

Seeding dan Aklimatisasi pada Proses Anaerob Two Stage System menggunakan Reaktor Fixed Bed

RIZKI AMALIA ANANDA, ETIH HARTATI, SALAFUDIN
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN, FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL

rizkiamaliaananda@yahoo.com

ABSTRAK

Proses anaerob adalah suatu aktivitas pemecahan bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam keadaan tanpa oksigen. Pada proses anaerob perlu adanya seeding dan aklimatisasi agar mikroorganisme dapat menyesuaikan diri. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkondisikan mikroorganisme agar dapat menyesuaikan diri dengan materi organik yang akan diolah yaitu substrat dari sampah organik yang berasal dari Cafeteria Itenas. Pada penelitian ini proses anaerob yang dilakukan menggunakan two stage anaerobic digestion system, dimana pengkondisian substrat berupa penguraian materi organik menjadi asam volatil dilakukan di dalam reaktor hidrolisis, sedangkan seeding dan aklimatisasi dilakukan di reaktor metanogenesis. Parameter yang diperiksa selama seeding dan aklimatisasi adalah pH, temperatur dan COD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas mikroorganisme telah dapat berkembang biak dengan baik dalam waktu 11 hari pada proses aklimatisasi. Selama proses aklimatisasi, fluktuasi penyisihan COD pada hari ke 9 hingga 11 telah relatif konstan yaitu sebesar 10% dan tidak terjadi lagi penurunan. Selama proses aklimatisasi pH berada pada rentang 6,73-8,47 dan temperatur berada pada rentang 28,00°C-30,60°C.

Kata kunci: *proses anaerob, two stage anaerobic digestion system, seeding dan aklimatisasi.*

ABSTRACT

Anaerobic process an activity of microbial breakdown of organic material in order to absence oxygen to environment. Anaerobic processes need seeding and acclimatization process so the microorganism could be adapted. The purpose of this research is to make the microorganism adapt with organic material to be processed is a substrate of organic waste originating from Cafeteria Itenas. The two stage anaerobic digestion system has been conditioned to decomposite the organic matter into volatile acid inside the hydrolisis reactor. Methanogenesis reactor was used to coveral volatile acid into methane and other gases. Seeding and acclimatization was conditioned in second reactor. The parameter that conducted during the seeding and acclimatization is pH, temperature and COD. The research result show that microorganism can be multiplied well in 11 days in acclimatization process. During the acclimatization process, the COD removal at day 9 until day 11 has been relatively constant by 10% and no more decreasing concentration. During acclimatization process pH in range 6.73-8.47 and temperatur 28.00°C-30.60°C.

Keywords: *anaerobic process, two stage anaerobic digestion system, seeding and acclimatization.*

1. PENDAHULUAN

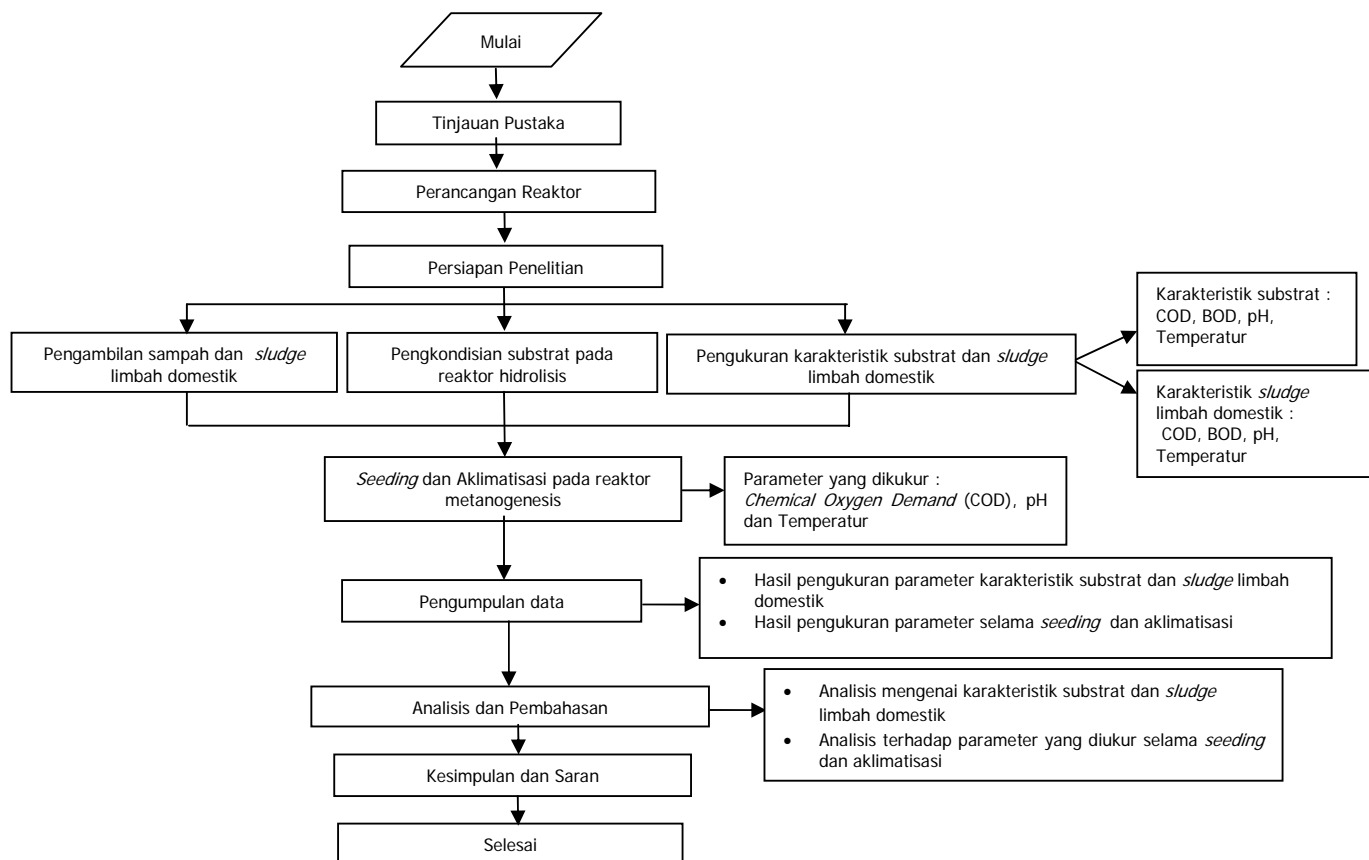
Tahap *seeding* dan aklimatisasi merupakan tahap awal dari proses pengolahan secara biologi. Pengolahan limbah organik sangat ditentukan oleh *seeding* dan aklimatisasi. Proses *seeding* dan aklimatisasi bertujuan agar mikroorganisme yang digunakan dalam proses degradasi beradaptasi terlebih dahulu dengan bahan baku yang akan diolah, sehingga mikroorganisme dapat bekerja secara maksimal (Rahayu, 2011). Tahap *seeding* dilakukan untuk menumbuhkan mikroorganisme anaerob yang akan digunakan untuk penelitian (Indriyanti, 2003). Sedangkan tahap aklimatisasi merupakan tahap mengkondisikan mikroorganisme agar mikroorganisme dapat hidup dan melakukan penyesuaian diri terhadap lingkungan baru (Andary, 2010). *Seeding* dilakukan dengan menambahkan substrat secara bertahap. Penambahan secara bertahap bertujuan agar tidak terjadi *shock loading* terhadap mikroorganisme anaerob yang akan dikembangkan. Sedangkan pada proses aklimatisasi, mikroorganisme tidak diberi nutrisi sampai konsentrasi COD turun yang menandakan telah adanya aktivitas mikroorganisme. Proses aklimatisasi ini dikatakan selesai ketika efisiensi penyisihan COD telah konstan dengan fluktuasi yang tidak lebih dari 10% (Herald, 2010).

Berdasarkan tahapannya di dalam *digester*, pengolahan anaerob dibagi menjadi 2, yaitu *one stage digestion system* dan *two stage digestion system*. *Two stage digestion system* sangat cocok untuk mengolah material organik padat (Srivastava, 1996). Tahap pertama materi organik dalam bentuk padat dihidrolisis oleh mikroorganisme menggunakan air sehingga menghasilkan asam lemak volatil. Selanjutnya, bahan organik dalam bentuk cair dimasukkan ke dalam *digester* lain untuk proses pembentukan gas CH₄ (Srivastava, 1996). Pada tahap pembentukan gas CH₄, mikroorganisme metanogen mengubah asam lemak volatil, sehingga menghasilkan produk berupa gas, terutama gas CH₄ dan CO₂ (Hayes, dkk, 1988). Pengolahan secara *two stage digestion system* ini lebih efisien dalam mempercepat proses fermentasi pada tahap metanogenasi, karena pH pada tahap pembentukan asam akan dipertahankan pada 5,00-6,50 akibat terbentuknya asam lemak volatil. Pada tahap pembentukan gas CH₄ diperlukan adanya penyesuaian pH untuk efisiensi pembentukan metana. Penyesuaian pH tersebut dilakukan dengan cara penambahan bahan kimia. Dengan adanya penyesuaian pH, maka mikroorganisme metanogen akan lebih cepat mencerna materi organik menjadi gas CH₄ (Hayes, dkk, 1988).

2. METODOLOGI

Penelitian ini diawali dengan melakukan studi literatur untuk mencari berbagai informasi tentang *seeding* dan aklimatisasi. Selanjutnya dilakukan proses perancangan reaktor dan pembuatan reaktor. Sampah organik yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari *Cafetaria* Itenas, karena jaraknya yang dekat dengan lokasi penelitian. Selain itu di Kampus Itenas sendiri belum ada pengolahan sampah sehingga dengan adanya penelitian ini diharapkan sampah di Kampus Itenas dapat diolah dengan baik. Sedangkan *strarter* yang digunakan untuk pemicu pertumbuhan mikroorganisme berasal dari *sludge* limbah domestik. *Sludge* limbah domestik ini dipilih karena *sludge* dari limbah domestik telah terkondisi dengan baik oleh mikroorganisme sebagai makanannya dan dapat membantu mempercepat pembentukan gas metan. Pada penelitian ini dilakukan *two stage digestion system*, dimana bahan baku yang digunakan dikondisikan terlebih dahulu di dalam reaktor hidrolisis untuk pembentukan asam lemak volatil. Proses hidrolisis dilakukan dengan cara sampah organik ditambahkan air dengan perbandingan 1:1. Dengan rasio 1:1 substrat akan memiliki rasio C:N:P yang optimal untuk proses anaerob (Liberty, 2008 dalam Khairani, 2015). Setelah substrat terbentuk, kemudian dipindahkan ke dalam reaktor metanogenesis untuk proses *seeding* dan aklimatisasi. *Two stage digestion system* dipilih karena sistem ini dapat

meningkatkan efisiensi proses fermentasi pada tahap metanogenesis, karena adanya pengkondisian substrat terlebih dahulu (Hayes, dkk, 1988). Parameter yang diukur selama *seeding* adalah pH, temperatur dan COD. Pengukuran parameter pH, temperatur dan COD selama *seeding* dilakukan untuk memantau agar substrat yang masuk ke dalam reaktor memenuhi persyaratan untuk dilakukan proses anaerob (Tchobanoglous, 2004). Pada tahap aklimatisasi parameter yang diukur adalah *Chemical Oxygen Demand* (COD). Pengukuran parameter pH, temperatur dan COD selama aklimatisasi dilakukan untuk mengetahui kesiapan substrat untuk dilakukan proses selanjutnya. *Steady state* tercapai apabila fluktuasi nilai COD tidak melebihi 10%, yang artinya mikroorganismenya siap untuk dilakukan proses selanjutnya (Herald, 2010). Tahap penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

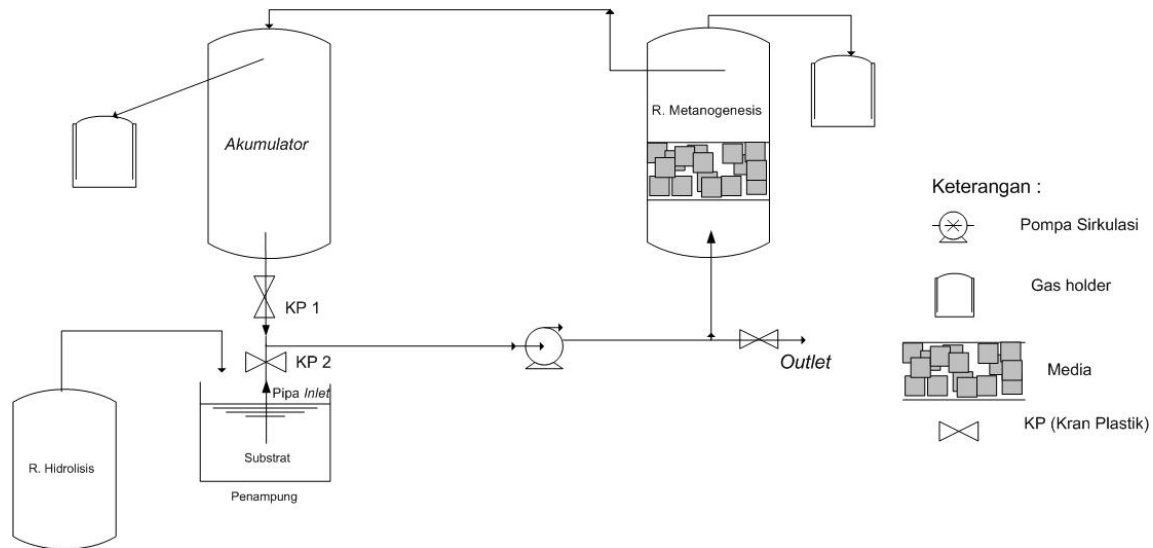
Metode pengukuran parameter pH, temperatur dan COD selama *seeding* dan aklimatisasi dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Metode Pengukuran

No	Parameter	Metode	Referensi
1	COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)	Refluks Tertutup	<i>Standar method for eximinationof and wastewater 5220-C, 2015</i>
2	pH	Potensiometri	SNI 06-6989.11:2004
3	Temperatur	Potensiometri	SNI 06-6989.11:2004

Pengoperasian reaktor diawali dengan memasukkan media yang telah direndam oleh *sludge* limbah domestik melalui bagian atas reaktor metanogenesis. Selanjutnya pada tahap

seeding, substrat dari reaktor hidrolisis dipompakan ke dalam reaktor metanogenesis menggunakan pompa sirkulasi. Penambahan substrat selama *seeding* dilakukan tiga hari sekali dengan peningkatan volume substrat sebesar lima liter untuk setiap penambahan. Setelah volume operasional pada reaktor telah penuh, yaitu 180 L lalu dilakukan proses aklimatisasi. Pada proses aklimatisasi, mikroorganisme tidak diberi nutrisi sampai konsentrasi COD turun yang menandakan telah adanya aktivitas mikroorganisme. Substrat yang diukur selama proses *seeding* merupakan substrat yang berasal dari reaktor hidrolisis, sedangkan substrat yang diukur selama aklimatisasi merupakan substrat yang berasal dari pipa outlet reaktor metanogenesis. Skema reaktor penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Skema Reaktor Penelitian

3. ISI

Tahap awal penelitian adalah melakukan pengukuran karakteristik substrat dan *sludge* limbah domestik. Hasil pengukuran karakteristik substrat dan *sludge* limbah domestik dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Karakteristik *Sludge* Limbah Domestik dan Substrat

No	Parameter	Satuan	Hasil Pengukuran	
			<i>Sludge</i> Limbah Domestik	Substrat
1	BOD (<i>Biochemical Oxygen Demand</i>)	mg/L	9.13,34	1.181,23
2	COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)	mg/L	1.144,00	1.632,00
3	Rasio BOD/COD		0,80	0,72
4	pH		6,86	5,49
5	Temperatur	°C	24,6	25,00

Sumber : Hasil Pengukuran, 2015

Secara umum, mikroorganisme metanogen merupakan mikroorganisme yang sensitif terhadap pH dan mempunyai kisaran pH antara 6,60 hingga 7,60 (Tchobanoglous, 2004). Di atas batas pH ini, penguraian dapat berjalan tetapi dengan efisiensi yang berkurang. Pada pH di bawah 6,20, efisiensi turun sangat cepat dan akan dihasilkan kondisi asam yang dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme metanogen, dengan demikian terlihat bahwa penting sekali agar pH tidak turun di bawah 6,20 (Rahayu, 2011). Hasil pengukuran

menunjukkan *sludge* limbah domestik ini memiliki pH 6,86, hal ini menunjukkan bahwa pH dari *sludge* limbah domestik masih dalam rentang kisaran pH untuk pertumbuhan mikroorganisme metanogen. Sehingga, jika dilihat dari parameter pH, *sludge* limbah domestik dapat dijadikan *starter* untuk proses anaerob. Dari hasil pengukuran substrat memiliki pH 5,49. pH substrat tersebut tidak memenuhi persyaratan nilai pH untuk proses anaerob. Pada penelitian ini proses anaerob yang dilakukan adalah *two stage digestion system* sehingga karakteristik awal ini dilakukan pada substrat yang berasal dari reaktor hidrolisis. Pada reaktor hidrolisis, proses yang terjadi adalah penguraian bahan organik menjadi asam-asam lemak dengan bentuk yang lebih sederhana (Amaru, 2004). Kondisi pH yang optimal untuk tahap ini adalah 5,00-6,00 (Seadi, 2008). Sehingga dari hasil pengukuran karakteristik substrat, pH substrat berada pada rentang pH pada saat proses pembentukan asam-asam organik. pH tersebut akan meningkat dengan adanya aktivitas mikroorganisme.

Laju reaksi biologi akan berjalan optimal pada temperatur 25,00–35,00°C dan menghasilkan pengolahan yang lebih stabil. Peningkatan temperatur umumnya akan meningkatkan produksi biogas (Tchobanoglous, 2004). Hasil pengukuran menunjukkan *sludge* limbah domestik ini memiliki temperatur awal 24,60 °C, menurut Tchobanoglous (2004) temperatur *sludge* limbah domestik ini tidak memenuhi kriteria temperatur optimum untuk proses anaerob. Tetapi untuk parameter temperatur tersebut selama proses anaerob akan meningkat sesuai dengan degradasi bahan organik oleh mikroorganisme. Sedangkan substrat memiliki temperatur sebesar 25,00°C. Temperatur tersebut menurut memenuhi kriteria untuk proses anaerob.

Rasio BOD/COD merupakan indikasi awal dari kemampuan biodegradabilitas suatu bahan. Rasio BOD/COD yang mendekati nol menunjukkan bahwa bahan tersebut mengandung substansi yang bersifat toksik. Jika BOD/COD < 0,60 maka dapat dilakukan pengolahan secara fisik-kimia, namun jika BOD/COD > 0,60 maka dilakukan pengolahan biologi (Tchobanoglous, 2004). Rasio BOD/COD dari *sludge* limbah domestik ini adalah sebesar 0,80, sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pengolahan biologi. Begitu pula dengan substrat yang memiliki rasio BOD/COD sebesar 7,20. Angka tersebut menunjukkan bahwa materi organik yang bersifat *biodegradable* dalam bahan tersebut lebih banyak dibandingkan dengan materi organik *non-biodegradable*, sehingga mikroorganisme yang telah ditumbuhkan tidak akan kekurangan nutrisi.

3.1 Seeding

Tahap seeding dilakukan untuk menumbuhkan mikroorganisme yang digunakan untuk penelitian (Indriyanti, 2003). Pada proses *seeding* ini dilakukan pengukuran beberapa parameter seperti pH, Temperatur, dan COD (*chemical oxygen demand*). Pengukuran parameter tersebut merupakan pengukuran substrat sebelum masuk ke dalam reaktor Metanogenesis. Berikut adalah penjelasan dari setiap parameter yang diukur. Hasil pengukuran parameter selama proses *seeding* ditampilkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Tabel Hasil Pengukuran Selama *Seeding*

Hari Ke-	Substrat dari Reaktor	Volume Penambahan Substrat	pH	Temperatur (°C)	COD (mg/L)
1	RH1	10	6,61	25,00	8571,43
3	RH1	15	6,55	25,00	5714,29
6	RH1	20	6,57	24,10	6190,48
9	RH2	25	6,75	25,90	1428,57
12	RH2	23	6,73	24,90	2857,14
	RH3	7	6,53	24,80	5283,02
15	RH3	35	6,53	25,20	7169,81

Hari Ke-	Substrat dari Reaktor	Volume Penambahan Substrat	pH	Temperatur (°C)	COD (mg/L)
18	RH3	5	6,72	27,10	5283,02
	RH1	35	6,61	25,10	8571,43
21	RH1	5	6,55	25,12	5714,29
Volume Total		180			

Sumber : Hasil Pengukuran, 2015

Keterangan :

RH1 : Reaktor Hidrolisis 1

RH2 : Reaktor Hidrolisis 2

RH3 : Reaktor Hidrolisis 3

pH optimum untuk proses anaerob antara 6,60 hingga 7,60 (Tchobanoglous, 2004). Pada proses *seeding*, pH dijaga agar berada pada rentang pH untuk proses anaerob. Hal tersebut bertujuan agar pertumbuhan mikroorganisme dapat tumbuh secara optimal, sehingga dapat mempercepat proses anaerob. Dari data, terlihat bahwa rentang nilai pH yang masuk ke dalam reaktor metanogenesis adalah 6,53-6,75. Nilai tersebut berada dalam rentang nilai pH optimum untuk proses anaerob. Nilai pH yang masuk ke dalam reaktor metanogenesis dijaga untuk tetap dalam rentang nilai pH optimum untuk proses anaerob, agar mikroorganisme anaerob yang ditumbuhkan dapat berkembang dengan baik.

Untuk menjaga agar pH berada pada rentang 6,60 hingga 7,60, maka dilakukan penambahan larutan alkali (NaOH) ke dalam substrat. Sebelum substrat dimasukkan ke dalam reaktor hidrolisis pH substrat diukur terlebih dahulu, sehingga dapat diketahui kebutuhan larutan alkali. Jika pH yang terukur di bawah 6,00, maka dilakukan penambahan larutan alkali.

Temperatur 25–35°C umumnya mampu mendukung laju reaksi biologi secara optimal sehingga menghasilkan pengolahan yang lebih stabil (Tchobanoglous, 2004). Pada penelitian ini, temperatur substrat berada pada rentang 25°C hingga 27°C. Temperatur tersebut masih dalam rentang temperatur untuk pertumbuhan mikroorganisme pembentuk gas metan. Sehingga temperatur substrat yang dimasukkan pada reaktor metanogenesis dapat digunakan untuk pertumbuhan mikroorganisme selama proses anaerob berlangsung.

Pada proses *seeding* penambahan substrat bertujuan untuk memberi nutrisi pada mikroorganisme agar mikroorganisme bisa tumbuh dan berkembang dengan baik. Pemberian nutrisi ini dilakukan agar mikroorganisme dapat beradaptasi dengan limbah yang akan diolah dalam proses selanjutnya. Pengukuran parameter COD dilakukan untuk melihat apakah nutrisi berupa bahan organik di dalam substrat dapat memenuhi kebutuhan nutrisi untuk tumbuh dan berkembangnya mikroorganisme. Menurut Indriyati (2004) nilai COD yang cocok untuk pengolahan anaerob berkisar antara 2.000 mg O₂/L hingga 20.000 mg O₂/L. Berdasarkan hasil di atas, terlihat bahwa nilai COD substrat dalam kisaran 1.428,57 hingga 8.571,43 mg/L. Konsentrasi tersebut masih masuk ke dalam rentang persyaratan konsentrasi COD untuk proses anaerob. Sehingga dapat dikatakan bahwa materi organik dalam substrat cukup tinggi untuk dapat memberikan makanan berupa nutrisi dalam bentuk materi organik kepada mikroorganisme yang telah ditumbuhkan.

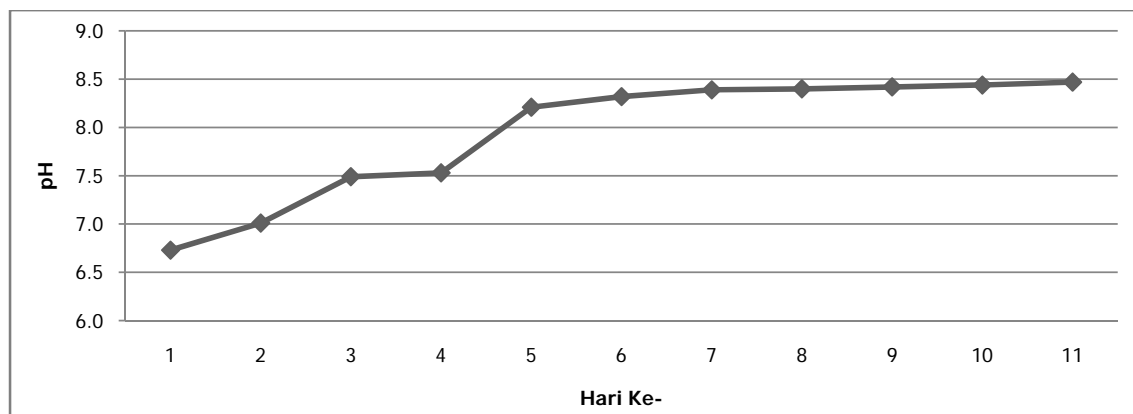
3.2. Aklimatisasi

Tahap aklimatisasi merupakan tahap mengkondisikan mikroorganisme agar mikroorganisme dapat hidup dan melakukan penyesuaian diri terhadap lingkungan baru. Aklimatisasi merupakan proses untuk mengadaptasikan mikroba yang terbentuk dengan bahan organik

yang akan diolah (Andary dkk, 2010). Pada proses aklimatisasi mikroorganisme tidak diberi makan sampai konsentrasi COD turun yang menandakan telah adanya aktivitas mikroorganisme. Diasumsikan mikroorganisme telah menempel dan mulai tumbuh dengan melihat konsentrasi COD turun (Indriyanti, 2003). Proses aklimatisasi ini dikatakan selesai ketika efisiensi penyisihan COD telah konstan dengan fluktuasi yang tidak lebih dari 10% (Herald, 2010). Proses aklimatisasi ini dilakukan selama 11 hari. Dalam proses aklimatisasi ini dilakukan pengukuran beberapa parameter seperti pH, temperatur, dan COD. Berikut adalah penjelasan dari setiap parameter yang diukur.

a. pH

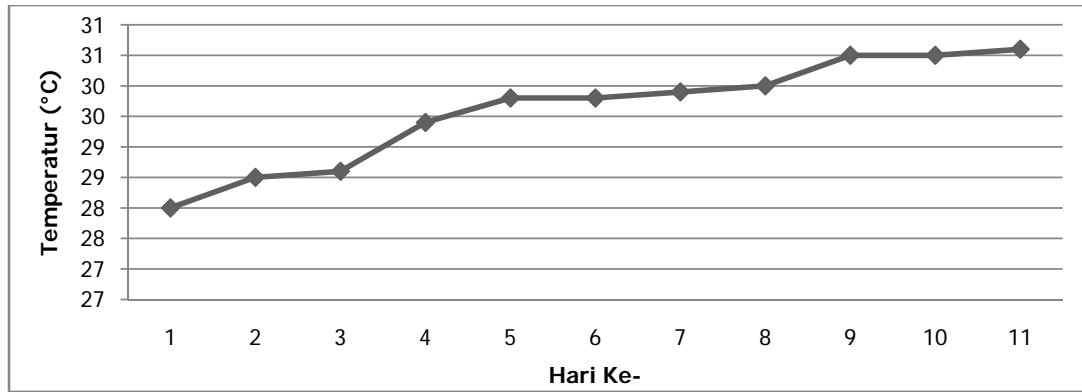
Rentang pH selama proses aklimatisasi adalah 6,73-8,47. Selama proses aklimatisasi pH substrat di dalam reaktor metanogenesis semakin meningkat. Peningkatan pH ini menunjukkan bahwa telah adanya aktivitas mikroorganisme di dalam reaktor metanogenesis. Rentang pH untuk mikroorganisme membentuk gas metan adalah 6,60 hingga 7,60 (Tchobanoglous, 2004). Di atas batas pH ini, penguraian dapat berjalan tetapi dengan efisiensi yang berkurang. Pada pH di bawah 6,20, efisiensi turun sangat cepat dan akan dihasilkan kondisi asam yang dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme metanogen (Rahayu, 2011). pH selama aklimatisasi masih berada pada rentang pH optimum untuk pertumbuhan mikroorganisme anaerob, namun pada hari ke 5 hingga hari ke 11 pH mulai naik menjadi 8. Pada pH di atas pH optimum proses penguraian materi organik akan berjalan, tetapi efisiensinya berkurang, hal ini dibuktikan pada menurunnya konsentrasi COD. Grafik parameter pH selama proses aklimatisasi ditampilkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3 Parameter pH Selama Proses Aklimatisasi

b. Temperatur

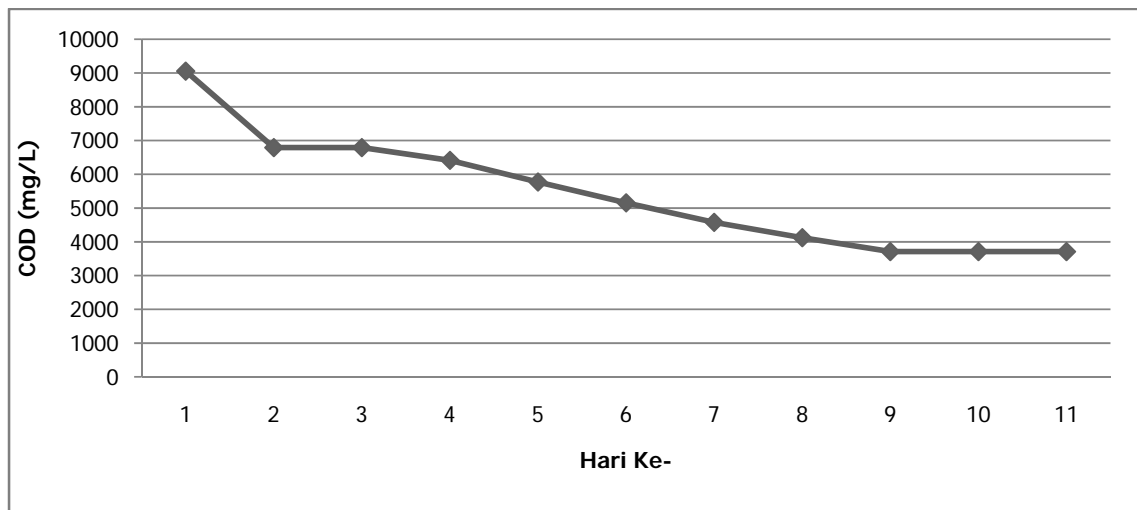
Pada proses aklimatisasi, parameter temperatur dipantau dengan tujuan untuk mengetahui aktivitas mikroorganisme metanogen. Temperatur 25,00–35,00°C umumnya mampu mendukung laju reaksi biologi secara optimal dan menghasilkan pengolahan yang lebih stabil (Tchobanoglous, 2004). Pada temperatur tersebut mikroorganisme metanogen dapat tumbuh dengan baik, dan dapat melakukan fermentasi terhadap materi organik yang ada di dalam sistem. Dari hasil pengukuran, temperatur substrat selama aklimatisasi terus meningkat. Temperatur substrat selama proses aklimatisasi berada pada rentang 28,00°C hingga 30,00°C. Temperatur pada proses aklimatisasi ini menunjukkan bahwa telah adanya aktifitas mikroorganisme metanogen. Grafik parameter temperatur selama proses aklimatisasi dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4 Parameter Temperatur Selama Proses Aklimatisasi

c. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Dalam proses aklimatisasi parameter COD ini sangat berpengaruh. Nilai COD menjadi batas penentu apakah substrat telah *steady state*. Diasumsikan bahwa mikroorganisme mulai tumbuh dengan melihat konsentrasi COD turun. Proses aklimatisasi ini selesai ketika fluktuasi penyisihan COD tidak lebih dari 10% (Herald, 2010). Pada **Gambar 5**, terlihat bahwa penurunan COD pada hari ke sembilan hingga hari ke sebelas telah konstan dan tidak terjadi lagi penurunan. Hal tersebut menunjukkan bahwa mikroorganisme dapat beradaptasi dengan melakukan degradasi materi organik di dalam substrat, sehingga mikroorganisme siap untuk melakukan proses anaerob selanjutnya. Grafik parameter COD selama proses aklimatisasi dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5 Parameter COD Selama Proses Aklimatisasi

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini *seeding* (pembenihan) dilakukan selama 21 hari. Selama *seeding* parameter pH, temperatur dan COD berada pada rentang nilai serta konsentrasi optimum untuk proses anaerob. Proses aklimatisasi dilakukan selama 11 hari. Pada hari ke sembilan hingga hari ke sebelas fluktuasi penyisihan COD telah relatif konstan. Terjadinya peningkatan nilai parameter pH dan temperatur menunjukkan bahwa mikroorganisme telah berkembang

baik dengan baik dan telah beradaptasi dengan bahan baku yang digunakan untuk proses anaerob, sehingga bahan baku yang digunakan telah siap untuk dilakukan proses anaerob selanjutnya.

DAFTAR RUJUKAN

- Amaru, Kharistya. 2004. Rancang Bangun Dan Uji Kinerja Biodigester Plastik Polyethylene Skala Kecil (Studi Kasus Ds. Cidatar Kec. Cisarupan Kab. Garut). Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, Bandung.
- Andary, Antania Hanjani, Oktiawan, Wiharyanto, dan Samudro, Ganjar. 2010. Studi Penurunan COD dan Warna pada Limbah Industri Testil PT. Apac Inti Corpora dengan Kombinasi Anaerob-Aerob Menggunakan UASB dan HUASB. Program Studi Teknik Lingkungan FT Universitas Diponegoro, Semarang.
- Hayes, D. Thomas, Isaacson, H. Ronald, Frank, R. James. 1988. *Production of High Methane Content Product by Two Phase Anaerobic Digestion*. Gas Research Institute, US.
- Herald, Denny. 2010. Pengaruh Rasio Waktu Reaksi Terhadap Waktu Stabilisasi Pada Penyisihan Senyawa Organik Dari Air Buangan Pabrik Minyak Kelapa Sawit Dengan *Sequencing Batch Reactor Aerob*. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas. Sumatera Barat.
- Indriyanti. 2003. Proses Pembenihan (*Seeding*) dan Aklimatisasi pada Reaktor Tipe *Fixed Bed*. Penelitian Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta.
- Khairani, Risma Mustami. 2015. Pemanfaatan Sampah Organik Pasar Sebagai Bahan Baku *Biodigester*. Tugas Akhir Teknik Lingkungan Institut Teknologi Nasional Bandung, Bandung.
- Rahayu, Nawangsari Seril. 2011. Kemampuan *Upflow Anaerobic Fixed Bed* (UAFB) Reaktor dalam Mempertahankan Kondisi Optimum dalam Penyisihan Senyawa Organik Pada *Biowaste* Fasa Cair Tanpa Menggunakan Pengaturan pH. Tesis Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Seadi, Korres Nicholas, O`Kiely, Padraig, A.H. Benzie, John, and S. West, Jonathan. 2008. *Bioenergy Production by Anaerobic Digestion : Using Agricultural Biomass and Organic Wastes*. New York : Routledge.
- Srivastava, J, Vipul. 1996. *Two-Phase Anaerobic Digestion of Carbonaceous Organik Material*. Institute of Gas Technology. US.
- Tchobanoglous, G., H.Theissen,S.A Vigil. 2004. *Integrated Solid Waste Management*, McGraw Hill.USA