

PENGARUH RASIO *RECYCLE* TERHADAP PRODUKSI BIOGAS MENGUNAKAN REAKTOR TANGKI BERPENGADUK BERBANTUKAN MEMBRAN ULTRAFILTRASI PADA KONDISI TRANSISI (45 °C)

THE EFFECT OF RECYCLE RATIO ON BIOGAS PRODUCTION USING CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR WITH ULTRAFILTRATION MEMBRANE ASSISTANCE AT TRANSITION CONDITION (45 °C)

Bambang Trisakti*, Irvan, M.Taufan Anantama, Arbie Saldi Zusri, Alfian Haikel Lubis, Sri Eka Cahyani
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
Jalan Almamater Kampus USU Medan, 20155, Indonesia

*Email : b_trisakti@yahoo.com

Abstrak

Digestasi anaerobik merupakan salah satu solusi permasalahan lingkungan dan sumber energi untuk kebutuhan energi saat ini. Dalam digestasi anaerobik, material organik didegradasi oleh bakteri, yang dilangsungkan tanpa oksigen, dan mengkonversinya menjadi campuran metana dan karbon dioksida. POME dapat terdegradasi secara anaerobik dalam digester anaerob untuk menghasilkan biogas. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan konversi dari biogas yang dihasilkan dengan menggunakan digester jenis *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) dengan volume 2 liter dalam proses metanogenesis dengan mendaur ulang kembali *effluent* yang dihasilkan melewati membran ultrafiltrasi pada kondisi transisi (45°C). Proses dilakukan dengan memvariasikan rasio *recycle* yaitu 0%, 15% dan 25% pada HRT 6 hari dengan kondisi pH $7 \pm 0,2$. Produksi biogas rata - rata tertinggi dicapai pada rasio *recycle* 25 % yaitu $33,15 \times 10^{-5}$ L/mg VS.hari, dengan komposisi metana, karbon dioksida, dan hidrogen sulfida masing-masing sebesar 79 %; 19 %; dan 0,006 %, dengan degradasi VS dan COD masing-masing sebesar 39,58 % dan 66,33 %. Untuk komposisi kandungan CH₄ tertinggi diperoleh pada variasi rasio *recycle* 15 % yaitu sebesar 85 % sedangkan untuk komposisi karbondioksida, dan hidrogen sulfida masing-masing sebesar 14 %; dan 0,0076 %.

Kata kunci: *metanogenesis, continuous stirred tank reactor, digestasi anaerobik, rasio recycle*

Abstract

Anaerobic digestion is one of solution to environmental problems and energy sources for current energy needs. In anaerobic digestion, organic material is degraded by bacteria, which is carried out without oxygen, and converts it to a mixture of methane and carbon dioxide. POME can be degraded anaerobically in anaerobic digester to produce biogas. This study aims to increase the conversion of biogas produced using a 2 liter Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) type digester in the methanogenesis process by recycling the effluent produced through the ultrafiltration membrane in a transition condition (45°C). The process is carried out by varying the recycle ratio, which is 0%, 15% and 25% on HRT 6 days with a condition of pH 7 ± 0.2 . The highest average biogas production was achieved at the 25% recycle ratio of 33.15×10^{-5} L / mg VS. day, with the composition of methane, carbon dioxide and hydrogen sulfide each of 79%; 19%; and 0.006%, with degradation of VS and COD of 39.58% and 66.33% respectively. For the composition of the highest CH₄ content obtained at a variation of the 15% recycle ratio which is equal to 85% while for the composition of carbon dioxide, and hydrogen sulfide each is 14%; and 0.0076%.

Keywords: *metanogenesis, continuous stirred tank reactor, anaerobic digestion, recycle ratio*

Pendahuluan

Negara Indonesia merupakan salah satu negara produsen dan pengekspor minyak kelapa sawit terbesar di dunia dibandingkan negara Malaysia [1]. Kelapa sawit adalah sumber makanan dan bahan bakar dengan hasil yang besar dan juga sangat efisien. Perkebunan kelapa sawit efektif untuk memproduksi bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil dan menangkap karbon dari atmosfer. Indonesia

merupakan salah satu produsen minyak sawit terbesar di dunia, dan industri ini merupakan sektor ekspor pertanian yang paling tinggi nilainya selama dasawarsa terakhir [2]. Pada tahun 2017, Indonesia memiliki perkebunan kelapa sawit dengan luas areal sekitar 12,3 juta hektar dan dapat memproduksi berkisar 35,4 juta ton/tahun minyak kelapa sawit dan minyak inti sawit sebesar 7 juta ton/tahun [3].

Data peningkatan produksi minyak kelapa sawit disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Peningkatan Produksi Minyak Kelapa Sawit Indonesia [3]

| Tahun | Luas Areal (juta hektar) | Produksi Minyak Kelapa Sawit (juta ton) | Jumlah Limbah Cair (juta ton) |
|-------|--------------------------|---|-------------------------------|
| 2013 | 9,9 | 30,5 | 76,25 |
| 2014 | 10,3 | 33 | 82,5 |
| 2015 | 10,6 | 33 | 82,5 |
| 2016 | 11,9 | 40 | 103,70 |
| 2017 | 12,3 | 42,4 | 110 |

Dengan meningkatnya jumlah ekspor minyak kelapa sawit Indonesia, maka timbul permasalahan lain mengenai minyak kelapa sawit, yaitu permasalahan limbah PKS [4].

Dengan penekanan produksi berkelanjutan, pengolahan limbah diharapkan menghasilkan energi dalam industri kelapa sawit. Pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit sudah dilakukan dengan *anaerobik ponding system*, filtrasi anaerobik, anaerobik *fluidized bed reactor*, *upflow anaerobic sludge blanket* (UASB), *expanded granular sludge bed reactor* (EGSB), *anaerobic baffled reactor* (ABR), *anaerobic sequencing batch reactor* (ASBR), *continuous stirred tank reactor* (CSTR), dan *upflow anaerobic sludge fixed film* (UASFF) [5].

Dalam proses pembuatan biogas dengan menggunakan digester anaerobik ini ditambahkan proses daur ulang pada lumpur sisa dari pembuatan biogas dengan menggunakan membran (*Ultrafiltration Membrane*) yang bertujuan untuk meningkatkan konversi dari biogas yang dihasilkan [6]. Teknik pemisahan membran telah terbukti efektif. Metode untuk memisahkan padatan biomassa dari suspensi digester dan daur ulang tersebut menuju digester. Beberapa penelitian menggunakan membran pada proses anaerobik untuk mengolah berbagai perairan limbah menemukan bahwa *Membrane Anarobic System* (MAS) proses dipertahankan dan karena lama waktu retensi padatan mencair dan semua materi partikulat terurai. *Membrane Anarobic System* (MAS) ditemukan untuk menjadi sistem pengolahan biologi yang sukses yang dicapai efisiensi penyisihan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang tinggi dalam waktu singkat. *Membrane Anarobic System* (MAS) mampu beroperasi pada *Solid Retention Time* (SRT) tinggi dan cukup toleran terhadap variasi dalam influen beban *Chemical Oxygen Demand* (COD). Oleh karena itu, *Membrane*

Anarobic System (MAS) adalah alternatif yang baik untuk mengolah kadar air limbah tinggi, dan meningkatkan produksi metana untuk energi akan menjadi hasil tambahan yang berharga dari proses [6].

Dari penelitian yang dilakukan oleh Lubis (2018), dengan menggunakan proses digester anaerob HRT 6 hari pada suhu 45 °C dengan laju pengadukan 250 rpm, diperoleh hasil terbaik produksi biogas yaitu sebesar 31,188 x 10⁻⁵ L/mgVS.hari dengan variasi rasio *recycle* 25 %. Produksi biogas pada variasi tanpa *recycle* dan pada variasi rasio *recycle* 15% yaitu 11,586 L/mgVS.hari dan 18,019 L/mgVS.hari [7], dan dari penelitian yang dilakukan oleh Cahyani (2018), dengan menggunakan proses digester anaerob HRT 6 hari pada suhu 30 °C dengan laju pengadukan 250 rpm, diperoleh hasil terbaik produksi biogas yaitu sebesar 39,0335 x 10⁻⁵ L/mgVS.hari dengan variasi rasio *recycle* 25 %. Produksi biogas pada variasi tanpa *recycle* dan pada variasi rasio *recycle* 15% yaitu 19,308 L/mgVS.hari dan 28,715 L/mgVS.hari [8].

Oleh sebab itu penelitian ini penting dilakukan untuk memperbaiki secara teknis dalam pengolahan limbah cair kelapa sawit (LCPKS) menggunakan reaktor tangki berpengaduk dengan berbantuan membran ultrafiltrasi pada kondisi transisi (45 °C) dengan variasi rasio *recycle* yang telah ditentukan. Diharapkan dari penelitian ini dapat meningkatkan hasil produksi biogas dan mencapai kestabilan sistem dari yang pernah dicapai.

Teori

Digesti anaerob adalah *multistage* (hidrolisis, acidogenesis, acetogenesis dan metanogenesis) degradasi bahan organik dan berubah menjadi CH₄ dan CO₂ oleh aksi sekelompok mikroorganisme. Wong juga mengungkapkan bahwa, POME segar pertama kali diubah menjadi asam lemak mudah menguap (VFA) oleh bakteri pembentuk asam kemudian berubah menjadi CH₄ dan CO₂ dalam proses pencernaan anaerobik. Proses ini menghasilkan biogas seperti biometana dan biohidrogen melalui degradasi cepat senyawa organik dari POME [9].

Dalam digesti anaerob suhu merupakan faktor sangat penting yang mempengaruhi aktifitas mikroorganisme. Suhu optimal proses digester anaerob adalah 30 - 40 °C. Suhu optimal untuk proses digestasi anaerobik terbagi menjadi 3 kondisi yaitu *psikrofilik* < 20 °C, *mesophilic* (30 - 40 °C), dan *thermophilic* (50 - 60 °C) [10].

Faktor kunci berhasilnya mengendalikan stabilitas dan efisiensi proses adalah konfigurasi reaktor, *Hydraulic Retention Time* (HRT),

Organic Loading Rate (OLR), pH, suhu, konsentrasi inhibitor, konsentrasi *Total Volatile Fatty Acid* (TVFA) dan komposisi substrat [11]. Selain itu, pada proses digesti anaerob juga sangat dipengaruhi oleh pengadukan. Pengadukan meningkatkan pendistribusian bakteri, substrat dan nutrisi keseluruhan reaktor serta untuk meyamakan keseragaman suhu dalam reaktor [11]. Selain itu, mikroba membentuk sistem stabilisasi yang unik dan berguna, yang aktif secara biologis dan mengurangi endapan. Berbagai jenis sistem pencernaan anaerobik ada di dunia. Proses pencernaan POME yang paling direkomendasikan termasuk filter anaerobik dan anaerobik fluidized bedreactors, up-flow anaerobic sludge blanket reactors (UASB), diperluas selimut lumpur granular (EGSB), reaktor anaerobik baffled (ABR), reaktor batch sekuens anaerobik (ASBR), kontinu reaktor tangki berpengaduk (CSTR) dan reaktor aliran lumpur anaerobik aliran naik (UASFF) [9].

Reaktor tangki berpengaduk kontinu secara luas digunakan sebagai sarana untuk mengkonversi reaktan menjadi produk berharga dalam industri kimia. Fermentasi limbah organik menjadi biogas terbarukan terjadi dalam tiga fase yaitu cairan, padat dan fase gas. Mengendalikan kondisi optimum seperti yield gas, pengurangan substrat, pH. Selain itu, perubahan laju pemuatan organik (OLR) dapat menyebabkan gangguan signifikan kinerja stabilitas CSTR [12].

Seiring perkembangan zaman penggunaan CSTR sudah semakin berinovasi salah satunya penggunaan membran sebagai pembantu mempertahankan waktu tinggal biomassa di dalam CSTR dan pemakaian kembali biomassa (*recycle* biomassa). Menurut Ferguson manfaat daur ulang limbah dalam mengurangi penambahan basa yang diperlukan. sebagai hasil daur ulang dapat meminimalkan total biaya operasional perawatan karena sebagian besar penghematan dalam penambahan garam bikarbonat [13]. Dalam proses pembuatan biogas dengan menggunakan digester anaerobik ini ditambahkan proses daur ulang pada lumpur sisa dari pembuatan biogas dengan menggunakan membran (*Ultrafiltration Membrane*) yang bertujuan untuk meningkatkan konversi dari biogas yang dihasilkan [6]. Penelitian yang dilakukan oleh Abdurrahman *et.al.*, (2011) adalah pemanfaatan membran sebagai *recycle* dari *effluent* reaktor berpengaduk berbahan baku LCPKS dalam pembuatan biogas. Hasil penelitian menunjukkan semakin banyaknya umpan hasil *recycle* akan meningkatkan nilai pertumbuhan mikroba, penguraian VS, penguraian COD, dan jumlah produksi biogas,

namun untuk komposisi gas metana yang diperoleh paling baik pada umpan *recycle* pada rasio pertama, seiring peningkatan umpan *recycle* maka komposisi gas metana akan menurun [6].

Metodologi Penelitian

Bahan Baku Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan adalah Natrium Bikarbonat (NaHCO_3), Asam Klorida (HCl), Kalium Dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), Raksa (II) Sulfat (HgSO_4), Perak Sulfat (Ag_2SO_4), Asam Sulfat (H_2SO_4), Ferro Ammonium Sulfat (FAS), dan ferroin. Bahan baku utama yang digunakan berupa limbah cair pabrik kelapa sawit yang diambil dari *fat pit* Rambutan PTPN III. Hasil analisis karakteristik LCPKS disajikan pada Tabel 2, Adapun metode uji yang digunakan yaitu APHA (*American Public Health Association*).

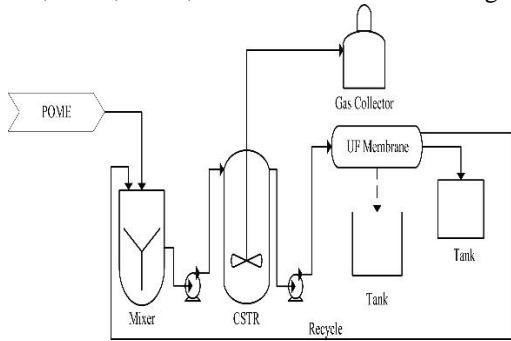
Tabel 2. Hasil Analisis Karakteristik LCPKS dari PTPN III Rambutan [7]

| Para meter | Satuan | Hasil Uji | Metode Uji |
|------------|--------|---------------|-------------|
| pH | - | 3,90-4,50 | APHA 4500-H |
| COD | mg/L | 40.288 | APHA 5220B |
| TS | mg/L | 14.000-28.000 | APHA 2540B |
| VS | mg/L | 10.000-26.000 | APHA 2540E |
| TSS | mg/L | 21.040-25.160 | APHA 2540D |
| VSS | mg/L | 9.040-17.160 | APHA 2540E |
| SCO | mg/L | 19.424 | APHA 5220B |

Prosedur Penelitian

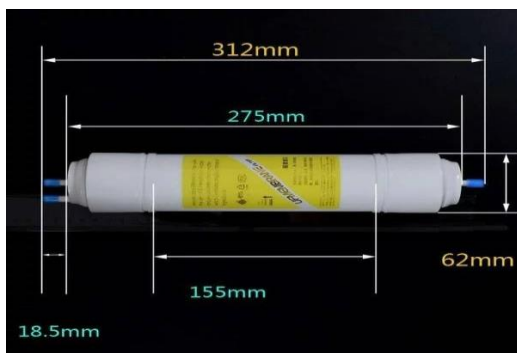
Rangkaian peralatan yang digunakan dalam proses metanogenesis adalah seperti yang terlihat pada Gambar 1. Pada tahap hidrolitik dilakukan penbibitan benih mikroba berupa starter yang berasal dari *pilot plant* yang dicampurkan dengan substrat limbah cair kelapa sawit (LCPKS) yang berasal dari Pabrik Kelapa sawit PTPN III Rambutan dengan perbandingan starter : LCPKS, 20 % : 80 % dari volume fermentor. Fermentor dioperasikan pada temperatur 45 °C, kecepatan pengaduk 250 rpm, pH 7 ($\pm 0,2$), dan di targetkan beroperasi pada HRT 6. Untuk meningkatkan suhu dari kondisi *ambient* ke suhu 45 °C dilakukan dengan cara bertahap yaitu meningkatkan 2 °C / hari yang dibagi menjadi dua waktu yaitu 1 °C pada pagi hari, dan 1 °C pada malam hari. Pengontrolan pH dilakukan agar pH tetap konstan dengan penambahan natrium bikarbonat (NaHCO_3). Dilakukan juga beberapa langkah untuk mencapai HRT target, yaitu dengan menurunkan HRT secara bertahap dimulai dari HRT 25, 15, 10 dan sampai ke HRT 6. Proses ini dinamakan proses loading up. Pertumbuhan mikroba dalam fermentor pada

proses *loading up* dapat ditunjukkan dengan hasil pengukuran dan penentuan pH, alkalinitas, TS, VS, TSS, VSS, COD serta volume biogas.



Gambar 1. Diagram Alir Proses Pembuatan Biogas Berbantuan UF Membran

Membran yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis membran aliran cross flow seperti pada Gambar 2 dimana pada jenis aliran ini terdapat dua aliran keluar yaitu permeat, dan retentat. Pada penelitian ini memanfaatkan hasil permeat berupa effluent yang tidak lolos melewati membran, sedangkan retentat dapat dibuang sebagai effluent dengan nilai COD yang rendah. Selama penelitian ini dilaksanakan, tentu perlu dilakukannya treatment pembersihan membran agar kinerja membran tetap stabil. Treatment ini dilakukan dengan pencucian menggunakan aquadest yang dialirkan dari retentat agar sisa kotoran yang tertinggal pada membran dapat dibersihkan selama 10 menit hingga aquadest yang keluar tetap jernih atau tidak ada kotoran yang tersisa, metode ini biasa dikenal dengan istilah *back-wash*.



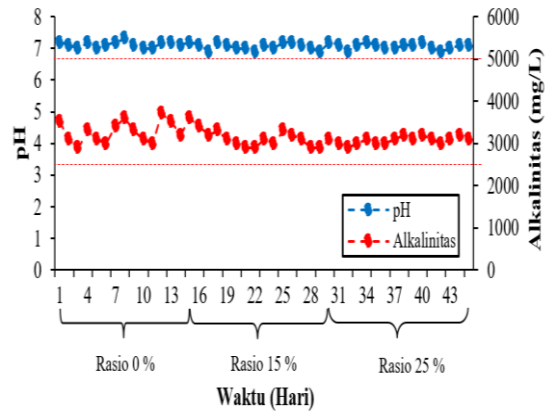
Gambar 2. Membran Ultrafiltrasi

Hasil

Pengaruh Rasio *Recycle* Terhadap Alkalinitas

Pada proses metanogenesis, alkalinitas dapat menunjukkan kestabilan suatu proses yang ada di dalam suatu fermentor seperti penguraian senyawa organik oleh mikroba. Gambar 3 menunjukkan pengaruh rasio *recycle* terhadap alkalinitas. Gambar 3 menunjukkan nilai

alkalinitas pada perubahan rasio *recycle* dari tanpa *recycle*, dan 15% mengalami fluktuasi terhadap peningkatan rasio *recycle*. Hasil alkalinitas pada tanpa *recycle* berada pada nilai 2.900 – 3.700 mg/L, rasio *recycle* 15% berada pada nilai 2.900 – 3.400 mg/L dan pada rasio *recycle* 25 % berada pada nilai 2.900 – 3.200 mg/L.



Gambar 3. Pengaruh Rasio *Recycle* Terhadap Alkalinitas

Dari gambar 3, dapat dilihat bahwa pengaruh rasio *recycle* terhadap alkalinitas sangat kuat, ini dibuktikan dengan hasil penelitian tanpa rasio *recycle* yang kondisi alkalinitasnya tidak stabil dibandingkan dengan hasil yang menggunakan rasio *recycle* yaitu pada rasio *recycle* 15%, dan 25%. Menurut Abdurrahman *et.al* (2011) rasio *recycle* sangat membantu untuk menjaga alkalinitas didalam fermentor atau dengan penambahan garam kapur atau bikarbonat [6]. Oleh karena itu, pada variasi rasio *recycle* tahapan metanogenesis VFA dengan temperatur 45°C, tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap alkalinitas seiring dengan peningkatan rasio *recycle*. Grafik alkalinitas mengalami fluktuasi pada kisaran nilai alkalinitas yang masih dalam rentang batas wajar yaitu 2500 mg/L – 5000 mg/L [14].

Produksi rata-rata total biogas mengalami peningkatan. Volume biogas tertinggi yang diperoleh pada rasio *recycle* 25% yaitu dengan nilai $33,15 \times 10^{-5}$ L/mg VS.hari. Produksi biogas pada tanpa *recycle* yaitu $14,331 \times 10^{-5}$ L/mg VS.hari dan pada rasio *recycle* 15% yaitu $20,606 \times 10^{-5}$ L/mg VS.hari mengalami peningkatan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Abdurrahman *et.al.*, (2011) produksi biogas menggunakan membran mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan umpan *recycle* dari membran, dimana nilai produksi biogas

meningkat dari 280,5 L/hari menjadi 540 L/hari [6].

Kesimpulan

Rasio *recycle* sangat berpengaruh terhadap kestabilan sistem dalam proses fermentasi anaerobik dengan penetapan pH dan alkinitas masing-masing pada rentang 6,9-7,6 dan 2.900 - 3.900 mg/l, yang masih dalam rentang wajar. Penggunaan membrane UF dapat mempengaruhi kestabilan fermentor dikarenakan mampu menjaga kestabilan alkalinitas dalam proses pembentukan biogas. Produksi biogas rata - rata tertinggi dicapai pada rasio *recycle* 25 % yaitu $33,15 \times 10^{-5}$ L/mg VS.hari, dengan komposisi metana, karbon dioksida, dan hidrogen sulfida masing-masing sebesar 79 %; 19 %; dan 0,006 %, dengan degradasi VS dan COD masing-masing sebesar 39,58 % dan 66,33 %. Untuk komposisi kandungan CH₄ tertinggi diperoleh pada variasi rasio *recycle* 15 % yaitu sebesar 85 % sedangkan untuk komposisi karbondioksida, dan hidrogen sulfida masing-masing sebesar 14 %; dan 0,0076 %.

Daftar Pustaka

- [1] B. Trisakti, V. Manalu, Irvan, Taslim, M. Turmuzi, *Acidogenesis of Palm Oil Mill Effluent to Produce Biogas: Effect of Hydraulic Retention Time and pH*, *World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship*, 195, 2466-2474, 2015.
- [2] World Growth, *The Economic Benefit of Palm Oil to Indonesia*. www.worldgrowth.org, Diakses pada 08 Juli 2016, 2011.
- [3] Hendaryati, D. Dewi dan Y. Arianto, *Statistik Perkebunan Indonesia Tree Crop Estate Statistics of Indonesia*, Published by Sekretariat Direktorat Jenderal Perkebunan: Jakarta, 2016.
- [4] A. Yan, Makalah Seminar Umum Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis Jaqs*), Program Studi Agronomi, Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta, 2014.
- [5] Mishra, Puranjan, Thakur, L. Singh, Z. Wahid, and M. Sakinah, *Enhanced hydrogen production from palm oil mill effluent using two stage sequential dark and photo fermentation*, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 41, 2016.
- [6] Abdurahman, Y. Rosli, dan N. Azhari, *Development of a membrane anaerobic system (MAS) for palm oil mill effluent (POME) treatment*. *Desalination* 266 208-21, 2011.
- [7] A. H. Lubis, Pengaruh Rasio *Recycle* Terhadap Produksi Biogas Menggunakan Reaktor Tangki Berpengaduk Dengan Bantuan Membran Ultrafiltrasi Pada Temperatur 45°C, Skripsi, Departemen Teknik Kimia. Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara : Medan, 2018.
- [8] S. E. Cahyani, Pengaruh Rasio *Recycle* Terhadap Produksi Biogas Menggunakan Reaktor Tangki Berpengaduk Dengan Bantuan Membran Ultrafiltrasi Pada Temperatur 30 °C, Skripsi, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2018.
- [9] Zhang, X. Ojing, J. Yan, H. Li, S. Chekani, L. Liu, *Investigation of thermal integration between biogas production and upgrading*, *Energy Conversion and Management* vol. 102 page 131-139, 2015.
- [10] Sasongko, Wedo, *Produksi Biogas Dari Biomassa Kotoran Sapi Dalam Biodigester Fix Dome Dengan Pengenceran dan Penambahan Agitasi*, Thesis, Program Pasca Sarjana, Universitas Sebelas Maret Surakarta, 2010.
- [11] F. Aulia, B. Trisakti, Mahdalena, dan Irvan, *Metanogenesis Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) pada Temperatur 55°C: Pengaruh Variasi Pengadukan Terhadap Produksi Biogas Menggunakan Reaktor Batch*, Skripsi, Jurnal Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara, 2014.
- [12] Cahyari, Sarto, S. Syamsiah dan A Prasetya, *Performance of continuous stirred tank reactor (CSTR) on fermentative biohydrogen production from melon waste*, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Jilid 162, Halaman 12013, 2013.
- [13] Q. Y. Han, Z. Hu, T. Q. Hong, dan G. Wei Gu, *Performance of An Anaerobic Treating Soybean Processing Wastewater With and Without Effluent Recycle*, *Asian Journal of Chemistry*, Volume 28, No 3, 2002.
- [14] Choong, Y. Yaw, K. W. Chou, dan I. Norli, *Strategies for improving biogas production of palm oil mill effluent (POME) anaerobic digestion*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 82, Part 3, 2017.