

Analisis Pembentukan *Sludge Granular* dari Lumpur Anaerobik Pengolahan Limbah di *Effluent Treatment Plant* PT XYZ

Rhenny Ratnawati^{1)*}, Dewi Agustin²⁾, Shinfi Wazna Auvaria³⁾, Vera Arida⁴⁾

^{1) 2) 3) 4)} Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya

*email: ratnawati@uinsa.ac.id

ABSTRAK

Limbah cair dari proses produksi minyak sawit mengandung bahan organik yang tinggi sehingga pengolahan yang tepat untuk menghilangkan bahan organik adalah dengan proses anaerobik. Di PT XYZ pada proses anaerobik digunakan beberapa jenis reaktor, diantaranya *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), *Expanded Granular Sludge Blanket* (EGSB), *Internal Circulation* (IC) Tank, dan *Super Internal Circulation Tank*. Bakteri yang digunakan umumnya berbentuk *granular* yang lebih cepat mengendap, tetapi pada kondisi lapangan bakteri yang digunakan untuk UASB adalah *sludge powdering* dimana cenderung *washing out*. Hal tersebut dapat menurunkan efisiensi pengolahan air limbah. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pembentukan *sludge granular* dari *sludge powdering* pada reaktor UASB. Metode yang digunakan adalah eksperimental menggunakan reaktor dari gelas beker dengan pengoperasian selama 6 minggu. Digunakan prinsip koagulasi flokulasi dengan penambahan urea 0,3 gr/L/hr sebagai nutrisi bagi bakteri dan FeCl₃ sebagai bahan pengikat. Tahapan penelitian ini diantaranya pengambilan sampel, operasi reaktor, pengamatan, dan pemberian perlakuan kemudian analisis data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaktor UASB tidak terbentuk *sludge granular*, karena *sludge* yang dihasilkan berbentuk flok halus. Penambahan bahan FeCl₃ dan urea membuat nilai pH reaktor naik turun dan cenderung basa mengakibatkan terciptanya kondisi yang tidak optimal bagi aktivitas bakteri pembentuk *granular*. Sehingga belum didapatkan *sludge granular* dari percobaan menggunakan *sludge powdering* UASB dengan reaktor gelas beker.

Kata kunci: anaerobik, limbah industri, *sludge granular*, *sludge powdering*

Analysis of Granular Sludge Formation from Anaerobic Sludge Waste Treatment at the Effluent Treatment Plant of PT XYZ

ABSTRACT

Wastewater from the palm oil production process contains high levels of organic matter, so the appropriate treatment to remove organic matter is anaerobic processing. At PT XYZ, several types of reactors are used in the anaerobic process, including *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), *Expanded Granular Sludge Blanket* (EGSB), *Internal Circulation* (IC) Tank, dan *Super Internal Circulation Tank*. The bacteria used are generally granular in shape, which settle more quickly, but in field conditions, the bacteria used for UASB are *sludge powdering*, which tends to wash out. This can reduce the efficiency of wastewater treatment. The purpose of this study is to analyze the formation of granular sludge from *sludge powdering* in UASB reactors. The method used was experimental using a beaker glass reactor operated for 6 weeks. The principle of coagulation flocculation was used with the addition of 0.3 g/L/hr of urea as nutrients for bacteria and FeCl₃ as a binding agent. The stages of this study included sampling, reactor operation, observation & treatment, and data analysis. The results showed that the UASB reactor did not form granular sludge, because the sludge produced was in the form of fine flocs. The addition of FeCl₃ and urea caused the pH value of the reactor to fluctuate and tend to be alkaline, resulting in conditions that were not optimal for the activity of granular-forming bacteria. Therefore, granular sludge was not obtained from the experiment using UASB *sludge powdering* with a glass beaker reactor.

Keywords: anaerobic, industrial waste, granular sludge, powdering sludge

PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan tanaman *Famili Palmae*, tanaman tersebut berasal dari Amerika (*Brazil*). Di Indonesia tanaman kelapa sawit tumbuh subur bahkan menjadi komoditi terbesar di Indonesia. Kelapa sawit merupakan tanaman yang menghasilkan minyak nabati. Minyak nabati tersebut nantinya akan diproses lebih lanjut dan menghasilkan berbagai produk turunan minyak nabati (Latisya, 2022). Perkembangan kegiatan industri kelapa sawit juga menyebabkan limbah industri bertambah. Limbah tersebut mempunyai komponen pencemar yang berbahaya bagi lingkungan. Jenis pencemar limbah yang berasal dari industri sangat bervariasi tergantung dari jenis dan besarnya industri serta jenis bahan yang digunakan dalam industri tersebut (Azhari, 2024). Salah satu limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan minyak sawit adalah limbah cair yang dikenal dengan istilah *Palm Oil Mill Effluent*

(POME). POME mengandung bahan organik yang tinggi sehingga harus diolah sebelum dibuang ke lingkungan. Jenis bahan organik tersebut diantaranya nilai COD dan BOD yang tinggi, unsur hara seperti nitrogen, phosphor, kalium, dan magnesium, minyak dan lemak, serta nilai pH yang bersifat asam (Sisnayati et al., 2021). Pengolahan secara biologis merupakan metode yang tepat untuk menurunkan kadar beban organik dalam air limbah terlebih secara anaerob.

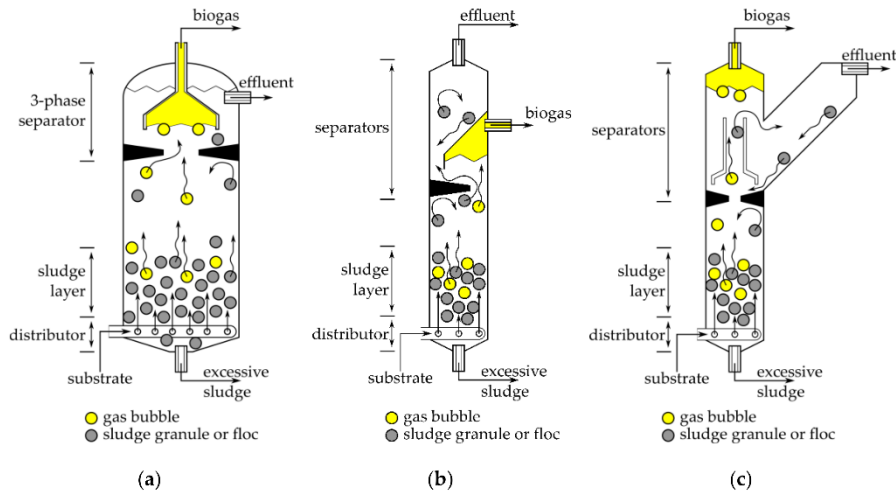
PT XYZ merupakan industri yang bergerak dibidang pengolahan minyak sawit dan juga turunannya. Air limbah yang dihasilkan dari proses produksi akan dialirkan ke departemen *effluent treatment* untuk diolah agar sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan. Pada *effluent treatment plant* di PT XYZ juga digunakan pengolahan secara biologis baik secara anaerobik maupun aerobik. Pada proses anaerobik digunakan beberapa jenis reaktor, diantaranya *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), *Expanded Granular Sludge Blanket* (EGSB), *Internal Circulation tank* (IC Tank), dan Super IC tank. Pada pengolahan aerobik digunakan kolam dengan dilengkapi aerator sebagai penghasil oksigen.

Reaktor UASB adalah digester anaerobik untuk pengolahan air limbah, dengan sistem operasional yang dapat digambarkan dengan pemompaan aliran secara vertikal dengan melalui substrat cair termasuk air limbah atau media pertumbuhan melalui lapisan lumpur anaerobik. Mikroba di dalam lapisan lumpur mengonsumsi komponen yang dapat dicerna sebagai substrat dan menguraikannya menjadi senyawa kimia yang lebih kecil. Dalam pengolahan air limbah, pengolahan secara anaerobik bertujuan untuk menguraikan senyawa organik menjadi bentuk yang lebih sederhana sekaligus menghasilkan biogas yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi (Pererva et al., 2020). Reaktor UASB memiliki kelebihan diantaranya efisiensi pengolahan 70–90%, tidak memerlukan lahan yang luas serta penggunaan energi yang lebih kecil. Penggunaan UASB digunakan untuk berbagai pengolahan air limbah seperti air limbah industri makanan, kertas, industri gula, dan lainnya (Rasyidah, 2023).

Ciri khas reaktor UASB adalah terbentuknya kumpulan mikroba, dimana hasil metabolisme dari satu jenis mikroba dapat dimanfaatkan sebagai makanan oleh jenis mikroba lainnya. Kumpulan mikroba ini kemudian berkembang menjadi granula berbentuk bulat seiring berjalannya waktu. Ukuran granula bervariasi, umumnya antara 0,5 hingga 6 mm, dan semakin lama proses berlangsung maka ukuran granula cenderung semakin besar. Pembentukan granula ini didukung oleh keberadaan mikroorganisme yang menghasilkan Zat Polimerik Eksoseluler (EPS). EPS terdiri atas berbagai senyawa yang berfungsi sebagai perekat untuk menyatukan mikroorganisme sekaligus memberikan kekuatan mekanis pada granula (Liu et al., 2022). Granul dalam proses pengolahan air limbah biologis merupakan agregat mikroba padat yang memungkinkan retensi berbagai mikroorganisme dengan konsentrasi lebih tinggi dalam reaktor biologis dan mengendap dengan kecepatan tinggi (Kosar et al., 2022).

Gabungan antara hubungan trofik antar mikroba dan pengikatan mekanis oleh EPS membuat granula berukuran besar lebih tahan terhadap perubahan mendadak dalam kondisi operasi, seperti perubahan pH, gangguan suhu, peralihan jenis substrat, variasi kekuatan maupun kandungan substrat, serta fluktuasi laju pemberian makan. Namun, dalam beberapa kasus, granula dapat pecah akibat gaya hidrodinamik atau tekanan gas di dalamnya, menjadi fragmen-fragmen kecil yang kemudian dapat berfungsi sebagai inti bagi pembentukan granula baru (Jijai et al., 2015).

Konsep UASB yang dijelaskan pada **Gambar 1**. substrat dipompa ke dalam reaktor melalui sistem distribusi yang mengalirkannya ke lapisan bawah lumpur anaerob. Substrat kemudian tersebar merata di seluruh penampang reaktor dan terdorong ke atas melalui lapisan lumpur, yang disebut “zona pencernaan”. Pada zona ini terjadi penguraian senyawa organik sekaligus pembentukan gas. Selain berfungsi sebagai suplai makanan bagi mikroba, aliran vertikal ke atas juga mencegah lumpur mengendap berlebihan sehingga tetap dalam kondisi tersuspensi. Namun, aliran ini dapat mengangkat keluar biomassa yang belum stabil, seperti mikroorganisme bebas atau flok/granula kecil. Di atas lapisan lumpur terdapat “zona pengendapan”, yang berperan sebagai area klarifikasi vertikal atau kolom koagulasi. Zona ini membantu mempertahankan biomassa dan padatan sebelum proses pemisahan utama berlangsung. Pemisahan akhir dilakukan pada unit khusus yang disebut pemisah Gas-Cair-Padatan (GLSS), atau pemisah tiga fase. GLSS umumnya terletak di bagian atas kolom reaktor dan diawali dengan struktur berbentuk baffle di bagian bawahnya. Baffle tersebut berfungsi mengumpulkan serta mengarahkan gelembung gas ke ruang penampung gas utama, sekaligus mencegah gas ikut terbawa keluar bersama efluen (Trulli & Torretta, 2015).



Gambar 1. Konsep operasional reaktor Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) tradisional: (a) tradisional; (b) dengan pengumpul gas yang dimodifikasi; dan (c) berbentuk Y. Sumber: (Pererva et al., 2020)

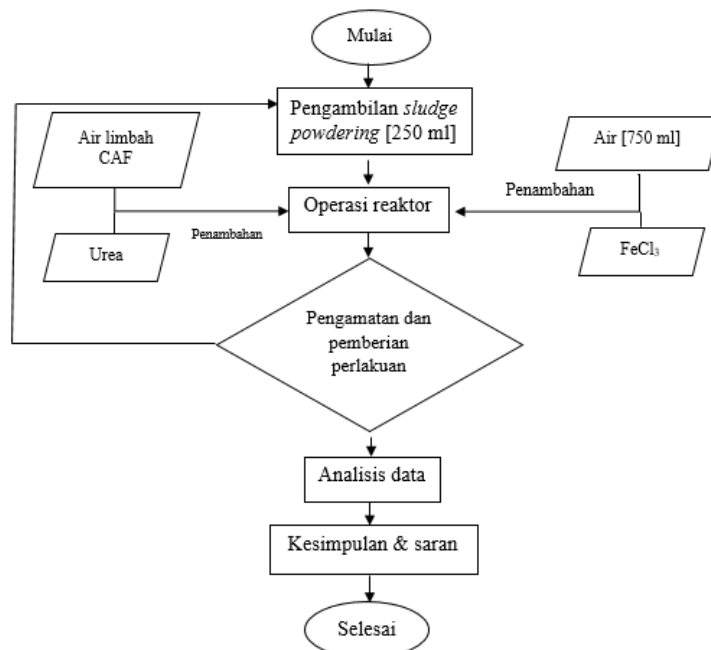
Bakteri dalam pengolahan anaerobik di dalam tangki UASB, EGSB, maupun IC biasanya berbentuk butiran (*granular*). Keuntungan bakteri berbentuk *granular* adalah bentuknya lebih padat daripada air sehingga memudahkan proses pemisahan lumpur dan memungkinkan untuk mengemas lebih banyak lumpur (bakteri anaerobik) di dalam satu tangki (Shameem & Sabumon, 2023). Pembentukan bakteri berbentuk *granular* dipengaruhi oleh komposisi substrat sehingga menghasilkan kumpulan bakteri dengan karakteristik yang berbeda-beda (Hou et al., 2021). Tetapi pada kondisi lapangan, *sludge* yang digunakan pada reaktor UASB berbentuk *powdering* dikarenakan pada saat *sludge granular* dimasukkan ke dalam reaktor UASB kondisi *sludge* menjadi pecah. Lumpur tipe ini memiliki kelemahan berupa kemampuan *settling* yang rendah, aktivitas biologis yang tidak terorganisasi dengan baik, serta cenderung menyebabkan *sludge washout*, yang berdampak pada penurunan efisiensi pengolahan limbah. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pembentukan *sludge granular* dari *sludge powdering* reaktor UASB.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah eksperimental dimana dilakukan percobaan dengan prinsip koagulasi flokulasi. Koagulasi flokulasi yang dilakukan yakni dengan dilakukan penambahan bahan kimia koagulan untuk memancing pembentukan *sludge granular* dengan dilakukan pengadukan secara terus menerus. Analisis ini dilakukan di ruang COD Analyzer ETP PT XYZ Gresik. Waktu penelitian dilakukan selama 6 minggu dari bulan maret-april. Pada analisis ini digunakan alat dan bahan sebagai berikut.

- | | | |
|---------------------------|----------------------|-------------------------|
| 1. Gelas beaker (1000 mL) | 5. Kertas lakmus | 9. Flokulan |
| 2. Hotplate stirrer | 6. Sludge powdering | 10. Air limbah dari CAF |
| 3. Spatula | 7. FeCl ₃ | 11. NaHCO ₃ |
| 4. Pipet tetes | 8. Urea | 12. Air |

Diagram alur mengenai proses analisis pembentukan *sludge granular* dapat dilihat di **Gambar 1**.



Gambar 1. Alur Proses Analisis Pembentukan *Sludge Granular*
(Sumber: Analisis Pribadi, 2025)

Tahapan Penelitian

a. Pengambilan Sampel

Sampel berupa *sludge powdering* diambil dari outlet UASB sebanyak 250 mL. *Sludge* tersebut akan ditampung di gelas beaker sebagai reaktor. Ditambahkan air ke dalam gelas beaker hingga volume sampel menjadi 1000 mL.

b. Operasi Reaktor

Gelas beaker yang telah terisi dengan *sludge* selanjutnya akan dilakukan pengadukan dengan *hotplate stirrer*. Reaktor dijalankan dengan kecepatan awal pengadukan 400 rpm. Ditambahkan FeCl_3 1 tetes sebagai koagulan dengan tujuan membentuk partikel dan juga urea 0,3 gr sebagai nutrisi bagi bakteri. Perlakuan tersebut dilakukan setiap hari dengan tujuan penyesuaian bakteri terhadap lingkungan baru. Secara bertahap dosis penambahan FeCl_3 ditambah menjadi 3-5 tetes, selain sebagai koagulan FeCl_3 juga dapat menurunkan pH saat kondisi reaktor bersifat basa. Pada hari ke-5 mulai ditambahkan air limbah yang berasal dari pengolahan CAF dengan nilai pH 6 sebanyak 10 mL setiap dilakukan pengamatan. Pada minggu ke-2 dilakukan penambahan flokulan sebanyak 1 tetes untuk memancing pembentukan *sludge granular*. Kecepatan pengadukan ditingkatkan menjadi 800 rpm setelah ditambahkan flokulan, tujuannya agar lumpur tidak mengendap dan kontak antar bakteri lebih efektif.

c. Pengamatan & Pemberian Perlakuan

Pengamatan kondisi lumpur dilakukan pada hari senin hingga jumat. Dilakukan uji pH sebelum dan sesudah penambahan FeCl_3 , urea, maupun air limbah dari CAF.

Minggu Pertama

Hasil pada minggu pertama nilai pH sampel adalah 8, setelah penambahan FeCl_3 nilai pH menjadi 7 yang berarti netral. Penambahan air limbah dari CAF bertujuan sebagai makanan bagi mikroorganisme dan juga untuk mengetahui efektivitas bakteri dalam sampel. Setelah ditambahkan air limbah terbentuk buih yang berada di permukaan reaktor yang ditunjukkan di **Gambar 2a & 2b**. Hal tersebut menandakan adanya aktivitas dari mikroorganisme yang menghasilkan ammonia. Setelah dilakukan uji pH, nilai pH pada sampel bernilai 9 yakni basa.



Gambar 2a. Kondisi reaktor minggu pertama



Gambar 2b. Kondisi reaktor minggu pertama

Minggu Kedua

Hasil pada minggu kedua kondisi *sludge* berwarna hitam tidak terdapat perubahan bentuk menjadi flok yang lebih besar. Setelah penambahan flokulan flok bertambah berat dan lebih besar, tetapi karena adanya kecepatan pengadukan yang tinggi flok hancur menjadi flok halus. Nilai pH berkisar di 7,5-8. Berikut merupakan kondisi reaktor di minggu kedua yang dapat dilihat pada **Gambar 3a, Gambar 3b.**



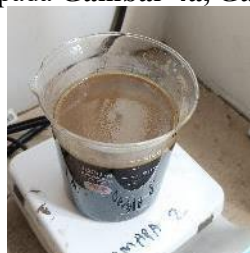
Gambar 3a. Kondisi reaktor minggu kedua



Gambar 3b. Kondisi reaktor minggu kedua

Minggu Ketiga

Pada percobaan minggu ketiga hasil yang didapat belum berubah, kondisi *sludge* belum menjadi flok yang lebih besar. Terdapat *scum* yang mengambang akibat adanya penambahan flokulan dalam air limbah, sehingga *suspended solid* yang di air limbah mengambang ke permukaan sampel. Lumpur berwarna hitam dan tidak dihasilkan bau yang begitu menyengat. Nilai pH sebelum perlakuan bernilai 9, pH setelah perlakuan adalah 8,5. Berikut merupakan kondisi reaktor di minggu kedua yang dapat dilihat pada **Gambar 4a, Gambar 4b.**



Gambar 4a. Kondisi reaktor minggu ketiga



Gambar 4b. Kondisi reaktor minggu ketiga

Minggu Keempat

Pada minggu keempat dikarenakan sampel pada reaktor tidak menunjukkan perubahan apapun sehingga digunakan sampel baru. Sampel tersebut diambil dari IC tank yang terdapat pecahan *sludge granular*. Diambil 600 mL sampel dari IC tank dan ditambahkan air hingga 800 mL. Perlakuan yang dilakukan yakni penambahan FeCl_3 2 tetes, urea 0,85 gr, dan air limbah 200 mL. Kondisi awal sampel pH bernilai netral (7). Kondisi sampel secara visual yakni berwarna coklat, flok yang terbentuk lebih halus, bau yang dihasilkan sangat menyengat. Berikut merupakan kondisi reaktor di minggu kedua yang dapat dilihat pada **Gambar 5a, Gambar 5b.**



Gambar 5a. Kondisi reaktor minggu keempat



Gambar 5b. Kondisi reaktor minggu keempat

Minggu Kelima

Tidak ada perlakuan yang dilakukan pada reaktor

Minggu Keenam

Terdapat scum yang menumpuk di permukaan sampel dikarenakan adanya gas CH_4 yang terperangkap. Bau yang dihasilkan sangat menyengat. Flok yang terbentuk pada sampel tidak menunjukkan perubahan menjadi *granular*, melainkan pecah menjadi flok halus. pH yang dihasilkan bernilai basa karena tidak adanya perlakuan pemberian $FeCl_3$ dan urea sebagai nutrisi. Berikut merupakan kondisi reaktor di minggu kedua yang dapat dilihat pada **Gambar 6a**, **Gambar 6b**.



Gambar 6a. Kondisi reaktor minggu kelima



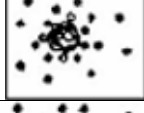




Gambar 6b. Kondisi reaktor minggu kelima

HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan pembentukan *sludge granular* dari *sludge powdering* berlangsung selama ± 6 minggu. Pada minggu pertama terjadi pembentukan flok yang lebih besar berbentuk bulat dengan adanya benang halus. Diindikasikan bahwa benang halus tersebut sebagai filament dari bakteri. Menurut (Ahn, 2001) dalam (Padmono, 2007) model granulasi terjadi dalam beberapa tahapan yang disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Model Granulasi Reaktor UASB

Penampilan	Tingkat	Diameter	Pendekatan kondisi P_{H_2} ($\log P_{H_2}$ atm)
	1. Pertumbuhan filament (asetiklastik) metanogen dan mikroorganisme lain dalam kondisi tekanan parsial hidrogen rendah	Filemen	Rendah (.6)
	2. Efek-efek bridging dan rolling pada pertumbuhan filament metanogen	$<100 \mu m$	↓
	3. Pertumbuhan conglomerate kecil sebagai suatu inti lepas asetogen sintrophik kacau disekitar pemikiran inti	$<1 \text{ mm}$	
	4. Pertumbuhan ganul kecil dengan inti padat, hidrotrop dan asidogen sintrophik kacau di sekitar permukaan ganul kecil	1-2 mm	

	5. Pertumbuhan granul besar dengan struktur lapisan ganda disebabkan akumulasi ekstraseluler polimer oleh hidronotrop	2-5 mm	Tinggi (2,7 ~ 3,7)
---	---	--------	-----------------------

Tabel 1. Model Granulasi Reaktor UASB
(Sumber: Ahn 2001 dalam Padmono, 2007)

Nilai pH yang dihasilkan mengalami fluktuasi yakni pada pH 7-9. Penambahan flokulan juga merupakan alternatif dalam mempercepat proses granulasi. Pada penelitian (Zhou et al., 2024) digunakan kalsium sulfat dan polimer untuk meningkatkan granulasi dalam reaktor UASB dan meningkatkan pembentukan granul (>0,25 mm) dalam 90 hari. Pada minggu kedua hingga minggu ke empat tidak ada perubahan pembentukan, flok yang sebelumnya terbentuk dengan benang halus pecah menjadi flok flok halus. Percobaan tersebut diindikasikan gagal sehingga dibuat sampel baru dari lumpur IC Tank. Dimana pada reaktor IC Tank digunakan *sludge granular* dalam perlakuannya. *Sludge granular* merupakan jenis lumpur anaerobik yang tumbuh hingga berukuran fisik berdiameter 1-3 mm. Keuntungan utama lumpur tersebut adalah lebih padat daripada air yang memudahkan proses pemisahan lumpur dan memungkinkan untuk mengemas lebih banyak lumpur (bakteri anaerobik) di dalam satu tangki (Kosar et al., 2022).

Penggunaan sampel IC Tank bertujuan agar *sludge granular* dapat dijadikan sebagai pancingan untuk bakteri lain saat saling berkontak. Sehingga dari hal tersebut dapat terbentuk *sludge granular*. Karena tidak adanya pemantauan dan perlakuan penambahan urea sebagai nutrisi dan juga FeCl_3 sebagai koagulan kondisi reaktor flok menjadi lebih halus. Kemudian *scum* yang dihasilkan telah memenuhi permukaan reaktor hal tersebut karena terjadi proses metanogenesis dalam reaktor. Dari hasil tersebut sampel dalam reaktor diindikasikan belum berhasil dalam pembentukan *sludge granular*. Berikut merupakan analisis kegagalan dari pembentukan *sludge granular* menggunakan lumpur anaerobik UASB.

Analisis Kegagalan

1) Kontrol reaktor

Kontrol reaktor yang baik merupakan faktor yang sangat penting untuk pembentukan *sludge granular* dari *sludge powdering*. Parameter utama yang memengaruhi kinerja UASB adalah suhu operasi (rezim psikrofilik, mesofilik atau termofilik), pH, HRT, OLR, kecepatan aliran naik. pH yang stabil, mendekati netral, diperlukan untuk mendapatkan lumpur granular berkualitas baik, dengan alkalinitas yang cukup dalam substrat pengumpanan. Suhu optimal untuk bakteri pembentuk asam dapat tumbuh yaitu pada nilai 20-30°C. Pada suhu tersebut terjadi proses hidrolisis, asetogenesis, asidogenesis (Mainardis et al., 2020). Pada tahapan metanogenesis atau pembentukan metana memiliki suhu optimum 35-40°C. Tidak dilakukan pengukuran suhu pada analisis ini, tetapi suhu ruang analisis bernilai 16°C. Hal tersebut dapat mempengaruhi suhu pada reaktor karena suhu dingin menyebar ke seluruh ruangan.

Pengadukan reaktor dengan kecepatan awal yang tinggi dapat menjadi faktor kondisi reaktor yang belum stabil karena dapat mempengaruhi struktur awal bakteri. Dari penelitian Padmono (2007) kecepatan *upflow* reaktor naik secara bertahap, kecepatan awal 0,03 m/jam hingga 12 hari lalu ditingkatkan secara bertahap 0,06 m/jam hingga satu bulan lalu 0,12 m/jam. Pada analisis ini digunakan kecepatan pengadukan 400 rpm, 500 rpm, dan 800 rpm. Untuk pengadukan pada sampel yang berasal dari IC Tank sebesar 980 rpm. Pada variasi pengadukan tersebut didapat pengadukan 400 rpm merupakan pengadukan yang optimal untuk kondisi reaktor. Pengadukan 400 rpm menghasilkan benang-benang halus dan flok yang lebih besar. Nilai pH pada pengadukan 400 rpm tergolong stabil di angka 7-7,5.

2) Waktu proses

Waktu merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi keberhasilan dari pembentukan *sludge granular*. Bakteri yang terdapat dalam *sludge powdering* memerlukan adaptasi saat dipindahkan ke dalam reaktor baru. Bakteri akan menyesuaikan diri dari perubahan pH, suhu, agar metabolisme bakteri berjalan dengan stabil dan dapat bertahan terhadap adanya inhibitor. Saat penyesuaian terjadi, bakteri akan mengalami gaya geser atau kontak antar bakteri yang merupakan faktor pembentukan agregat yang nantinya terbentuk *sludge granular*. Kemudian pengoperasian HRT pada reaktor yang terlalu rendah dapat menyebabkan kehilangan biomassa sehingga mengganggu pembentukan granula pada tahap stabilisasi (Ghosh & Saswati, 2020). Pada analisis ini dilakukan selama ± 6 minggu, dimana pada saat kecepatan pengadukan 400 rpm dilakukan selama 5 hari, kecepatan pengadukan 500 rpm selama 5 hari, dan kecepatan pengadukan

800 rpm selama 4 hari. Pada pengadukan 400 rpm kondisi reaktor menjadi optimal yang ditandai dengan warna sampel yang hitam dan nilai pH yang sesuai yakni 7-7,5.

Pada penelitian terdahulu pembentukan *sludge granular* terjadi dengan waktu yang tidak singkat, penelitian oleh (Rekoyoso et al., 2014) menunjukkan reaktor yang dioperasikan sampai hari ke 287 kondisi lumpur belum menunjukkan adanya pembentukan *sludge granular*. Pada penelitian pembentukan *sludge granular* dari *sludge powdering* dengan kurun waktu \pm 6 minggu percobaan belum didapatkan kondisi reaktor yang stabil dengan ditandai nilai pH yang fluktuasi dan *sludge granular* belum terbentuk. Sehingga diperlukan durasi penelitian yang lebih panjang agar kondisi reaktor tidak fluktuatif.

3) Konsentrasi nutrisi

Menurut (Padmono, 2007) persiapan nutrisi untuk pertumbuhan bakteri merupakan hal yang diperhatikan. Nutrisi yang digunakan pada penelitian pembentukan *sludge granular* dari *sludge powdering* ini adalah urea. Konsentrasi nutrisi yang sesuai sangat penting bagi bakteri untuk bertahan hidup dan melakukan metabolisme. Nutrisi yang digunakan pada analisis ini adalah urea dengan konsentrasi 0,3 gr/L/hr. Kondisi lumpur setelah ditambahkan urea sebagai nutrisi bagi bakteri yakni lumpur tetap berwarna hitam dan tidak merubah nilai pH. Pada penelitian oleh (Rekoyoso et al., 2014) Pada hari ke-288 ditambahkan mikronutrisi sebanyak 1 mL/L dengan komposisi bahan kimia seperti pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Bahan kimia dan konsentrasi dari mikronutrisi

Bahan Kimia	Konsentrasi
FeCl ₂ .4H ₂ O	1,250 mg
MnCl ₂ .4H ₂ O	300 mg
CuCl ₂ .2H ₂ O	20 mg
ZnCl ₂	50 mg
CoCl ₂ .6H ₂ O	80 mg
NiCl ₂ .6H ₂ O	60 mg
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄	60 mg
H ₃ BO ₃	20 mg
Aquadest menjadi liter	

(Sumber: Rekoyoso et al., 2014)

Penambahan nutrisi dilakukan setiap hari, hingga pada hari ke 169 setelah penambahan nutrisi terbentuk *sludge granular* dalam reaktor dengan kondisi visual berwarna hitam kecoklatan. Penambahan mikronutrisi tersebut dapat memicu produksi EPS (*extracellular polymeric substances*) atau lem biologis sehingga dapat terbentuk *sludge granular* (Liu et al., 2021). Sehingga urea sebagai nutrisi yang diberikan kedalam lumpur belum cukup untuk memacu pembentukan *sludge granular*.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari analisis ini adalah pembentukan *sludge granular* dari lumpur anaerobik UASB tipe *powdering* dengan kurun waktu selama \pm 6 minggu tidak menunjukkan adanya perubahan menjadi *sludge granular*. Hal tersebut dikarenakan *sludge* yang dihasilkan berbentuk flok halus. Penambahan bahan FeCl₃ dan urea membuat nilai pH reaktor naik turun dan cenderung basa mengakibatkan terciptanya kondisi yang tidak optimal bagi aktivitas bakteri pembentuk *granular*. Sehingga belum didapatkan *sludge granular* dari percobaan menggunakan *sludge powdering* UASB dengan reaktor gelas beker.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahn. (2001). Physicochemical and microbial aspects of anaerobic granular pellets. *J Environ Sci Health*, A35(9), 1617-35.
- Azhari, F. (2024). Analisis Kualitas Air Limbah Cair Kelapa Sawit Pada Kolam Inlet (Sebelum) Dan Outlet (Sesudah) Di Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal) Di Pt Perkebunan Nusantara Iv Regional 7 Kso Kebun Bekri Lampung Tengah. (*Doctoral Dissertation, Politeknik Negeri Lampung*).
- Ghosh, S., & Saswati, C. (2020). Impacts of hydraulic retention time on granule behaviour and reactor activity during hydrocarbon degradation in aerobic granular reactors (AGRs) with phytotoxicity Biodegradation. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 104963.
- Hou, Y., Gan, C., Chen, R., Chen, Y., Yuan, S., & Chen, Y. (2021). Structural characteristics of aerobic granular sludge and factors that influence its stability: a mini review. *Water*, 13(19), 2726.

- Jijai, S., Srisuwan, G., O-Thong, S., Ismail, N., & Siripatana, C. (2015). Effect of Granule Sizes on the Performance of Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactors for Cassava Wastewater Treatment. *Elsevier B.V.: Amsterdam, The Netherlands, Volume 79*.
- Kosar, S., Isik, O., Akdag, Y., Gulhan, H., Koyuncu, I., Ozgun, H., & Ersahin, M. E. (2022). Impact of seed sludge characteristics on granulation and performance of aerobic granular sludge process. *Journal of Cleaner Production, 363*(132424).
- Latisya, S. (2022). Teknologi Proses Untuk Produksi Biodiesel Berbasis Minyak Kelapa Sawit. *WARTA Pusat Penelitian Kelapa Sawit, 27*(2), 78-91. *WARTA Pusat Penelitian Kelapa Sawit, 27*(2), 78-91.
- Liu, X., Liu, J., Deng, D., Li, R., Guo, C., Ma, J., & Chen, M. (2021). Investigation of extracellular polymeric substances (EPS) in four types of sludge: Factors influencing EPS properties and sludge granulation. *Journal of Water Process Engineering, 40*, 101924.
- Liu, X., Pei, Q., Han, H., Yin, H., Chen, M., Guo, C., & Qiu, H. (2022). Functional analysis of extracellular polymeric substances (EPS) during the granulation of aerobic sludge: Relationship among EPS, granulation and nutrients removal. *Environmental Research, 208*, 11269.
- Mainardis, M., Buttazzoni, M., & Goi, D. (2020). Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Technology for Energy Recovery: A Review on State-of-the-Art and Recent Technological Advances. *Bioengineering (Basel, Switzerland), 7*(2)(43). <https://doi.org/10.3390/bioengineering7020043>.
- Padmono, D. (2007). Granulasi Lumpur Biogas Anaerobik. *Jurnal Teknologi Lingkungan, 8*(2).
- Pererva, Y., Miller, C. D., & Sims, R. C. (2020). Approaches indesign of laboratory-scale UASB reactors. *Processes 8*: 734.
- Rasyidah, A. A. (2023). Pemanfaatan Limbah Sedotan Plastik sebagai Media Lekat dalam Proses Anammox: Utilization of Waste Plastic Straws as Carrier in the Anammox Process. *Jurnal Teknologi Lingkungan, 24*(1), 073-080.
- Rekoyoso, B., Syafrudin, S., & Sudarno, S. (2014). Pengaruh Hydraulic Retention TIME (Hrt) Dan Konsentrasi Influen Terhadap Penyisihan Parameter Bod Dan Cod Pada Pengolahan Limbah Domestik Greywater Artificial Menggunakan Reaktor Uasb. (*Doctoral Dissertation, Diponegoro University*).
- Shameem, K. S., & Sabumon, P. C. (2023). A review on the stability, sustainability, storage and rejuvenation of aerobic granular sludge for wastewater treatment. *Water, 15*(5)(950).
- Sisnayati, S., Dewi, D. S., Apriani, R., & Faizal, M. (2021). Penurunan BOD, TSS, minyak dan lemak pada limbah cair pabrik kelapa sawit menggunakan proses aerasi plat berlubang. *Jurnal Teknik Kimia, 27*(2), 38-45., 27(2), 38-45.
- Trulli, E., & Torretta, V. (2015). Influence of feeding mixture composition in batch anaerobic co-digestion of stabilized municipal sludge and waste from dairy farms. *Environ. Technol., 36*, 1519-1.
- Zhou, N., Xiao, Z., & Chen, D. (2024). Formation/characterization of humin-mediated anaerobic granular sludge and enhanced methanogenic performance. *Bioresource Technology, 399*, 130603.