

## **Pengaruh Laju Pengadukan Terhadap Stabilitas Digester Anaerobik Satu Tahap pada Pembentukan Biogas dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Lab Scale Reaktor Batch**

### *Effect of Mixing Rate to Stability of One-Stage Anaerobic Digester on Biogas Production From Palm Oil Mill Effluent Using a Lab Scale Batch Reactor*

**Irvan\*, Bambang Trisakti, Nawalul Azka**

**Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Jalan Almamater Kampus USU, Medan, 20155, Indonesia**

\*Email: [irvan@usu.ac.id](mailto:irvan@usu.ac.id)

#### **Abstrak**

Pencampuran berfungsi untuk meningkatkan efisiensi interaksi antara mikroba aktif dan bahan organik selama proses digestasi anaerobik. Tujuan penelitian ini adalah studi pengaruh laju pengadukan terhadap stabilitas digester anaerobik satu tahap dalam produksi biogas yang ditinjau dari pH dan alkalinitas. Pembuatan biogas dari limbah cair pabrik kelapa sawit dilakukan pada reaktor batch 6000 ml pada variasi laju pengadukan 100 rpm, 150 rpm, 200 rpm, 250 rpm dan 300 rpm. Reaktor dioperasikan dengan kondisi campuran dijaga pada pH  $7 \pm 0,2$  dan suhu operasi 55 °C. Pada campuran ditambahkan  $\text{NaHCO}_3$  untuk mengontrol dan menjaga pH campuran. Analisis pH dan alkalinitas dilakukan setiap hari untuk melihat stabilitas reaktor. Hasil terbaik diperoleh pada laju pengadukan 200 rpm dengan pH yang dihasilkan stabil selama proses yaitu 7. Profil alkalinitas yang dihasilkan pada setiap laju pengadukan relatif stabil dengan rentang alkalinitas yaitu 3500–4500 mg/L. Laju pengadukan terbaik yaitu 200 rpm dengan nilai pH dan alkalinitas stabil dan produksi biogas tertinggi yaitu sebesar 457 ml/hari.

**Kata kunci:** biogas, digestasi anaerobik, laju pengadukan, limbah cair kelapa sawit

#### **Abstract**

Mixing is essential to increase the efficiency of interactions between active microbes and organic matter during the anaerobic digestion process. The purpose of this research is to study the effect of mixing rate on the stability of one stage anaerobic digesters in biogas production in terms of pH and alkalinity. The production of biogas from palm oil mill effluent was carried out in a 6000 ml batch reactor at varying mixing rates: 100 rpm, 150 rpm, 200 rpm, 250 rpm, and 300 rpm. The reactor is operated with a mixture condition maintained at a pH of  $7 \pm 0.2$  and an operating temperature of 55 °C.  $\text{NaHCO}_3$  is added to the mixture to control and maintain the pH of the mixture. Analysis of pH and alkalinity is carried out every day to see the reactor stability. The best results were obtained at a mixing rate of 200 rpm with the pH produced stable during the process is 7. The alkalinity profile produced at each mixing rate was relatively stable with an alkalinity range is 3500–4500 mg/L. The best mixing rate is 200 rpm with a stable pH and alkalinity and the highest biogas production is 457 ml/day.

**Keywords:** anaerobic digestion, biogas, mixing rate, palm oil mill effluent

#### **Pendahuluan**

Minyak kelapa sawit merupakan salah satu komoditas utama di Indonesia dan dalam beberapa tahun terakhir telah meningkat penggunaannya seperti pada industri makanan, biofuel, dan kosmetik. Penggunaan minyak kelapa sawit di pabrik untuk memasok permintaannya menghasilkan residu yang sangat berpolusi yang disebut dengan Limbah Cair Kelapa Sawit (LCPKS) [1], sehingga harus diolah terlebih dahulu karena dapat mencemari lingkungan. Salah satu pengolahan LCPKS yaitu dengan

memanfaatkan LCPKS menjadi biogas dengan metode *Anaerobic Digestion* (AD).

Energi terbarukan biogas yang berasal dari LCPKS ini dapat membantu mengurangi penggunaan bahan bakar fosil konvensional dan pada saat yang sama biogas dari LCPKS berkontribusi untuk menjaga lingkungan. Selain itu, pengolahan LCPKS dengan metode anaerob juga menghasilkan air dan pupuk organik [2], yang dapat digunakan untuk pertanian.

Jumlah biogas yang dihasilkan oleh proses AD bergantung pada beberapa parameter seperti suhu, pH, TS, rasio C/N, COD, pengadukan, dan reaktor *set up*

[3]. Pencampuran atau agitasi berfungsi untuk memberikan interaksi yang efisien antara mikroba aktif dan bahan organik, mencegah pengendapan bahan, mencapai homogenitas bahan, dan menghindari pengembangan gradien suhu dalam sistem AD [4]. Tujuan penelitian ini adalah studi pengaruh laju pengadukan terhadap stabilitas digester anaerobik satu tahap dalam produksi biogas yang ditinjau dari pH dan *M-Alkalinity*.

### Teori

*Anaerobic digestion* (AD) adalah salah satu metode pengolahan limbah cair yang mengandung konsentrasi karbon organik tinggi seperti LCPKS. Metode ini memiliki keunggulan yaitu hemat biaya, ramah lingkungan, mengurangi jumlah lumpur dan mampu menghasilkan listrik dari metana [5].

Proses mikrobiologis pada AD yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Proses-proses ini mengubah konstituen POME yang mengandung karbohidrat, asam lemak, dan protein menjadi biogas [1]. Biogas yang dihasilkan terdiri dari 65% CH<sub>4</sub>, 35% CO<sub>2</sub>, dan sejumlah kecil hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S), yang merupakan produk akhir AD. Metana yang dihasilkan berpotensi menggantikan bahan bakar fosil sebagai sumber energi [6].

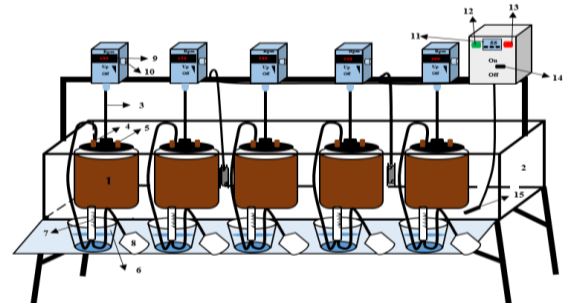
Jumlah biogas yang dihasilkan oleh proses AD bergantung pada beberapa parameter seperti suhu, pH, TS, rasio C/N, COD, pengadukan, dan reaktor *set up* [3]. Pengadukan pada sistem *batch* berfungsi untuk meningkatkan homogenisasi campuran substrat (LCPKS) dan mikroorganisme [7]. Pengadukan juga dilakukan untuk mencegah terjadinya benda mengambang di permukaan cair dan untuk mendapatkan suhu yang seragam di reaktor [8]

Selain pengadukan, agar digestasi anaerobik berlangsung secara mendalam, nilai pH sangatlah penting. pH dampak langsung pada kemajuan pencernaan dan produk. pH efluen dari reaktor menunjukkan stabilitas sistem dan variasinya menunjukkan kurangnya kapasitas *buffer* sistem. Bakteri hidrolitik, asidogen, dan metanogen memiliki pH optimal sendiri untuk laju reaksi maksimum [9].

pH mempengaruhi kesetimbangan kimia NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S dan Asam Lemak Volatil (VFA), yang dapat menghambat aktivitas mikroorganisme. Kisaran pH ideal untuk pencernaan anaerob ialah 6,8-7,4 [10]. Penambahan natrium hidroksida atau natrium bikarbonat dapat mengontrol penurunan nilai pH dan meningkatkan alkalinitas campuran. Alkalinitas adalah jumlah basa dalam reaktor untuk menetralkan kondisi asam dalam digester sehingga pH digester stabil. Adanya alkalinitas dalam suatu reaktor dengan konsentrasi tertentu dapat menjadi penyangga (*buffer*) untuk menjaga pH dalam kondisi netral pada saat terjadi penambahan asam, sehingga keseimbangan proses secara keseluruhan tetap dapat berjalan normal. Ketika pH dibiarkan jatuh, maka sistem akan berhenti karena bakteri pembentuk metana akan mati [11].

### Metodologi Penelitian

Bahan baku berupa LCPKS diperoleh dari pabrik kelapa sawit (PKS) PTPN III Unit Kebun Rambutan, Tebing Tinggi, Provinsi Sumatera Utara dan *starter* dari *Pilot Plant* Pembangkit Listrik Tenaga Biogas, Pusdiklat LPPM USU, Medan. *Starter* dan LCPKS yang telah dikarakterisasi dimasukkan ke dalam fermentor dengan perbandingan 20% *starter* dan 80% LCPKS. Reaktor dioperasikan dengan variasi laju pengadukan ( $\omega$ ) 100 rpm, 150 rpm, 100 rpm, 250 rpm, 300 rpm pada suhu 55 °C. Kondisi campuran diatur hingga campuran memiliki pH 7±0,2, dan *M-Alkalinity* 2.500-5.000 mg/L. Pengontrolan pH dilakukan dengan menambahkan Natrium Bikarbonat (NaHCO<sub>3</sub>) ke dalam campuran. Setelah pH dan *M-Alkalinity* yang diinginkan tercapai, campuran dikarakterisasi dan dianggap hasil karakterisasi tersebut sebagai data pada t = 0. Setelah suhu yang diinginkan tercapai dan dijaga stabil, dalam hal ini suhu termofilik (55 °C), proses mulai dijalankan. Bioreaktor beroperasi terus menerus sampai biogas tidak dihasilkan lagi. Data dikumpulkan berupa pH, alkalinitas dan volume biogas. Data yang diperoleh ditabulasikan setiap hari. Rangkaian alat dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Peralatan

Keterangan Gambar :

- |                             |                                   |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1. <i>Jar fermentor</i>     | 9. Penampung gas                  |
| 2. <i>Water bath</i>        | 10. Kecepatan pengaduk            |
| 3. <i>Stirrer</i>           | 11. <i>Controller</i>             |
| 4. <i>Sampling injector</i> | 12. <i>Temperature controller</i> |
| 5. Termometer               | 13. Lampu indikator on            |
| 6. <i>Water trap</i>        | 14. Lampu indikator off           |
| 7. Gelas Ukur               | 15. On/off                        |
| 8. <i>Thermocouple</i>      |                                   |

### Hasil

#### Karakterisasi Bahan Baku

Penelitian ini menggunakan bahan baku berupa limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) dari Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Rambutan, PT Perkebunan Nusantara III, Kabupaten Serdang Bedagai dan *starter* yang berasal dari digester anaerobik metanogenik 3000 L, *biogas plant*, USU. Karakteristik LCPKS dan *starter* yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

**Tabel 1. Karakteristik LCPKS Perkebunan Nusantara III, Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Rambutan, Kabupaten Serdang Bedagai**

Parameter	Satuan	Hasil	Metode
pH		4,7	pH Meter
M-Alkalinitas		1400	Titration
COD	(mg/L)	68131,87	APHA 5220B
VS	(mg/L)	32000	APHA 2540E
VSS	(mg/L)	11738	APHA 2540E

**Tabel 2. Karakteristik Starter, Biogas Plant, USU**

Parameter	Satuan	Hasil	Metode
pH		8,4	pH Meter
M-Alkalinitas		4100	Titration
COD	(mg/L)	37500	APHA 5220B
VS	(mg/L)	14000	APHA 2540E
VSS	(mg/L)	16000	APHA 2540E

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2 dapat dilihat bahwa LCPKS dan starter berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan biogas. LCPKS mengandung COD yang cukup untuk digunakan sebagai bahan baku yaitu diatas 350 mg/L (standar mutu limbah) [12] dan starter mengandung konsentrasi mikroorganisme tinggi yang ditandai dari nilai VSS yaitu 16000 mg/L yang berperan dalam digestasi anaerobik. Pencampuran kedua bahan diharapkan akan menyeimbangkan kebutuhan nutrisi sehingga mikroorganisme dapat tumbuh dan mendegradasi LCPKS menjadi biogas. Dilakukan pengontrolan pH dan alkalinitas campuran dengan menambahkan buffer yaitu  $\text{NaHCO}_3$  agar proses dapat berlangsung seragam dan maksimal. Karakteristik campuran LCPKS dan starter dapat dilihat pada tabel 3.

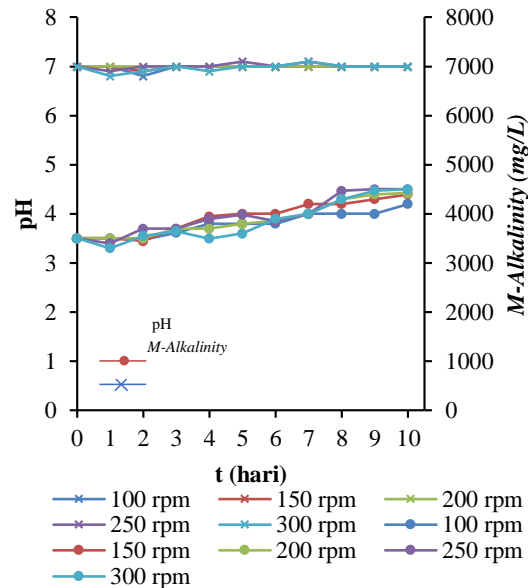
**Tabel 3. Karakteristik Campuran LCPKS dan Starter**

Parameter	Satuan	Nilai	Metode
pH		7	pH Meter
M-Alkalinitas		3500	Titration
COD	(mg/L)	55357	APHA 5220B
VS	(mg/L)	44000	APHA 2540E
VSS	(mg/L)	12000	APHA 2540E

**Pengaruh Laju Pengadukan terhadap pH dan M-Alkalinity**

pH dan alkalinitas merupakan parameter yang dapat dijadikan sebagai acuan peninjauan stabilitas proses digestasi anaerobik di dalam digester. pH adalah parameter yang paling signifikan yang mempengaruhi kinerja dan stabilitas digester anaerob.

Hal ini dikarenakan pertumbuhan mikroorganisme sangat sensitif terhadap pH. Setiap kelompok bakteri membutuhkan kisaran pH yang berbeda selama pertumbuhan [13]. Profil pH dan alkalinitas dapat dilihat pada gambar 2.

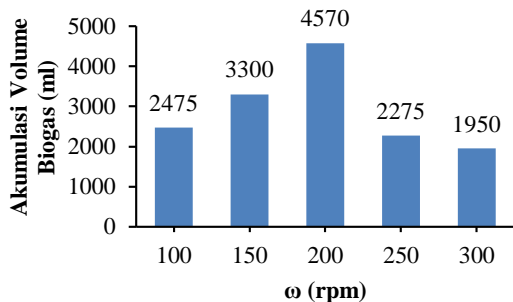


**Gambar 2. Pengaruh Laju Pengadukan terhadap pH dan M-Alkalinity**

Gambar 2. menunjukkan nilai pH dan alkalinitas awal dan akhir percobaan. Nilai pH berkisar antara 6,8 hingga 7,1 dan alkalinitas antara 3.500-4.500 mg/L sehingga menghasilkan lingkungan yang cocok untuk degradasi LCPKS. Pada tahap awal, pH mengalami penurunan untuk setiap laju pengadukan. Hal ini disebabkan dikarenakan terjadinya prevalensi VFA (*volatiles fatty acid*) [6]. Hal ini akan meningkatkan pertumbuhan bakteri asidogenik dikarenakan pertumbuhan ideal bakteri asidogenik berada pada rentang pH 5,5-6,5 [14]. Namun, Penurunan nilai pH akan merusak kondisi lingkungan hidup bakteri metanogenik di mana bakteri metanogenik dapat tumbuh pada rentang pH 6,5-8,2 [10], sehingga biogas yang dihasilkan tidak optimal diakibatkan bakteri aktif mengalami penurunan kinerja atau hilang. Jika nilai pH turun di bawah 6,5, maka produksi asam organik oleh bakteri hidrolitik dapat menyebabkan penurunan pH yang lebih drastis dan proses fermentasi akan berhenti. Maka penggunaan larutan buffer sangat dibutuhkan untuk meningkatkan alkalinitas campuran dengan meningkatkan nilai pH campuran.

Hasil alkalinitas yang ditampilkan pada gambar 2 menunjukkan pola yang mirip dengan pH. Penurunan pH pada tahap awal dikontrol kembali oleh alkalinitas tinggi dari keberadaan natrium bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ). Adanya pengadukan dapat meningkatkan dan mempercepat efisiensi kerja digester dalam menstabilkan kembali pH dan alkalinitas campuran. Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa adanya

peningkatan laju pengadukan ( $\omega$ ) seiring dengan peningkatan kestabilan nilai pH dan alkalinitas. Hasil kerja digester dapat dilihat juga pada akumulasi volume biogas yang dihasilkan. Akumulasi volume biogas pada tiap-tiap pengadukan disajikan pada gambar 3.



**Gambar 3. Pengaruh Laju Pengadukan terhadap Akumulasi Volume Biogas**

Gambar 3 menunjukkan profil produksi total biogas mengalami peningkatan seiring meningkatnya laju pengadukan ( $\omega$ ) hingga pengadukan 200 rpm dengan kenaikan sebesar 33,33% dan 84,65% jika dibandingkan dengan volume biogas pada laju pengadukan ( $\omega$ ) 100 rpm. Hal ini sesuai dengan Demollari, 2017 di mana produksi biogas meningkat dengan meningkatkan kecepatan pengadukan. Akan tetapi, pada laju pengadukan ( $\omega$ ) 250 rpm dan 300 rpm jumlah volume biogas mengalami penurunan masing-masing sebesar 50,22% dan 57,33% dibandingkan volume biogas pada laju pengadukan ( $\omega$ ) 200 rpm. Hal ini seiring dengan nilai pH dan *M-Alkalinity* di mana adanya laju pengadukan terlalu tinggi mengakibatkan kestabilan pH terganggu.

Oleh karena itu, laju pengadukan terbaik diperoleh pada laju pengadukan 200 rpm di mana akumulasi volume biogas mencapai 4570 ml (457 ml/hari) dan pH campuran stabil yaitu 7 selama proses digestasi anaerobik berlangsung.

### Kesimpulan

Nilai pH dan alkalinitas selama proses digestasi anaerobik berada pada rentang optimum yaitu masing-masing pada rentang 6,8-7,1 dan 3.500-4.500 mg/L. Stabilisasi digester terbaik diperoleh pada laju pengadukan 200 rpm dan mencapai akumulasi volume biogas tertinggi yaitu sebesar 457 ml/hari.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis menyatakan terimakasih atas kontribusi staf Laboratorium Ekologi, Universitas Sumatera Utara dalam melakukan aspek-aspek eksperimental dari penelitian ini.

### Daftar Pustaka

[1] A. Rajani, Kusnadi, A. Santosa, A. Saepudin, S. Gobikrishnan, and D. Andriani, "Review

on Biogas from Palm Oil Mill Effluent (POME): Challenges and Opportunities in Indonesia," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 293, no. 1, 2019.

- [2] M. Rashid, N. Shakib, and T. Rahman, "Biogas Production from POME by Optimum Level of Inputs," *Smart Grid Renew. Energy*, vol. 10, no. 08, pp. 203–212, 2019.
- [3] A. Das and C. Mondal, "Comparative Kinetic Study of Anaerobic Treatment of Thermally Pretreated Source-Sorted Organic Market Refuse," *J. Eng. (United States)*, vol. 2015, no. December, 2015.
- [4] J. Kainthola, A. S. Kalamdhad, and V. V. Goud, "A Review on Enhanced Biogas Production from Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Biomass by Different Enhancement Techniques," *Process Biochem.*, vol. 84, no. May, pp. 81–90, 2019.
- [5] N. Shakib and M. Rashid, "Biogas Production Optimization from POME by Using Anaerobic Digestion Process," *J. Appl. Sci. Process Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 369–377, 2019.
- [6] M. A. F. Hamzah, J. M. Jahim, P. M. Abdul, and A. J. Asis, "Investigation of Temperature Effect on Start-Up Operation from Anaerobic Digestion of Acidified Palm Oil Mill Effluent," *Energies*, vol. 12, no. 13, 2019.
- [7] L. Gyenge, S. Crognale, S. Lányi, B. Ábrahám, and B. Ráduly, "Anaerobic digestion of corn-DDGS: Effect of pH-control, Agitation and batch Repetition," *UPB Sci. Bull. Ser. B Chem. Mater. Sci.*, vol. 76, no. 4, pp. 163–172, 2014.
- [8] M. Aznury, Jaksen, A. Hasan, and R. Artindah, "The Production of Biogas from Palm Oil Mill Effluent as Substrate with Variation of Agitation Speed with Fed-batch System," *MATEC Web Conf.*, vol. 268, 2019.
- [9] S. Panigrahi and B. K. Dubey, "A critical review on operating parameters and strategies to improve the biogas yield from anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste," *Renew. Energy*, vol. 143, pp. 779–797, 2019.
- [10] A. Ceron-Vivas, K. T. Cáceres-Cáceres, A. Rincón-Pérez, and A. A. Cajigas, "Influence of pH and the C/N ratio on the biogas production of wastewater," *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, no. 92, pp. 70–79, 2019.
- [11] H. H. A. Matin and Hadiyanto, "Biogas Production from Rice Husk Waste by using Solid State Anaerobic Digestion (SSAD) Method," *E3S Web Conf.*, vol. 31, 2018.
- [12] Anonim, KepMen LH nomor 5/ 2014, Peraturan Menteri, Indonesia, 2014, p.1–10.

- [13] S. K. Pramanik, F. B. Suja, S. M. Zain, and B. K. Pramanik, "The anaerobic digestion process of biogas production from food waste: Prospects and constraints," *Bioresour. Technol. Reports*, vol. 8, no. July, p. 100310, 2019.
- [14] Y. C. Chou and J. J. Su, "Biogas production by anaerobic co-digestion of dairy wastewater with the crude glycerol from slaughterhouse sludge cake transesterification," *Animals*, vol. 9, no. 9, 2019.
- [15] E. Demollari, "Temperature and Stirring Effect of Biogas Production from Two Different Systems," *Am. J. Energy Eng.*, vol. 5, no. 2, p. 6, 2017.