

## PEMANFAATAN LIMBAH CAIR INDUSTRI GULA RAFINASI SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN ENERGI TERBARUKAN (BIOGAS)

Rahmiah Sjafruddin<sup>1)</sup>, Abdul Azis<sup>2)</sup>  
<sup>1,2)</sup>Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Ujung Pandang

### ABSTRACT

Waste liquid of Sugar industry has characteristics of having high organic ingredients. This is indicated by the value of Chemical Oxygen Demand (COD) around  $\pm 7,000 - 10,000$  mg /L, TDS  $\pm 1000 - 2.000$  mg /L. The aim of this study is to determine the influence of substrate composition (liquid waste of sugar factory, LG) with starter / cow dung (TASI) with composition 50%: 50%; 60%: 40%; 70%: 30%, optimum time of the fermentation process and slurry parameters of COD, VFA, in biodigester to biogas production with good methane gas (flame test). The experiment results show that the production of biogas in the composition of liquid wastes of the sugar factory (LG: TASI) of 50%: 50%, 60%: 40%, and 70%: 30% can produce flame from day-10<sup>th</sup> to day-14<sup>th</sup> and a blue flame at a 50%: 50% composition on the day-28<sup>th</sup> (twenty eighth day), at a composition of 60%: 40% at day-24<sup>th</sup> (twenty fourth day) and at a composition of 70%: 30% on day-21<sup>th</sup>, so the optimum time for biogas production on LG composition: TASI) 50%: 50%, 60%: 40%, and 70%: 30% are in the day of 28th, 24th, 21st with biogas product with blue color flame the (which indicates high levels of methane gas), and the COD slurry parameters, VFA in biodigester provide good conditions for biogas production with blue flame (methane gas).

**Keywords:** Biogas, methane, COD, sugar industry.

### 1. PENDAHULUAN

Limbah cair Industri gula rafinasi yang dihasilkan pada industri gula rafinasi pada bagian produksi dengan volume sekitar 120 m<sup>3</sup>/hari dan pada bagian Make up water dari Power Plant dan Cooling Tower sekitar 50 m<sup>3</sup>/hari dengan kandungan limbah cair yang dihasilkan yakni nilai Chemical Oxygen Demand (COD) sekitar 7.000-10.000 mg/L, TDS sekitar 1.000-2.000 mg/L, pH sekitar 4-6 dan suhu 40-50<sup>0</sup>C (data primer PT. Minasa Te'ne). Sementara itu baku mutu yang diperbolehkan untuk nilai COD senilai 100 mg/L dan BOD<sub>5</sub> sebesar 60 mg/L (Permen LH Nomor 05, 2010). Kandungan COD yang sangat tinggi merupakan gambaran bahwa limbah cair tersebut mengandung bahan organik yang sangat tinggi yang akan memberikan efek buruk bagi lingkungan jika langsung dibuang. Oleh karena itu, limbah cair industri gula ini perlu penanganan terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air atau perairan. Bahan-bahan organik yang mudah didegradasi dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biogas yang diproses di dalam biodigester melalui proses fermentasi oleh bakteri-bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara). Pada proses *anaerobik digester*, degradasi bahan organik dapat menghasilkan gas yakni biogas dengan kandungan gas berupa gas CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> dan sedikit H<sub>2</sub>S dengan energi yang dikeluarkan dalam bentuk gas metana (CH<sub>4</sub>) yang sangat bermanfaat. Adapun reaksi kimia proses anaerobik sebagai berikut (Deublein, 2008).



Limbah cair industri gula rafinasi dengan kandungan molase merupakan monomer gula sederhana yang memberikan rasa manis alami terdiri dari glukosa, fruktosa dan sukrosa, sehingga lebih mudah di hidrolisis oleh mikroorganisme (Kusnandar, 2010). Limbah cair industri gula rafinasi dengan keasaman yang rendah dan terkandung senyawa-senyawa penghambat, dapat menghambat mikroorganisme metanogen untuk tumbuh pada substrat (Ozmen, 2009). Strategi penelitian yang dilakukan adalah proses produksi biogas dari limbah cair industri gula rafinasi dengan variasi substrat (limbah cair) dengan starter (kotoran sapi) untuk memperoleh kondisi proses yang mampu menghasilkan biogas dengan nyala yang biru (kadar gas metana baik) dan memantau parameter slurry di dalam biodigester serta waktu yang optimum pada proses fermentasi untuk menghasilkan biogas dengan kualitas yang optimal. Selama proses akan dilakukan analisis karakteristik bahan baku COD, *volatil solid*, dan kondisi slurry dalam biodigester berupa kandungan COD, *volatil solid*, *total solid*, dan *volatil fatty acid* (VFA) serta kondisi operasi berupa pH dan temperatur.

Proses produksi biogas dilakukan di dalam biodigester secara anaerob (kedap udara) melibatkan konsorsium mikroorganisme (*mixed culturs*) dengan harapan menghasilkan gas mentana (CH<sub>4</sub>) dengan kadar

<sup>1</sup> Koresponding : Rahmiah Sjafruddin, Telp 081355467803, rahmiah.sjafruddin@gmail.com

yang tinggi (nyala api biru). Proses pembentukan biogas melibatkan kelompok mikroorganisme yang saling menguntungkan satu sama lain karena tidak terjadi saling kompetisi antara kelompok mikroorganisme dalam rangka pemanfaatan nutrisi (substrat). Masing-masing kelompok mikroorganisme yang terlibat mempunyai substrat tertentu. Mikroorganisme metanogenesis (penghasil gas metana) merupakan mikroorganisme yang mempunyai pertumbuhan yang lebih lambat, sensitifitas tinggi terhadap substrat dan kondisi operasi di dalam biodigester. Oleh karena itu strategi yang perlu diperhatikan pada proses produksi biogas adalah karakteristik substrat berupa kandungan senyawa organik, nilai COD, VS, keseimbangan nutrisi yang terkandung di dalam biodigester terlihat pada kandungan VFA slurry, tersedianya mikroorganisme (starter) dan kondisi operasi di dalam biodigester (pH).

Proses degradasi bahan organik yang kompleks hingga menjadi biogas melalui tiga tahapan, yaitu : hidrolisis, asidogenesis, dan metanogenesis (Ritmann end McCarty, 2001). Tahapan proses hidrolisis, yaitu dekomposisi bahan organik polimer menjadi monomer yang mudah larut yang dilakukan oleh sekelompok bakteri fakultatif. Tahap proses asidogenesis, yaitu dekomposisi monomer organik menjadi asam-asam organik (asam lemak) dan alkohol. Pada proses asidogenesis, monomer organik diuraikan lebih lanjut oleh bakteri asidogen menjadi asam-asam organik yang mudah menguap seperti asam asetat, format, butirat, propionat, dan asam-asam lemak rantai pendek serta dihasilkan juga CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, dan methanol. Proses fermentasi oleh bakteri asidogen dengan waktu pertumbuhan yang cepat yakni berkisar 1 – 4 hari dan dengan kondisi pH 5 – 8 serta nilai C/N 10 – 45 (Deublein, 2008). Tahap metanogenesis merupakan tahap pertumbuhan sel yang didominasi mikroorganisme yang menghasilkan gas metana. Pada proses ini asam asetat (*Volatil fatty Acid*, VFA) diuraikan oleh bakteri metanogen menjadi CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>O. Pembentukan metana sebagian besar berasal dari asam asetat (70%), sisanya dari asam format, methanol, CO<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub> (Gaudy, 1981). Kecepatan pertumbuhan bakteri metanogen lebih lambat dibanding bakteri asidogen (non metanogen). Waktu pertumbuhan bakteri metanogen berkisar 5 – 16 hari dengan kondisi lingkungan pH yang optimum 6,5 – 7,5 (Deublein, 2008). Menurut Monod, pada biodigester yang berisi dua jenis substrat atau lebih sebagai sumber karbon, maka mikroorganisme memiliki kemampuan genetik untuk mendegradasi substrat tersebut. Substrat yang mula-mula dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai sumber karbon adalah substrat yang lebih mudah didegradasi. Setelah satu sumber substrat habis, maka sel-sel menyesuaikan aktivitas metabolik mereka untuk memanfaatkan substrat yang kedua (Gaudy, 1981). Penelitian yang dilakukan dengan campuran substrat buah dihasilkan biogas dengan kadar gas metana (CH<sub>4</sub>) sekitar 50% yang memberikan nyala api gas yang berwarna biru, (Sjafruddin, R., 2011). yang di Setiap tahapan terjadi akibat aktivitas kelompok mikroorganisme yakni bakteri anaerobik yang berbeda. Produk yang dihasilkan setiap tahap akan menjadi substrat bagi bakteri ditahap berikutnya, sehingga proses degradasi di setiap tahap perlu kondisi yang seimbang (Gerardi, 2003).

Hasil penelitian ini dapat menjadi informasi bahwa kombinasi kotoran ternak dan limbah cair industri gula merupakan suatu alternatif yang sangat baik untuk sistem penyisihan/penurunan kandungan bahan organik (penurunan nilai COD/BOD) dan menghasilkan energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan. Pengembangan teknologi ini diarahkan kepada aplikasi sistem pada pengolahan limbah cair industri gula. Di samping itu penerapan teknologi ini pada limbah cair industri gula sangat memungkinkan dalam rangka mengendalikan pencemaran lingkungan akibat aktivitas industri (pabrik gula) di Indonesia menuju pembangunan Indonesia berkelanjutan yang berwawasan lingkungan.

## 2. METODE PENELITIAN

- Bahan :  
Limbah cair industri gula, Kotoran sapi (*starter*), K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,25 N, Fero Amonium Sulfat 0,25 N, Hg<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> padat, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98%, Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> padat, NaOH 0,1N, alkohol, Indikator Feroin, Indikator PP dan aquades.
- Peralatan :  
Serangkaian prototipe *biodigester*, Oven, *Furnace*, termometer, kertas pH universal, buret, pipet volum, gelas kimia, erlenmeyer, ban karet, cawan porselin, Selang plastik, desikator, neraca analitik, Kondensor, hot plate
- Tahapan Proses Penelitian  
Tahapan proses fermentasi limbah cair pabrik gula di dalam biodigester : Komposisi substrat (limbah cair gula, LG) : kotoran sapi (TASI) sebagai Starter dicampur dengan variasi 50% : 50%; 60% : 40%; 70% :

30% dengan volume operasi 20 liter. Proses fermentasi berlangsung secara batch dengan kondisi anaerobik.

- Tahapan proses analisis parameter substrat awal dan slury di dalam biodigester dan pengujian produk biogas. Pengukuran temperature, pH dilakukan setiap hari dan pengujian kandungan slury berupa COD, VS, VFA, dan uji nyala dilakukan setiap pekan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, kondisi suhu di dalam masing-masing biodigester berada pada kisaran 28-31 °C yakni pada pagi/sore hari berkisar 28- 29°C dan pada siang hari berada pada kisaran 30 -31°C. Suhu di dalam biodigester cenderung dipengaruhi oleh fluktuasi suhu eksternal (lingkungan), dan hasil penelitian menunjukkan suhu relatif sama setiap hari tanpa perlu dikontrol.

#### • Hasil Uji Nyala Biogas

Uji nyala dilakukan untuk menguji kualitas biogas yang terbentuk, jika gas yang dihasilkan belum menyala berarti biogas yang dihasilkan mengandung gas CO<sub>2</sub> dengan kadar gas metana masih rendah/belum ada. Sementara untuk uji nyala dengan warna api yang timbul ketika dibakar berwarna merah berarti biogas mengandung gas metana tetapi kadarnya masih kecil sedangkan biogas dengan nyala api dengan warna biru, maka biogas yang dihasilkan mengandung gas metana dengan kadar yang lebih tinggi dari gas CO<sub>2</sub>. Adapun produk biogas yang dihasilkan dengan uji nya biogas pada variasi komposisi substrat limbah cair gula (LG) dengan starter kotoran sapi (TASI) dapat dilihat pada Tabel 1.

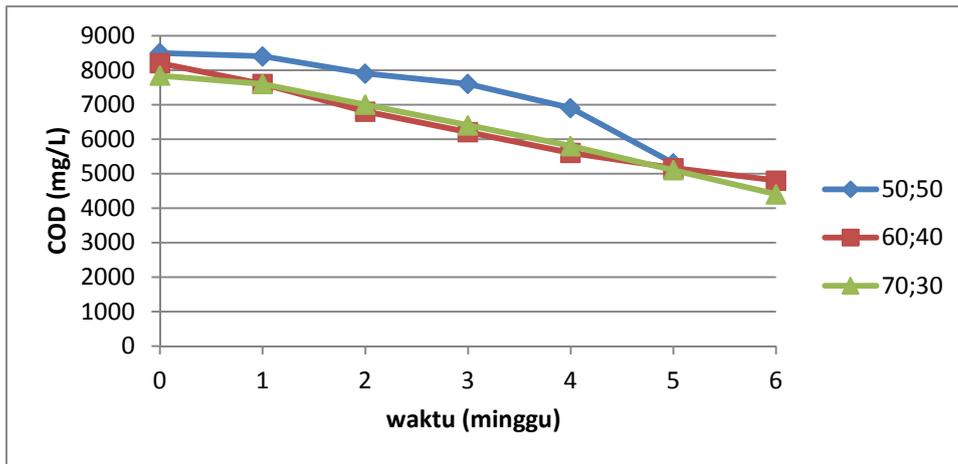
Tabel 1. Hasil Uji Nyala Api Biogas dalam Biodigester dengan variasi komposisi

Waktu (hari)	Warna nyala api untuk setiap variasi komposisi (LG : TASI)		
	50% : 50%	60% : 40%	70% : 30%
Hari ke-7	belum menyala	belum menyala	belum menyala
Hari ke-10	merah	merah	merah
Hari ke-14	Merah (stabil)	Merah (stabil)	Merah (stabil)
Hari ke-21	merah	merah/biru	biru
Hari ke-24	Merah/biru	biru	biru
Hari ke-28	biru	biru	biru
Hari ke-35	biru	biru	biru
Hari ke-42	biru	biru	biru

Pembentukan biogas sudah mulai pada hari ke-3 sampai hari ke-7 biogas yang dihasilkan belum bisa menyala. Pada hari ke-10 biogas yang dihasilkan Untuk substrat dengan semua komposisi memberikan uji nyala yang masih berwarna merah dengan nyala yang belum stabil (perlu pemicu). Hari ke -14 biogas yang dihasilkan sudah dapat menyala dengan warna yang merah dengan nyala api yang sudah mulai stabil. Pada hari ke-21 untuk komposisi 50% : 50% biogas yang dihasilkan masih berwarna merah dan warna nyala api berwarna biru baru diperoleh pada hari ke-28, sementara untuk komposisi 60% : 40% uji nyala yang dilakukan pada hari ke-21 memberikan warna api merah/biru dan warna nyala api berwarna biru diperoleh pada hari ke-24, sedangkan pada komposisi 70% : 30% uji nyala pada hari ke-21 memberikan warna api yang sudah mulai berwarna biru. Untuk semua komposisi substrat sampai hari ke-42 biogas yang dihasilkan memberikan nyala api yang stabil dengan warna nyala api biru. Uji nyala biogas yang dihasilkan memberikan gambaran kualitas biogas yang dihasilkan untuk warna nyala api berwarna merah berarti biogas yang dihasilkan masih didominasi dengan kandungan gas CO<sub>2</sub> dan untuk warna api biru berarti kadar gas metana sudah mulai mendominasi/tinggi.

#### • Penentuan Parameter COD Terhadap Produksi Biogas

Kandungan chemical oksigen demand (COD) dalam biodigester akan memberikan gambaran kandungan zat organik (slurry) dalam biodigester. Nilai COD) dianggap sebagai indikator pencemaran air oleh bahan-bahan organik yang terkandung dalam limbah cair industri. Perubahan nilai COD selama proses di dalam biodigester anaerob ditampilkan Pada proses produksi biogas dengan variasi komposisi LG : TASI dengan parameter hubungan waktu fermentasi terhadap COD dapat dilihat pada Gambar 1.

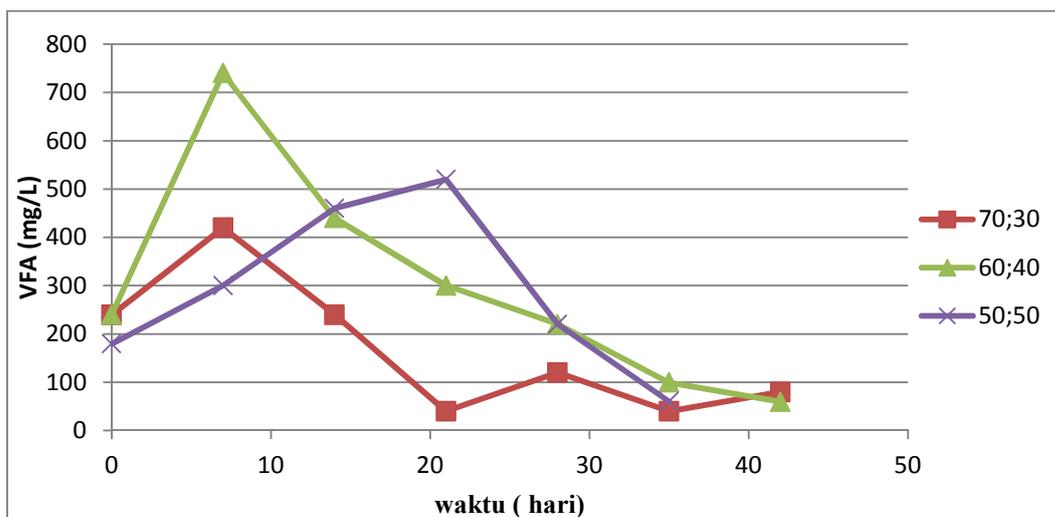


Gambar 1. Hubungan COD terhadap waktu fermentasi substrat pada masing-masing biodigester dengan komposisi : 50% : 50%, 60% : 40%; 70% : 30%

Gambar 1 menunjukkan bahwa pada awal proses di dalam biodigester anaerob, bahan organik (COD) yang disisihkan relatif rendah tetapi cenderung menurun (nilai COD awal masing dari 8500 mg/L, 8200 mg/L, 7840 mg/L turun menjadi 5300 mg/L, 4800 mg/L, 4400 mg/L). Pada rentang waktu 7 hari (minggu pertama) gas yang dihasilkan masih sedikit dan belum dapat menyala. Sampai hari ke-14 (minggu ke-2) penyisihan kandungan COD cenderung meningkat dan kualitas biogas yang dihasilkan sudah dapat menyala tetapi masih berwarna merah. Selanjutnya menjelang hari ke-21 (minggu ke-3) bahan organik yang disisihkan semakin besar dan mengalami penurunan yang signifikan pada hari ke 42. Peningkatan penyisihan bahan organik di dalam biodigester berkorelasi dengan kuantitas dan kualitas biogas yang dihasilkan semakin besar dengan nyala api biogas menghasilkan gas yang menyala secara stabil dengan nyala api berwarna biru, warna api biru menandakan kandungan gas metana semakin meningkat. Parameter hubungan Volatil Solid substrat di dalam biodigester.

• **Penentuan Parameter VFA Terhadap Produksi Biogas**

Parameter volatile fatty acid (VFA) di dalam biodigester merupakan gambaran substrat yang merupakan makanan bagi mikroorganisme matanogen untuk membentuk gas metana. VFA yang terbentuk pada umumnya merupakan asam-asam asetat, propionate dan butiran dengan komponen terbesar adalah asam asetat. Asam asetat merupakan substrat terbesar dalam pembentukan gas metana. Terbentuknya asam-asam sederhana sangat erat hubungannya dengan pH. Adapun hubungan antara VFA di dalam biodigester dalam waktu operasi selama 42 hari dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan Volatil fatty acid (VFA) terhadap waktu fermentasi substrat pada masing-masing biodigester dengan komposisi : 50% : 50%, 60% : 40%; 70% : 30%

Pada hari pertama sampai hari ke 7 pada komposisi 60% : 40% dan 70% : 30% terjadi peningkatan kadar VFA total dan pH cenderung turun (pH 6,5 – 6). Sementara untuk komposisi 50% : 50% peningkatan kadar VFA sampai pada hari ke 21. Gambaran peningkatan VFA berhubungan erat dengan pH di dalam biodigester. Peningkatan kadar VFA menunjukkan adanya produksi asam volatil organik oleh mikroorganisme asidogenesis. Adapun korelasi antara VFA dan pH serta kualitas biogas yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter pH, VFA, dan warna nyala api biogas pada komposisi substrat di dalam biodigester

Waktu (hari)	Parameter VFA, pH dan Warna nyala api untuk setiap komposisi (LG : TASI)								
	50% : 50%			60% : 40%			70% : 30%		
	pH	VFA (mg/L)	Uji nyala/warna biogas	pH	VFA (mg/L)	Uji nyala/warna biogas	pH	VFA (mg/L)	Uji nyala/warna biogas
Hari ke -0	6.5	179.5	—	6.5	240	—	6.5	219.5	—
Hari ke-7	6	300	belum menyala	6	740	belum menyala	6	420	belum menyala
Hari ke-14	6	460	merah	6	440	merah	6.5	240	merah
Hari ke-21	6.5	520	merah	6.5	300	merah/biru	7	40	biru
Hari ke-28	7	60	biru	7	220	biru	7	120	biru
Hari ke-35	7	50	biru	7	99.5	biru	7	40	biru
Hari ke-42	7	50	biru	7	59.5	biru	7	80	biru

Proses asidogenesis/asetogenesis merupakan proses di mana bakteri non metanogenesis melakukan dekadasi bahan organik (COD) menghasilkan senyawa asam volatile yang sederhana dan menghasilkan gas CO<sub>2</sub> dan proses metanogenesis akan mendegradasi asam volatile sederhana (asam asetat) menjadi gas metana (CH<sub>4</sub>). Pada Tabel 2 dapat dilihat bagaimana kandungan VFA slury di dalam biodigester selama proses yang berlangsung sampai 42 hari. Kandungan VFA erat kaitannya dengan perubahan tingkat keasamaan slury (pH) di dalam biodigester. Pada awal proses pH cenderung menurun disebabkan ada peningkatan pembentukan asam lemak volatile (VFA). Peningkatan ini belum dibarengi dengan proses pembentukan biogas. Pembentukan biogas baru berlangsung pada hari ke-5 (lima) dan memasuki hari ke-7 (tujuh) produksi biogas semakin meningkat walaupun gas yang dihasilkan belum dapat menyala. Pada hari ke-7 sampai hari ke-21 (dua puluh satu) terjadi peningkatan VFA dengan kondisi pH yang cenderung tetap 7 (tujuh), di mana biogas yang dihasilkan mengalami peningkatan kualitas nyala yang semakin baik. Ini memberikan gambaran bahwa proses pembentukan gas metana (CH<sub>4</sub>) sudah berlangsung. Pada hari ke-28 (dua puluh delapan) sampai hari ke-42 (empat puluh dua) kualitas biogas semakin baik dari uji nyala yang menghasilkan warna nyala biru, hal ini, memberikan gambaran bahwa proses pertumbuhan mikroorganisme metanogenesis membentuk gas metana semakin meningkat. Kondisi ini pun dapat dilihat dari kandungan VFA di dalam biodigester semakin menurun yang berarti proses degradasi VFA membentuk gas metana (CH<sub>4</sub>) oleh mikroorganisme metanogenesis terjadi dengan baik.

#### 4. KESIMPULAN

1. Produk biogas dari limbah cair pabrik gula dengan komposisi substrat LG : TASI, 50%:50%; 60%:40%; 70%:30% dapat menghasilkan nyala api (warna merah) mulai hari ke-14 (empat belas) dan nyala api berwarna biru untuk komposisi 50%: 50%; 60%:40%; 70%:30% mulai hari ke-28, hari ke-24, dan hari ke-21.
2. Waktu optimum untuk produksi biogas pada komposisi LG : TASI; 50%:50%; 60%:40%; 70%:30% adalah berturut-turut hari ke-28; hari ke-24; dan hari ke-21 dengan nyala api produk biogas yang berwarna biru (kadar gas metana yang tinggi).
3. Parameter slury COD, VFA dan kondisi operasi dalam biodigester memberikan kondisi yang baik bagi pertumbuhan mikroorganisme non metanogenesis dan metanogenesis untuk menghasilkan biogas.

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Direktur dan Ketua Unit Penelitian dan pengabdian kepada masyarakat Politeknik Negeri Ujung Pandang, atas kepercayaannya untuk membiayai kegiatan Penelitian ini.

## 6. REFERENSI

- Deublein, D. And Steinhauser, A., 2008 "Biogas from Waste and Renewable Resource" Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA. Weinheir.
- Gaudy, A., Gaudy, E., 1981, "Microbiology for Environmental Scientists and Engineers" McGraw Hill, Inc.
- Gerardi, M. H., 2003, "The Microbiology of Anaerobic Digesters", 1 st ed., John Wiley and Sons, Inc., New Jersey.
- KLH (Kementrian Lingkungan Hidup), [www.menlh.go.id/dokumen\\_sampah/statistik](http://www.menlh.go.id/dokumen_sampah/statistik) Persampahan Indonesia, 2008 diakses juni 2011.
- Kusnandar, F., 2010, "Kimia Pangan Komponen Makro, Dian Rakyat, Jakarta.
- Nijaguna, B.T. (2002). *Biogas Technology*. New Delhi : New Age Internasional Publisher.
- Palmisano, A.C. and Barlaz, M. A., 1996, *Microbiology of Solid Waste*, CRC Press, Inc, United State of America
- Rittmann, B.E., McCarty, P. L., 2001, "Environmental Biotechnology:Principles and Applications", McGraw-Hill Higher Education, McGraw-Hill Companies, Inc., New York.
- Sjafruddin, R., 2011., "Star up Pembuatan Biogas dari Sampah Buah", Tesis S2., Universitas Gadjja Mada Yogyakarta