

PENGARUH TEMPERATUR PADA SEEDING DAN AKLIMATISASI LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT (LCPKS) DALAM BIOREAKTOR ANAEROBIK

THE EFFECT OF TEMPERATURE ON SEEDING AND ACLIMATIZATION OF PALM OIL MILL EFFLUENT (POME) IN ANAEROBIC BIOREACTORS

Abdul Kahar^{1*}, Rahmat Gunawan², Nanang Tri Widodo², dan Alimuddin²

¹ Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Mulawarman University
Gn. Kelua Jl. Sambaliung No.9, Samarinda 75119, Indonesia

² Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Science,
Mulawarman University Jl. Barong Tongkok No.4 Telp (0541) 749152 Fax (0541) 749140
Samarinda 75123, Indonesia, *Email : kahar.abdul@gmail.com

ABSTRAK

Pengolahan biologis limbah organik dalam bioreaktor anaerobik juga ditentukan oleh tahapan seeding dan aklimatisasi. Seeding dan aklimatisasi dilakukan untuk menumbuhkan, mengembang biakkan dan mengadaptasikan populasi mikroorganisme anaerob dalam bioreaktor. POME merupakan suspensi koloid kecoklatan dengan pH asam, kandungan organik, COD dan BOD sangat tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur pada seeding dan aklimatisasi POME terhadap pH, COD, BOD dan tekanan biogas dalam bioreaktor anaerobik. Seeding dan aklimatisasi POME dilakukan dalam bioreaktor anaerob pada temperature ambient, 35°C dan 45°C. Tekanan biogas seeding dan aklimatisasi POME dalam bioreaktor anaerobik pada temperatur 35°C lebih besar dari temperatur 45°C lebih besar dari temperatur ambient, berturut-turut adalah 627 mmH₂O; 732,5 mmH₂O dan 698,5 mmH₂O, respectively. Rentang pH seeding antara 4,1–5,5; sedangkan rentang pH aklimatisasi antara 4,8–6,9. BOD *removal* pada temperatur *ambient*, 35°C dan 45°C berturut-turut adalah 50,1%; 60,72 % dan 58,05%. BOD *removal* rata-rata sebesar 56,29%. COD *removal* pada temperatur *ambient*; 35°C dan 45°C berturut-turut adalah 52,08%; 59,9% dan 57,24%. COD *removal* rata-rata sebesar 56,41%. Rasio BOD/COD yang menunjukkan biodegradabilitas seeding dan aklimatisasi POME, pada temperatur *ambient*, 35°C dan 45°C berturut-turut adalah 0,505; 0,443 dan 0,478; dengan BOD/COD rata-rata adalah 0,475.

Kata kunci : Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS), Seeding, Aklimatisasi, Bioreaktor Anaerobik

ABSTRACT

The biological treatment of organic waste in an anaerobic bioreactor is also determined by the stages of seeding and acclimatization. Seeding and acclimatization are carried out to grow, breed and adapt anaerobic microorganism populations in bioreactors. POME is a brownish colloidal suspension with acidic pH, organic content, COD and BOD very high. This study aims to determine the effect of temperature on seeding and acclimatization of POME to pH, COD, BOD and biogas pressure in anaerobic bioreactors. The seeding and acclimatization study of POME are carried out in anaerobic bioreactor at temperature of ambient, 35°C and 45°C. The seeding process and acclimation time was 8-13 days with three variations of temperatures. The result showed, pH range from seeding process was 4.1-5.5. pH range from acclimation process was 4.8-6.9. The reduction of COD and BOD was 56.41% and 56.29% respectively. The biogas pressure at temperature 35°C higher than temperature 45°C higher than ambient temperature. Biogas pressure of ambient temperature, temperature 35°C and temperature 45°C was 627 mmH₂O, 732.5 mmH₂O and 698.5 mmH₂O respectively. BOD/COD ratio which shows biodegradability in POME seeding and acclimatization between 0.391-0.574; with an average of 0.494.

POME is a brownish colloidal suspension, with very high organic content, COD and BOD and acidic pH.

Keywords : Palm Oil Mill Effluent (POME), Seeding, Acclimatization, Anaerobic Bioreactor

PENDAHULUAN

Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) adalah limbah cair efluen dari olahan pabrik minyak sawit. LCPKS berasal dari air kondensat pada proses sterilisasi, air dari proses klarifikasi, air *hydrocyclone* (*claybath*) dan air pencucian (Rambe, 2015). POME merupakan campuran dari air, serpihan kulit sawit dan residu lemak yang dihasilkan pada proses awal *crudepalmoil* (CPO) dari buah sawit. POME bersuhu panas, pH asam, kental, berwarna kecoklatan dengan kandungan padatan, minyak dan lemak, suspensi koloid mengandung bahan organik dan padatan yang sangat tinggi. POME adalah cairan coklat kental dengan padatan tersuspensi halus dengan kisaran pH 4-5. POME harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan, karena tingginya nilai COD dan BOD (Poh and Chong, 2009).

Tabel 1. Karakteristik limbah cair kelapa sawit POME

Parameter	Satuan	Hasil Kolam I
pH	-	4,49
BOD-5	mg/L	10.191,44
COD	mg/L	19.940
Nitrogen	mg/L	500,87
Phosphor	mg/L	89,77
Pottassium	mg/L	7.486,18
Oil and Grease	mg/L	9,78
Nitrate	mg/L	15,66
TOC	mg/L	11.431,60
C/N Ratio	mg/L	23,65

Seeding Dan Aklimatisasi

Pada pengolahan limbah organik secara biologis menggunakan bioreaktor anaerobik sangat ditentukan oleh proses seeding dan aklimatisasi. Sebelum tahap pengolahan anaerobik, mikroorganisme anaerobik ditumbuhkan dengan seeding dan aklimatisasi untuk menjamin keberadaannya dalam bioreaktor. Seeding dan aklimatisasi dilakukan untuk menumbuhkan, mengembang biakkan dan mengadaptasikan populasi mikroorganisme anaerob. Dimanamikroorganisme anaerob inilah yang akan mendegradasi kandungan substrat organik dan anorganik kompleks dalam limbah cair yang diolah dalam bioreaktor (Kahar *et al.*, 2017).

Sedangkan aklimatisasi bertujuan untuk mengadaptasikan mikroorganisme dengan kondisi lingkungan yang baru. Aklimatisasi merupakan tahap penyesuaian diri mikroorganisme dengan kondisi limbah cair yang akan diolah, termasuk sumber makanannya. Seeding dan aklimatisasi dilakukan secara bersamaan karena pembenihan langsung di dalam reaktor (Rambe, 2015).

Biodegradasi Substrat

Biodegradasi secara anaerobik bahan organik adalah suatu proses biokimia kompleks yang melibatkan banyak senyawa intermediet dan yang masing-masing dikatalisis oleh enzim atau katalis tertentu. Pada tahap pertama digester anaerobik, liqiufaksi bahan-bahan organik dilakukan oleh enzim ekstra-seluler yang diproduksi oleh bakteri *hidrolitik* (Deublein dan Steinhauser, 2008; Appels *et al.*, 2008; Zinatizadeh *et al.*, 2006). Pada tahap akhir menghasilkan CH₄ dan CO₂, yang merupakan produk utama dari proses anaerobik (Demirel and Scherer, 2008; Ziemiński and Magdalena, 2012).

Bioreaktor anaerobik dapat bekerja optimal antara temperatur 4-60°C. Bioreaktor anaerobik berlangsung optimum pada rentang temperatur *psychrophilic* (<30°C); *mesophilic* (30-37°C) dan temperatur *thermophilic* (45-60°C) (Lettinga, 1995; O'flaherty *et al.*, 2010).

Bioreaktor anaerobik umumnya memiliki dua rentang temperatur optimal: yaitu *mesophilic* dengan temperatur optimum sekitar 35°C dan *thermophilic* dengan temperatur optimum sekitar 55°C. Namun, sebagian besar sistem digester anaerobik dirancang untuk beroperasi pada rentang temperatur *mesophilic* sekitar 35°C (Merlin *et al.*, 2012). Temperatur optimum pada masing-masing kisaran biasanya merupakan batas atas untuk laju pertumbuhan. Selanjutnya peningkatan temperatur akan sulit melebihi hasil yang diperoleh pada temperatur optimum (Chen and Hashimoto, 1978).

Efisiensi pengolahan dalam bioreaktor anaerobik ini sensitif terhadap parameter seperti komposisi air limbah, temperatur dan pH (Merlin *et al.*, 2012). Kebanyakan bakteri anaerobik, termasuk bakteri pembentuk metana, bekerja dengan baik dalam rentang pH 6,8-7,2 (Gerardi, 2003). pH harus selalu dikondisikan pada rentang 6,5-7,5 meskipun proses masih dapat berjalan pada rentang pH 6,0-8,0. pH yang rendah dan berlebihnya produksi asam akan menjadi penghambat untuk bakteri metanogenik (Indriyati, 2007).

Pengolahan anaerobik pada prinsipnya memanfaatkan bakteri anaerobik untuk mendegradasi bahan-bahan organik atau *soluble chemical oxygen demand* (SCOD) menjadi biogas (Appels *et al.*, 2008). Dalam kasus substrat organik kompleks, yang umumnya diekspresikan sebagai COD suatu bagian substrat yang susah terdegradasi COD (Kahar, 2017, Ramos *et al.*, 2003). Semakin besar reduksi COD, berarti bahan organik yang terdegradasi menjadi asam-asam organik juga semakin besar. Asam-asam organik inilah yang kemudian terkonversi menjadi gas metana, artinya jika reduksi COD semakin besar maka laju pembentukan gas metana juga semakin besar (Widjaja *et al.*, 2008). Tahap metanasi merupakan tahap yang dapat mereduksi COD air limbah paling tinggi. Pada temperatur dan tekanan standard 0,454 kg COD dapat menghasilkan 0,16 m³ gas metana. Penggunaan COD sebagai parameter kontrol dan operasi pada proses pengolahan anaerobik sangat beralasan karena biodegradasi yang sangat berbeda. Dimana substrat organik kompleks dalam fase padat "ditata-ulang" dengan memutus dan menyambung ikatan organiknya menjadi CH₄ dan CO₂ dalam fase gas (Van Lier *et al.*, 2008).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur pada proses seeding dan aklimatisasi terhadap pH, COD, BOD dan tekanan biogas yang dihasilkan dalam bioreaktor anaerobik.

METODE PENELITIAN

Bioreaktor seeding dan aklimatisasi yang digunakan memiliki volume 27 L. Perbandingan volume POME:biogas pada bioreaktor adalah 70:30. Volume POME yang digunakan adalah 70% dari volume bioreaktor, sehingga diperoleh 19 L untuk POME dan 8 L untuk volume biogas (Kahar *et al.*, 2017).

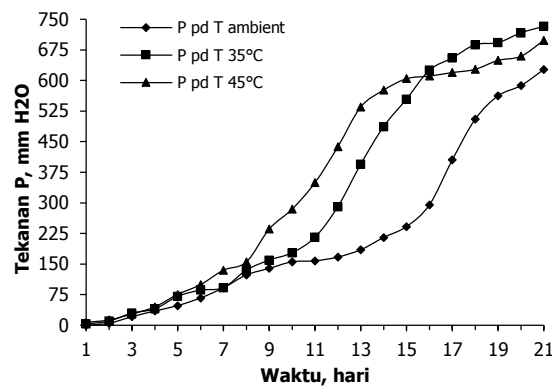
Seeding dan aklimatisasi dilakukan pada temperatur *ambient*, 35°C dan 45°C serta pH *ambient*. Untuk mempertahankan temperatur seeding dan aklimatisasi digunakan *thermocouple*. POME diumpan masuk ke bioreaktor pada bagian atas. Sebelum mengumpulkan POME ke dalam bioreaktor anaerobik, POME dipanaskan sesuai dengan temperatur seeding aklimatisasi masing-masing perlakuan (Zaiat *et al.*, 2000). Tekanan biogas yang dihasilkan volumenya diukur dengan mengamati perbedaan ketinggian pada manometer.

Proses seeding dan aklimatisasi dianggap berhasil jika pertambahan produksi biogas bertambah ±10% (Priyono, 2012) atau pada kondisi tekanan biogas mengalami peningkatan secara eksponensial (Kahar *et al.*, 2017). Sampling POME dan analisis uji dilakukan setiap dua hari sekali.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tekanan Biogas

Secara keseluruhan proses seeding dan aklimatisasi POME, pada hari ke 1-7, tekanan biogas tidak mengalami kenaikan yang signifikan. Sedangkan pada hari ke 8-19, terlihat kenaikan tekanan biogas terjadi secara eksponensial. Sebagaimana terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Perubahan tekanan biogas pada seeding dan aklimatisasi

Pada temperatur ambient, hari ke 1-12, tekanan biogas terlihat landai, mulai dari 0-167.3 mm H₂O. Sedangkan pada hari ke 13-19, tekanan biogas terlihat mengalami kenaikan secara eksponensial, mulai dari 185.2 sampai 562.5 mm H₂O. Dan tekanan biogas pada hari ke 21 adalah 627 mm H₂O.

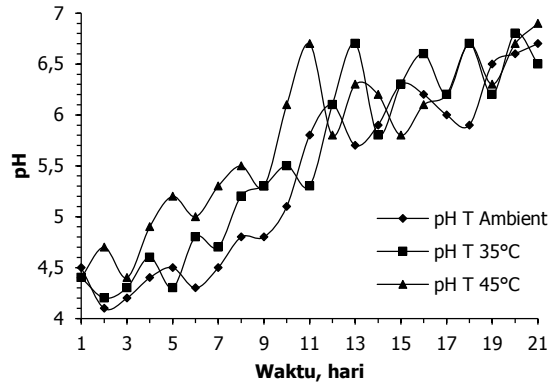
Pada temperatur 35°C, hari ke 1-9, tekanan biogas naik mulai dari 3 sampai 159.5 mm H₂O, namun tidak mengalami kenaikan yang signifikan. Pada hari ke 10-16, tekanan biogas mengalami kenaikan secara eksponensial mulai dari 177.5 sampai dengan 625 mm H₂O. Dan puncak tertinggi tekanan biogas pada hari ke 21 adalah 732.5 mm H₂O.

Pada temperatur 45°C, hari ke 1-7, terlihat bahwa tekanan biogas tidak mengalami kenaikan secara eksponensial, mulai dari 7 sampai 135 mm H₂O. Tekanan biogas mengalami kenaikan secara eksponensial terjadi pada hari ke 8-13, yaitu mulai dari 155 mm H₂O sampai dengan 535.2 mm H₂O, dengan tekanan tertinggi pada hari ke 21 adalah 698.5 mm H₂O.

Pada gambar 1, terlihat bahwa Tekanan biogas seeding dan aklimatisasi POME dalam bioreaktor anaerobik pada temperatur 35°C lebih besar dari temperatur 45°C lebih besar dari temperatur ambient, berturut-turut adalah 627 mm H₂O; 732.5 mm H₂O dan 698.5 mm H₂O. terlihat juga bahwa tekanan biogas temperatur 35°C lebih besar dari pada temperatur 45°C. Hal ini terjadi karena temperatur 35°C merupakan temperatur optimum pertumbuhan bakteri *mesophilic*, sedangkan temperatur 45°C merupakan temperatur minimum pertumbuhan bakteri *thermophilic*.

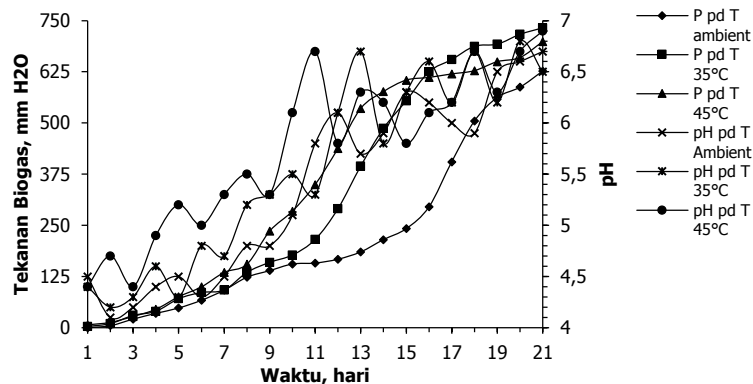
pH

pH salah satu parameter penting pada pengolahan anaerobik karena bakteri metanogenik sangat sensitif terhadap perubahan pH (Indriyati, 2007). Rentang pH seeding antara 4.1–5.5, sedangkan rentang pH aklimatisasi antara 4.8–6.9. Pada keseluruhan proses seeding dan aklimatisasi pada pengaruh temperatur ambient, 35°C dan 45°C berturut-turut berlangsung selama 12, 9 dan 7 hari. Sebagaimana terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Perubahan pH pada saat seeding dan aklimatisasi POME

Pada penelitian ini terlihat bahwa secara keseluruhan, pH proses seeding dan aklimatisasi meningkat, dari yang terendah 4.1 sampai 6,9. Pada temperatur ambient, pH seeding dan aklimatisasi mengalami fluktuasi penurunan dan kenaikan dari asam ke mendekati netral, mulai dari 4.5 sampai 6.7. Pada temperature 35°C, pH juga mengalami hal yang sama, mulai dari 4.4 sampai dengan 6.5. Demikian juga pada temperatur 45°C mengalami kenaikan pH dari asam ke mendekati netral, yaitu dari 4.4 sampai dengan 6.9.



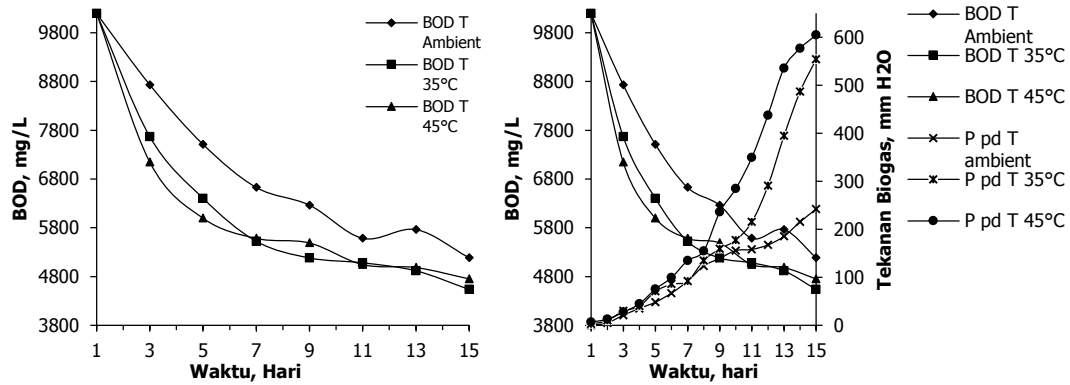
Gambar 3. Hubungan tekanan biogas dengan pH

Pada gambar 3, terlihat hubungan antara pH dengan tekanan biogas, dimana pada hari ke 1-7, tekanan biogas masih terlihat landai. Hal ini terjadi karena tahap awal dekomposisi substrat organik, menghasilkan asam-asam lemak volatil (VFA) yang menyebabkan penurunan pH.

Biological Oxygen Demand (BOD)

Secara keseluruhan proses seeding dan aklimatisasi, BOD mengalami penurunan. Sebagaimana terlihat pada Gambar 4a. Pada temperatur ambient, BOD mengalami penurunan sekitar 50.1%, mulai dari 10191.44 mg/L menjadi 5185.9 mg/L. Pada temperatur 35°C, BOD mengalami penurunan sekitar 60.72%, mulai dari 10191.44 mg/L menjadi 4533.50 mg/L. Sedangkan Pada temperatur 45°C, BOD mengalami penurunan sekitar 58.05%, mulai dari 10191.44 mg/L menjadi 4756.50mg/L.

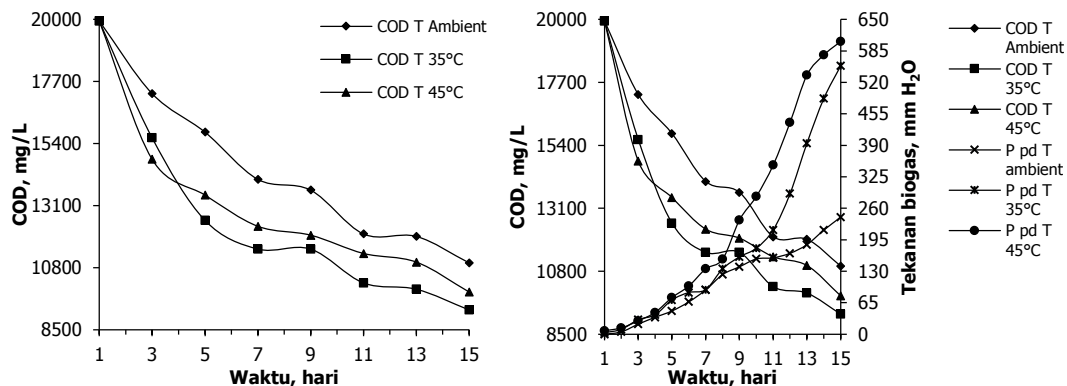
Sedangkan pada hubungan COB dan tekanan biogas, terlihat bahwa penurunan BOD diikuti dengan meningkat tekanan biogas. Seperti terlihat pada Gambar 4b.



Gambar 4.a. Penurunan BOD; b. Hubungan BOD dengan tekanan biogas

Chemical Oxygen Demand (COD)

Secara keseluruhan proses seeding dan aklimatisasi, COD mengalami penurunan, seperti terlihat pada Gambar 5a. Pada temperatur ambient, COD mengalami penurunan sekitar 48,5%, mulai dari 4732,56 mg/L menjadi 2437,9 mg/L. Pada temperatur 35°C, COD mengalami penurunan sekitar 64,8%, mulai dari 4732,56 mg/L menjadi 1666,0 mg/L. Sedangkan Pada temperatur 45°C, COD mengalami penurunan sekitar 63,5%, mulai dari 7715,68 mg/L menjadi 2810,88 mg/L.



Gambar 5. a. Penurunan COD; b. Hubungan COD dengan tekanan biogas

Pada hubungan COD dengan tekanan biogas, bahwa seiring dengan menurunnya COD, terjadi peningkatan pada tekanan biogas. Sebagaimana terlihat pada Gambar 5b. Hal ini terjadi karena semakin banyak material organik yang terbiodegradasi, maka semakin banyak pula biogas yang terbentuk.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: Tekanan biogas seeding dan aklimatisasi POME dalam bioreaktor anaerobik pada temperatur 35°C lebih besar dari temperatur 45°C lebih besar dari temperatur ambient, berturut-turut adalah 627 mmH₂O; 732.5 mmH₂O dan 698.5 mmH₂O. Rentang pH seeding antara 4,1 – 5,5; sedangkan rentang pH aklimatisasi antara 4,8 – 6,9. BOD *removal* pada temperatur *ambient*, 35°C dan 45°C berturut-turut adalah 50.1%, 60.72 % dan 58.05%. BOD *removal* rata-rata sebesar 56.29%. COD *removal* pada temperatur *ambient*, 35°C dan 45°C berturut-turut adalah 52.08%, 59.9% dan 57.24%. COD *removal* rata-rata sebesar 56.41%. Rasio BOD/COD yang menunjukkan biodegradabilitas seeding dan aklimatisasi POME, pada temperatur *ambient*, 35°C dan 45°C berturut-turut adalah 0.505, 0.443 dan 0.478, dengan BOD/COD rata-rata adalah 0,475.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang tak terhingga kami haturkan pada Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan (DRPM) Kemenristekdikti, dengan nomor kontrak: 193/UN17.41/KL/2019, yang telah membiaya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Appels., L., Jan Baeyens., Jan Degre `ve., Raf Dewil., 2008. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science* 34, 755–781.
- Chen, Y., and Hashimoto, A.G., 1978. Kinetic of Methane Fermentation. *Biotechnol. Bioeng.* Vol. 8, pp. 269-282.
- Demirel., B., Scherer, P., 2008. The Roles Of Acetotrophic And Hydrogenotrophic Methanogens Turing Anaerobic Conversion Of Biomass To Methane: A Review. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 7: 173-190.
- Deublein, D., and Steinhauser, A., 2008. Biogas from waste and renewable resources. Weinheim, Willey-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Gerardi, M.H., 2003. The microbiology of anaerobic digesters. 1st ed. Somerset NJ: Wiley.
- Indriyati, 2007. Unjuk Kerja Reaktor Anaerob Lekat Diam Terendam Dengan Media Penyangga Potongan Bambu. *J. Tek. Ling.* No. 3 Vol. 8, September ISSN 1441-318X, Hal. 217-222
- Kahar, A., Eko Heryadi, Lukman Malik, Budi Nining Widarti, Ika Mey Cahayanti. 2017. The Study of Seeding and Acclimatization from Leachate Treatment in Anaerobic Bioreactor. *ARPN Journal Of Engineering and Applied Sciences.* ISSN: 18196-608, Vol. 12, No. 8, p. 2610-2614.
- Kahar, A. 2017. Perpindahan Massa Fase Cair Pada Pengolahan Lindi TPA Sampah Kota Dalam Bioreaktor Anaerobik. Disertasi Program Doktor Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Lettinga, G., 1995. Anaerobic Digestion And Wastewater Treatment Systems. *J. Antonie van Leeuwenhoek*, 67, 3-28.
- Merlin., G., François Kohler., Maele Bouvier., Thierry Lissolo., Hervé Boileau., 2012. Importance of heat transfer in an anaerobic digestion plant in a continental climate context. *Bioresource Technology* 124, 59–67.
- O'flaherty, V., Gavin Collins., Th´ Er` Ese Mahony., 2010. Anaerobic Digestion of Agricultural Residues. In *Environmental Microbiology*, Second Edition Edited by Ralph Mitchell and Ji-Dong Gu. Second edition. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, pp. 259- 279.
- Poh, P.E., Chong, M.F., 2009. Development of anaerobic digestion methods for palm oil mill effluent (POME) treatment. *Bioresour. Technol.* 100, p. 1–9.
- Priyono, A., Adrianto A., Bahrudin. 2012. Kajian aklimatisasi Proses Pengolahan Limbah Cair Pabrik Sagu Secara Anaerob. *Prosiding SNTK TOPI*, ISSN 1907-0500, hal. 155-159.
- Rambe, S.M., 2015. Penentuan Model Kinetika Reaksi Hidrolisis Pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Dengan Anaerobic Baffle Reactor. Determination of Hydrolysis Kinetics Reaction Model of Palm Oil Mill Effluent Use The Anaerobic Baffle Reactor. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri* Vol. 26 No. 2, hal. 77-84.
- Ramos, A.C.T., Suzana M. Ratusznei, José A.D. Rodrigues, Marcelo Zaiat, 2003. Mass transfer improvement of a fixed-bed anaerobic sequencing batch reactor with liquid-phase circulation. *Interciencia*, vol. 28, no. 4, 0378-1844/03/04/214-06, pp. 214-219.
- Van Lier, J.B., Mahmoud, N., and Zeeman, G., 2008. Anaerobic Wastewater Treatment: Biological Wastewater Treatment: Principles Modelling and Design. Edited by M. Henze, M.C.M. van Loosdrecht, G.A. Ekama, and D. Brdjanovic. ISBN: 9781843391883. IWA Publishing, London, UK. p. 401-441.

- Widjaja,T., Ali Altway, Pritha Prameswarhi, dan Freshnny Sabrina Wattimena., 2008.Pengaruh HRT Dan Beban COD Terhadap Pembentukan Gas Methan Pada Proses Anaerobic Digestion Menggunakan Limbah Padat Tepung Tapioka. Prosiding Seminar Nasional Soebardjo Brotohardjono "Pengolahan Sumber Daya Alam Dan Energi Terbarukan" Surabaya, 18 Juni, ISSN 1978-0427.
- Zaiat, M., Jose´ Alberto Domingues Rodrigues, Eugenio Foresti., 2000. External and internal mass transfer effects in an anaerobic fixed-bed reactor for wastewater treatment. *Process Biochemistry* 35, p.943-949.
- Ziemiński, K., Magdalena, Frąc., 2012. Review: Methane Fermentation Process As Anaerobic Digestion Of Biomass: Transformations, Stages And Microorganisms. *African Journal of Biotechnology* ISSN 1684–5315, Vol. 11(18), pp. 4127-4139.
- Zinatizadeh, A.A.L., A.R. Mohamed., G.D. Najafpour., M. Hasnain Isa., H. Nasrollahzadeh., 2006. Kinetic Evaluation Of Palm Oil Mill Effluent Digestion In A High Rate Up-Flow Anaerobic Sludge Fixed Film Bioreactor. *Process Biochemistry* 41, p. 1038–1046.