengah pemukiman, hal ini cukup menjadi perhatian yang serius. Gangguan yang di timbulkan oleh bau ini cukup menyengat. Selain bau yang menyengat,

limbah cair ini akan menyebabkan kotornya daerah perairan (Romli, Baredo, Damas, A Bes Pia, 2004). Menurut Hang – Qing Yu, Zhen Hu. Hu, Tan – Qiu Hong, Guo – Wei Gu; (2008), masalah lingkungan sekitar industri tahu menjadi tidak sehat, selain itu daerah perairan ikut tercemari oleh limbah cair tahu yang kandungan organik dan suhunya tinggi. Dari segi sosial, pengusaha akan mendapat kritikan dari masyarakat sekitar yang akan mempengaruhi citra pengusaha di mata masyarakat.

Teknologi Pengolahan Industri Kecil Tahu

Menurut RM Clarck dan Speece RE (2001) alternatif pengolahan yang paling ekonomis dan sederhana dalam mengolah limbah cair adalah proses pengolahan biologi. Proses pengolahan biologi terbagi menjadi 2 yakni proses *aerob* yang membutuhkan oksigen dan proses *anaerob* adalah proses biologi tanpa bantuan oksigen. Pengolahan aerobik terdiri dari dua proses yaitu proses oksidasi dan proses fermentasi lewat enzim yang dikeluarkan oleh bakteri.

Pengolahan secara *anaerob* oleh mikroorganisme *anaerob* tanpa adanya oksigen dengan tahapannya hidrolisis, acetogenesis, dan metanogenesis. Pengolahan butuh energi rendah, efluen stabil, lumpur dan kebutuhan nutrisi rendah, dan menghasilkan biogas.(Grady and Lim,1980,et Lettinga, 1996) dan cocok untuk limbah yang mengandung organik tinggi (MZ Halalseh, et, all,2005), teknologi sederhana dan ekonomis. Pengolahan *anaerob* untuk limbah cair tahu yang umum digunakan seperti *septic tank*, *imhoff tank*, *anaerobic lagoon (AL)*, *anaerobic filter (AF)*, dan *Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)*. Seiring dengan perkembangan teknologi pengolahan air limbah industri tahu dikenal pengolahan yang menggunakan reaktor *Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR)*.

Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR).

Pengenalan teknologi baru ASBR harus disertai informasi tentang risiko lingkungan yang dapat ditimbulkan, sehingga konsumen dapat memilih teknologi yang tepat. Teknologi tersebut juga harus kompatibel (selaras) dengan prioritas-prioritas sosial, budaya, ekonomi, dan lingkungan (Sulasih, dkk, 2012). Dalam kasus pencemaran limbah industri tahu, teknologi yang diperkenalkan adalah teknologi penggunaan ASBR (*Anaerobic Sequencing Bath Reactor*) dapat dikombinasikan dengan inovasi setempat untuk mendapatkan teknologi tepat guna (Wong dan Lian, 2006).

Proses pada ASBR adalah anaerobik, pada proses anaerob (an = tidak, aerob = udara atau oksigen) tidak ada oksigen yang terlibat atau dikonsumsi oleh mikroba sehingga tidak ada reduksi zat organik. Namun penyisihannya dapat terjadi jika zat organik telah dikonversi menjadi metana, yang lepas ke udara luar.

Menurut El Shafai, et all, (2007) dalam penelitiannya menyatakan bahwa, secara garis besar dekomposisi material organik dengan proses an-aerob dibagi menjadi 2 *stage* yaitu, tahap produksi asam dan tahap produksi methane. Tahap produksi asam diawali oleh hidrolisis dan diakhiri oleh tahap acidogenesis dan asetogenesis, sedangkan tahap methanogenesis merupakan tahap yang sangat krusial dalam penurunan COD.

Proses *Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR)* dapat dikategorikan sebagai proses pertumbuhan tersuspensi dengan reaksi dan pemisahan zat padat-zat cair dalam satu tangki, hampir sama dengan *Upflow Aerobic Sludge Blanket (UASB)*. Speece, 1996 menyatakan bahwa keberhasilan ASBR tergantung pada terjadinya pengendapan *sludge* yang tergranulasi sebaik mungkin sebagaimana halnya pada proses ASBR (*Anaerobic Sequencing Batch Reactor*). Selama periode reaksi, pengadukan yang *intermitten* selama beberapa menit

setiap jam dilakukan untuk mendapatkan distribusi yang merata antara substrat dan padatan (Sung dan Bague, 2005). Unsur kritis pada proses ASBR adalah kecepatan pengendapan *sludge* selama periode pengendapan sebelum dekantasi efluen. Waktu pengendapan yang biasa digunakan adalah 30 menit (Sind and Chan, et. al, 2010).

ASBR merupakan kombinasi antara reaktor kontinyu dan *batch*. Rangkaian reaktor yang digunakan merupakan modifikasi antara proses *batch* dan kontinyu, yaitu memiliki tahapan-tahapan yang masing-masing tahap dijalankan secara *batch*. Satu siklus operasional ASBR terdiri dari 5 tahap, yaitu : (1) *Fill*; (2) *React*; (3) *Settle*; (4) *Decant / Draw*; (5) *Idle*.

Perubahan komposisi dan konsentrasi material yang terjadi di dalam reaktor merupakan faktor penting pada pengolahan limbah cair. Perubahan ini disebabkan karena adanya *transport* hidrolis material ke dan dari reaktor. Desain proses biologi pada umumnya ditekankan pada laju berbagai komponen yang disisihkan dari air buangan dan laju biomasa yang dihasilkan di dalam reaktor. Pada kebanyakan proses biologi digunakan penggolongan berdasarkan pada laju kinetika yang terjadi reaksi-reaksi yang didasarkan pada kinetikanya akan cenderung memiliki kemungkinan berbagai orde reaksi yang tergantung pada jenis organisme, substrat, maupun kondisi lingkungan.

Tiga metode yang dapat digunakan untuk menganalisa data kecepatan reaksi adalah aljabar, diferensial dan integral (Grady & Lim, 2010). Metode aljabar digunakan untuk data pada pengoperasian ASBR dalam keadaan lunak, dimana kecepatan reaksi dapat dihitung secara aljabar dengan menggunakan persamaan neraca massa keadaan tunak. Sedangkan metode integral dan diferensial digunakan untuk pengolahan data yang diperoleh dari reaktor *batch* yang mengekspresikan bentuk hubungan langsung kecepatan reaksi sebagai fungsi konsentrasi (Grady & Lim, 2010).

Beberapa teknik yang telah dikembangkan oleh beberapa peneliti yaitu (1) ASBR (*Anaerobic Squenching Batch Reactor*, pengolahan secara semi kontinyu fill and draw, lumpur mempunyai waktu yang cukup untuk mengendap sehingga tidak keluar bersama air limbah olahan, D.I. Masse dan L Masse, 2000 & 2001; D.P. Cassidy dan E. Belia, 2005; M. Merzouki, 2005); (2) fixed film reactor (mikroorganisme anaerobik ditumbuhkan pada permukaan media tertentu sehingga tidak terikut keluar bersama keluaran air limbah).

Penelitian Sin and Chang (2010) untuk mengevaluasi faktor mendasar yang mempengaruhi pemisahan padatan dalam ASBR, termasuk konfigurasi reaktor, pengadukan (kontinyu atau terputus), laju pembentukan gas, konsentrasi *mixed liquor suspended solids* dan bioflokulasi-granulisasi, dan untuk menentukan efek faktor-faktor tersebut terhadap kinerja ASBR dalam mengolah substrat sintetis terlarut (*nonfat dry milk*). Penelitian ini menggunakan empat buah reaktor ASBR dengan kapasitas operasional 12 L dengan konfigurasi yang berbeda dioperasikan pada suhu konstan 35°C. ASBR merupakan proses anaerobik *high rate* baru (U.S. Pat. No. 5,185,079) yang tengah dikembangkan oleh Dague dan sejawatnya di *Iowa State University*. Sasaran dari percobaan ini adalah untuk mengevaluasi faktor mendasar yang mempengaruhi pemisahan padatan dalam ASBR termasuk konfigurasi reaktor, pengadukan (kontinyu atau terputus), laju pembentukan gas, konsentrasi *mixed liquor suspended solids* dan bioflokulasi-granulasi, dan untuk menentukan efek faktor-faktor tersebut terhadap kinerja ASBR dalam mengolah substrat sintetis terlarut (*nonfat dry milk*). ASBR mampu mencapai lebih dari 90% pengurangan COD *soluble* pada substrat susu sintetis pada beban COD dari 2 hingga 12 g/L.hari pada HRT 48, 24, dan 12 jam. Konfigurasi reaktor penting dalam pembentukan *sludge granular*. Reaktor yang rektif tinggi-ramping memiliki kecenderungan untuk menyeleksi granul secara lebih baik

dibanding reaktor yang pendek-gemuk. Namun demikian, reaktor yang lebih pendek dapat mengakumulasi konsentrasi biomasa dengan lebih baik dibandingkan reaktor yang tinggi. Pengadukan yang terputus lebih cenderung disukai dibanding pengadukan kontinu baik dari segi penyisihan COD maupun produksi metana.

PENUTUP

Dari *overview* telaah pustaka tentang perkembangan pengolahan air limbah industri tahu dapat diambil kesimpulan bahwa:

- Limbah cair tahu dicirikan oleh tiga masalah utama yaitu adanya bahan organik terlarut (BOD/COD) dengan konsentrasi tinggi dan padatan tersuspensi seperti lemak dan protein serta pH sehingga semua penelitian air limbah tahu difokuskan untuk mengatasi masalah tersebut.
- Pengolahan secara *Anaerobic Sequencing Batch Reactor* (ASBR) biologis anaerobik merupakan alternatif pengolahan yang ramah lingkungan untuk mengolah bahan organik pada limbah industri tahu. Teknologi pengolahan secara anaerobik diarahkan untuk menahan mikroorganisme di dalam reaktor sehingga didapat biogas yang merupakan energi terbarukan yang ramah lingkungan.

Overview dalam makalah ini belum membahas strategi pengolahan limbah cair tahu dengan metode keefisiensi dan produksi bersih.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahlem Saddoud, Mariem Ellouze, Abdehafidh Dhouib. 2007, Anaerobic Membrane Bioreactor Treatment of Tofu Waste-Water In Tunisia, *Desalination* 207 (2007) 205 – 215.
- Azimi, A. A. dan Zamanzadeh, M.. 2004. *Determination of Design Criteria for UASB Reactors as a Wastewater Pretreatment System in Tropical Small Communities*. Int. J. Environ. Sci. Tech. Vol. I, No. 1, pp. 51-57, Spring.
- Borja, Caudia ET, Magali C Carmarota, 2002. Evaluation of a New Three Phase Separation System in a ASBR Reactor, *Bioresource Technology*, Vol 81, Issue 1, January 2003, page 61 – 69.
- lark, R. M. dan Speece, R. E. 2001. *The pH Tolerance of Anaerobic Digestion*. *Advances in Water Pollution Research* II-27/1 to 14.
- Damanhuri TP, N Hakim and S Nurtiono, 2006. *The Role Effluent Resirculation in Increasing Efficiency of Anaholic Wastewater Treatment of Tofu Industry*, *Proceeding of the Indonesion Biotechnology Conference*, 2 February 2006, 102 - 116.
- Davis, M. L. dan Cornwell, D. A.. 2008. *Introduction to Environmental Engineering*. McGraw-Hill, New York. p. 456.
- Davis, M. L.. 2010. *Water and Wastewater Engineering; Design Principles and Practice*. McGraw-Hill Companies, Inc.
- DP Cassidy and E Belia, 2005. *Nitrogen and Phosphorus Removal from an Abattoir Wastewater in a SBR with Aerobic Granular Sludge*, *Water Research* 39 (2005) 4817 – 4823.
- Eckenfelder, W. W., J. B. Patoczka, dan G. W. Pulliam. 1998. *Anaerobic Treatment Versus Aerobic Treatment in the U.S.A.*

- George Nakla, Andre Lugowski, Jounika Patel, 2006. *Combined Biological and Membrane Treatment of Food Processing Wastewater ad Achive Dry Ditch Criteria, Pilot and Full-Scale Peformance Bioresource Technology* , Volume 97, Issue 1, January 2006, Pages 1-14.
- Ginting, P. 2007. *Mencegah dan Mengendalikan Pencemaran Industri*. Pustaka Sinar Harapan: Jakarta.
- Grady, C. P. L. dan H. C. Lim. 2010. *Biological Waste Water Treatment*. Marcel Dekker, Inc.: New York.
- Halalsheh, M., Z. Sawajneh. M. Zu'bi. G. Zeeman, J. Lier, M. Fayyad, dan G Lettinga. 2005. *Treatment of Strong Tofu Sewage UASB Reactor Operated in Ambient Temperatures : Two-Stage versus Single-Stage Reactor*. Biosource Technology 96, 577-585.
- Hang – Qing Yu, Zhen Hu. Hu, Tan – Qiu Hong, Guo – Wei Gu, 2000. Performance of an Aerobic Filter Treating Saybean Processing Waste Water With and Without Effluent Recycle, *Bio Chemistry* (38) pages 507 – 513.
- Khabab and Akhena, 2011. *Anaerobic Proces, Water Science and Tecnology* Vol. 62. No. 18 – 22 pp. 326 – 330. IWA.
- LA Nunez and B Martinez, 2009. *Anaerobic Treatment Tofu Wastewater in an Expanded Granular Sludge Bed (EGSB) Reactor, Water Science and Technology*, Vol 40, Issue 8, 2009, Pages 99-106.
- Lettinga, G. 2002. *Treatment of Tofu Sewage in a Low Step Anaerobic Filter/Anaerobic Hybrid System at Low Temperature*. *Wat Res.*, 36, 2225-2232.
- M Merzouki, N Bernet, JP Delgenes, 2005. *Effect of Prefermantion on Deni Trifing Phosphorus Removal in Tofu Wastewater, Bioresource Technology* Vol 96, Issue 12, August 2005, Pages 1317 – 1322.
- R Del Pozo and V Dils and S Beltran; 2000. *Anaerobic Pre-Treatment of Tofu Wastewater Using Fixed-Film Reactors Bioresources Technology* Vol 71, Issue 2, January 2000, pages 143 – 149.
- Romli, Barredo Damas, A Bes – Pia, 2004. *Study of Prezonation Influence, On The Physical-Chemical Treatment of Tofu Wastewater, Desalination*, Vol 182, Issue 1-3, 1 Nopember 2004, Pages 267-274
- Santosa. 2011. *Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah*. UI Press : Jakarta.
- Sin and Chang, Leal, Lucia Hernandez, Hardy Temmink, Gritje Zeeman, dan Cees J. N. Buisman. 2010. *Comparison of Three Systems for Biological Tofu Treatment*. *Water* 2010, 2, 155-169. www.mdpi.com/journal/water
- Speece, R. E.. 1996. *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters*. Archae Press, Nashville, TN.
- Sulasih, Setyowati, Edy Suhartono, 2012. Rancang Bangun Reaktor Anaerob Sebagai Sistem Pengolahan Air Limbah. *Jurnal Rekayasa Proses*, Vol 6 No 1, 2012, hal 14 – 19.
- Suparni Setyowati Rahayu, Adhy Purnomo, Amrul, 2012. *Rekayasa Pengolahan Limbah Cair Tapioka Dengan Reaktor ASBR*, *Jurnal Teknis*, Vol. 2 No.2, 2012 hal. 18 – 25.
- Triatmojo, 2010. *Optimasi Pengolahan Limbah Cair Tahu Menggunakan ASBR Reaktor*, *Bioteknologi* 8 (2), 2010, hal 52 – 56.
- Van Haandel, A. 2006. *Anaerobic Reactor Design Concepts for the Treatment of Tofu Wastewater*. *Rev. Environ. Sci. Bio/Technol*, p. 5-21.
- Wagiman, 2006. *Identifikasi Potensi Produksi Biogas Dari Limbah Cair Tahu Dengan Reaktor ASBR*, *Bioteknologi* 4 (2), 2006, hal 41 – 48.

REKAYASA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI KECIL BATIK YANG MENGANDUNG TIMBAL DENGAN METODE ELEKTROLISA

Suparni Setyowati Rahayu¹⁾, Sri Astuti²⁾, Vonny Siti Anggrahini Budiarti¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang

email : suparnirahayu@yahoo.co.id

email : vonny_sosrowidjojo@yahoo.co.id

²⁾Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Semarang

email : astuti@yahoo.com

ABSTRAK

Proses produksi industri kecil batik, melepaskan air buangan yang tanpa diproses terlebih dahulu. Air buangan langsung dibuang ke badan air. Limbah cairnya mengandung warna kuning yang berasal dari logam timbal sebesar 82,561 mg/l yang melebihi Baku Mutu air limbah batik berdasar Perda Jateng No.10 tahun 2004, yaitu kandungan maksimum timbal dalam air limbah pada industri kecil batik dan sejenisnya 0,1 mg/l serta merupakan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Oleh karena itu, teknologi inovatif yang handal dan ramah lingkungan perlu dikembangkan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji secara fundamental karakteristik penyisihan logam timbal dari limbah cair batik dengan metode elektrolisa. Untuk mendapatkan pemahaman karakteristik proses secara komprehensif, penelitian ini akan difokuskan pada dua parametrik instrinsik, yaitu : (i) elektrokimia (tegangan terpasang dan dapat arus) (ii) psiko kimia fluida (waktu proses dan konsentrasi kontaminan). Pemahaman aspek teknis ini diperoleh melalui eksperimental skala laboratorium, model teoritis dan uji skala pilot. Elektrolisa memiliki kemampuan untuk menyisihkan timbal pada limbah cair pewarnaan kain batik pada industri kecil batik. Penyisihan timbal limbah cair pewarnaan kain batik untuk konsentrasi awal 57,4913 mg/l menjadi 2,2189 mg/l dengan efisiensi sebesar 96,14 %, konsentrasi awal 88,4931 mg/l menjadi 1,4078 mg/l dengan efisiensi sebesar 98,54 %, dan konsentrasi awal 111,465 mg/l menjadi 3,6668 mg/l dengan efisiensi sebesar 96,71%. Lamanya waktu proses elektrolisa untuk menyisihkan timbal pada limbah cair pewarnaan kain batik mengikuti model persamaan hubungan antara konsentrasi penyisihan timbal dengan waktu proses elektrolisa, yaitu $Y_{(t)} = 33,765e^{-0,02t}$, $Y_{(t)}$ = konsentrasi akhir timbal (mg/l), t = waktu penyisihan timbal (menit).

Kata kunci : timbal, limbah batik, elektrolisa.

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan kemajuan teknologi, pemakaian logam berat pada kegiatan industri semakin diperlukan untuk peningkatan proses produksi. Salah satu sentra industri, yaitu industri batik dengan proses pewarnaan batik menggunakan pewarna yang mengandung logam berat timbal dalam senyawa timbal nitrat.

Daerah yang mempunyai banyak industri kecil batik dengan proses pewarnaan kainnya terlebih dahulu adalah di desa Simbangkulon, Kabupaten Pekalongan. Salah satu zat warna yang digunakan di industri tersebut adalah *yellow brown* yang mengandung timbal. Hasil uji terhadap limbah pembilasan proses pewarnaan batik di daerah tersebut menunjukkan bahwa kandungan timbalnya adalah 82,561 mg/l (Suparni Setyowati Rahayu, 2011). Air limbah tersebut langsung dibuang ke selokan karena industri tersebut belum menyediakan unit pengolahan limbah cair. Hal tersebut akan memberikan efek samping dan kontribusi terhadap pencemaran lingkungan. Kandungan timbal limbah pembilasan proses pewarnaan batik di desa Simbangkulon, Kabupaten Pekalongan melampaui Baku Mutu Air Limbah berdasar Perda Jateng Nomor 10 Tahun 2004 yang menyebutkan bahwa kandungan maksimum timbal

bagi industri batik adalah 0,1 mg/l. Peraturan yang memuat timbal sebagai bahan berbahaya tertuang dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 85 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, menyebutkan bahwa timbal dari limbah pencucian proses pewarnaan industri kecil batik termasuk limbah bahan berbahaya dan beracun dengan kode limbah D 215. Selain itu, juga menyebutkan bahwa timbal termasuk dalam daftar pencemar yang bersifat kronis dengan kode D 5263.

Limbah proses pewarnaan batik yang dibuang ke selokan mengalir ke sungai, peruntukan sungai tersebut adalah mengairi pertanian, peternakan, dan budidaya ikan air tawar. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 82 Tahun 2001 menyebutkan bahwa batas maksimum timbal dalam air sungai adalah 0,03 mg/l untuk kelas II, yaitu air sungai digunakan untuk rekreasi air, budidaya ikan air tawar, peternakan, mengairi tanaman atau sejenisnya. Timbal yang terkandung dalam tanaman dan hewan dapat dikonsumsi manusia. Menurut WHO, konsumsi maksimum timbal bagi orang dewasa adalah 0,05-0,956 mg/kg berat badan tubuh dan bagi bayi atau anak-anak adalah 0,025-0,956 mg/kg berat badan. Timbal yang masuk ke dalam tubuh dapat mengganggu sistem saraf dan mempengaruhi kerja ginjal.

Berdasarkan masalah tersebut di atas maka teknologi penyisihan logam berat timbal menjadi pokok pembahasan penelitian ini sehingga akan memberikan gambaran penggunaan metode elektrolisa. Metode ini dapat menyisahkan logam timbal yaitu dengan mengakumulasi substansi logam timbal pada permukaan aluminium sebagai elektroda maupun terjadinya endapan timbal yang dapat dipisahkan dari larutannya (Tsai, CT, dkk, 1997).

Salah satu sentra industri kecil batik terletak di Desa Simbangkulon, Kabupaten Pekalongan dengan kapasitas produksi sekitar 1428 kodi per bulan dengan bahan baku pewarna yang mengandung timbal sebesar 225 kg per bulan. Sesungguhnya industri batik di Indonesia memiliki potensi pasar yang sangat besar.

Dalam proses produksinya, industri kecil batik melepaskan air buangan yang tanpa diproses terlebih dahulu. Air buangan langsung dibuang di badan air. Salah satu tahap dalam proses pengolahan limbah cair batik adalah pemisahan ion-ion logam timbal. Penggunaan bahan-bahan kimia untuk proses koagulasi, selain membutuhkan banyak bahan kimia, teknik ini akan menghasilkan banyak *sludge* (Augilar M.I., Saez, J. 2003). Pengawasan mutu efluent air limbah dan isu lingkungan semakin ketat. Oleh karena itu, teknologi inovatif yang handal dan ramah lingkungan perlu dikembangkan (Mollah, M.Y.A., Schennach R., Parga J.P. (2001).

Teknik elektrolisa ini, proses penyisihan dapat dilakukan secara kontinu tanpa perlu menggunakan bahan-bahan kimia sehingga prosesnya ramah lingkungan. Disamping itu unit elektrolisa berbentuk modulan yang mudah di *scale-up* sesuai dengan jumlah umpan yang akan diproses (Chen. G.2004). Komponen biaya terbesar dari teknik elektrolisa kontinu untuk penyisihan logam timbal adalah biaya energi listrik (daya) dan biaya instalasi. Biaya listrik dan biaya instalasi bergantung pada laju transfer logam timbal dan efisiensi arus yang pada akhirnya menentukan ukuran instalasi dan daya listrik. Evaluasi kelayakan teknologi ekonomi teknik elektrolisa kontinu ditentukan oleh parameter

operasi dan parameter disain (Mahmut Bayramoglu, Mehmet Kobya, 2006). Sebagai contoh, ukuran instalasi berkurang dengan meningkatnya rapat arus, sedangkan konsumsi energi akan meningkat. Kecenderungan biaya instalasi dan biaya energi yang berlawanan ini memerlukan optimasi proses. Pada kondisi dimana rapat arus tidak linear lagi terhadap regangan terpasang daya sebagian digunakan untuk proses elektrolisis air menjadi ion hidrogen dan hidrolisa. Kondisi optimum hanya dapat diperoleh melalui investigasi skala laboratorium, uji stabilitas sistem skala pilot dan simulasi kelakuan proses (Pouet, M.F. Grasmick, A., 1995).

METODE PENELITIAN

Ada empat aspek yang diperlukan sebelum teknik elektrolisa kontinu diaplikasikan untuk penyisihan logam timbal dalam skala industri, yaitu : (i) tipe elektroda aluminium sludge barrier selektif mobilitas logam Pb, (ii) konfigurasi reaktor yang memberikan penyisihan logam Pb, (iii) kondisi operasi yang memberikan transfer logam Pb dan efisiensi arus maksimum, (Chen, G. X, P.L. Chen Yue, 2000). Secara umum penelitian ini terdiri dari tiga kajian yaitu (i) eksperimental laboratorium baik dengan skala kecil dan skala pilot (ii) pengembangan model empirik tentang korelasi kinerja proses terhadap parameter operasi dan untuk mendapatkan tahapan penelitian yang runtut dengan hasil dan kemajuan yang direncanakan setiap tahunnya.

Penelitian eksperimen laboratorium difokuskan pada optimasi parameter operasi yang meliputi laju alir, konsentrasi umpan, tegangan terpasang dan rapat arus. Setiap pasang elektroda, satu dihubungkan dengan listrik muatan positif (+) sebagai anoda dan yang satunya lagi dihubungkan dengan muatan negatif (-) sebagai katoda. Setelah itu 8 pasang elektroda tersebut dihubungkan secara paralel dengan voltmeter dan amperemeter serta sumber listrik. Kutub positif power supply dihubungkan dengan kutub positif voltmeter kemudian dihubungkan pada anoda. Kutub negatif power supply dihubungkan dengan kutub negatif pada voltmeter. Kutub negatif voltmeter dihubungkan dengan kutub negatif amperemeter lalu dihubungkan pada katoda (Lin S.H. Peng. C.F., 1994).

Star Up dimulai dengan pengecekan peralatan dan alat ukur. Setelah keduanya dipastikan tidak ada permasalahan, kegiatan dilanjutkan dengan pengamatan distribusi aliran dan kestabilan arus listrik. Untuk star up digunakan air demin larutan Pb (NO₃)₂ sebagai umpan dan konsentrat. Limbah simulasi divariasikan antara 2 – 20 liter/jam dimasukkan ke dalam reaktor yang sudah dirangkai. Sumber arus dinyalakan lalu arus diatur hingga sebesar 0,1 - 4 A, tegangan terpasang divariasikan 1 – 50 volt. Penggunaan kuat arus ini didasarkan pada penelitian (X. Chen, G. Chen, P.L. Yue, 2002) bahwa kuat arus sebesar itu optimum untuk penelitian skala laboratorium dengan luas penampang tiap elektroda aluminium 375 cm², jumlah elektroda 8-16 pasang dengan jarak antar elektroda 0,5 inch yang disusun secara paralel. Menurut penelitian (Chen, G. X, P.L. Chen Yue, 2000) menyebutkan bahwa dengan waktu 30 menit dapat menyisihkan timbal lebih dari 90 % sehingga ingin diketahui efisiensi penyisihan sebelum 30 menit. Waktu terlalu lama penelitian adalah 150 menit karena Sri Astuti (2012) menyebutkan bahwa waktu 120 menit bisa menyisihkan logam berat sebanyak 99%. Variasi waktu sebanyak 10 kali dengan

pengulangan setiap 15 menit. Masing-masing percobaan dilakukan pengulangan 2 kali dimaksudkan agar justifikasi terhadap hasil lebih kuat.

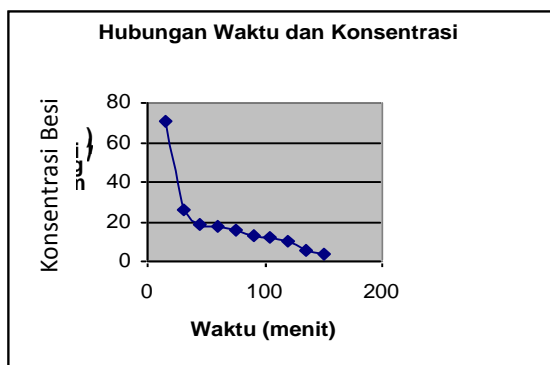
Efluen air limbah setelah proses elektrolisa diambil 10 cc. Kadar timbal dalam sampel tersebut dianalisa dengan menggunakan Spektrometer Serapan Atom untuk mengetahui jumlah timbal yang tersisihkan. Sampel ini disimpan dalam lemari es jika tidak langsung diuji Spektrometer Serapan Atom. Saat akan diuji, sampel tersebut harus disaring terlebih dahulu. Tujuannya, agar flok-flok yang masih ada dalam sampel tidak ikut terukur

Analisa data menggunakan analisa uji dua rataan antara konsentrasi akhir timbal pengulangan pertama dengan konsentrasi akhir timbalg pengulangan kedua. Tes banding hasil penyisihan elektrolisa pada konsentrasi awal timbal antara pengulangan pertama dengan pengulangan kedua bertujuan untuk mengetahui ada atau tidak perbedaan yang signifikan pada rata-ratanya. Tes dilakukan dengan uji-t, asumsi variansi tidak sama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa statistik diawali dengan membandingkan konsentrasi timbal hasil penyisihan elektrolisa antara pengulangan pertama dengan pengulangan kedua, ini bertujuan untuk mengetahui ada atau tidak perbedaan yang signifikan pada rata-ratanya. Uji dilakukan dengan uji-t. Hasil analisa statistik menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan antara rata-rata konsentrasi akhir timbal pengulangan pertama dengan rata-rata konsentrasi akhir timbal pengulangan kedua. Karena tidak ada perbedaan, maka penentuan model persamaan hubungan antara waktu penyisihan timbal dengan konsentrasi akhir timbal setelah proses elektrolisa dapat menggunakan data konsentrasi akhir timbal pada pengulangan pertama maupun kedua.

Grafik hubungan antara waktu penyisihan timbal dengan konsentrasi timbal pada konsentrasi timbal awal sebesar 57,4913 mg/l menunjukkan garis eksponensial.



Gambar 1. Grafik Hubungan Konsentrasi Akhir Timbal dengan Waktu Penyisihan Timbal pada Konsentrasi Awal 57,4913 mg/l.

$$\ln Y_{(t)} = \ln a + b.t$$

maka persamaan modelnya adalah :

$$\ln Y_{(t)} = 3,465 - 0,02323 t$$

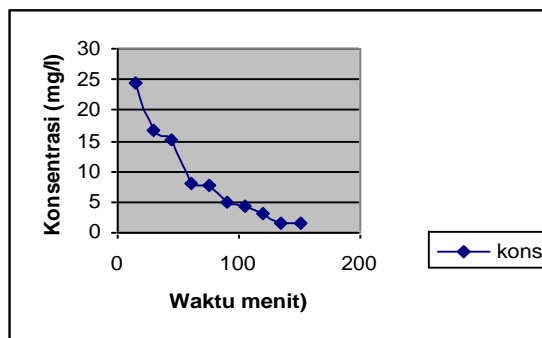
$$Y_{(t)} = 31,977e^{-0,02323t}$$

$Y_{(t)}$ = konsentrasi akhir besi (mg/l), t = waktu penyisihan besi dengan elektrolisa (menit)

Data konsentrasi akhir timbal dan waktu penyisihan timbal digunakan untuk menentukan grafik hubungan antara waktu penyisihan timbal dengan konsentrasi akhir timbal. Grafik tersebut menunjukkan garis eksponensial. Kemudian ditentukan model persamaan

eksponensial antara waktu penyisihan timbal dengan konsentrasi akhir timbal. Konsentrasi awal timbal 57,4903 mg/l mempunyai nilai R^2 sebesar 0,8966, artinya 89,66 % variasi konsentrasi akhir timbal dapat disebabkan oleh hubungan linier dengan nilai waktu penyisihan timbal dimana faktor lain tidak diperhitungkan.

Grafik hubungan antara waktu penyisihan timbal dengan konsentrasi timbal pada konsentrasi timbal awal sebesar 88,4931 mg/l menunjukkan garis eksponensial.



Gambar 2. Grafik Hubungan Konsentrasi Akhir Timbal dengan Waktu Penyisihan Timbal pada Konsentrasi Awal 88,4931 mg/l

Persamaan modelnya adalah :

$$\ln Y_{(t)} = 3,5195 - 0,021 t$$

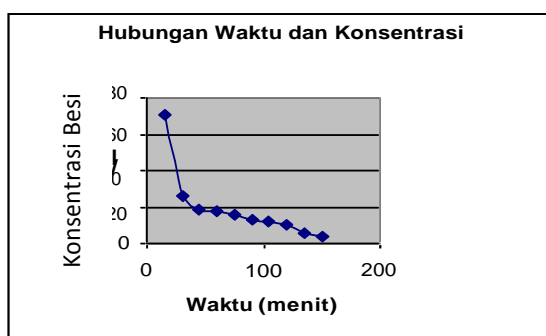
$$Y_{(t)} = 33,7659 e^{-0,021t}$$

$Y_{(t)}$ = konsentrasi akhir besi (mg/l)

t = waktu penyisihan besi (menit)

Konsentrasi awal timbal 88,4931 mg/l mempunyai nilai R^2 sebesar 0,9848, artinya 98,48 % variasi konsentrasi akhir timbal dapat disebabkan oleh hubungan linier dengan nilai waktu penyisihan timbal dimana faktor lain tidak diperhitungkan.

Grafik hubungan antara waktu penyisihan timbal dengan konsentrasi timbal pada konsentrasi timbal awal sebesar 111,465 mg/l menunjukkan garis eksponensial



Gambar 3. Grafik Hubungan Konsentrasi Akhir Timbal dengan Waktu Penyisihan Timbal pada Konsentrasi Awal 111,465 mg/l

Persamaan modelnya adalah :

$$\ln Y_{(t)} = 4,0233 - 0,0166 \ln t$$

$$Y_{(t)} = 55,8859 e^{-0,0166t}$$

$Y_{(t)}$ = konsentrasi akhir besi (mg/l)

t = waktu penyisihan besi (menit)

Konsentrasi awal timbal 111,465 mg/l mempunyai nilai R^2 sebesar 0,8881, artinya 88,81 % variasi konsentrasi akhir timbal dapat disebabkan oleh hubungan linier dengan nilai waktu penyisihan timbal dimana faktor lain tidak diperhitungkan. Model persamaan yang didapatkan kemudian diuji untuk menentukan ada atau tidak hubungan antara waktu penyisihan timbal dengan konsentrasi akhir timbal. Uji yang dilakukan adalah uji F dan uji t. Hasil uji F dan uji t pada konsentrasi awal timbal sebesar 57,4903 mg/l menunjukkan hasil bahwa ada hubungan antara waktu penyisihan timbal dengan konsentrasi akhir timbal. Hubungan tersebut adalah semakin lama waktu penyisihan timbal maka semakin besar efisiensi penyisihan timbal. Hasil uji F dan uji t pada konsentrasi awal timbal sebesar 88,4931 mg/l dan konsentrasi awal timbal sebesar 111,465 mg/l menunjukkan hasil yang sama dengan konsentrasi awal timbal sebesar 57,4903 mg/l, yaitu ada hubungan antara waktu penyisihan timbal dengan konsentrasi akhir timbal. Adanya hubungan antara waktu penyisihan timbal dengan konsentrasi akhir timbal menunjukkan bahwa model dapat diterima dan digunakan untuk menentukan besarnya konsentrasi timbal setelah proses elektrolisa jika diketahui waktu penyisihannya atau menentukan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk menyisihkan konsentrasi timbal sesuai yang diharapkan. Model persamaan hubungan antara waktu penyisihan timbal dengan konsentrasi akhir timbal yang digunakan adalah model yang memberikan nilai R^2 terbesar. Model ini dapat diaplikasikan pada limbah pewarnaan kain batik industri batik di desa Simbang Kulon, Pekalongan untuk menentukan berapa lama waktu pengolahan limbah. Berdasarkan model persamaan, waktu yang dibutuhkan untuk pengolahan limbah di industri tersebut agar memenuhi baku mutu sebesar 0,1 mg/l adalah 4 jam.

Hasil uji anova menunjukkan bahwa ada perbedaan perlakuan antara variasi konsentrasi awal timbal sebesar 57, 4903 mg/l, 88,4931 mg/l dan 111,465 mg/l serta variasi waktu berbagai perlakuan yang mempengaruhi konsentrasi akhir timbal. Jadi, masing-masing perlakuan tiap waktu pada konsentrasi awal timbal memberikan hasil berupa konsentrasi akhir timbal yang berbeda.

KESIMPULAN

Elektrolisa memiliki kemampuan untuk menyisihkan timbal pada limbah cair pewarnaan kain batik pada industri kecil batik. Penyisihan timbal limbah cair pewarnaan kain batik untuk konsentrasi awal 57,4913 mg/l menjadi 2,2189 mg/l dengan efisiensi sebesar 96,14%, konsentrasi awal 88,4931 mg/l menjadi 1,4078 mg/l dengan efisiensi sebesar 98,54%, dan konsentrasi awal 111,465 mg/l menjadi 3,6668 mg/l dengan efisiensi sebesar 96,71 %.

Lamanya waktu proses elektrolisa untuk menyisihkan timbal pada limbah cair pewarnaan kain batik mengikuti model persamaan hubungan antara konsentrasi penyisihan timbal dengan waktu proses elektrolisa, yaitu

$$Y_{(t)} = 33,7659e^{0,021t}$$

Keterangan :

$Y_{(t)}$ = konsentrasi akhir besi (mg/l)

t = waktu penyisihan besi (menit)

Pemanfaatan kembali timbal yang tersisihkan akibat elektrolisa di industri kecil kain batik sehingga didapatkan industri yang berwawasan lingkungan

REFERENSI

- c.T. Tsai, S.T. Lin, Y.C. Shue, P.L. Su, Electrolysis of soluble organic matter in leachate from landfills, *Water Res.* 31 (1997) 3073–3081.
- G. Chen, Electrochemical technologies in wastewater treatment, *Sep. Purif. Technol.* 38 (2004) 11–41.
- M.I. Aguilar, J. Sáez, M. Lloréns, A. Soler and J. F. Ortuño , Microscopic observation of particle reduction in slaughterhouse wastewater by coagulation–flocculation using ferric sulphate as coagulant and different coagulant aids, *Water Research*, Vol. 37, Issue 9, May 2003, Pages 2233-2241
- M.F. Pouet, A. Grasmick, Urban wastewater treatment by electrocoagulation and flotation, *Water Sci. Technol.* 31 (1995) 275–283.
- M.Y.A. Mollah, R. Schennach, J.P. Parga, D.L. Cocke, Electrocoagulation(EC) - science and applications, *J. Hazard. Mater.* B84 (2001) 29–41.
- Mahmut Bayramoglu, Mehmet Kobya, Murat Eyvaz and Elif Senturk, Technical and economic analysis of electrocoagulation for the treatment of poultry slaughterhouse wastewater, *Separation and Purification Technology* , Vol. 51, Issue 3, October 2006, Pages 404-408
- Rahayu, Suparni Setyowati. 2011. Identifikasi Logam Berat Timbal pada Limbah Pewarnaan Kain Batik. *Majalah Info*. Edisi IV Nomer 1. Februari 2011 halaman 65-71
- S.H. Lin, C.F. Peng, Treatment of textile wastewaters by electrochemical method, *Water Res.* 28 (1994) 277–876.
- X. Chen, G. Chen, P.L. Yue, Electrocoagulation and electroflotation of restaurant wastewater, *J. Environ. Eng.* 126 (2000), 858–863
- X. Chen, G. Chen, P.L. Yue, Novel electrode system for electroflotation of wastewater, *Environ. Sci. Technol.* 36 (2002), 778–783.

KONTRIBUSI GAS RUMAH KACA PADA INDUSTRI KECIL BATIK TERHADAP PEMANASAN GLOBAL

Velma Nindita¹

¹Teknik Lingkungan Universitas PGRI Semarang

Jl. Sidodadi Timur No. 24 Semarang

email : velma_nindita@yahoo.com , nindita.velma@gmail.com

Abstrak

Meningkatnya kebutuhan produksi batik karena adanya permintaan pasar yang tinggi pula menyebabkan dampak positif dan negatif bagi kehidupan di dunia perindustrian. Dampak positif tentunya dari sisi ekonomi, dan dampak negatif dari sisi limbah yang dihasilkan. Sisi negatif dari produksi batik ini jika tidak ada pengelolaan dengan tepat dapat membahayakan pencemaran lingkungan baik dalam bentuk limbah padat, cair, maupun emisi yang dihasilkan. Limbah-limbah ini juga berkontribusi menghasilkan emisi gas rumah kaca yang dapat menimbulkan pemanasan global. Jika dibayangkan, setiap satu home industry batik dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca sebesar $4,5 \times 10^{-5}$ ton CO₂ equiv per produk, bagaimana jika total keseluruhan home industry dijumlahkan dan seberapa besar jumlah emisi GRK CO₂ yang dihasilkan jika tidak ada teknologi atau konsep sistem pengelolaan yang lebih baik untuk penanganan tersebut. Tujuan penelitian ini adalah menghitung jumlah limbah produksi batik dan seberapa besar jumlah gas rumah kaca yang dihasilkan dari produksi batik tersebut pada industri kecil. Berdasarkan hasil analisis penelitian pada satu industri batik di Pekalongan didapatkan perhitungan emisi gas rumah kaca per produk jadi 1 unit batik didapatkan dengan hasil sebagai berikut, kayu bakar $3,6 \times 10^{-7}$ ton GHG, listrik $7,3 \times 10^{-6}$ ton CO₂ equiv ; dan LPG menghasilkan $1,3 \times 10^{-6}$ ton GHG. Konsumsi energi $5,48 \times 10^{-4}$ Gigajoule [energi] per produk, dan total emisi gas rumah kaca $4,5 \times 10^{-5}$ ton CO₂ equiv per produk. Sedangkan jumlah limbah cair pada proses produksi batik proses pewarnaan kebutuhan air 76L, jumlah limbah 57,5 L, proses pelorodan kebutuhan air 900 L, jumlah limbah 865,7 L, proses pencucian 1500 L, dan pemakaian listrik 0,307 KWh

Kata kunci: gas rumah kaca, emisi, limbah.

I. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Isu pemanasan global dan perubahan iklim menjadi serius mulai abad 18 (1750) sampai abad 21 dan juga menjadi tantangan dalam perencanaan pembangunan kota saat ini dan mendatang. Penduduk dunia mulai merasakan suhu udara secara perlahan dari waktu ke waktu semakin panas. Pemanasan global telah berpengaruh nyata pada seluruh sendi kehidupan manusia diseluruh dunia,

mulai dari bidang transportasi, pertanian, kehutanan, peternakan, industri dan lain sebagainya. Gas-gas yang menyebabkan emisi GRK penyebab pemanasan global diantaranya CO₂, CH₄, NO, NO₂, CO, PFC, dan SF₆. Gas Rumah Kaca inilah yang menyerap dan memantulkan kembali radiasi gelombang yang dipancarkan ke bumi sehingga permukaan bumi menjadi panas.

Kontribusi terbesar gas rumah kaca terhadap pemanasan global adalah CO₂ = 82%, CH₄ = 15%, sisanya gas lain. Gas CO₂ adalah salah satu gas yang secara alamiah keluar saat manusia bernafas, hasil pembakaran kayu, pembakaran batu bara, konsumsi bahan bakar seperti minyak tanah, bensin, solar, LPG, bahkan penggunaan listrik juga menghasilkan GRK. Berkaitan dengan hal tersebut, ternyata suatu industri batik juga mempunyai kontribusi GRK yang cukup signifikan. Kota Pekalongan merupakan salah satu kota penghasil batik terbesar di Indonesia, dan dijuluki dengan nama Kota Batik. Kota ini juga yang paling dominan dalam pemasokan batik ke pasar maupun grosir di nusantara. Sisi negatif dibalik keindahan batik-batik yang dihasilkan ada persoalan lain salah satunya yaitu limbah batik. Dalam kenyataannya limbah batik ini memang menjadi masalah yang masih sulit untuk ditanggulangi, karena setiap produsen batik setiap harinya dapat membuang puluhan kubik air bekas rendaman pewarnaan, cucian dsb yang tercampur dengan obat batik dan itu dialirkan ke sungai tanpa proses penyaringan terlebih dahulu. Oleh sebab itu sungai-sungai dikawasan Pekalongan dan khususnya di Buaran dan sekitarnya menjadi berwarna dan menimbulkan bau yang tidak sedap. Yang lebih parahnya lagi air sumur warga yang bertempat tinggal dibantaran sungai tersebut menjadi terkontaminasi oleh limbah tersebut, sehingga warna air sumur berubah menjadi sedikit keruh dan berbau. Semua itu dapat membahayakan jika air yang terkontaminasi limbah batik itu digunakan untuk kebutuhan sehari-hari seperti, mandi, mencuci, serta memasak air. Masyarakat sekitar tampaknya belum sadar akan dampak yang akan dirasakan oleh limbah tersebut. Mereka semua hanya berfikir bagaimana membuat batik yang baik dan bagus agar laku di pasaran lokal maupun mancanegara.

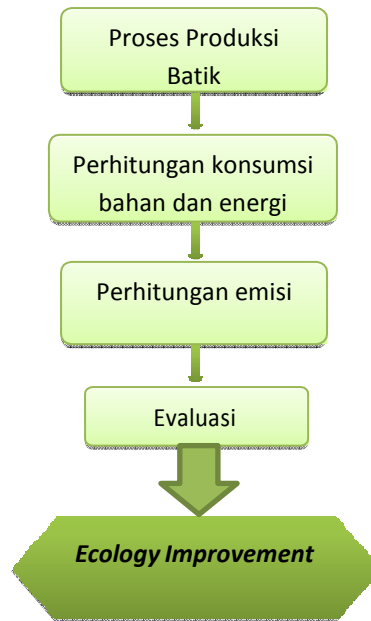
Identifikasi Masalah

1. Inefisiensi penggunaan bahan baku dan sumber daya (air dan energi) dapat menimbulkan pengaruh terhadap lingkungan.
2. Besarnya efek gas rumah kaca yang dapat menimbulkan pemanasan global jika di industri batik tidak ada pengelolaan yang tepat.

Tujuan Penelitian

1. Menghitung jumlah limbah produksi batik.
2. Menghitung jumlah emisi gas rumah kaca.

II. Metodologi Penelitian



Gambar 1. Kerangka Konsep Teoritis

1. Kerangka Konsep Teoritis

Pendekatan kerangka konsep teoritis menggunakan konsep eko-efisiensi yaitu mengarah pada perbaikan ekologi dan ekonomi dengan peningkatan kualitas kinerja industri dimulai dari proses produksi hingga evaluasi sesudah implementasi eko-efisiensi. *Ecology Improvement*, diantaranya dari segi ekologi menganalisis dampak lingkungan yang terjadi dalam hal ini gas rumah kaca dan bagaimana meminimisasi limbah yang dihasilkan.

2. Tipe Penelitian

Pendekatan penelitian ini bersifat studi kasus. Analisis model menggunakan analisis deskriptif dengan pendekatan metode kuantitatif. Analisis deskriptif digunakan untuk memberikan gambaran dan identifikasi adanya inefisiensi penggunaan bahan dan energi yang dikaji dengan konsep eko-efisiensi. Metode kuantitatif digunakan perhitungan jumlah limbah dan emisi gas rumah kaca.

3. Metode Pengumpulan Data Primer dan Sekunder

Observasi lapangan; dimulai dari *input* hingga *output* yaitu pemakaian bahan dan energi hingga limbah dihasilkan sebagai *output* baik itu limbah padat, limbah cair ataupun emisi.

4. Pengukuran

Pengukuran emisi gas rumah kaca. Pengukuran ini terdiri dari:

a. Jumlah pemakaian energi

Pemakaian energi listrik dapat dihitung menggunakan rumus :

$$1 \text{ kWh} = (P \times t)/1000$$

Keterangan : P = Daya (watt)

t = waktu (Jam)

b. Emisi GRK

Emisi gas rumah kaca dapat dihitung dari total konsumsi bahan bakar dikalikan dengan faktor emisi dan nilai kalori, sedangkan untuk konsumsi listrik dihitung melalui pemakaian energi listrik dikalikan dengan faktor konversi emisi CO₂ pembangkitan listrik Jawa-Bali. Pada dasarnya penghitungan emisi GRK menggunakan rumus dasar sebagai berikut :

$$\text{Emisi GRK} = \sum A_i \times \text{EF}_i$$

Sumber : Pedoman Inventarisasi Gas Rumah Kaca, IPCC, 2006

Keterangan :

Emisi GRK = Emisi suatu gas rumah kaca (CO₂, CH₄, N₂O)

A_i = Konsumsi bahan jenis i atau jumlah produk i

EF_i = Faktor Emisi dari bahan jenis i atau produk i

Menurut Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 71 Tahun 2011, Faktor emisi adalah besaran emisi GRK yang dilepaskan ke atmosfer per satuan aktivitas tertentu. Faktor emisi ditentukan berdasarkan penelitian dan sangat spesifik untuk setiap bahan atau produk. Oleh karena belum ada faktor emisi yang spesifik untuk Indonesia, maka digunakan faktor emisi yang sudah ditentukan oleh IPCC. Nilai faktor emisi disajikan pada Tabel 1, sedangkan nilai kalori pada Tabel 2. Adapun contoh cara perhitungan emisi dan konsumsi energi bahan bakar menurut WBCSD, 2000 dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Perhitungan Konsumsi Energi Bahan Bakar

$$\text{Volume/ Massa Bahan Bakar jenis } \{i\} \text{ (Liter/Kg) } \times \text{Nilai Kalori (Kcal/liter/Kcal/Kg)} \quad (1)$$

2. Perhitungan Jumlah Emisi Gas Rumah Kaca

$$\text{Emisi Gas } \{i\} = \text{Konsumsi Energi Bahan Bakar (Terra Joule) } \times \text{Faktor Emisi Gas jenis } \{i\} \text{ (Kg/TJ)} \quad (2)$$

Tabel 1. Faktor Emisi Produk

No.	Produk	Faktor Emisi CO₂ (Kg/TJ)	Faktor Emisi CH₄ (Kg/TJ)	Faktor Emisi N₂O (Kg/TJ)
1.	Minyak Tanah	71.900	3	0,6
2.	LPG	63.100	1	0,1
3.	Kayu Bakar	112.000	30	4
4.	Listrik	586,323 ton CO ₂ /GWh		

Sumber : Pedoman Inventarisasi Gas Rumah Kaca, IPCC, 2006

Tabel 2. Nilai Kalori

No.	Produk Energi	Nilai Kalori
1.	Minyak Tanah	8498,75 Kcal/liter
2.	LPG	6302,58 Kcal/liter
3.	Kayu Bakar	3,948 Kcal/Kg
4.	Listrik	8,6 E-04 Gcal

Sumber : DESDM, 2007

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Jumlah Limbah Cair

a. Proses Pewarnaan

Pewarnaan merupakan proses pemberian warna pada bagian-bagian yang tidak tertutup lilin dari proses pembatikan. Dalam proses pewarnaan ini terdiri dari 3 tahap yaitu pewarnaan I colet (bunga-bunga), Pewarnaan II (biru muda kecil), Pewarnaan III (ungu). Berikut akan disajikan tabel hasil penelitian untuk jumlah limbah cair yang dihasilkan dari proses pewarnaan:

Tabel 3. Jumlah Limbah Cair Tahap Pewarnaan Proses Produksi Batik Kombinasi (2kodi)

No	Tahap Pewarnaan	Input Material	Jumlah Limbah
1.	Pewarnaan Dasar	76 L	·ceceran larutan pewarna : 4,2 L ·air limbah pewarna : 57,5 L
2.	Pewarnaan II	76 L	·ceceran larutan pewarna : 3,7 L ·air limbah pewarna : 66 L
3.	Pewarnaan III	76 L	·ceceran larutan pewarna : 2,5 L ·air limbah pewarna : 68 L

Sumber : Nindita, 2012

Dari hasil evaluasi yang dilakukan berdasarkan data di atas bahwa terdapat efisiensi penggunaan air bersih, tetapi masih cukup banyak menghasilkan cecceran air pewarna. Dengan demikian dalam tahap ini dapat dinilai bahwa pengrajin telah melakukan efisiensi bahan baku baik zat pewarna, air, dan bahan pendukung lainnya sehingga dapat meminimasi jumlah air limbah sisa pewarna tetapi untuk menghindari cecceran air pewarna masih sulit dilakukan.

b. Proses Pelorodan

Pelorodan merupakan proses pelepasan lilin pada kain batikan. Dalam proses pelorodan ini dilakukan melalui 2 tahap pelorodan. Berikut akan disajikan tabel hasil penelitian (2012) untuk jumlah limbah yang dihasilkan dari proses pelorodan:

Tabel 4. Jumlah Limbah Cair Tahap Pelorodan Proses Produksi Batik Kombinasi (2kodi)

No	Tahap Pelorodan	Kebutuhan Penggunaan Air Bersih	Jumlah limbah	Prosentase
1.	Pelorodan	900 L	865,77 L	$865,77 \text{ L} / 900 \text{ L} \times 100\% =$

				96,20 %
--	--	--	--	---------

Sumber : Nindita, 2012

Dari hasil evaluasi yang dilakukan berdasarkan data di atas, hasil yang diamati terlihat tidak terjadi penghematan di dalam penggunaan air bersih. Para pengrajin kurang memiliki kesadaran dalam mengefisiensikan penggunaan air. Jumlah limbah yang dibuang masih terlalu banyak.

c. Proses Pencucian

Pada proses pencucian, kebutuhan air yang digunakan setiap harinya sangat banyak, yaitu ± 1500 L untuk pencucian mencapai 15 kodi dengan motif kain batik yang sama atau berbeda. Berikut akan disajikan tabel hasil penelitian untuk jumlah limbah yang dihasilkan dari proses pencucian:

Tabel 5. Jumlah Limbah Cair Tahap Pencucian Proses Produksi Batik Kombinasi (2kodi)

No	Tahap Pencucian	Kebutuhan Air Bersih	Jumlah limbah
1.	Pencucian I Pencucian II	1100 L (Air Bersih) Bak I (400 L (air hujan) + 350 L) Bak II (750 L)	±1500 L

Sumber : Nindita, 2012

Dari hasil evaluasi yang dilakukan berdasarkan data di atas, pada proses pencucian terjadi hal yang sama pada perilaku penggunaan air dengan proses pelorodan. Pengrajin masih menggunakan banyak air, namun pada bak I masih bisa efisien karena ada alternatif sumber air yang lain yaitu air hujan. Pada saat penelitian dalam keadaan musim hujan, tetapi apabila musim kemarau, pengrajin masih menggunakan air dari tendon maupun menggunakan pompa air dan tergantung dari masing-masing pengrajin untuk dapat mengefisiensikan penggunaan air maupun listrik. Pada proses ini budaya kerja mereka masih tetap menggunakan naluri dan cenderung mencari cara yang tidak menyulitkan para pengrajin.

d. Pemakaian Listrik

Tabel 7. Pemakaian Energi Listrik Proses Produksi Batik Kombinasi (2kodi)

No	Proses	Kebutuhan Penggunaan Air Bersih dan waktu pemakaian pompa air sumur	Listrik

1.	Pewarnaan Colet	(3,5 L) 23 detik = 0,00639 jam	0,000798 kWh
2.	Pewarnaan II	(20 L) 1 menit 46 detik = 0,024 jam	0,00304 kWh
3.	Pelorodan I	(900 L) 1 jam 13 menit	0,141 kWh
4.	Pencucian	(1100) 1 jam 3 menit	0,16 kWh
5.	Pewarnaan III	(20 L) 1 menit 37 detik	0,00285 kWh
6.	Pelorodan II	-	- kWh
7.	Pencucian II	-	- kWh
	Total	2043,5 L	0,307 kWh

Sumber : Nindita, 2012

Dari hasil evaluasi yang dilakukan berdasarkan data di atas, dapat ditunjukkan bahwa penggunaan energi didasarkan pada seberapa banyak input yang diberikan. Semakin sedikit jumlah kebutuhan air yang digunakan, maka semakin sedikit pula energi listrik yang dipakai. Dalam hal penggunaan listrik dapat fluktuatif dikarenakan tergantung dari jumlah kebutuhan air maupun total produksi per harinya. Konsistensi pengrajin di dalam memperbaiki solusi tersebut tidak berlangsung secara kontinyu.

e. Kayu Bakar

Pada UKM Nadia Royani, kayu digunakan sebagai bahan bakar saat proses pelorodan. Dari hasil penelitian diketahui jumlah pemakaian kayu bakar saat proses pelorodan untuk 2 kodi kain yaitu 7 buah kayu panjang dengan total berat kayu keseluruhan = 41 Kg.

f. Emisi Gas Rumah Kaca

Berdasarkan penelitian pada satu industri batik di Pekalongan didapatkan perhitungan emisi gas rumah kaca *per produk jadi 1 unit batik* didapatkan dengan hasil sebagai berikut diantaranya kayu bakar $3,6 \times 10^{-7}$ ton GHG, listrik $7,3 \times 10^{-6}$ ton CO₂ equiv ; dan LPG menghasilkan $1,3 \times 10^{-6}$ ton GHG. Konsumsi energi $5,48 \times 10^{-4}$ Gigajoule [energi] per produk, dan **total emisi gas rumah kaca** $4,5 \times 10^{-5}$ ton CO₂ equiv per produk.

IV. Kesimpulan dan Saran

a. Kesimpulan

1. Efisiensi penggunaan air bersih proses pewarnaan, proses pelorodan, dan proses pencucian masih menunjukkan adanya inefisiensi. Efisiensi juga dilakukan pada penggantian bahan bakar dari minyak tanah ke LPG, dan pengurangan pemakaian kayu bakar.
2. Jumlah limbah cair pada proses produksi batik tidak dapat dibandingkan penurunan atau kenaikannya karena tergantung dari motif yang akan dibuat sehingga tahap prosesnya pun berbeda. Pada pewarnaan kebutuhan air 76L, jumlah limbah 57,5 L, proses pelorodan kebutuhan air 900 L, jumlah limbah 865,7 L, proses pencucian 1500 L, dan pemakaian listrik 0,307 KWh.
3. Jumlah emisi gas rumah kaca yang dihasilkan telah dihitung dengan hasil yaitu kayu bakar 47,185 Kg/hari = 1130 Kg/bulan menghasilkan $8,729 \times 10^{-5}$ ton GHG/GRK , LPG 24 Kg/bulan menghasilkan 0,079 ton GHG/GRK, dan listrik 44,2 KWh per bulan $0,0259$ ton CO₂equiv.
4. Rasio eko-efisiensi telah dihitung dengan hasil sebagai berikut :

(Berdasarkan konsumsi energi, konsumsi bahan, dan emisi gas rumah kaca, didapat rasio sebagai berikut) :

- a. Konsumsi Energi (Bulan) = 288 kodi per 1,42854 Gigajoule [energi]
- b. Emisi Gas Rumah Kaca (Bulan) = 288 Kodi per 0,105 ton CO₂ equiv

b. Saran

Diperlukan perubahan perilaku dan budaya kerja efisien secara konsisten dan berkelanjutan sehingga diharapkan dapat mengembangkan industri yang ramah lingkungan.

Daftar Pustaka

- Abdul Kadir., 1995. *Energi Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik, dan Potensi Ekonomi*, 2nd ed.
- Miller, J, et al., 2003. *Chemical Management Guide : Improve Chemical Safety and Management to gain Cost Saving, Reduce Hazards, and Improve Safety*. Revised ed. GTZ. Eschborn.
- Purwanto, Andie Tri., 2000. *Perangkat Manajemen Lingkungan*.
<http://andietri.tripod.com/journal/book-1.htm>
- Rusidana., 2006. *Pengolahan Limbah Cair Industri Percetakan Menggunakan Metode Elektrokoagulasi*. STTL. Yogyakarta.
- Sunaryo, Prasetyo., 1999. *Pengembangan Teknologi Pengelolaan Limbah Menuju Industri Yang Efisien dan Berwawasan Lingkungan*. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah dan Pemulihan Kerusakan Lingkungan – BPPT. Jakarta,
- Van Berkel, Rene., 2000. *Cleaner Production for Process Industries*. Curtin University of Technology, Western Australia.
- Development (WBCSD)., 2000. *Measuring Eco-efficiency*. United Kingdom.

PEMODELAN KINETIKA REAKSI TRANSESTERIFIKASI ENZIMATIS MINYAK IKAN TUNA DENGAN BIOKATALIS LIPASE *CANDIDA RUGOSE IMMOBILE* MENJADI LIPID TERSTRUKTUR KAYA OMEGA-3

¹⁾ Wahyuningsih, ²⁾ Margaretha tuti susanti

¹⁾ PSD III Teknik Kimia, Fak. Teknik, Undip

*wahyunimachin@gmail.com

Abstrak

Lipid terstruktur dengan medium chain fatty acid (MCFA) pada posisi luar dan polyunsaturated fatty acid (PUFA) pada posisi sn-2 memiliki nilai gizi dan absorpsi yang sangat baik. Dalam penelitian ini lipid terstruktur disintesis secara langsung melalui asidolisis enzimatis antara minyak ikan dan asam laurat. Reaksi dikatalisis oleh lipase spesifik 1,3 dari *Candida rugose* terimmobil (Chiffci, 2009). Tujuan Penelitian ini adalah, untuk mempelajari perilaku dari reaksi sintesis transesterifikasi enzimatis minyak ikan tuna dan asam laurat, dengan kajian pemodelan matematis kinetika reaksi melalui rute transesterifikasi yang diajukan Model yang diajukan diharapkan dapat digunakan untuk mempelajari perilaku reaksi dalam kondisi operasi yang berbeda. (Hermansyah, 2010) Tujuan khusus menelaah aktivitas enzim *Candida rugose* imobil untuk melihat optimalisasi kondisi operasi proses terhadap produktifitas lipid terstruktur omega-3, dan model kinetika reaksi. Pada penelitian ini, dikaji model matematis kinetika reaksi transesterifikasi enzimatis dengan biokatalisator *Candida Rugose* imobil. Faktor yang diteliti adalah perbandingan substrat, dan waktu reaksi, sehingga diperoleh kondisi proses yang optimal. Model matematika untuk sintesis DAG melalui mekanisme esterifikasi yang disederhanakan telah dikembangkan dengan baik. Parameter yang dihasilkan memiliki sensitivitas yang cukup baik. Model ini dapat menggambarkan perilaku reaksi sebagai pengaruh dari rasio awal reaktan dengan baik.

Kata kunci : Model matematika kinetika, lipid terstruktur omega 3.

1. PENDAHULUAN

Sintesis lipid terstruktur telah berkembang pesat dalam satu dekade ini dengan memodifikasi lipid terutama untuk meningkatkan sifat fungsional dan nutrisi suatu lemak atau minyak. Lipid terstruktur dengan asam lemak rantai medium (C₆-C₁₂) pada posisi luar dan *polyunsaturated fatty acid* (PUFA) pada posisi sn-2 memiliki nilai gizi dan absorpsi yang sangat baik (Chiffci et al, 2009). Residu rantai medium dengan mudah terhidrolisis di dalam saluran pencernaan menghasilkan asam lemak yang diabsorpsi dengan cepat dan digunakan sebagai sumber energi yang tinggi di dalam tubuh. PUFA terabsorpsi sebagai 2-MG yang paling siap diabsorpsi diantara senyawa turunan PUFA. Lipid terstruktur dengan residu jenuh pada posisi luar dan PUFA pada posisi sn-2 juga lebih tahan terhadap oksidasi (Endo et al, 2007).

Hal ini mendorong dilakukannya penelitian untuk memproduksi lipid terstruktur kaya omega 3 secara efisien. Untuk mempelajari perilaku dari reaksi sintesis transesterifikasi enzimatis sebuah model sederhana melalui rute transesterifikasi yang diajukan. Model yang diajukan diharapkan digunakan untuk mempelajari perilaku reaksi dalam kondisi operasi yang berbeda.

Beberapa penelitian tentang kajian model kinetika reaksi esterifikasi telah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu, dapat dipakai sebagai referensi penelitian ini, antara lain Rosu et al, 2003 melakukan penelitian Synthetic DAG Esterification with biocatalyst lipase *Lipoze RM IM*, serta mengajukan model kinetika seperti yang diperlihatkan pada gambar 1. Model ini dikembangkan berdasarkan sistem reaksi yang dilakukan, yakni pada sistem esterifikasi antara asam lemak bebas dan gliserol pada sistem bebas pelarut yang disertai dengan

pembuangan air secara simultan. Lebih jauh lagi Wanatabe et al,2004 kemudian melakukan eksperimen reaksi dengan sistem serupa yang dilakukan pada reactor yang berbeda ,yaitu pada reactor packed bed kontinyu menggunakan pompa vakum .Proses yang dikembangkan oleh Wanatabe et al ini telah digunakan untuk memproduksi minyak DAG dalam skala industri di Jepang

Untuk memahami perilaku reaksi pada esterifikasi asam lemak bebas dan gliserol dalam menghasilkan minyak DAG diperlukan simulasi yang dapat menggambarkan perilaku substrat .Pada studi ini ,sebuah simulasi dilakukan dengan menggunakan suatu model kinetika berdasarkan mekanisme yang diusulkan. (Hermansyah,2010)

2. METODE PENELITIAN

Jalannya Penelitian:

Oleh Watanabe,2004 dengan kondisi sebagai berikut]: 1) Asam laurat digunakan sebagai sumber asam lemak, 2) Konsentrasi awal asam lemak adalah 2,59 M, 3) Konsentrasi awal minyak ikan tuna 1,29 M, 4) Temperatur reaksi 50 °C, 5) Enzim yang digunakan adalah lipase candida rugose immobil 1,3-regioselektif lipase yang diimmobilisasi pada resin kitin), 6) Konsentrasi resin enzim terimmobilisasi 5% (basis kering), 7) Penghilangan air dilakukan dengan kondisi vakum pada 3 mmHg (0,4 kPa).

Validasi dilakukan melalui pencocokan kurva konsentrasi hasil perhitungan menggunakan model yang diajukan dengan hasil eksperimen.[7]

Data-data yang diperoleh pada penelitian ini berupa data kadar trigliserida dan kadar asam lemak sisa versus waktu pada berbagai variabel proses

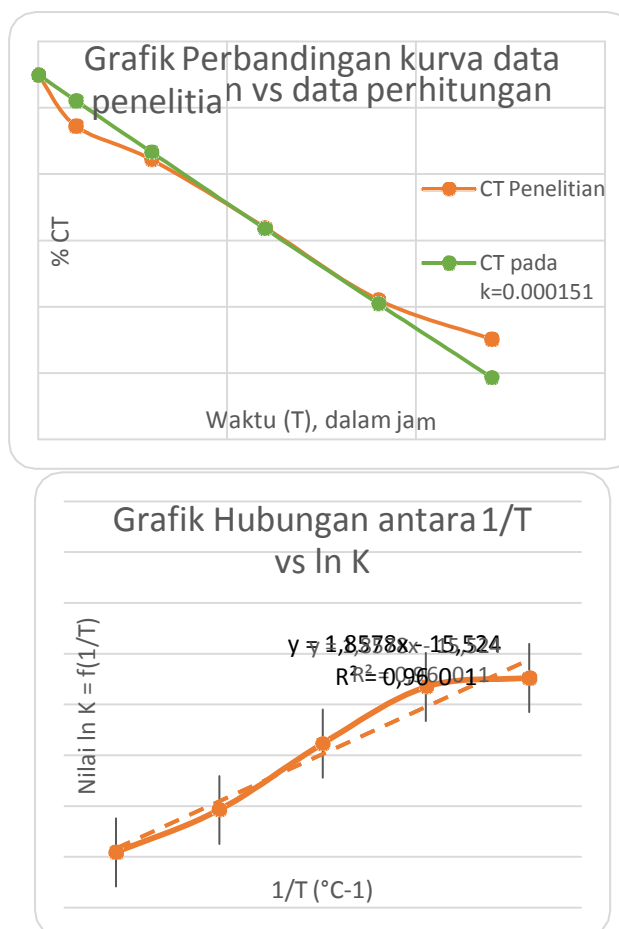
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Nilai estimasi konstante Kinetika dari model yang diusulkan dalam ($L \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$)

Konstante Kinetika	Nilai estimasi
k1	$1,51 \times 10^{-4}$
k2	$1,38 \times 10^{-5}$
k3	$1,85 \times 10^{-4}$
k4	$2,48 \times 10^{-4}$

Tabel 2. Hasil analisis sensitivitas konstante kinetika

_Konstante	Nilai	SSE	Devisiasi
k1	$1,51 \times 10^{-04}$	1,95	71,22%
	$2,08 \times 10^{-04}$	1,46	Minimum
k2	$4,08 \times 10^{-04}$	1,62	52,65%
	$1,38 \times 10^{-06}$	1,57	1,92%
k3	$1,011 \times 10^{-06}$	1,52	Minimum
	$1,27 \times 10^{-06}$	1,55	1,21%
k4	$1,29 \times 10^{-04}$	1,88	34,12%
	$2,21 \times 10^{-04}$	1,27	Minimum
k5	$4,87 \times 10^{-04}$	1,54	19,22%
	$1,28 \times 10^{-04}$	1,26	0,77%
k6	$2,36 \times 10^{-04}$	1,25	Minimum
	$4,97 \times 10^{-04}$	1,26	0,91%
k5	$1,72 \times 10^{-06}$	1,24	0,51%
	$3,41 \times 10^{-06}$	1,25	Minimum
k6	$5,65 \times 10^{-06}$	1,26	1,59%
	$1,18 \times 10^{-04}$	1,42	12,11%
k6	$2,38 \times 10^{-04}$	1,26	Minimum
	$4,72 \times 10^{-04}$	1,49	18,35%



Dari validasi yang dilakukan, diperoleh nilai estimasi konstante reaksi model yang diajukan (k1– k6) seperti ditunjukkan pada table 1 dengan kesalahan sebesar 1,257%.

Pada model ini konstante reaksi untuk reaksi pembentukan 1-MAG jauh lebih besar dari konstante reaksi untuk pembentukan 2-MAG dari reaktan yang sama. Hal ini berkaitan dengan kondisi operasi yang digunakan pada eksperimen sebenarnya, dimana digunakan biokatalis yang selektif terhadap ikatan sn-1,3 sehingga akan mengakomodir asam lemak bebas untuk berikatan pada ikatan sn-1 pada rantai gliserok (minyak ikan tuna). Karena reaksi pembentukan 1-MAG dikatalisasi oleh enzim sedangkan reaksi pembentukan 2-MAG tidak dikatalisasi enzim, akibatnya konstante reaksi yang diperoleh dengan perhitungan menggunakan model untuk pembentukan 1-MAG menjadi lebih besar dari konstante reaksi pembentukan 2-MAG

Perbedaan antara Model yang diusulkan dengan model literature terlihat pada mekanisme reaksi ,dimana mekanisme reaksi yang terdapat pada literature merupakan reaksi transesterifikasi reversible .Hal ini didasari oleh perbedaan asumsi terhadap kondisi tidak terjadinya kesetimbangan dalam sistem. Model literature mengasumsikan tidak terjadinya kesetimbangan reaksi sebagai akibat dari adanya pembuangan air secara simultan dari sistem, sehingga model model tersebut bisa menghitung laju pembuangan air Sedangkan pada model yang diajukan laju pembuangan air tidak diperhitungkan. asumsi ini didasari pada pertimbangan bahwa air yang dibuang dari sistem secara kontinyu menyebabkan tidak adanya reaksi balik yang mengarahkan pada terjadinya hidrolisa minyak yang terbentuk, atau dengan kata lain ,reaksi yang terjadi merupakan reaksi irreversible.

Untuk mengetahui kesensitivan parameter kinetika yang telah diperoleh dari model ini ,dilakukan analisis sensitivitas parameter kinetika dengan cara mengubah nilai salah

konstante kinetika menjadi setengah atau duakali lipatnya tanpa mengubah nilai konstante lainnya. Dapat dilihat pada table 2 bahwa parameter dari model ini yang memiliki sensitivitas yang cukup baik adalah k_1, k_3 dan k_6 . k_1 dan k_3 merupakan konstante kinetika yang mengakomodir reaksi utama yaitu reaksi sintesis 1-MAG dan 1,3-DAG yang merupakan produk utama dalam reaksi yang dikatalisis oleh enzim lipase candida rugose. Konstante reaksi ini memiliki sensitivitas yang baik karena perubahan yang terjadi padanya akan mempengaruhi sebagian besar distribusi konsentrasi substrat yang terdapat di dalam sistem, sedangkan k_3 merupakan konstante untuk reaksi utama pembentukan produk TAG merupakan konstante penentu pembentukan produk samping sebagai hasil reaksi lanjutan yang tidak memerlukan katalis oleh enzim. Ketiga konstante lainnya tidak memiliki sensitivitas yang baik disebabkan konstante-konstante tersebut merupakan konstante untuk reaksi yang sangat lambat, sehingga perubahan nilainya tidak menghasilkan perubahan laju reaksi yang signifikan. Akibatnya deviasi konsentrasi substrat yang terjadi juga tidak signifikan.

Sebuah simulasi dilakukan untuk mengetahui efek kondisi reaksi terhadap konsentrasi DAG. Pada studi ini variasi yang dapat dilakukan hanya variasi rasio awal konsentrasi asam laurat dan minyak ikan tuna. Pada awal reaksi dengan cepat 1,3-DAG terbentuk karena banyak 1-MAG yang dihasilkan dari reaksi asam laurat dengan minyak ikan tuna. Reaksi ini berlangsung dengan cepat ditandai dengan kenaikan konsentrasi DAG yang tinggi, dikarenakan enzim memiliki aktivitas yang tinggi. Kondisi stasioner mungkin terjadi akibat salah satu reaktan telah habis bereaksi. Meskipun pada dasarnya reaksi transesterifikasi merupakan reaksi yang bersifat reversible, namun asumsi reaksi berlangsung tak reversible dapat diterima dengan alasan pada dasarnya reaksi transesterifikasi merupakan reaksi yang bersifat reversible, namun asumsi reaksi berlangsung tak reversible dapat diterima dengan alasan pada eksperimen yang dilakukan digunakan sistem untuk mengeluarkan air yang terbentuk secara simultan, sehingga kesetimbangan tidak tercapai dan reaksi kebalikan tidak terjadi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kondisi stasioner terjadi akibat habisnya salah satu atau kedua reaktan. Pada rasio asam lemak dan gliserol 2:1, kondisi stasioner tidak terlihat. Hal ini mungkin stoikiometris antara kedua reaktan untuk menghasilkan DAG, yaitu 2 mol asam lemak untuk 1 mol gliserol. Dengan demikian, meski konsentrasi DAG yang lemak untuk 1 mol gliserol. Dengan demikian, meski konsentrasi DAG yang dihasilkan bukan yang tertinggi, namun rasio ini merupakan rasio yang paling efisien.

4. KESIMPULAN

Model matematika untuk sintesis DAG melalui mekanisme transesterifikasi yang disederhanakan telah dikembangkan dengan baik. Parameter yang dihasilkan memiliki sensitivitas yang cukup baik. Model ini dapat menggambarkan perilaku reaksi sebagai pengaruh dari rasio awal reaktan dengan baik.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Endo, J. R., D. H. Pence, S. Scheinsach, P. R. D'Amelia, L. P. Klemann, N. H. Wilson, and J. W. Finkey. 2007. *Review of Triacylglycerols Digestion Absorption, and Metabolism With Respect to Salatrim Triacylglycerols*. J. Agri. Food. Chem. 42,473-483
- Chiffci, R., K. Furihata, K. Hata, Y. Iwasaki, dan T. Yamane. 2009. *Two-Step Enzymatic Synthesis of Docosahexaenoic Acid-Rich Symmetrically Structured Triacylglycerol Via 2-Monoacylglycerol*, J. Am. Oil. Chem. Soc. 78(7), J. Am. Oil. Chem. Soc. 743-748

- H., Hermansyah, Tania, S., T., Rita, A., dan Fajar, A., Simulasi reaksi Esterifikasi Asam lemak bebas dan gliserol untuk menghasilkan minyak diasilgliserol, Reaktor vol 13 no 2, Desember 2010, hal 95-102
- Jeyarani, S., Y. Iwasaki, dan C. T. Hou. 2010. *Study of Ethanolysis to 2-MAG by Immobilized Candida Antartica Lipase and Synthesis of Symmetrically Structured TAG*. J. Am. Oil. Chem. Soc. 79 (9) : 879 – 883
- Monisvea A., Y. Shimada, M. Yamamoto, A. Sugihara, T. Nagao, S. Komemushi, dan Y. Tominaga. 2009. *Enzymatic Synthesis of High-Purity Structured Lipids Caprylic Acid at 1,3-Positions and Polyunsaturated Fatty Acid at 2-Position*. J. Am. Oil. Chem. Soc. 78 (6) : 611 – 616
- Rosu, C., H. Austin, L. Porsorske, dan J. Gonziez. 2007. *Characteristic of an Immobilized Lipase for the Commercial synthesis of Ester*. J. Am. Oil. Chem. Soc. 65 (6): 927-935
- Wanatebe, T., Sugiara, M., Sato, M., Yamada, N., and Nakanishi, K., (2004), Diacyl glycerol production in a packed bed bioreactor, Process chemistry 40, pp 637-643

PENGUNAAN ZEOLIT ALAM SEBAGAI KATALIS DITINJAU TERHADAP KONSUMSI BAHAN BAKAR, EMISI GAS BUANG

Yuniarto Agus Winoko¹, Bambang Irawan², Bambang Sulistiyono³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Program Studi, Politeknik Negeri Malang

Jl. Sukarno Hatta 9 Malang 65141.

Email: dhimazyuni@gmail.com

Abstrak

Sumber pencemaran udara terbesar berasal dari mesin mobil atau sepeda motor, akibat kondisi yang tidak sempurna dari campuran bahan bakar dan udara. Emisi gas buang hasil pembakaran tidak sempurna dapat dikurangi dengan menggunakan katalitik konverter. Pemanfaatan zeolit sebagai katalis di dalam katalitik konverter dalam bentuk serbuk mampu mengadsorpsi dalam jumlah yang besar khususnya gas karbomonoksida dan hidrokarbon. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan optimum zeolit dalam mereduksi gas buang, temperatur operasi katalis dan konsumsi bahan bakar yang diperlukan pada mesin 1486cc, selanjutnya mengkomparasikannya terhadap kondisi standar. Massa zeolit masing masing 200, 30 dan 400gr saat terpasang pada mesin konvensional kapasitas 1486cc multi silinder. Metoda pengujian konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang menggunakan menggunakan full open throttle dengan rentang perubahan setiap 250rpm . Hasil menunjukkan temperatur optimum katalis zeolit 575°C dan terjadi penurunan emisi CO sebesar 27,35% pada 3500rpm dan HC sebesar 35,94% pada 3250rpm. Serta terjadi kenaikan sfc sebesar 0,56% terhadap standar.

Kata kunci:, emisi gas buang, konsumsi bahan bakar, zeolit

1. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor berdampak pada tercemarnya udara, akibat kesadaran perawatan mesin kurang, kualitas komponen jelek dan bahan bakar kualitas rendah. Hasil pembakaran campuran bahan bakar dan udara tidak stoichiometri menghasilkan racun berbahaya berbentuk gas atau lainnya. Agar racun tidak mencemari lingkungan, maka perlu treatment untuk memperbaiki kualitas racun tadi. Reduksi racun gas dengan cara modifikasi komposisi bahan bakar dan modifikasi mesin dilakukan sebelum pembakaran berlangsung (*beforeburning*), sulit dilakukan karena perlu waktu lama. Perbaikan saat pembakaran (*burning*) dilakukan dengan mengatur perbandingan udara dan bahan bakar, tergantung carapengaturan homogenitas campuran bahan bakar dan udara, mengatur butiran bahan bakar menjadi droplet, sulit dilakukan karena kondisi putaran mesin bervariasi. Perbaikan setelah pembakaran (*after burning*) dilakukan pada saluran gas buang. Proses setelah pembakaran cara termudah mengurangi racun, dengan menggunakan katalitik konverter. Didalam katalitik konverter terpasang katalis untuk mereduksi emisi CO dan HC. Hanya saja katalisnya berupa logam mulia, sehingga jarang digunakan, karena ketersediaan terbatas, mahal harganya dan tidak dapat diregenerasi. Penggunaan katalitik konverter jenis *three way converter* (TWC) banyak digunakan di kendaraan, dimana bagian dalamnya berisi katalis yang dapat mengadsorpsi gas buang, melalui carakimia secara simultan yaitu oksidasi atau reduksi menjadi gas karbon dioksida (CO₂) dan air (H₂O).

Alternatif pengganti logam dengan menggunakan zeolit sebagai katalis sebab strukturnya dapat dimodifikasi, diregenerasi, ketersediaan berlimpah serta murah harganya, disamping tahan terhadap

asam serta stabil pada temperatur tinggi. Ukuran butiran berpengaruh terhadap cara adsorpsi dan katalitiknya, material pengotor dalam zeolit menyebabkan perlu perlakuan khusus dengan pencucian, pengeringan, pemanasan dan aktivasi. Tujuannya menghilangkan pengotor pada zeolit, selain memodifikasi luas permukaan juga meningkat aktivitas katalitik (Lestari Yuanita Dewi, 2010). Tujuan penulisan mengetahui besar adsorpsi optimum zeolit, berapa temperatur operasi katalis dan berapa konsumsi bahan bakar optimumnya.

Penelitian terdahulu menggunakan zeolit sebagai katalis untuk mereduksi gas CO dan HC dari mesin kendaraan bermotor diantaranya (1). Setiawan Eko D. (2001) untuk motor bensin empat langkah satu silinder menggunakan zeolit alam untuk reduksi emisi gas hasil menurunkan emisi HC 5,82%, CO naik 13,39%. (2). Muhaji (2001) menggunakan motor bensin 4-langkah satu silinder menggunakan zeolit alam disanglah dengan mangan sebagai katalis, mampu menurunkan CO dan HC pada A/F besar ($> 15,5$ A/F) sedangkan NO_x naik pada A/F besar ($> 15,5$ A/F). (3) Ronaldo R (2008) menggunakan zeolit alam 80 persen dan *chitosan* 20% untuk mereduksi emisi pada mesin 4-langkah empat silinder, menunjukkan bahwa mampu menurunkan CO sebesar 2,92%. (4). Winoko Yuniarto A.W (2009) Menggunakan zeolit untuk katalis motor bensin. Hasil menunjukkan adanya penurunan HC sebesar 13,58%, CO sebesar 15,77% terhadap standar.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Terbentuknya CO dan HC

Pembakaran didefinisikan sebagai kombinasi reaksi kimia yang relatif cepat antara hidrogen, karbon dan oksigen yang menghasilkan pembebasan energi dalam bentuk panas yang besar nilai perbandingan (Kawano, 2008). Tekanan dan suhu pemanasan mempengaruhi terbentuknya karbomoksida (CO) dan unburner hidrokarbon (HC). CO adalah racun terbentuk dari pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna akibat kurangnya oksigen (O_2) dalam bahan bakar (campuran gemuk). Reaksi kimia pembakaran sempurna secara teoritis, massa bensin 1gr maka perlu 15gr udara (Anonim, 1985), pembakaran tidak merata akibat distribusi bahan bakar didalam ruang bakar tidak sempurna, temperatur tinggi akibat loncatan bunga api busi yang tidak menjangkau lokasi yang jauh, serta akibat peristiwa oksidasi CO berubah menjadi CO_2 secara lambat berakibat tidak semua CO dapat menjadi CO_2 .

Terbentuknya HC pada celah gasket kepala silinder, cincin torak, dan disekitar busi yang tidak terbakar saat pembakaran. Terbentuknya HC akibat pembakaran bahan bakar hidrokarbon yang tidak sempurna didalam *case*. Kondisi ini terjadi akibat perbandingan udara terhadap bahan bakar tidak homogen dan tidak terbentuknya *droplet* dari bahan bakar. Saat mesin mencapai kondisi tertentu campuran udara didalam bahan bakar menjadi gemuk. dan bahan bakar dalam bentuk butiran butiran, tidak berbentuk *droplet* sehingga api terhambat dan terjadi *misfiring*. Rendahnya kompresi saat *throttle valve* menutup menyebabkan decelerasi, bahan bakar mengalir menuju silinder, kondisi ini menyebabkan terjadinya campuran gemuk dan kompresi rendah. *Overlap blow-by* terjadi saat gerakan katub katub hisap dan buang terbuka secara bersama, sehingga sebagian HC belum terbakar menjadi terbuang melalui katub buang. *Quenching* terjadi akibat bahan bakar belum terbakar semua dan secara mendadak temperatur nyala api turun, maka hidrokarbon tidak terbakar terbuang melalui katub buang.

Muffler

Pemilihan knalpot berhubungan dengan kapasitas dan putaran mesin. Konstruksi knalpot terdiri dari *front*, *middle* dan *end muffler*. *Muffler* merupakan bagian knalpot untuk memecah pulsa tekanan gas buang saat kondisi katub buang terbuka. Penggunaan muffler pada kendaraan bermotor umumnya *reverse flow muffler* dan *straight through muffler*. *Reverse flow muffler* mengubah arah aliran gas buang melalui bagian didalam *muffler*, sedang *straight through muffler* memungkinkan aliran gas

melewati lubang pada *perforated tube* saat tekanan gelombang tinggi sehingga tekanannya menurun. Menurut Kawano (1991), modifikasi panjang knalpot dilakukan dengan caramengubah tampilan luar untuk mengubah volumenya, atau dengan mempertahankan volume tetapi posisi *baffle* diatur, atau mengkombinasikan keduanya. Panjang pipa buang sistem saluran gas buang berdasarkan pada kecepatan suara dalam gas buang, durasi bukaan katup buang dan putaran mesin.

Zeolit

Kegunaan zeolit sebagai adsorben, penukar ion serta katalis, strukturnya berbentuk kanal dan berongga, didalamnya terisi ion-ion logam dengan rumus kimia $M_2nO \cdot Al_2O_3 \cdot xSiO_2 \cdot yH_2O$. Mineral ini berwujud batuan terbentuk dari alumino silika terhidrasi, berpori serta struktur tiga dimensi terbuka. Kualitas kemampuan tukar kationnya, akibat muatan negatif kerangka zeolit dinetralkan oleh kation yang terikat lemah. Banyaknya substitusi kerangka isomorfis dapat memilih molekul yang polar untuk diadsorpsi. Kondisi ini mengakibatkan tingkat disosiasi, konduktivitas berbeda dari keadaan normalnya. Aktivasi zeolit tergantung kemampuan reaktan mengkonversikan menjadi produk yang diinginkan. Selektivitas adalah kemampuan katalis mempercepat reaksi. Kestabilan merupakan lama waktu suatu katalis dalam beraktivitas dan selektivitas seperti kondisi awal. Kemudahan untuk diregenerasi. Selektivitas tergantung pada katalis selektif reaktan, dan selektif produk.

Katalis dan Katalisasi

Katalis adalah zat yang dapat meningkatkan laju reaksi kimia pada suhu tertentu tanpa mengalami perubahan atau tanpa dirinya sendiri terlibat dalam suatu reaksi secara permanen tanpa mempengaruhi kesetimbangan reaksi dan komposisi. Katalisasi adalah proses untuk membantu mempercepat reaksi. Umumnya katalisator tidak ikut bereaksi dan muncul sebagai produk samping. Energi aktivasinya berasal dari sejumlah reaksi kimia akibat tumbukan antara ion dengan reaktan, sehingga terjadi peningkatan suhu. Penurunan energi aktivasi katalis menyediakan jalan baru (Bahl dkk, 1997). Berdasarkan fasanya katalis terbagi menjadi katalis homogen dan heterogen (Fogler, 1992). Katalis homogen adalah katalis yang fasanya sama dengan fasa campuran reaksinya (katalis dalam fasa sama dengan fasa reaktan), dan terdistribusi seluruhnya secara merata. Katalis heterogen adalah katalis berbeda fasanya dengan campuran reaksinya biasanya gas pada solid), umumnya fasanya padat sedang reaktan dan produknya adalah cair atau gas. Dua teori katalisis untuk adsorpsi yaitu *homogeneous* dan *heterogeneous* (Fogler, 1992).

Hasil proses adsorpsi melemahkan ikatan antar atomnya atau ikatan antar molekulnya yang diadsorpsi, karena energi diberikan pada permukaan katalis. Semakin sedikit ikatan atom yang kuat maka lebih mudah menarik atom lainnya sehingga reaksi menjadi cepat. Tahapan katalitik meliputi (Fogler, 1992). Transfer masa reaktan dari bagian utama fluida ke permukaan luar yang kasar dari partikel katalis. Difusi molekul dari permukaan luar partikel ke struktur pori bagian dalam dan penyerapan kimia sekurang-kurangnya satu reaktan pada permukaan katalis. Berikutnya terjadi reaksi pada permukaan meliputi beberapa tahap reaksi desorpsi (secara kimia) teradsorpsi dari permukaan katalis. Selanjutnya perpindahan produk dari pori katalis di dalam ke permukaan luar yang kasar katalis oleh difusi molekul secara normal serta perpindahan masa produk dari permukaan luar ke bagian terbesar dari lapisan batas fluida.

Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) adalah jumlah kilogram bahan bakar yang dibutuhkan setiap jam untuk menghasilkan daya efektif sebesar 1hp. Besarnya sfc dihitung dengan persamaan (Heywood, 1989).

(1)

Dimana

Sfc = Konsumsi bahan bakar spesifik (Kg/hp jam).

Jumlah pemakaian bahan bakar setiap jam (kg/jam).

Besarnya dihitung dengan persamaan (Heywood, 1989)

(2)

Dimana

Jumlah pemakaian bahan bakar setiap jam (kg/jam).

b = Volume bakar spesifik (cc).

t = waktu habis bahan bakar (detik)han bakar (kg/liter)

ρ_{bb} = berat jenis bahan bakar

3. METODA

Metoda aktivasi zeolite menggunakan proses kimia, yang didahului dengan proses fisika. Tujuan proses fisika untuk mendapatkan luas penampang yang lebih besar dari kondisi awal, sedang proses kimia dilakukan dengan suasana asam. Proses pembentukan sebagai katalis juga dilakukan dengan proses mekanik, dan hasil akhirnya seperti gambar 1. Metoda pembuatan muffler modifikasi bertujuan memudahkan penempatan zeolite di dalam knalpot, sehingga posisinya dapat diatur jaraknya disamping untuk mengontrol aliran gas buang. Posisi penutup dapat dibuka bagian atasnya, dan bagian dalamnya ditempatkan pipa tembaga yang diberi lubang. Pengujian emisi dan konsumsi bahan bakar menggunakan bukaan katub penuh.

Populasi dan Sampel

Populasi putaran mesin untuk setiap perlakuan dengan 3 replikasi dengan jumlah populasi 162 populasi dari 3 jenis massa katalis zeolite masing masing 200, 300 dan 400 gram dengan 750, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000, 2250, 2500, 2750, 3000, 3250, 3500, 3750 dan 4000 rpm.

Variabel

variabel tetap yaitu putaran mesin mulai dari 750 sampai dengan 4000 rpm dengan rentang 250 rpm dan konsumsi bahan bakar sebanyak 100cc sedang variabel bergantung adalah massa zeoli 200 atau (K1), 300 atau (K2) dan 400 gram atau K3.

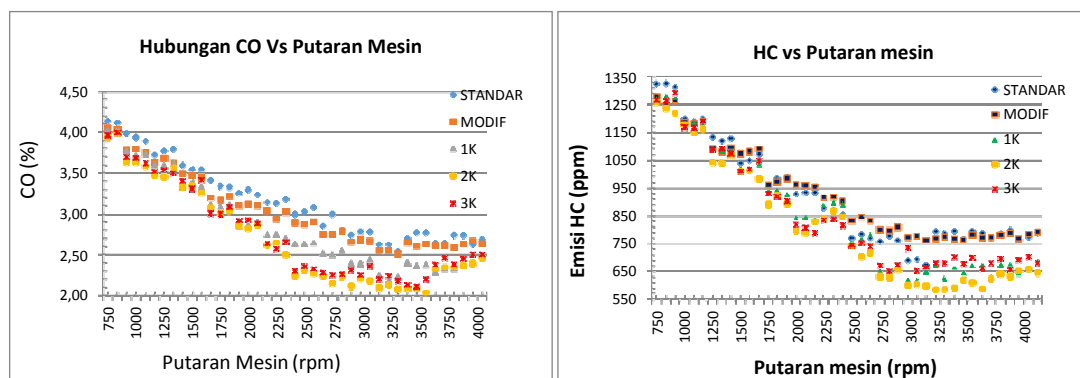
Alat Uji

Mesin kendaraan 4 langkah (Sumber:www.carinf.com), Spsesifikasi, Kapasitas 1452CC, torsi maksimum12Kgm (3600rpm), daya maksimum 84 Hp (5600rpm), panjang langkah77mm, diameter piston77,5mm. Alat ukur, *gas analyzer*, *buret*, *tachometer*, dynamo meter, blower termokopel dan lain-lain.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Emisi CO

Gambar 1menunjukkan hasil perbandingan emisi CO saat menggunakan kemasan zeolit maupun kondisi standar untuk variasi putaran mesin saat pengujian mulai 750 sampai dengan 4000rpm.Kondisi standar emisi CO masih tinggi jika di bandingkan kondisi yang lainnya.Salah satu penyebabnya akibat perbandingan udara terhadap bahan bakar tidak *stoichiometric* pada awal putaran mesin.Pada saat itu campuran masih kaya (terlalu banyak bahan bakar), sehingga pembentukan CO maupun HC berlebihan.Saat terpasang paket kemasan berisi zeolit 200 (1K), 300 (2K) maupun 400gr (3K) terjadi penurunan emisi CO. Hasil menunjukkan kemasan 300gr menghasilkan emisi terkecil, jadi daya dsorbsinya besar.Pemakaian muffler modif untuk menunjukkan perbandingan antara kondisi muffler standar dan modifikasi, dimana hasilnya sama kecenderungannya. Perbandingan saat pemasangan kemasan zeolite pada 750 sampai dengan 1500rpm emisi yang dihasilkan hampir sama antara kondisi modifikasi maupun ada kemasan zeolitnya. Kondisi demikian menunjukkan bahwa saat itu kemasan zeolit belum bekerja, karena jika dilihat dari suhu operasinya masih berkisar antara 250 sampai dengan 300°C.Saat itu perbedaan temperatur sebelum dan sesudah keluarkemasan sebesar 14°C. Perbedaan suhu yang kecil dan rendahnya suhu operasi katalis belum mampu melakukan proses adsorbsi.



Gambar 1. Hubungan CO pada variasi

Gambar 2. Hubungan HC pada variasi putaran putaran

Pada putaran mesin lebih dari 1500 sampai dengan 2500rpm menghasilkan perbedaan emisi CO yang signifikan antara kondisi modifikasi dan kemasan 300 dan 400gram, sedang untuk 200gram ada perbedaanmaksimum 12,22% terhadap standar.Besarrentang suhu operasi zeolit antara 300 sampai 400°C dan perbedaan suhu sebelum dan sesudah melalui kemasan sebesar 62°C.Saat itu energy aktivasinya sudah cukup sehingga proses adsorbs dapat dilakukan. Putaran lebih dari 2500 sampai 4000rpm, kemasan 300gram menghasilkan emisi yang lebih kecil jika dibandingkan kemasan 400gram, dan perbedaan suhu katalis pada sisi masuk dan keluar sebesar 88°C.Emisi CO terkecil

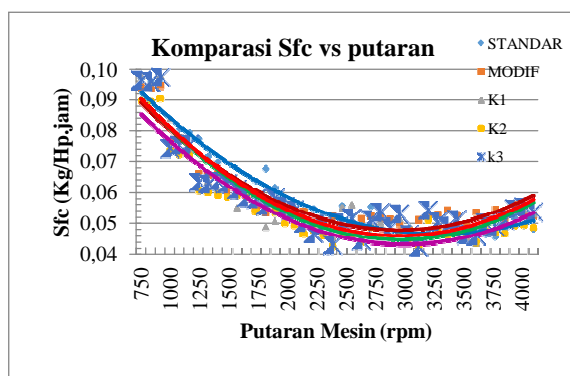
terjadi pada putaran 3500 rerata sebesar 2,11% saat ditunjukkan oleh gas *analyzer*, jika dibandingkan terhadap kemasam 400 gram maka terjadi reduksi rerata 3.65% saat 3500rpm dan 27% pada putaran 3500 terhadap standar. Kondisi ini akibat suhu operasi katalis sudah cukup dan energy aktivasi untuk melakukan proses adsorbsi sudah cukup, selain itu juga kepadatan pada kemasam juga berpengaruh, mengingat kepadatan merupakan fungsi dari massa maka massajuga berpengaruh. Luas permukaan berpengaruh juga terhadap ukuran butiran, sebab ukuran butiran yang kecil akan menaikkan luaspermukaan dan berpengaruh pada banyaknya CO yang teradsorbsi.

Emisi HC

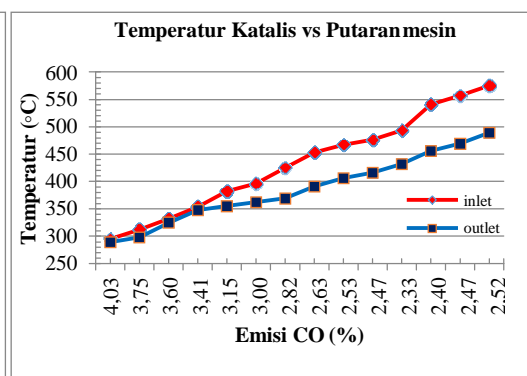
Gambar 2 menunjukkan hasil perbandingan emisi *unburner* hidro karbon (HC) pada variasi putaran mesin saat muffler kondisi standar, modifikasi maupun ada kemasam zeolit. Variasi putaran mesin mulai 750 sampai dengan 4000rpm, secara keseluruhan kecenderungan model emisinya sama di mana pada awal HC yang terbentuk tinggi. Sampai dengan putaran tertentu (3500rpm) HC yang terbentuk terus menurun setelah putaran mesin lebih dari 3500 terjadi peningkatan HC, kondisi ini terjadi karena pada awalnya sama seperti terbentuknya CO yaitu kondisi bahan bakar yang kaya. Berkurangnya HC setelah itu akibat naiknya suhu di dalam ruang bakar, sehingga bahan bakar dapat berubah menjadi uap yang mudah terbakar akibatnya pada tempat yang jauh dari jangkauan api dapat terbakar.

Saat terpasang paket kemasam berisi zeolit 200 (1K), 300 (2K) maupun 400gr (3K) dan putaran mesin 750 sampai dengan 1500 rpm penurunan emisi HC yang ditunjukkan gas sama. Jika ditinjau terhadap suhu operasi katalis masih rendah sehingga katalis belum bekerja, sebab energy aktivasi untuk proses adsorbsinya kurang. Suhu katalis saat itu 250 sampai dengan 300°C dengan perbedaan temperatur sebelum dan sesudah melalui kemasam zeolit sebesar 14°C seperti tampak pada gambar 1. Pada putaran mesin lebih dari 1500 sampai dengan 2500rpm untuk kemasam berisi 200 dan 400gram emisi HC yang mampi diadsorbsi hampir sama, akan tetapi untuk kemasam 300gram HC yang diadsorbsi lebih banyak, sehingga hasil emisi yang terukur lebih sedikit. untuk massa 200gram ada perbedaan emisi HC 15,94% terhadap standar dan perbedaan suhu sebelum dan sesudah melalui kemasam sebesar 62°C. Putaran lebih dari 2500 sampai 4000rpm, hasil emisi HC pada 300gram terjadi penurunan emisi HC rerata sebesar 34,94% terhadap standar pada 3250rpm dan perbedaan suhu katalis sisi masuk dan keluar sebesar 88°C.

4.2 SpecificFuel Consumption



Gambar 3. Hubungan SFC terhadap putaran



Gambar 4. Suhu operasi katalis

Kebutuhan bahan bakar terkecil untuk setiap variasi putaran terjadi saat kemasan berisi katalis zeolit dengan massa 300gram. Kondisi putaran 750 sampai dengan 1500rpm, di mana konsumsi bahan bakar maksimum turun sebesar 7,47% pada 100rpm dan minimum sebesar 2,84% pada 1250rpm di kemasan 300gram terhadap standar. Pada 1500 sampai dengan 2500rpm konsumsi bahan bakar turun maksimum 14,97% saat 2500rpm dan minimum pada kemasan 300gram terhadap standar saat 2500rpm. Pada putaran 2500 sampai dengan 4000rpm konsumsi bahan bakar maksimum turun sebesar 13,73% pada 2750rpm dan minimum 0,56% pada 3500rpm untuk kemasan 300gram terhadap standar. Pada putaran 2500 sampai dengan 4000rpm terjadi penurunan konsumsi bahan bakar maksimum sebesar 18,92% dan minimum 12,69 pada 2000rpm untuk kemasan 300gram terhadap standar.

5. SIMPULAN, SARAN DAN UCAPAN TERIMA KASIH

Simpulan

Berdasarkan data dan pembahasan maka disimpulkan bahwa:

1. Kemampuan optimum kemasan zeolit mereduksi CO untuk kemasan 200gram sebesar 14,61% saat 2750rpm, untuk massa 300gram sebesar 27,35% pada 3500rpm, dan untuk 400gram sebesar 25,28% saat 2750rpm terhadap standar. Suhu optimum katalis zeolit saat sebelum masuk muffler 500°C dan keluar 435°C
2. Besar reduksi HC terhadap standar untuk setiap kemasan adalah optimum untuk mereduksi HC pada kemasan 200gram sebesar 21,41% saat 3250rpm, untuk massa 300gram sebesar 34,94% pada 3250rpm, dan untuk 400gram sebesar 16,41% saat 3500rpm terhadap standar. Suhu optimum katalis zeolit saat sebelum masuk muffler 500°C dan keluar 435°C.
3. Kenaikan konsumsi bahan bakar terhadap standar untuk kemasan 200gram sebesar 0,83% saat 3500rpm, untuk massa 300gram sebesar 0,56% pada 3500rpm, dan untuk 400gram sebesar 0,54% saat 1500rpm terhadap standar.

5.2 Saran

1. Perlu dicari hubungan massa terhadap ukuran butiran agar luas permukaannya diketahui.
2. Rentang pengukuran putaran mesin sebaiknya perlu diperkecil lagi agar batasan emisi CO dan HC dapat lebih spesifik dan sebaiknya juga dicoba untuk kapasitas mesin yang bervariasi.

5.3 Ucapan Terima Kasih

Ucapan Terima kasih kepada ditjen DIKTI atas bantuan dana yang diberikan pada penelitian ini, melalui Desentralisasi Program Hibah Bersaing untuk tahun anggaran 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Anonim, (1990). *Materi Pelajaran Engine Group*. P.T. Toyota-Astra Motor, Jakarta.
- (2) Bahl B.S. dkk, (1997), *Essentials of Physical Chemistry*. S. Scand & Company. New Delhi
- (3) Fogler, (1992). *Elements Of Chemical Reaction Engineering, Second Edition*. Frentice-Hall International. INC.
- (4) Heywood, 1989. *Internal Combustion Engine Fundamental*. International, Edition, Mc Graw-Hill Book Company. New York
- (5) Kawano. (1991). *CO and UHC Comparation Between 2&4 Strokes in Exhaust Motor Cycles*, Surabaya

- (6) Lestari Yuanita Dewi,(2010).Kajian Modifikasi dan Karakteristik Zeolit Alam dari Berbagai Negara.Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia.Universitas Negeri Yogyakarta.
- (7)Muhaji (2001). *Pengaruh $MnCl_2$ Dan Zeolit Alam Sebagai Katalis Silencer Sepeda Motor 4 Langkah Terhadap Emisi Gas Buang, Unjuk Kerja Dan Sound Pressure Level*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- (8) Ronaldo R. (2008). *Zeolit Alam Dan Chitosan Sebagai Adsorben Catalytic Converter Monolitic Untuk Pereduksi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor.
- (9)Setiawan Eko D. (2001). *Studi Eksperi-mental terhadap Pengurangan polu-tan Gas Buang Motor bensin 4 Langkah dengan Penggunaan Zeolit*.Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- (10)Winoko Yuniarto A.W (2009). Pemanfaatan Catalytic Converter Berbasis Zeolit Alam Ditinjau terhadap Kinerja Motor Bensin. Jurnal Meknikal Vol3 Edisi I. Halaman 59 -67.
- (11)Anonimus. *Toyota 1500cc*. www.carinf.com. Diakses: 16 Oktober 2014.



www.polines.ac.id/pnes2-2014