

Variasi Temperatur Pemanasan Zeolite alam-NaOH Untuk Pemurnian Biogas

Denny Widhiyanuriyawan^{1)*}, Nurkholis Hamidi¹⁾

Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang
E-mail: denny_malang2000@yahoo.com

Abstrak

Biogas merupakan salah satu sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Kandungan biogas tidak hanya CH₄ namun juga mengandung CO₂, H₂O, dan H₂S yang merupakan pengotor dalam biogas. Pengotor ini menyebabkan tidak sempurnanya proses pembakaran, nilai kalor menurun, dan korosi. Sehingga kandungan senyawa pengotor tersebut harus hilangkan dengan cara pemurnian atau purifikasi. Salah satu metode pemurnian adalah dengan menggunakan adsorbent. Salah satu adsorbent yang murah dan melimpah di Indonesia adalah zeolite alam. Oleh karena itu didalam penelitian ini dikaji pemurnian biogas dengan menggunakan zeolite yang telah diaktivasi dengan larutan NaOH 15% dari masa zeolite 100 gram dengan variasi perlakuan panas. Penggunaan NaOH bertujuan untuk membersihkan zat pengotor pada permukaan pori yang ada pada zeolite. Sedangkan perlakuan panas bertujuan untuk mengaktivasi zeolit secara fisik. Perlakuan panas pada zeolite yang telah diaktivasi secara kimiawi divariasikan pada temperatur 300°C, 600°C, dan 900°C. Waktu pemurnian diamati dari interval waktu 15 menit sampai dengan menit ke 120. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan kandungan CO₂ dan H₂S yang optimal (0%) terjadi pada temperatur perlakuan panas 900°C pada waktu 120 menit. Hal ini menunjukkan bahwa dengan meningkatnya temperatur perlakuan panas mampu memperpendek waktu pemurnian. Dan dari perhitungan nilai kalor secara teoritis dengan waktu pemurnian 120 menit pada temperatur pemanasan 300°C, 600°C dan 900°C menunjukkan secara berturut-turut yaitu sebesar 6396,89 kkal/kg, 7711,88 kkal/kg dan 10118,44 kkal/kg. Nilai-nilai diatas lebih besar jika dibandingkan dengan zeolite tanpa perlakuan panas yaitu sebesar 5409,01 kkal/kg.

Kata kunci: Biogas, zeolite, pemurnian, adsorbent

Abstract

Biogas is one of the alternative energy and as renewable energy that obtained from anaerobic bacteria activity. Biogas has CH₄ as main composition and the other component as impurities such as CO₂, H₂S and H₂O. The impurities caused incomplete combustion process, low caloric value of biogas, and corrosion, so that biogas purification is required. Zeolite is one of adsorbent that used for purification because it is cheap and abundant in nature. The aim of research was variation of heating temperature of 100 gr of Zeolite that it is chemical activated using NaOH 15% in the biogas purification. NaOH was used to cleanse the pores on the surface of Zeolite while the temperature heating were varied as 300°C, 600°C and 900°C used for physically activation. The purification process is observed in the interval 15 to 120 minutes. The results showed the increasing of heating temperature shortens the time of purification. The optimal purification that both of CO₂ and H₂S concentration in 0% achieved in heating temperature 900°C on 120 minutes. The caloric value of biogas for heating temperature 300°C, 600°C and 900°C that theoretically calculated on purification time 120 minutes showed 6396.89 kCal/kg, 7711.88 kCal/kg and 10118.44 kCal/kg, respectively. They were greater than without heating that 5409.01 kCal/kg.

Keyword: Biogas, zeolite, purification, adsorbent

1. LATAR BELAKANG

Kotoran hewan khususnya sapi yang tidak termanfaatkan adalah merupakan salah satu komponen yang menyebabkan pemanasan global. Hal ini disebabkan kotoran tersebut menghasilkan CH₄ yang terbuang secara bebas ke atmosfer dimana CH₄ ini mempunyai pengaruh 25 kali terhadap pemanasan global dibandingkan CO₂. Sehingga perlu dilakukan usaha untuk memanfaatkan CH₄ tersebut untuk keperluan energi, sebagaimana kebutuhan energi semakin lama semakin meningkat.

Proses pemanfaatan kotoran sapi tersebut yaitu dengan menampung dalam digester supaya terjadi proses fermentasi anaerob sehingga terbentuk biogas yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar gas. Kandungan biogas yaitu metana (CH₄) sebesar 55–75%, karbon dioksida (CO₂) sebesar 25–45%, nitrogen (N₂) sebesar 0-0,3%, hidrogen (H₂) sebesar 1-5%, hidrogen sulfida (H₂S) sebesar 0-3%, dan oksigen (O₂) sebesar 0,1-0,5% (Anonymous_a). Dengan kandungan tersebut biogas telah dimanfaatkan untuk keperluan rumah tangga seperti memasak bagi masyarakat. Namun permasalahan yang dialami adalah peralatan yang mengandung besi mudah sekali terjadi korosi jika berhubungan dengan biogas tersebut dan nilai kalor yang dihasilkan masih rendah karena kandungan CH₄ yang berkisar 55–75%. Disamping itu sering kali biogas yang dihasilkan melimpah dan masih kurang pemanfaatannya sehingga kotoran sapi tidak diproses di dalam digester.

Melihat permasalahan dan potensi dari biogas tersebut maka pada penelitian ini akan mengkaji tentang pemurnian biogas. Hal ini didasarkan pada permasalahan korosi yang terjadi akibat adanya kandungan H₂S dan rendahnya nilai kalor pembakaran karena adanya kandungan CO₂ dalam biogas. Proses pemurnian biogas ini didasarkan pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan pada toloferol dan bioetanol. Proses mengurangi bahkan menghilangkan kandungan CO₂ dan H₂S pernah dilakukan penelitian untuk pemurnian tokoferol

* Penulis korespondensi, HP:082516296656
E-mail: denny_malang2000@yahoo.com

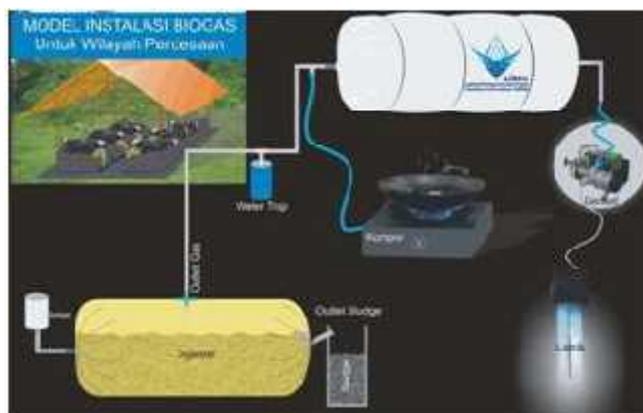
menggunakan aktivasi *zeolite* baik secara fisik (*heat treatment zeolite* 500-700°C) maupun secara kimia (asam sulfat 25% dari massa *zeolite*) (Ahmadi *et. al*, 1997). Selain itu pernah juga dilakukan penelitian untuk pemurnian bioetanol menggunakan aktivasi *zeolite* baik secara fisik (*heat treatment zeolite* 200-900°C) maupun secara kimia (asam oksalat 10-30% dari massa *zeolite*). (Rakmatullah *et. al*, 2007).

Dari penelitian-penelitian diatas, maka proses pemurnian biogas sama menggunakan aktivasi *zeolite*, tetapi berbeda pada proses aktivasinya baik secara fisik dengan perlakuan panas *zeolite* (*heat treatment* pada 300,600, 900°C) maupun secara kimia (*sodium hydroxide* atau NaOH 15% dari massa *zeolite*). Hal ini disebabkan *zeolite* memiliki melekular struktur dimana pada atom aluminium dikelilingi oleh 3 atom oksigen. Keberadaan atom aluminium ini akan menyebabkan *zeolite* mampu mengikat kation, *zeolite* juga memiliki pori-pori berukuran melekular sehingga mampu memisahkan atau menyaring molekul dengan ukuran tertentu. Selain itu dengan melakukan proses *zeolite heat treatment* dengan temperatur yang berbeda, akan meningkatkan luas permukaan pori dan porositas *zeolite* (Sutarti dan Rachmawati, 1994). Sedangkan pada *sodium hydroxide* (NaOH) merupakan sejenis basa (ph>7) logam kaustik yang membentuk larutan alkalin yang kuat dan bersifat lembab cair, sehingga mampu melakukan penyerapan atau pemurnian pada unsur-unsur kimia yang terdapat pada kandungan biogas.

1.1. Biogas

Biogas adalah bahan bakar gas dan bahan bakar yang dapat diperbaharui (*renewable fuel*) yang dihasilkan oleh aktivitas anaerobik atau fermentasi dari bahan-bahan organik termasuk diantaranya : kotoran manusia dan hewan, limbah domestik (rumah tangga), sampah *biodegradable* atau setiap limbah organik yang *biodegradable* dalam kondisi anaerobik. Proses pembuatan biogas dilakukan secara fermentasi yaitu proses terbentuknya gas metana dalam kondisi *anaerob* dengan bantuan bakteri *anaerob* di dalam suatu *digester* sehingga akan dihasilkan kandungan CH₄ dan CO₂ yang volumenya lebih besar dari H₂, N₂, O₂ dan H₂S.

Dalam proses pembuatan biogas diperlukan instalasi yang menunjang dalam pembuatan biogas. Instalasi biogas secara umum terdapat beberapa komponen utama diantaranya *inlet* (tempat pemasukan kotoran hewan), *digester*, *outlet sludge* (pembuangan kotoran hewan yang kandungan gasnya sudah hilang), *outlet gas* (tempat pengeluaran biogas), *water trap* (tempat penyerapan kandungan air dari biogas). Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 1. *Properties* dari biogas seperti pada Tabel 1.



Gambar 1. Instalasi biogas
Sumber : Anonymous_a (2009: 15)

Tabel 1 Karakteristik biogas

Parameter	Keterangan
Energi	6.0-6.5 kWh m ⁻³
<i>Fuel equivalent</i>	0.60-0.65 L <i>oil</i> /m ³ biogas
Batas ledakan	6-12% biogas dalam udara
Titik nyala	650-750 °C
Tekanan kritis	75-89 bar
Temperatur kritis	-82.5 °C
Massa jenis	1.2 kg m ⁻³
Bau	Telur busuk
Massa molar	16.043 kg kmol ⁻¹

Sumber: Deublein dan Steinhauer (2008: 50)

Pada kandungan biogas terdapat beberapa kandungan unsur kimia yang sifatnya merugikan, seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. *Impurities* biogas dan dampak yang ditimbulkan.

Impurities Biogas	Dampak yang Ditimbulkan
H ₂ S	<ul style="list-style-type: none"> • Korosi contohnya pada kompresor, tangki penyimpanan gas, dan mesin. • Konsentrasi beracun H₂S (> 5 cm³) dalam biogas • SO₂ dan SO₃ yang terbentuk akibat proses pembakaran, dan menyebabkan korosi dengan air (oksigen).
CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Nilai kalor yang dihasilkan rendah.
O ₂ atau air	<ul style="list-style-type: none"> • Konsentrasi O₂ yang tinggi, akan mudah meledak

Sumber: Ryckebosch *et. al* (2011: 2)

1.2. Zeolite

Zeolite merupakan senyawa alumino silikat hidrat dari logam alkali dan alkali tanah (terutama Ca dan Na). Nama *zeolite* berasal dari bahasa Yunani yang berarti batuan mendidih, yang artinya kandungan air akan terlepas jika mineral *zeolite* dipanasi. Formula atau rumus kimia dari *zeolite* adalah $M_{x/n} \{(AlO_2)_x(SiO_2)_y\} \cdot z H_2O$, dimana M merupakan kation alkali atau alkali tanah, n merupakan valensi logam alkali atau alkali tanah, $\{(AlO_2)_x(SiO_2)_y\}$ merupakan kerangka alumina, z merupakan jumlah molekul air yang terhidrat, serta x dan y merupakan jumlah tetrahedron per unit sel (Rini dan Lingga, 2010: 14). Maka *zeolite* alam jenis *erionite* (Ca Mg K₂ Na)_{4,5} $\{(AlO_2)_9(SiO_2)_{27}\} \cdot 27H_2O$. Komposisi pada *zeolite* seperti pada Tabel 3. Sedangkan untuk karakteristik dari *zeolite* alam bisa dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Komposisi *Zeolite* alam

Parameter	Satuan	Jumlah
Fe ₂ O ₃	%	1,02
Al ₂ O ₃	%	10,15
CaO	%	2,40
MgO	%	0,36
MnO ₂	%	0,01
Cr ₂ O ₃	%	0,02
Na ₂ O	%	1,62
K ₂ O	%	1,68
TiO ₂	%	0,35
LoI	%	8,34
SiO ₂	%	73,93

Sumber: Data Pengujian dari Laboratorium Panadia

Tabel 4. Karakteristik *Zeolite* alam (*Erionite*)

Parameter	Keterangan
Warna	<i>Light green – green to gray</i>
Bau	Tidak ada
Bentuk kristal	Hexagonal, tetrahedral, octagonal, konkridal, dan ganelimit
<i>Melting point</i>	1368°C
<i>Stability temperature</i>	800-1000°C
<i>Specific gravity</i>	2,37
<i>Porous volume</i>	28-34%
<i>Porous diameter</i>	2,9-7,0
<i>Moisture content</i>	Max.12%
<i>Operating ph range</i>	6-8

Sumber: Anonymous_b (2011: 1)

Aktivasi *zeolite* berfungsi untuk mengaktifkan sifat fisik dan kimia dari *zeolite*. Untuk proses aktivasi *zeolite* ada dua cara, yaitu secara fisik dan kimia. Aktivasi secara fisik berupa perlakuan panas pada *zeolite* dengan tujuan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal *zeolite*, mampu memisahkan molekul zat berdasarkan ukuran molekul, meningkatkan luas permukaan pori *zeolite* dan meningkatkan porositasnya, sehingga secara keseluruhan akan meningkatkan kemampuan adsorpsinya (Ahmadi *et. al* (1997). Aktivasi secara kimia dapat dilakukan dengan mencampurkan larutan pereaksi asam atau basa pada *zeolite* yang bertujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor, dan mengatur kembali letak atom.

1.3. Sodium Hydroxide (NaOH)

Sodium hydroxide (NaOH) juga dikenal sebagai soda kaustik atau sodium hidroksida adalah sejenis basa logam kaustik. NaOH membentuk larutan alkalin yang kuat ketika dilarutkan ke dalam air. NaOH memiliki titik lebur 318°C dan titik didih 1388°C. NaOH berbentuk putih padat dan tersedia dalam bentuk pelet, serpihan,

butiran ataupun larutan jenuh 50%, bersifat lembab cair dan secara spontan menyerap karbon dioksida dari udara bebas. NaOH sangat larut dalam air (1110 g/L pada suhu 20°C) dan akan melepaskan panas ketika dilarutkan, selain itu mampu larut dalam etanol dan metanol.

1.4 . Adsorbent

Adsorpsi adalah suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida (gas) terikat dengan suatu padatan dan akhirnya membentuk suatu lapisan film (biasanya berwarna keputihan) pada permukaan padatan. *Adsorbent* adalah zat pengikat atau penyerap yang berwujud padatan dan adsorbat adalah zat yang terserap oleh *adsorbent* (Rini dan Lingga, 2010: 21). Adsorpsi dibedakan menjadi dua, yaitu adsorpsi fisik (fisisorpsi) dan adsorpsi kimia (chemisorpsi). Adsorpsi fisik disebabkan oleh gaya Van Der Waals. Sedangkan adsorpsi kimia disebabkan karena molekul-molekul yang teradsorpsi pada permukaan *adsorbent* bereaksi secara kimia, sehingga terjadi pematuan dan pembentukan ikatan.

Dikarenakan molekul – molekul didalam zat padat memiliki arah yang sama, maka gaya tarik menarik antara satu molekul dengan molekul disekelilingnya adalah seimbang. Sebab daya tarik yang satu akan dinetralkan oleh yang lain yang letaknya simetris, dengan kata lain resultan gayanya sama dengan nol. Lain halnya dengan molekul – molekul yang ada di permukaan zat padat, gaya – gaya tersebut tidak seimbang karena pada suatu arah disekeliling molekul tersebut tidak ada molekul lain yang menariknya. Akibatnya zat padat tersebut akan mempunyai sifat menarik molekul – molekul gas menuju ke permukaannya.

1.5. Purification

Purification pada biogas yang dilakukan hanya pada kandungan karbon dioksida (CO₂) dan hidrogen sulfida (H₂S). Metode yang digunakan untuk pemurnian karbon dioksida (CO₂) pada biogas yaitu : metode *Pressure Swing Adsorption* (PSA) atau *Vacuum Swing Adsorption* (VSA) dengan saringan molekular (*zeolite*). Keuntungan yang didapatkan yaitu: menggunakan energi rendah dengan tekanan tinggi tetapi tetap regeneratif. Sedangkan kerugian yang ditimbulkan yaitu: proses kontrol yang luas.(Ryckebosch *et. al*, 2011:8).

Sedangkan metode yang digunakan untuk pemurnian hidrogen sulfida (H₂S) pada biogas yaitu: metode dengan menggunakan penyerapan secara kimia (NaOH).Keuntungan yang didapatkan yaitu : *smaller volume, less pumping, smaller vessels*. Sedangkan kerugian yang ditimbulkan yaitu : teknik lebih sulit. (Ryckebosch *et. al*, 2011:4).

1.6. Persamaan Keadaan Gas Ideal

Persamaan keadaan gas ideal ditemukan oleh Émile Clapeyron pada tahun 1834 menggabungkan Hukum Boyle dan Hukum Charles. Untuk rumus persamaan keadaan gas ideal seperti pada Persamaan 1. (Wardana,2008:78)

$$PV = mRT$$

$$P \frac{V}{m} = RT$$

$$\frac{P}{\rho} = RT$$

$$P = \rho RT$$

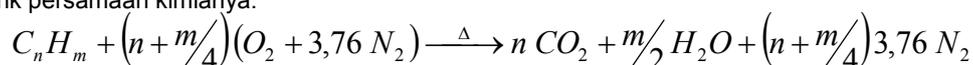
(1)

dengan :

- P = Tekanan (N/m²)
- V = Volume total suatu gas (m³)
- ρ = Densitas (kg/m³)
- R = Konstanta gas spesifik (J/kg.K)
- m = Massa gas (kg)

1.7. Nilai Kalor Pembakaran

Nilai kalor pembakaran dibedakan menjadi dua, yaitu nilai kalor pembakaran rendah (*Low Heating Value* atau LHV) dan nilai kalor pembakaran tinggi (*High Heating Value* atau HHV).LHV adalah energi panas yang dilepaskan oleh satu satuan massa bahan bakar dengan memperhitungkan kerugian panas akibat terbentuknya uap air (H₂O). Sedangkan HHV adalah energi panas yang dilepaskan oleh satu satuan bahan bakar tanpa memperhitungkan jumlah kalor yang dikeluarkan akibat terbentuknya uap air (H₂O). Berikut ini adalah reaksi stoikiometrik persamaan kimianya:



Pada persamaan sebelah kiri adalah reaktan sedangkan pada bagian sebelah kanan adalah produk (Wardana, 2008 : 78)

$$\Delta H_C = H_{reaktan} - H_{produk} = \sum_{reaktan} N_i h_i - \sum_{produk} N_i h_i \quad (2)$$

dengan :

$$\Delta H_C = \text{Nilai kalor rendah (kJ/kg)}$$

H_{reaktan} = Entalpi reaktan (kJ/kg)
 H_{produk} = Entalpi produk (kJ/kg)

Adapun entalpi pembentukan beberapa bahan bakar dengan pengoksidasi pada kondisi standar seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Entalpi pembentukan beberapa spesies kimia.

Spesies	Formula	ΔH_f (kJ/mol)
Methane	CH ₄	-74,87
Ethane	C ₂ H ₆	-84,68
Acetylene	C ₂ H ₂	226,73
Propane	C ₃ H ₈	-103,85
n-butane	C ₄ H ₁₀	-126,15
Iso-butane	C ₄ H ₁₀	-134,52
n-pentane	C ₅ H ₁₂	-146,44
Iso-pentane	C ₅ H ₁₂	-154,47
Benzene	C ₆ H ₆	82,93
n-heptane	C ₇ H ₁₆	-187,78
n-octane	C ₈ H ₁₈	-208,45
Methyl alcohol	CH ₃ OH	-201,17
Ethyl alcohol	C ₂ H ₅ OH	-234,81
Uap air	H ₂ O	-241,83
Karbon dioksida	CO ₂	-393,52
Oksigen	O ₂	0
Nitrogen	N ₂	0

Sumber: Wardana (2008: 79)

Nilai kalor biogas aktual merupakan fungsi dari prosentase CH₄, temperatur, dan tekanan absolut yang nilainya berbeda untuk tiap kasus (Mitzlaff, 1988 : 27. Nilai kalor biogas dapat dihitung dengan persamaan: (Mitzlaff,1988: 30).

$$HV_{\text{biogas}} = \frac{V_{\text{CH}_4}}{V_{\text{total}}} \cdot HV_{\text{CH}_4} \cdot \rho_{\text{CH}_4} \quad (3)$$

dengan :

$$HV_{\text{biogas}} = \text{Nilai kalor biogas (kJ/m}^3 \text{)}$$

$$HV_{\text{CH}_4} = \text{Nilai kalor CH}_4 \text{ (kJ/kg)}$$

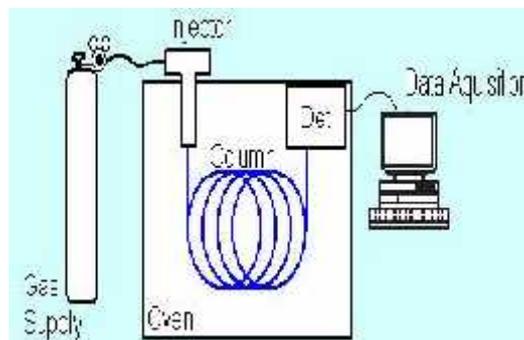
$$V_{\text{CH}_4} = \text{Volume CH}_4 \text{ (m}^3 \text{)}$$

$$V_{\text{total}} = \text{Volume biogas (m}^3 \text{)}$$

$$\rho_{\text{CH}_4} = \text{Massa jenis CH}_4 \text{ (kg/m}^3 \text{)}$$

1.9. Prinsip Kerja Gas Chromatography

Chromatography merupakan suatu istilah yang menggambarkan teknik yang digunakan untuk memisahkan komponen-komponen dari suatu campuran atau sampel. Secara umum komponen *Gas Chromatography* (GC) seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Komponen gas chromatography.

Dalam *Gas Chromatography* (GC), sampel diinjeksikan dengan menggunakan jarum semprit sebesar 100 ml yang menembus lempengan karet (spektrum) yang mana bersifat elastis, gas dibawa oleh carrier gas (helium)

pada kolom. Di dalam kolom, komponen senyawa dalam gas campuran terurai karena dipanasi pada suhu kolom sebesar 80°C, selanjutnya gas mengalir pada *thermal conductivity detector* (TCD) dan dengan perbedaan nilai penghantar panas, maka akan terekam dalam kromatogram. Luas dan tingginya puncak yang tergambar menentukan kuantitasnya senyawa, maka untuk menentukan puncak itu metana apa bukan sebelumnya diinjeksikan juga gas metana, jika mewakili waktu retensi yang sama antara standard metana dengan sampel maka dapat disimpulkan pada sampel terdapat kandungan metana.

2. PROSEDUR EKSPERIMEN

Metode penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*) yaitu dengan melakukan pengujian secara langsung pada objek yang diteliti untuk memperoleh data sebab akibat melalui proses *eksperimen*.

2.1. Variabel Penelitian

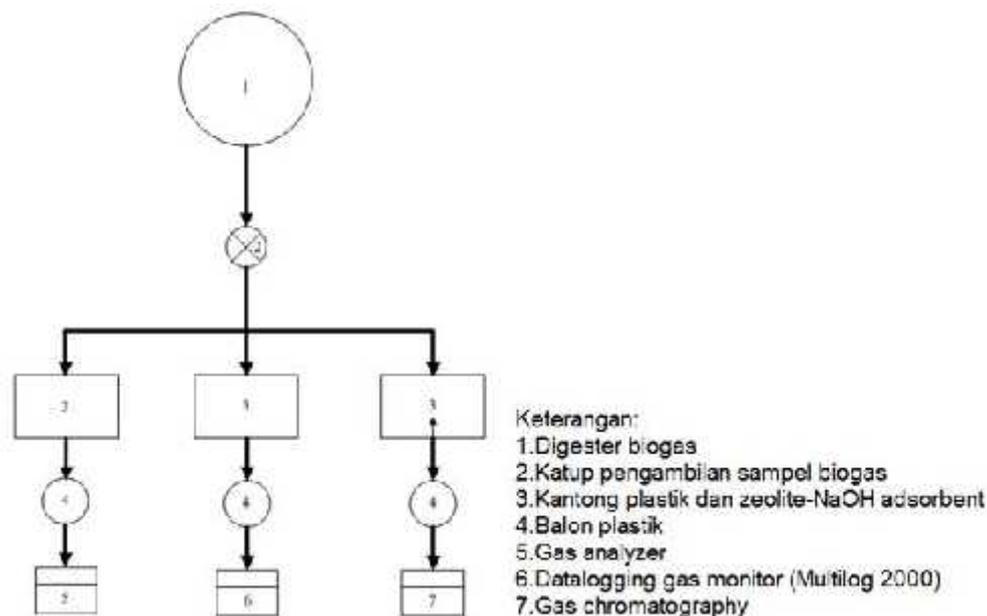
Variabel-variabel yang digunakan pada penelitian ini ada tiga macam. Pertama variabel bebas waktu pemurnian (15; 30; 45; 60; 75; 90; 105; 120 menit) dan variasi temperatur *heat treatment* (300; 600; 900 °C) dan *non heat treatment* pada *zeolite*. Kedua variabel terkontrol yaitu dimensi *zeolite*-NaOH *adsorbent* (15 x 10 x 0,5 cm) dan penambahan zat adiktif (NaOH) sebesar 15% dari massa *zeolite*. Ketiga variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah persentase kandungan biogas (CH₄; CO₂; O₂; H₂S) dan nilai kalor biogas.

2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *gas analyzer*, *datalogging gas monitor* (Multilog 2000), orsat apparatus, *gas chromatography* 7900 (GC 7900), dapur listrik, cetakan kayu, selang kompresor, *stopwatch*, kantong plastik, balon plastik, timbangan digital, gelas ukur, blender dan oven.

2.3 Skema Penelitian

Untuk skema penelitian dari pengambilan sampel sampai pengujian biogas seperti Gambar 3.



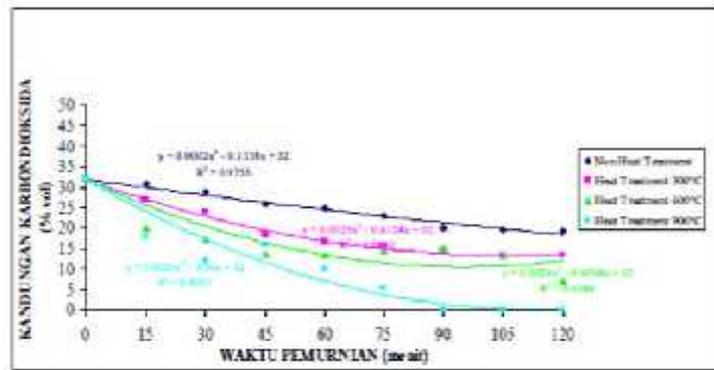
Gambar 3. Skema penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

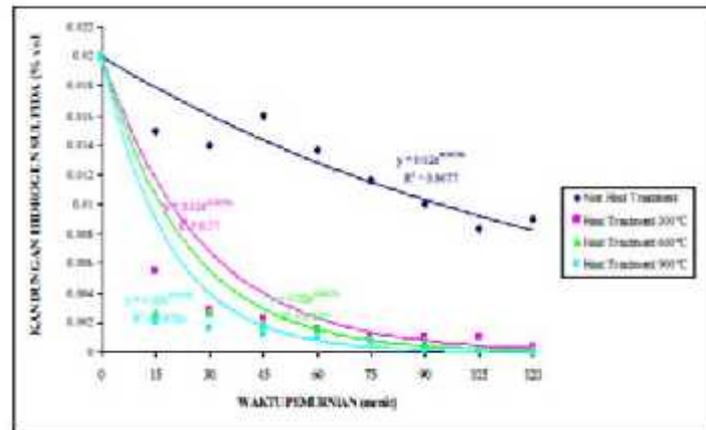
Hubungan antara waktu pemurnian terhadap kualitas biogas (kandungan CO₂; H₂S; O₂; CH₄ dan nilai kalor biogas) dengan menggunakan *zeolite*-NaOH *adsorbent* yang divariasikan temperatur *heat treatment* pada *zeolite* dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.

Dengan menggunakan waktu pemurnian yang sama, maka kandungan CO₂ dan H₂S pada biogas akan relatif menurun tetapi kandungan O₂ dan CH₄ akan relatif meningkat dengan seiring bertambahnya temperatur *heat treatment* pada *zeolite*, sehingga nilai kalor biogas akan semakin tinggi. Sebagai contoh pada waktu pemurnian selama 120 menit nilai kandungan CO₂ pada *non heat treatment* sebesar 19,3600% tetapi dengan bertambahnya temperatur *heat treatment* pada *zeolite* kandungan CO₂ mengalami penurunan menjadi 0% pada 900 °C (Gambar 5a), untuk kandungan H₂S pada *non heat treatment* sebesar 0,0090% tetapi dengan bertambahnya temperatur *heat treatment* pada *zeolite* kandungan H₂S mengalami penurunan menjadi 0% pada *heat treatment* 900 °C (Gambar 5b), sedangkan untuk kandungan O₂ yang awalnya 3,8000% pada *non heat treatment* mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya temperatur *heat treatment* pada *zeolite* menjadi 5,9500% pada *heat treatment* 900 °C (Gambar 5c), begitu pula kandungan CH₄ pada *non heat treatment* sebesar 49,9533% menjadi 64,5600% pada *heat treatment* 900 °C (Gambar 5d), sehingga nilai kalor biogas meningkat

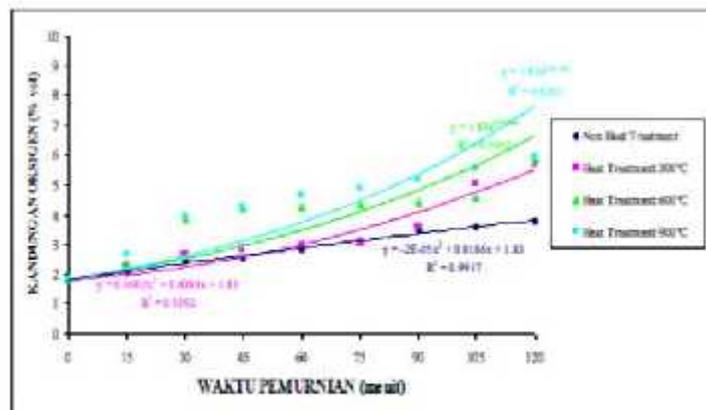
pada *non heat treatment* sebesar 5409,0132 kkal/kg menjadi 10118,4397 kkal/kg pada *heat treatment* 900 °C (Gambar 6).



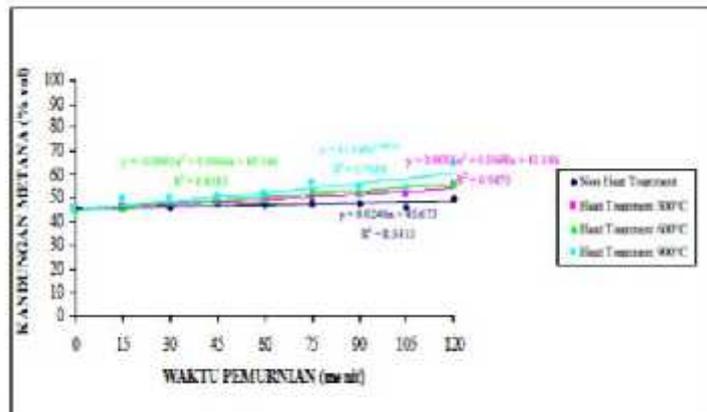
a. CO₂



b. H₂S

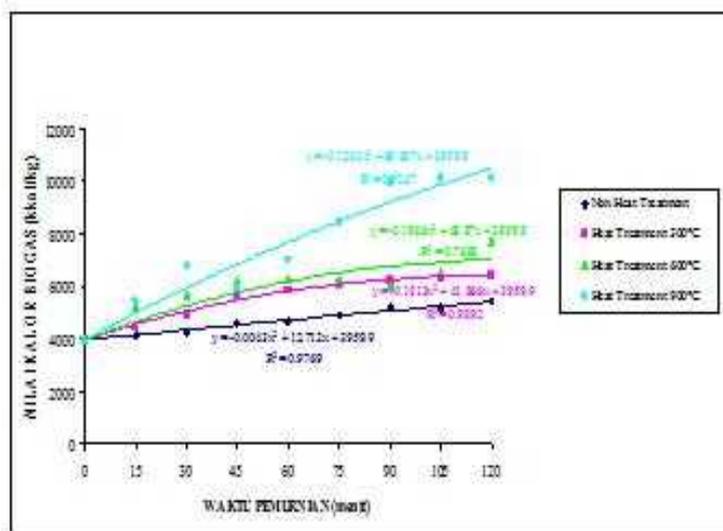


c. CO₂



d. H₂S

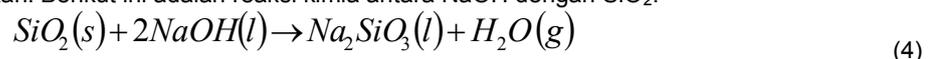
Gambar 5. Grafik hubungan antara kandungan a. CO₂ b. H₂S c. O₂ dan d. CH₄ dengan waktu pemurnian.



Gambar 6. Grafik hubungan antara nilai kalor biogas dengan waktu pemurnian

Hal ini disebabkan *zeolite* yang didapatkan dari alam sudah dapat digunakan untuk proses adsorpsi (CO₂ dan H₂S), tetapi daya serap pada *zeolite* masih kurang maksimal karena terdapat zat pengotor seperti besi oksida (Fe₂O₃), silikon dioksida (SiO₂), kandungan air yang terdapat pada pori-pori *zeolite*, aluminium oksida (Al₂O₃). Maka *zeolite* dilakukan aktivasi secara fisik dengan memvariasikan temperatur *heat treatment* (300 °C; 600 °C; 900 °C) dan *non heat treatment* serta aktivasi kimia dengan penambahan NaOH sebesar 15% dari massa *zeolite*. Aktivasi *zeolite* secara fisik maupun kimia pernah dilakukan penelitian untuk pemurnian tokoferol dengan menggunakan aktivasi *zeolite* secara fisik (*zeolite heat treatment* 500-700 °C) maupun secara kimia (asam sulfat 25% dari massa *zeolite*) (Ahmadi *et. al.*, 1997). Selain itu pernah juga dilakukan penelitian untuk pemurnian bioetanol menggunakan aktivasi *zeolite* baik secara fisik (*zeolite heat treatment* 200-900 °C) maupun secara kimia (asam oksalat 10-30% dari massa *zeolite*) (Rakmatullah *et. al.*, 2007).

Aktivasi secara fisik akan menghilangkan kandungan air yang masih berada dalam pori-pori kristal *zeolite*, mampu memisahkan molekul zat berdasarkan ukuran molekul, meningkatkan luas permukaan pori *zeolite*, membuang senyawa pengotor pada *zeolite* misalnya K₂O dan meningkatkan porositasnya. Sedangkan dengan penambahan aktivasi kimia (penambahan NaOH sebesar 15% dari massa *zeolite*) akan membersihkan permukaan pori, dan membuang senyawa pengotor misalnya SiO₂. Menurut Beavon (2005) menyatakan bahwa SiO₂ tidak dapat larut dalam air namun dapat bereaksi dengan larutan NaOH sehingga SiO₂ pada *zeolite adsorbent* dapat dibersihkan. Berikut ini adalah reaksi kimia antara NaOH dengan SiO₂:



Sehingga dengan adanya aktivasi secara fisik maupun secara kimia pada *zeolite*, maka zat-zat pengotor yang ada pada *zeolite adsorbent* akan semakin sedikit, menyebabkan proses pemurnian biogas lebih optimal (dengan penurunan kandungan CO₂ dan H₂S serta peningkatan kandungan CH₄ dan O₂), akibatnya nilai kalor biogas meningkat.

Selain itu peningkatan pada kandungan O₂ pada biogas disebabkan terjadinya penguraian kandungan CO₂ pada saat proses adsorpsi menjadi CO dan O₂ sehingga menyebabkan penambahan kandungan O₂ seiring dengan menurunnya kandungan CO₂ pada biogas. Menurut IUPAC (1997) ada 3 macam penyebab terjadinya penguraian kandungan CO₂ yaitu akibat reaksi termal, elektrolisis, dan katalis. Tetapi pada kasus ini proses

terjadinya penguraian CO₂ akibat katalis, karena *zeolite* memiliki kemampuan salah satunya sebagai katalis. Berikut ini adalah reaksi penguraian kandungan CO₂ menjadi CO dan O₂:



Untuk peningkatan kandungan CH₄ disebabkan terserapnya kandungan H₂S. Penyerapan kandungan H₂S tersebut menyebabkan ikatan antara dua atom H dengan satu atom S terpisah. Peningkatan kandungan H₂ yang didapatkan dari penguraian H₂S menimbulkan reaksi kimia dengan CO₂ sehingga menghasilkan CH₄ atau yang dikenal dengan reaksi metanogen hidrogenotrofik. Menurut Peters dan Conrad (1995), reaksi metanogen hidrogenotrofik adalah suatu reaksi yang digunakan untuk menghasilkan kandungan CH₄ yang didapatkan dari reaksi antara kandungan CO₂ sebagai sumber karbon dengan kandungan H₂ sebagai reduktor. Berikut ini adalah reaksi metanogen hidrogenotrofik antara kandungan CO₂ yang direaksikan dengan kandungan H₂.



Dari penelitian yang dilakukan ada permasalahan yang muncul karena penggunaan *zeolite*-NaOH sebagai adsorbent mengalami penurunan kemampuan penyerapan setelah beberapa kali penggunaan sehingga perlu proses regenerasi (dalam tahap penelitian lanjutan). Sehingga harapannya dengan adanya proses regenerasi *zeolite* maka akan memperpanjang waktu penggunaannya.

4. SIMPULAN

Penggunaan *zeolite*-NaOH adsorbent dengan variasi temperatur *heat treatment* pada pemurnian biogas didapatkan kesimpulan bahwa temperatur *heat treatment* pada *zeolite* dengan waktu pemurnian yang tetap maka proses pemurnian biogas lebih optimal, hal ini ditunjukkan dengan semakin menurunnya prosentase kandungan CO₂ dan H₂S serta meningkatnya kandungan prosentase CH₄ dan O₂, sehingga nilai kalor biogas semakin besar.

Zeolite-NaOH adsorbent yang sudah digunakan untuk pemurnian biogas terdapat lapisan film pada permukaannya, sehingga harus dilakukan proses regenerasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmadi, K.G.S., Hastuti, P. dan Tranggono, **Aktivasi Zeolit Alam dan Penggunaannya untuk Pemurnian Tokoferol dari Distilat Asam Lemak Minyak Sawit**, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 1997.
- [2] Anonymous_a: www.wikipedia.org, 2011. (diakses pada tanggal 17 Juli 2011).
- [3] Anonymous_b: [http://www.openrussia.ru/catalogitems/8035/Zeolite-Of Indonesia.htm](http://www.openrussia.ru/catalogitems/8035/Zeolite-Of%20Indonesia.htm), 2011. (Diakses tanggal 10 September 2011).
- [4] Beavon, Rod; **Oxides and Hydroxides**; <http://www.rod.beavon.clara.net/oxides.htm>; 2005; (diakses tanggal 11 November 2011).
- [5] Deublein, D., & Steinhauser, A; **Biogas from Waste and Renewable Resources**; Wiley-VCH, Hongkong, 2008.
- [6] IUPAC; **Compendium of Chemical Terminology**; 1997
[http://en.wikipedia.org/wiki/Chemical_decomposition] diakses tanggal 11 November 2011.
- [7] Mitzlaff, K. V; **Engines for Biogas**; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Germany, 1988.
- [8] Peters, V; Conrad, R; **Methanogenic and Other Strictly Anaerobic Bacteria In desert Soil and Other Toxic Soil, Applied and Environmental Microbiology**; <http://en.wikipedia.org/wiki/Methanogen> , 1995. (diakses tanggal 11 November 2011).
- [9] Rakhmatullah, Wiradini dan Ariyanto, **Pembuatan Adsorbent dari Zeolit Alam dengan Karakteristik Adsorption Properties untuk Kemurnian Bioethanol**, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2007.
- [10] Rini, & Lingga, **Optimasi Aktivasi Zeolit Alam Untuk Dehumidifikasi**; Universitas Diponegoro, Semarang, 2010.
- [11] Ryckebosch, E., Drouillon, M., & Vervaeren, H; **Techniques for Transformation of Biogas to Biomethane**; Katholieke University Leuven, Belgium, 2011.
- [12] Sutarti, M., dan Rachmawati, M., 1994, **Zeolit Tinjauan Literatur**, PDII LIPI, Jakarta, 1994.
- [13] Wardana, I.N.G; **Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran**; PT. Danar Wijaya, Malang, 2008.



Konferensi Nasional Engineering Perhotelan IV

"PERAN RISET DAN TEKNOLOGI
UNTUK PERKEMBANGAN
INDUSTRI PARIWISATA"

Kamis-Jumat, 27-28 Juni 2013
Hotel Werdhapura
Sanur - Bali

Diselenggarakan oleh:

Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Udayana

BKS-TM Indonesia
(Badan Kejurasaan Teknik Mesin Indonesia)

KNEP-IV—2013 diadakan dalam rangkaian
kegiatan BKFT ke-48 dan Dies Natalis ke-
51 Universitas Udayana



Latar Belakang

Industri Pariwisata Indonesia merupakan salah satu penggerak perekonomian nasional yang potensial untuk menggerakkan pertumbuhan perekonomian yang lebih baik. Devisa dari pariwisata merupakan kontributor terbesar ketiga devisa negara, setelah minyak dan gas bumi serta minyak kelapa sawit. Perkembangan industri pariwisata tidak terlepas dari kemajuan peralatan teknologi yang digunakan. Pengembangan industri pariwisata kreatif, teknologi dan teknologi informasi industri pariwisata, aplikasi *engineering system*, prosedur *maintenance* bangunan, sistem utilitas dan aspek keamanan-keselamatan, serta manajemen industri perhotelan merupakan tantangan bagi ilmuwan dan praktisi sebagai usaha pengembangan pariwisata.

Sistem energi baru dan terbarukan dan pengembangan model pemanasan energi terbarukan dalam dunia perhotelan, audit dan manajemen energi, optimasi penggunaan energi dan pengenalan material-material penunjang penghematan energi merupakan tema yang perlu dipertanyakan dan dipopulerkan. Peran pengembangan riset dan teknologi menjadi faktor dominan yang dibutuhkan untuk mendapatkan produk teknologi yang unggul, mandiri, bersaing dan ramah kepada lingkungan. Riset dan teknologi perlu dikomunikasikan agar cepat digunakan secara maksimal.

Konferensi nasional ini dilaksanakan sebagai forum diskusi dan bertukar informasi antara peneliti, praktisi dan pengguna jasa pariwisata, sehingga didapatkan satu visi yang bermanfaat bagi perkembangan pariwisata nasional.

Tujuan Seminar

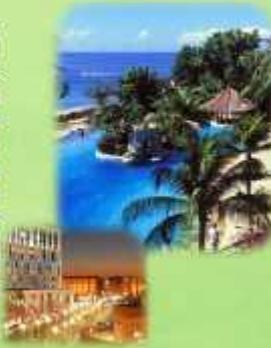
- Meningkatkan hubungan informasi tentang riset-riset dan teknologi terkini yang terkait langsung maupun tidak langsung pada perkembangan industri pariwisata.
- Meningkatkan kerja sama dengan organisasi profesi engineering perhotelan.

Grup topik makalah yang diseminarkan:

1. **Engineering perhotelan:** manajemen & optimasi energi, manajemen air, AC dan Chiller, pompa, perpipaan, maintenance, sistem penggunaan, hiker, building service, dll.
2. **Konversi energi:** BBM ramah lingkungan, perpipaan panas, mekanika fluida, termodinamika, energi terduga terbarukan, pengembangan mode pemanasan energi terbarukan.
3. **Teknologi, pengujian dan pengembangan material:** Korosi pengecoran, pengecoran, polimer dan komposit, analisis kegagalan.
4. **Teknik dan manajemen manufaktur:** proses pemrosesan, pembenturan, fabrikasi, sistem manufaktur, CAD-CAM, otomasi industri, sistem pengontrolan.
5. **Bidang umum:** pendidikan Teknik Mesin, metode pengajaran, kelebihan energi, pengalokasian dan pasok lingkungan.
6. **Industri pariwisata kreatif,** teknologi informasi industri pariwisata, manajemen industri perhotelan.

Abstrak & Makalah

Abstrak ditulis dalam Bahasa Indonesia atau Inggris, maksimum 500 kata berjarak 1 spasi, jenis huruf Arial 10, memuat judul makalah, nama penulis, instansi, dan alamat korespondensi. Abstrak menyajikan latar belakang masalah, metode penelitian/analisis dan hasil dan pembahasan. Abstrak dan makalah lengkap ditulis dalam format satu kolom dengan mengikut ketentuan yang dapat didownload di website www.kaepbali.com.



Jadwal Penting

- 01 Mei 2013 : Batas penerimaan abstrak
- 06 Mei 2013 : Konfirmasi abstrak yang diterima
- 25 Mei 2013 : Batas penerimaan full-paper

1. Prof. Dr. Ir. Rald Ariono Kestoer, DEA (Renewable energy dan pengembangan potensi energi lokal)
2. Prof. Ir. IN Setantra, M.Sc., Ph.D. (Riset dan teknologi terkini dalam bidang engineering perhotelan)
3. Dina: Pariwisata
4. Grundfos: Bali



1. Prof. Dr. Tjok Gat. Tirta Nidhiu (UNUD)
2. Prof. Dr. ING Antara M.Eng. (UNUD)
3. Prof. Dr. r. IGB Wijaya Kusuma (UNUD)
4. Prof. Jolmy Wahyuad M, DEA (Ui)
5. Featun, S.T., M.T., Ph.D. (UGM)
6. Dra. Ida Ayu Suryasari, M.Par (Pariwisata, UNUD)
7. Prof. Dr. Kurcoro Diharjo, ST, MT. (UNG)
8. Dr. Sularoko (UNDIP)
9. Dr. Catunwat (UNTIRTA)
10. Prof. Dr. ng. Mulyadi Sur (Sekeloa IKSTM)
11. Prof. Ir. Nyoman Surantra M.Sc., Ph.D. (ITS)
12. Prof. Ir. ING Wardana, M.Eng., Ph.D. (UB)
13. Prof. Ir. IA Dwi Giyanari, M.Eng.Sc., Ph.D. (Teknik Bekro, UNUD)
14. Ir. IM Arya Thanaya, ME, Ph.D. (T. Sipi, UNUD)
15. Dr. r. I Wayan Sarata, M.Eng (UNWD)

Waktu dan Tempat Kegiatan

Konferensi dilaksanakan pada hari Kamis - Jumat, 27 - 28 Juni 2013, di Hotel Weningapura, Sanur, Bali

Riwayat Partisipasi

Partisipasi	< 24 Mei	> 24 Mei
Pemakalah (Reneke-praktek)	Rp. 100.000,-	Rp. 150.000,-
Membaca (Reneke-praktek)	Rp. 300.000,-	Rp. 350.000,-
Membaca (Reneke-praktek)	Rp. 200.000,-	Rp. 250.000,-

* Makalah lisan dengan penulis yang sama dinilai biaya 50%.

Panitia Pengarah

Dekan FT Universitas Udayana
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNUD
Ketua BMTM Indonesia

Panitia Pelaksana

Dr. Ir. IKG Sugita, M.T. (Ketua)
I Ketut Aciatniika S.T., M.T. (Sekret)

Sekretariat Panitia KNEP IV

Jurusan Teknik Mesin, Univ. Udayana, Kampus
Bukit Jimbaran, Badung-Bali, Telp. 0361-
9113048, 082145293099; Fax. 0361-703321;
CP: IG Teddy Prananda Surya ST, MT.
Email: knep2013@yahoo.com

