

EFEK VARIASI KANDUNGAN AIR TERHADAP KERJA GAS ENGINE COOLER SUATU PLTB LIMBAH ORGANIK PASAR INDUK

*Dede Hanafi Fajrin¹, Nazaruddin Sinaga²

^{1&2}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

*email: dedehanafi11@gmail.com

ABSTRACT

Organic waste from wholesale market can be degraded to biogas by anaerobic digestion. In PLTB, biogas which has main composition of methane is used as fuel for gas engine to generate electricity. Before being used in the gas engine, biogas is purified and condensed to remove impurity gases. Biogas purification process used a high pressure water scrubber while for condensation used a gas engine cooler. The working of cooler is removing saturated water vapour before gas being burned into gas engine. The purpose of this research is analyzing the effect of water content to the working of cooler for removing water vapour in biogas. To analyze the working of cooler, mass flow of water for anaerobic digestion and water for scrubbing process is varied and simulated by the software AspenPlus V 8.6. In this simulation result, water influences to remove the impurity gases including water vapour. When the input of water is greater in feedstream or make up water, cooler removes water vapour is getting smaller because water vapour dissolved in the water is more.

Keywords: organic waste, biogas, PLTB, gas engine, cooler, water.

PENDAHULUAN

Digestasi anaerobik adalah proses degradasi biokimia yang banyak digunakan untuk mendapatkan energi terbarukan berupa biogas dari unsur-unsur biomassa (Scano et al, 2014). Limbah organik pasar induk seperti sampah sayur dan buah-buahan dapat didegradasi menjadi biogas dengan proses digestasi anaerobik. Proses ini terbagi menjadi 4 tahapan, yaitu hidrolisis, acidogenesis, acetogenesis, dan metanogenesis.

Hidrolisis merupakan tahapan mengubah senyawa kompleks (polimer) menjadi senyawa yang lebih sederhana (mono & oligomer). Acidogenesis proses degradasi produk hasil hidrolisis menjadi substrat metanogenik. Pada tahap acetogenesis bakteri acetogenik dan metanogenik mulai aktif pada digestasi anaerobik. Bakteri acetogenik berfungsi untuk

oksidasi terhadap komponen hasil acidogenesis menjadi asam asetat, karbon dioksida, dan hidrogen. Metanogenesis merupakan tahapan mengubah asam asetat menjadi metana dan karbon dioksida, sedangkan hidrogen diubah menjadi metana dan uap air (Christensen, 2010).

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTB) biogas digunakan sebagai bahan bakar mesin gas untuk menghasilkan listrik. Sebelum digunakan pada mesin gas, biogas dimurnikan untuk mengurangi kandungan karbon dioksida dan hidrogen sulfida dengan metode *water scrubbing*. Selanjutnya dilakukan proses kondensasi pada biogas untuk menghilangkan kandungan uap air (*saturated water vapour*) dengan didinginkan menggunakan *cooler (heat exchanger)*. Pada proses pembakaran dalam mesin gas, uap air akan mengurangi nilai kalor

dan dapat menyebabkan terjadinya korosi jika tidak dibuang.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa kerja *cooler* dalam menghilangkan kandungan uap air pada biogas berdasarkan varian debit massa air pada *digester* dan *scrubber*. Debit Massa air pada *digester* divariasikan antara 200 kg/h sampai 400 kg/h dan air untuk *scrubber* pada 1000 kg/h sampai 2000 kg/h. Analisa kerja *cooler* disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak AspenPlus V.8.6.

TINJAUAN PUSTAKA

Williams & Paul (2005), dalam penelitiannya menjelaskan bahwa, *digestasi anaerobik* menghasilkan biogas dan *digestate*. Biogas terdiri dari gas metana dan karbon dioksida serta beberapa gas lain dalam jumlah sedikit. Kandungan metana dan karbon dioksida dalam biogas berkisar 60% dan 40% yang nantinya dapat digunakan sebagai sumber energi.

Menurut Suyog (2011), dalam penelitiannya menyebutkan bahwa gas metana pada biogas adalah 55-60%, karbon dioksida 35-40%, dan kandungan air 2-7%. Komponen penyusun biogas ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Biogas (Suyog, 2011)

Komponen	Konsentrasi (Volume)
Metana (CH ₄)	55-60%
Karbon dioksida (CO ₂)	35-40%
Air (H ₂ O)	2-7%
Hidrogen sulfida (H ₂ S)	20-20.000 ppm (2%)
Amonia (NH ₃)	0-0.05%
Nitrogen (N)	0-2%
Oksigen (O ₂)	0-2%
Hidrogen (H ₂)	0-1%

Menurut Vavilin et al (1995), koefisien nilai kalor sesuai dengan konsentrasi CH₄. Sebagaimana untuk *internal combustion engines*, konsentrasi minimal dari CH₄ pada biogas adalah 90%. Harasimowicz (2007), dalam penelitiannya menyebutkan bahwa proses pemurnian biogas dengan meminimalisir

kandungan karbon dioksida dibutuhkan untuk meningkatkan nilai pembakarannya.

Proses pemurnian *high pressure water scrubbing* yaitu proses melarutkan gas-gas impuritas ke dalam media air dengan memanfaatkan sifat-sifat kelarutan gas-gas tersebut dalam air. Semakin besar nilai kelarutannya maka semakin mudah untuk terlarut dan terbawa oleh air. Nilai kelarutan komponen biogas dalam air ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai kelarutan komponen biogas dalam air (Dueblein, 2008)

Komponen biogas	Nilai kelarutan dalam air pada kondisi 1 bar (mmol/kg.bar)	
	0°C	25°C
Ammonia	53000	28000
Hidrogen sulfida	205	102
Karbon dioksida	75	34
Metana	2.45	1.34

Biogas biasanya tersaturasi dengan air pada saat keluar dari CO₂ absorber. Diperlukan alat *separator* untuk memisahkan gas dari kandungan uap air, biogas perlu didinginkan menggunakan *cooling separator*. Air pendingin digunakan untuk mengkondensasikan kandungan uap air sebelum biogas digunakan untuk proses pembakaran (Yinjian)

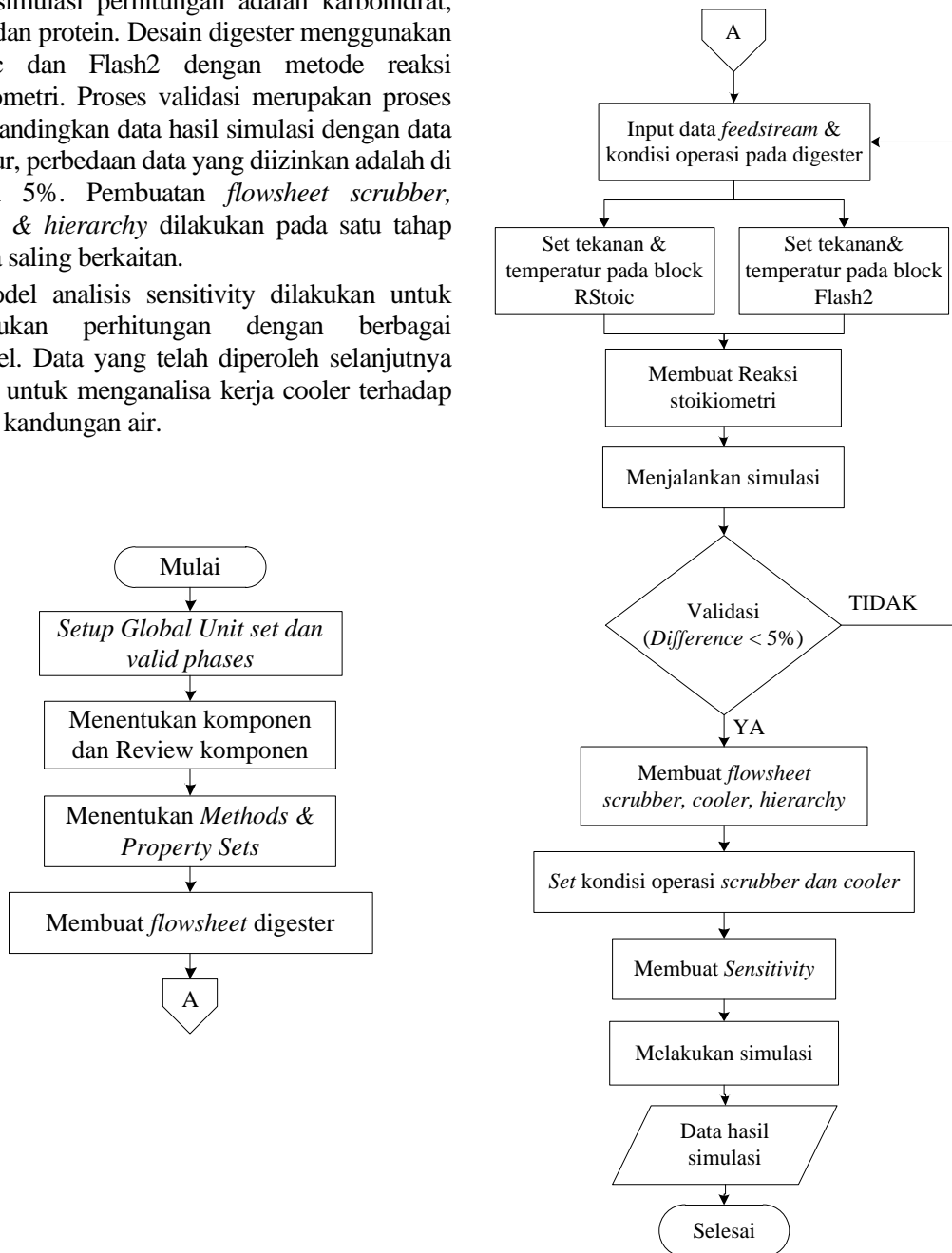
Pada penelitian sebelumnya, 700 Nm³/h biogas yang dihasilkan oleh *digester*. 35°C/100% *saturated* = 47 g air per Nm³/h biogas. Menghasilkan 790 kg air per harinya. Proses *cooling* dilakukan pada 5 °C *dewpoint* dan dapat mereduksi kandungan air menjadi 47 g air per Nm³/h biogas, dengan massa air setelah dikondensasi menjadi 118 kg (Scott & Turra, 2014). Massa air yang banyak dan berpengaruh terhadap turunnya nilai kalor serta dapat menyebabkan korosi pada mesin gas.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah proses simulasi perhitungan dengan perangkat

lunak Aspen PlusV8.6. Diagram alir proses simulasi ditunjukkan oleh gambar 1. Komponen pada simulasi perhitungan adalah karbohidrat, lipid, dan protein. Desain digester menggunakan RStoic dan Flash2 dengan metode reaksi stoikiometri. Proses validasi merupakan proses membandingkan data hasil simulasi dengan data literatur, perbedaan data yang diizinkan adalah di bawah 5%. Pembuatan *flowsheet scrubber, cooler & hierarchy* dilakukan pada satu tahap karena saling berkaitan.

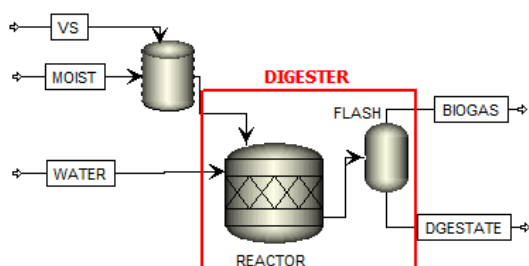
Model analisis sensitivity dilakukan untuk melakukan perhitungan dengan berbagai variabel. Data yang telah diperoleh selanjutnya diolah untuk menganalisa kerja cooler terhadap varian kandungan air.



Gambar 1. Diagram alir proses simulasi.

Pemodelan Digestasi Anaerobik

Sampel limbah organik pasar induk yang digunakan untuk proses simulasi adalah limbah dengan kandungan air 75%, material organik 14%, dan material anorganik 11% sesuai hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Cahyari & Putra (2009). Kandungan organik dipecah menjadi senyawa karbohidrat (54.85%), lipid (12.04%), dan protein (31.91%) dengan *Volatile Solids (VS)* 98.8%. Karbohidrat dimodelkan dengan $C_6H_{10}O_5$ dan lipid dengan $C_{57}H_{104}O_6$ (Maizirwan, 2015). Menurut Rajendran et al (2013), untuk protein dapat dimodelkan dengan $CH_{2.03}O_{0.6}N_{0.3}S_{0.001}$ sebagai *pseudocomponent*. Gambar 2 menunjukkan *flowsheet* pemodelan digestasi anaerobik. Digester dapat dimodelkan dengan dua *block unit* yaitu RSTOIC dan Flash2 menggunakan metode stoikiometri (Wukovits et al, 2013).



Gambar 2. Diagram alir proses simulasi.

Tabel 3 Reaksi stoikiometri

Senyawa	Reaksi
Karbohidrat ($C_6H_{10}O_5$)	$C_6H_{10}O_5 + H_2O \rightarrow 3 CH_4 + 3 CO_2$
Lipid ($C_{57}H_{104}O_6$)	$C_{57}H_{104}O_6 + 28 H_2O \rightarrow 40 CH_4 + 17 CO_2$
Protein ($CH_{2.03}O_{0.6}N_{0.3}S_{0.001}$)	$CH_{2.03}O_{0.6}N_{0.3}S_{0.001} + H_2O \rightarrow 0.418 CH_4 + 0.509 CO_2 + 0.3 NH_3 + 0.001 H_2S$

Tabel 3 menunjukkan reaksi kimiawi proses pembentukan biogas oleh komponen karbohidrat, lipid, dan protein menggunakan

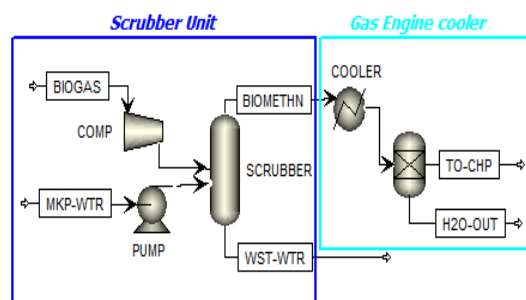
metode stoikiometri. Tabel 4 menunjukkan kondisi operasi yang terdapat pada digester.

Tabel 4. Kondisi Operasi Digester

Komponen	Kondisi Operasi
Feedstream	VS = 140 kg/h Air = 200 – 400kg/h
Digester	P = 1 bar T = 35°C

Pemodelan Biogas Treatment

Proses *treatment* pada biogas dilakukan dengan dua unit alat, yaitu unit pemurnian biogas dengan pemodelan *water scrubber* serta unit kondensator biogas dengan pemodelan *gas engine cooler*. Menurut Ngunyen et al (2014), *scrubber* dapat dimodelkan oleh RadFrac dengan *block pump* dan *compressor* sebagai unit pendukung. Sedangkan *Cooler* dimodelkan dengan *block heater* dan *separator*. Gambar 3 menunjukkan pemodelan *water scrubbing* dan *gas engine cooler*.



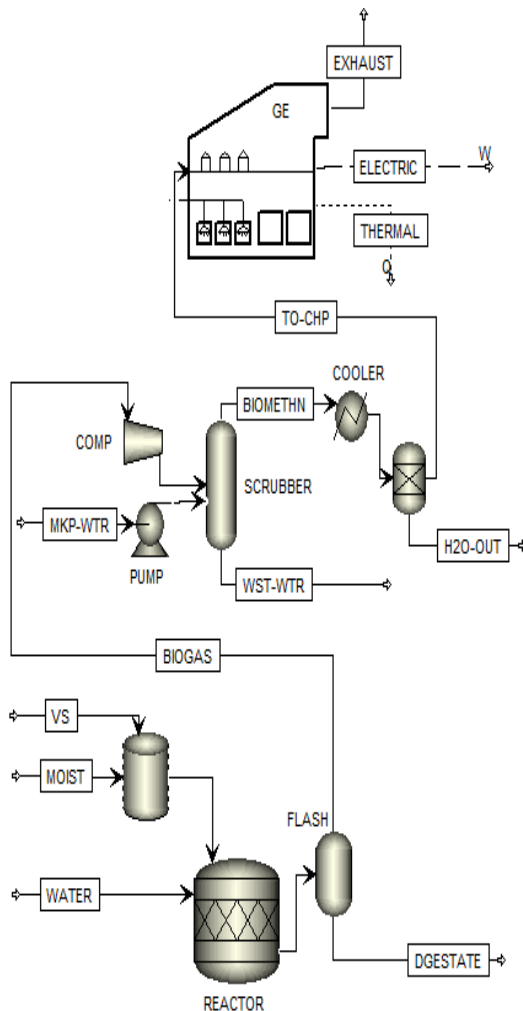
Gambar 3. Biogas Treatment Unit

Gambar 4 merupakan keseluruhan *flowsheet* PLTB dengan mesin gas CHP (*Combined Heat and Power Generator*). Tabel 5 menunjukkan kondisi operasi pada *scrubber* dan *cooler*. Untuk debit *make up water* antara 1000 kg/h sampai 2000 kg/h.

Tabel 5. Kondisi Operasi Scrubber & Cooler

Komponen	Kondisi Operasi
Compressor	P = 10 bar
Pump	P = 10 bar
Scrubber	P = 10 bar Stages = 5
Cooler	T = 7°C
Stream	Air = 1000-2000 kg/h

kandungan air pada *input* ke dalam *digester* dan variasi kandungan air dalam *scrubber*. Kandungan air untuk *digester* divariasikan antara 200 kg/h sampai 400 kg/h untuk *input* limbah pasar induk 1000 kg/h. Variasi debit air untuk *scrubber* (*make up water*) adalah 1000 kg/h sampai 2000 kg/h. Metode *model analysis: sensitivity* digunakan untuk menghitung kandungan uap air dalam biogas yang dibuang oleh *cooler*.

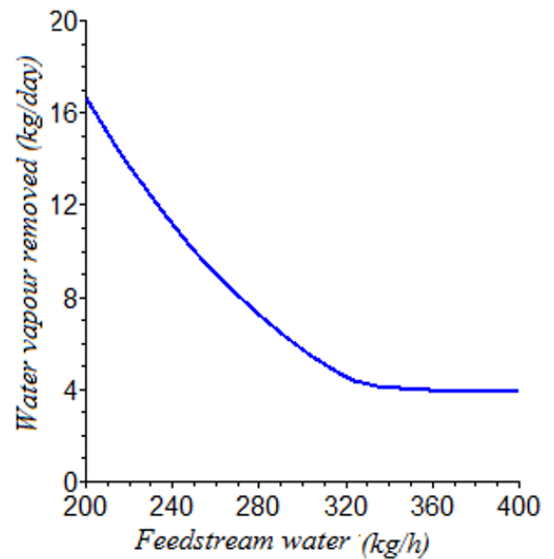


Gambar 4. Flowsheet PLTB

Variasi Kandungan Air Terhadap Kerja Gas Engine Cooler

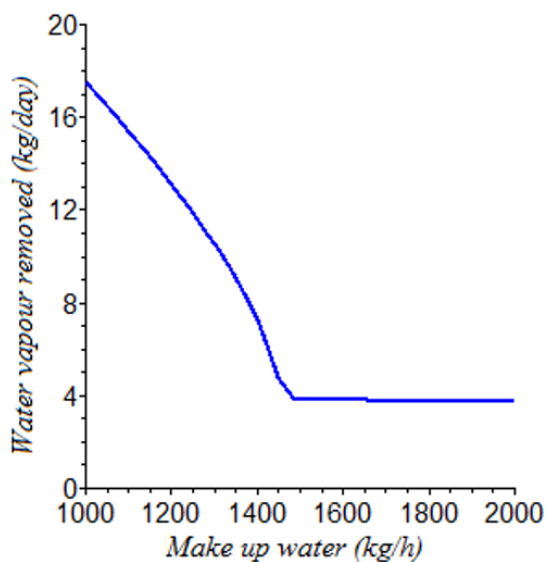
Variasi kandungan air pada pemodelan ini terbagi menjadi dua macam, yaitu variasi

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 5. Grafik Pengaruh water feedstream terhadap kerja cooler

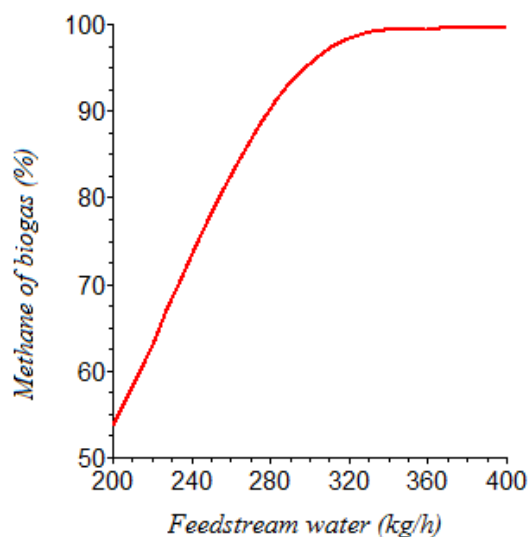
Gambar 5 merupakan grafik hubungan antara debit air pada *feedstream* untuk *digester* dengan *water vapour* yang dibuang *cooler* pada *make up water* 1400 kg/h. Grafik ini menunjukkan bahwa *water vapour* yang dibuang menurun sejalan dengan bertambahnya debit air pada *feedstream*. *Cooler* bekerja dengan membuang 16.65 kg/day *water vapour* pada *water feedstream* 200 kg/h sedangkan pada debit 400 kg/h *water vapour* yang terbuang 3.89 kg/day.



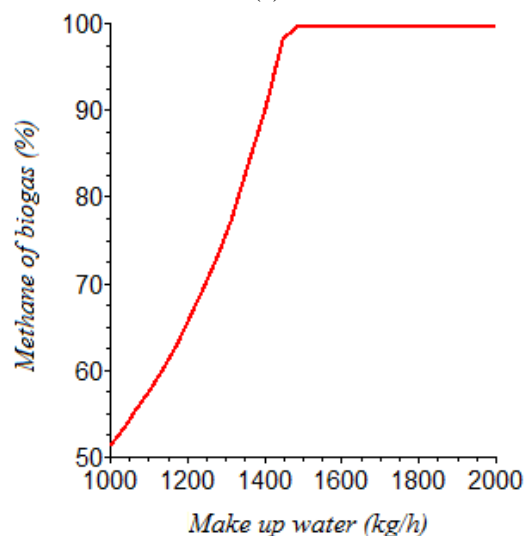
Gambar 6. Grafik Pengaruh make up water terhadap kerja cooler

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara *make up water* dengan *water vapour* pada debit air untuk digester 280 kg/h. Grafik ini menjelaskan bahwa *water vapour* yang dibuang menurun sejalan dengan bertambahnya *make up water*, penurunan terjadi secara drastis sampai pada *make up water* 1450 kg/h. Cooler bekerja dengan membuang 17.54 kg/day *water vapour* pada *water feedstream* 1000 kg/h sedangkan pada debit 2000 kg/h *water vapour* yang terbuang 3.73 kg/day.

Gambar 7 menjelaskan bahwa semakin besar debit massa air yang dimasukkan pada *feedstream water* atau *make up water* maka persentase metana pada biogas semakin meningkat. Pada variasi *feedstream water* laju kenaikan gas metana mengalami kenaikan secara drastis sampai pada debit 330 kg/h. Pada variasi *make up water* laju kenaikan gas metana mengalami kenaikan secara drastis sampai pada debit 1450 kg/h, selanjutnya persentase metana konstan.



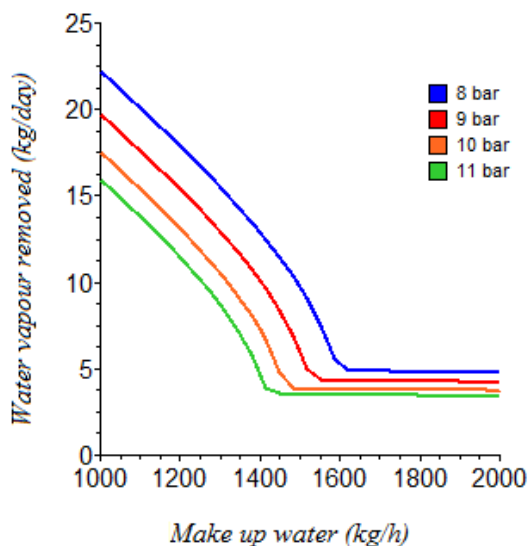
(a)



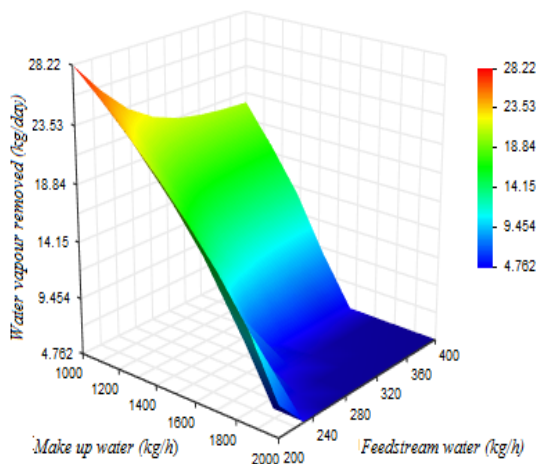
(b)

Gambar 7. Grafik persentase metana terhadap (a) debit *feedstream water* (b) debit *make up water*

Pada Gambar 8 menunjukkan pada tekanan yang lebih rendah kerja yang dilakukan cooler untuk membuang *water vapour* lebih besar. Semakin bertambahnya tekanan maka semakin berkurang *water vapour* yang dibuang oleh cooler.



Gambar 8. Grafik pengaruh make up water pada berbagai tekanan terhadap kerja cooler pada feedstream water 280 kg/h



Gambar 9. Grafik 3D pengaruh water feedstream & make up water terhadap kerja cooler

Gambar 9 menjelaskan tentang pengaruh kandungan air baik feedstream water maupun make up water terhadap kerja cooler untuk menghilangkan water vapour. Semakin sedikit debit air yang digunakan dalam proses digestasi maupun scrubbing akan menyebabkan debit water vapour yang akan dibuang oleh cooler lebih besar.

Menurut Deublein et al (2008) kandungan air berpengaruh terhadap kelarutan gas-gas penyusun biogas. Nilai kelarutan setiap komponen berbeda, dengan nilai kelarutan gas metana yang terkecil sehingga pemurnian dengan metode *water scrubber* dapat dilakukan. Pada kandungan air yang lebih banyak maka massa *water vapour* juga lebih banyak terlarut dan terbawa oleh air. Tekanan juga berpengaruh terhadap sifat kelarutan suatu senyawa. Suatu zat akan lebih terlarut pada tekanan yang lebih tinggi.

KESIMPULAN

Pemodelan PLTB dapat disimulasikan menggunakan perangkat lunak Aspen Plus V 8.6 untuk menganalisa kerja *gas engine cooler*. Kandungan air berpengaruh dalam melarutkan gas-gas impuritas pada biogas termasuk *water vapour*. Pada input debit air yang lebih besar baik air pada feedstream maupun make up water kerja yang dilakukan cooler untuk membuang *water vapour* semakin kecil karena *water vapour* lebih banyak terlarut dalam air dan terbuang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Assoc. Prof. Dr. Maizirwan Mel, dosen *Biotechnology Engineering* IIUM, yang telah banyak memberikan bantuan berupa data, masukan, nasihat, kesempatan, dan nilai – nilai positif pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyari, K. and Putra, R. A., (2009), *Process Design and Economic Evaluation of Indonesian Fruit Market Waste to Biogas and Fish Feed*, University of Boras, Sweden.
- Christensen, Thomas., (2010), *Solid Waste technology and Management*, Hoboken : Wiley, 9780470666968.
- Dueblein D, Steinhauer A., (2008), *Biogas from waste and renewable resources*, KGaA: Wiley-VCH Verlag GmbH and Co.

- Harasimowicz M, Orluk P, Zakrzewska-Trznadel G, Chmielewski A., (2007), *Application of polyimide membranes for biogas purification and enrichment*, J Hazard Mater;144:698–702.
- Maizirwan, Yong A. S., Avicenna, Ihsan S. A., (2015), *Simulation Study for Economic Analysis of Biogas Production from Agricultural Biomass*, Energy Procedia, ELSEVIER.
- Nguyen H., Heave S., Banks., (2014), *Energy potential from the anaerobic digestion of food waste in municipal solid waste stream of urban areas in Vietnam*, International Journal of Energy and Environmental Engineering, 5:133, DOI 10.1007/s40095-014-0133-1.
- Rajendran K, Aslanzadeh S, Johansson F, Taherzadeh MJ., (2013), *Experimental and economical evaluation of a novel biogas digester*, Energy Conversion and Management;74:183-91.
- Scano E.A, (2014), *Biogas from anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes: Experimental results on pilot-scale and preliminary performance evaluation of a full-scale power plant*, Energy Conversion and Management 77 (2014) 22–30.
- Scott and Turra, (2014), *Six Reasons to Dry Biogas to A Low Dewpoint Before Combustion in A CHP Engine*, Parker Engineering Your Success.
- Suyog, (2011), *Biogas Production from Kitchen Waste*, National Institute of Technology, Rourketa.
- Vavilin VA, Vasiliev VB, Rytov SV., (1995), *Modelling of gas pressure effects on anaerobic digestion*, Bioresource Technology;52(1):25-32.
- Williams, Paul T., (2005), *Waste Treatment and Disposal*, Chichester : Wiley. 0-470-84912-6
- Wukovits W., Drljo A., Hilby E., Friedl A., (2013), *Integration of biohydrogen production with heat and power generation from biomass residues*, Chemical Engineering Transactions, 35, 1003-1008 DOI:10.3303/CET1335167.
- Yinjian, Qi Q., Changkun L., *Operation Proposal and Efficiency Analysis of Direct-Fired Absorbtion Chillers Biogas Produced in The Brewer*, Shenzhen University, China.