

Efektivitas Kombinasi Lumpur Aktif dan Natrium Bikarbonat (NaHCO_3) dalam Pengelolaan Limbah Cair Industri Tebu (*Saccharum officinarum* L.)

(Active Sludge dan Sodium Bicarbonate [NaHCO_3] Combination Effectivity in Liquid Waste Management of Sugarcane [*Saccharum officinarum* L.] Industry)

Refky Sanjaya¹⁾, Rijadi Subiantoro^{2)*}, Dedi Supriyatdi²⁾

¹⁾ Program Studi Produksi dan Manajemen Industri Perkebunan Politeknik Negeri Lampung dan ²⁾ Jurusan Budidaya Tanaman Perkebunan Politeknik Negeri Lampung, Jl. Soekarno-Hatta No. 10 Rajabasa, Bandar Lampung, 35144

E-mail: rijadisubiantoro@polinela.ac.id

ABSTRACT

In the sugarcane processing into sugar, it will produce g. About 52,9% of liquias, solid, and liquid waste. About 52,9% of liquid waste cause many problems. If the liquid waste directly discharged into the waters, it will cause pollution of water bodies, as well as air pollution around the river. The objective of this study is to obtain the effective and duration activity of the combination of active sludge and sodium bicarbonate in reducing the sugarcane industry of liquid waste. In this research, liquid waste management is done by aerobicized batch system stagnant in laboratory scale with the descriptive analysis. Biodegradation treatment is given to the liquid waste derived from anaerobic ponds in Bunga Mayang Sugar Mill, North Lampung. The treatment is L_0 = without treatment (control), L_1 = without sludge + 5 g.l⁻¹ sodium bicarbonate, L_2 = 100 ml.l⁻¹ active sludge + 5 g.l⁻¹ sodium bicarbonate. The result showed that application of 100 ml.l⁻¹ active sludge + 5 g.l⁻¹ sodium bicarbonate can increase the pH to 7,85, increase DO to 0,16 mg.l⁻¹, reduce COD to 48,18%, increase sulfide content to 90,44%, increase turbidity to 95,4%, increase the wastewater temperature to 35°C, and the time required is shorter than the conventional anaerobic pools.

Keywords: active sludge, liquid waste, sodium bicarbonate

Diterima: 17 Oktober 2016 / Disetujui: 6 April 2017 / Diterbitkan: 6 Mei 2017

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris dengan iklim tropis. Salah satu komoditas perkebunan yang ditanam di Indonesia sejak kurun waktu yang lama adalah tebu. Luas total areal tebu pada 2014 seluas 479 ribu ha dengan produktivitas hablur 5,4 ton.ha⁻¹ (Khuluq & Mulyaningsih, 2016) dengan rata-rata produktivitas baru mencapai 76,7 ton.ha⁻¹. Pada dekade terakhir, luas perkebunan tebu di Indonesia meningkat dengan pertumbuhan rata-rata per tahun 3,75% (Gunawan *et al.*, 2017).

Proses pengelolaan tebu menjadi gula menghasilkan limbah limbah padat, cair, dan gas. Dari ketiga jenis limbah tersebut, limbah cair sebesar 52,9% merupakan limbah yang banyak

menjadi masalah dalam pengelolaan tebu. Hal tersebut karena jika limbah cair langsung dibuang ke perairan akan menyebabkan pencemaran badan air (sungai), serta pencemaran udara di sekitar sungai. Limbah cair yang akan dibuang ke sungai, apabila tidak dikelola hingga mencapai nilai baku mutu sebelum dibuang ke sungai maka akan menimbulkan pencemaran. Pencemaran sungai seharusnya tidak terjadi, jika menerapkan sistem pengelolaan produksi bersih di pabriknya. Produksi bersih merupakan suatu strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat terpadu agar dapat meminimalkan dampak negatif bagi lingkungan (Kementerian Lingkungan Hidup, 2002). Banyak hal yang harus dilakukan untuk dapat menerapkan sistem produksi bersih.

Salah satu alternatif pengelolaan yang dapat diaplikasikan dalam mengelola limbah adalah pengelolaan secara biologi yang dikenal sebagai biodegradasi. Biodegradasi merupakan suatu proses oksidasi senyawa organik oleh mikroorganisme, baik di tanah, perairan, atau pada instalasi pengelolaan air limbah (Paramita *et al.*, 2012; Zahidah & Shovitri, 2013).

Pengelolaan limbah secara biologi sering dipilih karena membutuhkan jumlah kolam relatif sedikit, waktu tinggal hidrolis (WTH) lebih singkat dan menghasilkan lumpur hasil pengelolaan yang tidak terlalu banyak bila dibandingkan dengan pengelolaan secara kimia atau fisik (Meitiniarti *et al.*, 2008). Proses biodegradasi yang umum dilakukan menggunakan lumpur aktif, yang didefinisikan sebagai suatu proses biologi dalam pengelolaan limbah cair, dengan pencampuran antara limbah cair dengan lumpur aktif. Padatan biologi yang aktif tersebut mengoksidasi limbah.

Bakteri bekerja pada pH kisaran antara 6,3–7,8 dengan pH optimum 7. Penurunan nilai pH setelah proses asidifikasi mencapai nilai pH 6, dapat menghambat aktivitas bakteri. Lingkungan biologi yang mempengaruhi nilai derajat kemasaman limbah cair organik salah satunya adalah aktivitas mikroorganisme. Adanya aktivitas tersebut mengakibatkan terjadinya reaksi penambahan ion OH⁻ sehingga terjadi penambahan nilai pH pada air limbah (Cyio, 2008).

Untuk menetralkan pH dapat menggunakan natrium bikarbonat. alkalinitas bikarbonat pada *range* 2.500—5.000 mg.l⁻¹ sebagai kapasitas penyediaan *buffer* untuk mengatasi kenaikan asam *volatile* dengan kenaikan pH minimal. Alkalinitas dapat dikontrol dengan mengurangi kecepatan umpan atau menambah alkalinitas pada air limbah (Moertinah *et al.*, 2010). Dari latar belakang di atas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai efektivitas kombinasi lumpur aktif dan natrium bikarbonat (NaHCO₃) dalam pengelolaan limbah cair industri tebu.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Politeknik Negeri Lampung. Pelaksanaan penelitian yakni penempatan limbah skala laboratorium di gudang laboratorium dan tahap pengujian dilakukan di Laboratorium Analisis Kimia. Waktu penelitian dilaksanakan pada 28 Oktober sampai dengan 28 November 2015.

Bahan yang digunakan adalah limbah cair tebu *inlet* kolam *anaerob* IPAL Pabrik Gula (PG) Bunga Mayang dan lumpur aktif dari *inlet* kolam *anaerob* IPAL PG Gunung Madu, natrium bikarbonat, H_2SO_4 0,01 N, KMnO_4 0,01 N, Oksalat 0,01 N, pereaksi asam, dan BaCl_2 . Adapun alat yang digunakan yaitu ember, *turbiditymeter*, *spektrofotometer*, DO-meter, *thermometer*, pH meter, *erlenmeyer*, gelas ukur, *hot plate*, set titrasi, neraca analitik, dan tabung reaksi.

Pengelolaan limbah cair secara *aerob* sistem *batch* dikondisikan *stagnant* yang dilakukan skala laboratorium dengan pengujian secara deskriptif. Perlakuan bioremediasi yang diberikan pada limbah cair pengelolaan gula yang berasal dari kolam *anaerob* PG Bunga Mayang, Lampung Utara yakni L_0 = tanpa perlakuan (kontrol), L_1 = tanpa lumpur + 5 g.l^{-1} natrium bikarbonat, dan L_2 = 100 ml.l^{-1} lumpur aktif (Angraeni *et al.*, 2013) + 5 g.l^{-1} natrium bikarbonat.

Pelaksanaan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian, langkah pertama mempersiapkan alat berupa ember plastik dengan ketinggian $\pm 36 \text{ cm}$, diameter $\pm 29 \text{ cm}$, volume $\pm 20 \text{ liter}$ dan diberi kran dengan jarak dari dasar ember $\pm 20 \text{ cm}$. Ember untuk menampung limbah cair tebu dari pabrik sedangkan kran untuk mengambil sampel pengujian.

Lumpur aktif dan natrium bikarbonat mulai ditambahkan ke dalam perlakuan setelah analisis awal *sampel* selesai dilaksanakan, Limbah cair tebu berasal dari *inlet* kolam *anaerob* IPAL PG Bunga Mayang, Lampung Utara adapun lumpur aktif yang digunakan berasal dari *inlet* kolam *anaerob* IPAL PG Gunung Madu, Lampung Tengah. Selanjutnya setelah analisis awal *sampel* selesai, dilakukan pengadukan limbah selama 1 menit masing-masing perlakuan setiap hari. Pengamatan variabel pencemar fisik (suhu, *turbidity*), kimia (COD, DO, pH, sulfur) pada limbah cair tebu setiap 5 hari sekali sebanyak 4 kali pengujian masing-masing sampel pengujian dilakukan 2 kali (*duplo*).

Pengamatan

Limbah yang digunakan dalam penelitian adalah limbah cair tebu dari *inlet* kolam *anaerob* IPAL PG Bunga Mayang, Lampung Utara. Pengelolaan limbah cair secara *aerob* sistem *batch* dikondisikan *stagnant* yang dilakukan skala laboratorium dengan pengujian secara deskriptif. Variabel pengamatan yaitu: fisik (temperatur, *turbidity*), kimia (COD, DO, pH, sulfur). Pengamatan pertama dilakukan pada awal pengambilan *sampel*, kemudian pengamatan selanjutnya dilakukan setiap 5 hari sekali sebanyak 4 kali diulang 2 kali pengujian (*duplo*). Prosedur pengukuran variabel yang diamati adalah:

Derajat kemasaman (pH)

Analisis pengukuran pH limbah cair tebu menggunakan pH meter dengan cara tombol suhu pada alat pengukur pH disesuaikan dengan suhu larutan yang diperiksa. pH meter dikalibrasi menggunakan larutan penyangga pH 7,00 dan pH 4,01. *Elektrode* dibilas dengan air bebas ion dan

dikeringkan dengan tisu sebelum pengukuran setiap sampel/larutan penyangga. *Elektrode* dimasukkan ke dalam sampel (± 25 ml). *Elektrode* dibilas dengan air bebas ion dan dikeringkan menggunakan tisu sebelum pengukuran setiap sampel/larutan penyangga (Agus, 2005).

Dissolved oxygen (DO)

Dissolved oxygen (DO) merupakan oksigen terlarut limbah cair yang diukur menggunakan DO meter dengan cara tombol nilai DO pada alat pengukur DO disesuaikan dengan DO larutan yang diperiksa. DO meter dikalibrasi menggunakan larutan akuades. *Elektrode* dibilas dengan air bebas ion dan keringkan dengan tisu sebelum pengukuran setiap sampel. *Elektrode* dimasukan ke dalam sampel (± 25 ml). *Elektrode* dibilas dengan air bebas ion dan dikeringkan menggunakan tisu sebelum pengukuran setiap sampel.

Chemical oxygen demand (COD)

Analisis pengukuran COD tahap pertama yang dilakukan yaitu larutan pencerna dimasukkan pada labu ukur dengan volume 250 ml kemudian 2,554 gram $K_2Cr_2O_7$, 41,75 ml H_2SO_4 , dan 8,35 gram $HgSO_4$ dimasukkan. Larutan kalium hidrogen ditimbang sebanyak 0,425 gram $C_8H_5KO_4$ selanjutnya larutan standar dibuat dengan menyiapkan akuades pada masing-masing tabung (2,5 ml, 2 ml, 1,5 ml, 1 ml, 0,5 ml, dan 0 ml) dengan penambahan masing-masing larutan kalium hidrogen sebanyak (0 ml, 0,5 ml, 1 ml, 1,5 ml, 2 ml, 2,5 ml) larutan pencerna masing-masing 1,5 ml dan asam sulfat masing-masing 3,5 ml.

Pengukuran COD dilakukan dengan mengambil 2,5 ml sampel yang telah diencerkan kemudian ditambahkan 1,5 ml larutan pencerna dan asam sulfat 3,5 ml. Selanjutnya tabung COD beserta isinya dimasukkan ke dalam *reactor* COD, tekan tombol “ON” pada temperatur 150 ° C, kemudian dibiarkan selama 2 jam.

Setelah 2 jam sampel dipanaskan, kemudian *reactor* COD dimatikan dengan cara menekan tombol “OFF”, kemudian tabung COD didinginkan. Larutan COD yang telah didinginkan dapat diukur menggunakan *spectrofotometer* dengan $A_0 = 32.504$, $A_1 = 2985$ dan panjang gelombang 600 (abs). Adapun prosedur sebagai penggunaan *spectrofotometer* sebagai berikut:

1. *Spectrofotometer* dihubungkan ke sumber arus
2. *Spectrofotometer* dinyalakan dengan menekan tombol “ON” pada main *spectrofotometer*.
3. Tampilan program akan muncul dan memberitahukan bahwa proses inisiasi sedang berlangsung, tunggu hingga proses selesai ditandai dengan munculnya warna hijau dan tertulis status *ready*.
4. *Spectrofotometer* perlu ditunggu sekitar 15 menit untuk pemanasan, setelah itu *spectrofotometer* siap digunakan.
5. Panjang gelombang diatur pada tingkat tertentu.

6. Kuvet dimasukkan setelah dilap dengan kertas tisu, sisi kuvet yang terang menghadap lubang cahaya dari *spectrofotometer*.
7. Setelah selesai, *kuvet* dikeluarkan dan dibersihkan dari pelarutnya kemudian keringkan.
8. *Spectrofotometer* dimatikan dengan mengklik tombol “OFF” pada *main unit spectrofotometer*.

Pengukuran kadar sulfida

Analisis pengukuran sulfida langkah pertama yaitu menyiapkan larutan standart sulfat 0,01 M (1,814 gram K_2SO_4 kering dilarutkan dalam 1 liter akuades) kedua NaCl – HCl (60 gram NaCl dilarutkan dalam 200 ml air kemudian 5 ml HCl pekat ditambahkan dan diencerkan hingga 250 ml) kemudian campuran gliserol dan ethanol dengan perbandingan 1 volume gliserol 2 volume ethanol (Lestari *et al*, 2013).

Langkah percobaan dengan dilakukan dengan menyiapkan 6 labu takar dengan volume 25 ml kemudian masing- masing labu takar tuangkan sampel yang telah diencerkan sebanyak 2 kali pengenceran sebanyak 0,125 ml, 0,250 ml, 0,375 ml, 0,500 ml, 0,625 ml, 0,750 ml dengan standar larutan 8,7 ppm, 17,4 ppm, 26,1 ppm, 34,8 ppm, 43,5 ppm, 52,2 ppm. Sebanyak 2,5 ml NaCl-HCl dimasukkan lalu 5 ml larutan gliserol-ethanol diencerkan sampai tanda tera dengan akuades. Sebanyak 0,75 g $BaCl_2$ dimasukkan dan langsung ditutup lalu dikocok selama 1 menit. Larutan blanko tanpa larutan standar sulfat dan larutan analat disiapkan dengan perlakuan yang sama seperti larutan standar dengan 2 kali pengulangan, $A_0 = 0.9441$, $A_1 = 203.81$, dan panjang gelombang 432 (abs). Prosedur pengukuran kadar sulfida dengan *spectrofotometer* sama dengan prosedur pengukuran COD.

Turbidity (kekeruhan)

Analisis pengukuran *turbidity* limbah cair tebu menggunakan *turbidity meter* dengan cara nilai *turbidity* pada alat pengukur *turbidity* disesuaikan dengan *turbidity* larutan yang diperiksa. *turbidity* meter dikalibrasi menggunakan larutan *water quality checker*. *Elektrode* dibilas dengan air bebas ion dan dikeringkan dengan tisu sebelum pengukuran setiap sampel. *Elektrode* dimasukkan ke dalam sampel (± 25 ml) baca setelah mantap. Bilas *elektrode* dengan air bebas ion dan dikeringkan menggunakan tisu sebelum pengukuran setiap sampel.

Temperatur

Analisis pengukuran suhu limbah cair tebu menggunakan *thermometer* dengan cara nilai suhu pada alat pengukur suhu disesuaikan dengan suhu larutan yang diperiksa. *Elektrode* dibilas dengan air bebas ion dan dikeringkan dengan tisu sebelum pengukuran setiap sampel. *Elektrode* dimasukan ke dalam sampel (± 25 ml) baca setelah mantap. *Elektrode* dibilas dengan air bebas ion dan dikeringkan menggunakan tisu sebelum pengukuran setiap sampel.

Cara pengambilan sampel di kolam

Pengambilan sampel limbah pada kolam *anaerob* yang diawali penentuan titik-titik pengambilan sampel air limbah pada *influent* dan *effluent*. Jika saluran terlalu lebar, titik pengambilan sampel dibuat dengan jarak ± 2 m, dan setiap titik tersebut dilakukan pengambilan sampel yang diturunkan dari permukaan air limbah sampai ke dalam ± 100 cm. Pengulangan dilakukan sebanyak 3 kali, kemudian dimasukkan ke dalam ember untuk dilakukan komposit. Setelah diaduk rata, lakukan pengambilan sampel yang ada di ember dengan derigen sampel sampai penuh (tidak ada rongga udara), kemudian tutup rapat. Jerigen sampel selanjutnya disimpan kemudian diberi pendingin. Selama perjalanan ke laboratorium pendingin tetap terjaga.

Analisis Data

Dalam proses analisis, data yang diperoleh dihitung kemudian rata-rata ulangan pengujian perlakuan dibandingkan terhadap nilai analisis awal dan baku mutu limbah Cair tebu kemudian dihitung persentase nilai reduksi setiap perlakuan terhadap polutan limbah cair tebu yang dilakukan setiap 5 hari sekali dengan 4 kali pengujian. Data yang diperoleh disajikan dalam bentuk grafik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

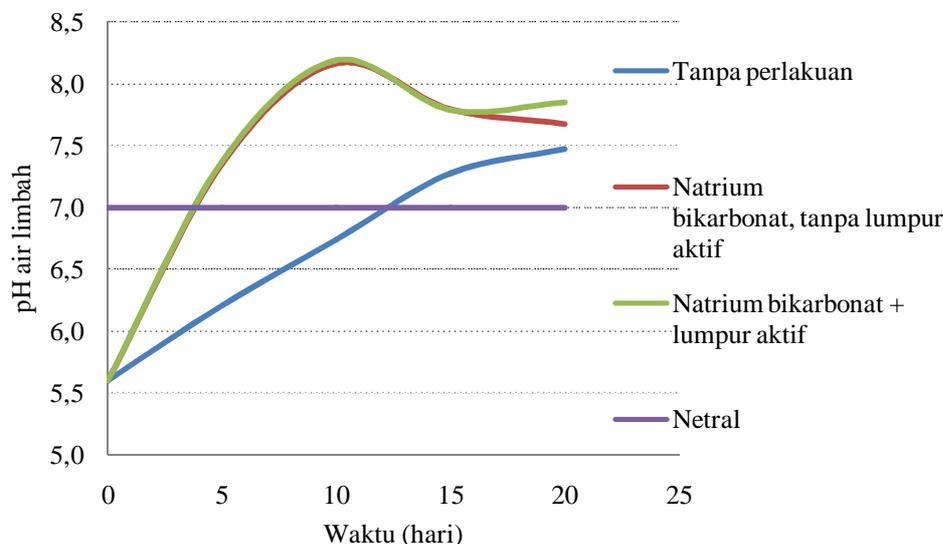
Derajat Kemasaman (pH)

Nilai pH merupakan ukuran keasaman atau kebasaan air limbah. Air yang tidak tercemar memiliki nilai pH 7, sifat air tergantung pada besar kecilnya pH. Air yang memiliki nilai pH lebih kecil dari pH normal akan bersifat asam, sedangkan nilai pH lebih besar dari pH normal akan bersifat basa. Air limbah yang bersifat asam akan menghambat aktivitas mikroorganisme karena mikroorganisme bekerja pada pH antara 6,3– 7,8. Gambar 1 merupakan hasil pengamatan nilai derajat kemasaman pH setelah pemberian lumpur aktif dan natrium bikarbonat.

Gambar 1 menunjukkan bahwa perubahan pH mulai terlihat pada hari ke-5 hingga hari ke-20. Derajat kemasaman air limbah mengalami perubahan yang bervariasi, Pada hari ke-5 nilai derajat kemasaman limbah cair tanpa perlakuan, pemberian natrium bikarbonat dan pemberian natrium bikarbonat + lumpur aktif secara berurutan mencapai 6,21, 7,35, dan 7,37 kemudian pada hari ke-10 nilai derajat kemasaman bertambah tinggi mencapai 6,74, 8,16, dan 8,19 selanjutnya pada hari ke-15 nilai derajat kemasaman berfluktuasi secara berurutan mencapai 7,27, 7,79, dan 7,79. Pada hari ke-20 nilai derajat kemasaman sedikit mengalami perubahan dibandingkan pengamatan sebelumnya yaitu mencapai 7,47, 7,67, dan 7,85.

Berdasarkan hasil pengamatan pada Gambar 1, secara umum tampak pada setiap waktu pengamatan mengalami perubahan. Rerata nilai derajat keasaman (pH) sebelum perlakuan adalah 5,5—5,6, namun seiring dengan lama tinggal air limbah maka akan mengalami proses degradasi polutan yang dilakukan oleh mikroorganisme. Rendahnya derajat keasaman (pH) awal air limbah

kolam *anaerob* PG Bunga Mayang dibawah baku mutu menyebabkan aktivitas mikroorganisme terhambat dan kurang optimal dalam melakukan aktivitasnya merombak bahan organik .



Gambar 1. Hasil pengamatan pH air limbah setiap 5 hari selama percobaan

Pada Gambar 1, perlakuan dengan penambahan natrium bikarbonat menunjukkan nilai derajat kemasaman (pH) berkisar antara 7,3—8,1 sesuai dengan nilai baku mutu air limbah industri gula yaitu 6,0—9,0 (Kementerian Lingkungan Hidup, 2014). Perubahan nilai pH karena natrium bikarbonat merupakan alkali natrium yang paling lemah, mempunyai pH 8,3 dalam larutan air dengan konsentrasi 0,85% (Asmadi *et al.*, 2009). Berbeda dengan kondisi sebelumnya, limbah cair tanpa perlakuan menunjukkan peningkatan pH mencapai baku mutu air limbah namun proses dalam peningkatan tersebut jauh lebih lambat jika dibandingkan dengan kondisi derajat kemasaman pH pada limbah yang diberi perlakuan dengan penambahan natrium bikarbonat.

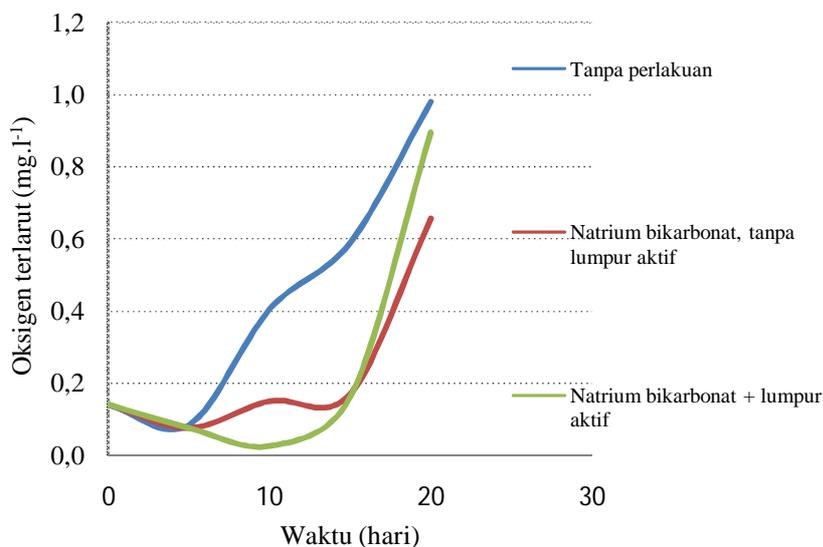
Tingkat kemasaman limbah cair tidak terlepas dari pengaruh lingkungan biologi, salah satunya adalah aktivitas mikroorganisme. Tingkat kemasaman limbah cair sebelum perlakuan berkisar antara 5,5—5,6. Dengan rendahnya pH, aktivitas mikroorganisme khususnya bakteri perombak bahan organik akan terhambat. Sesuai dengan pendapat Cyio (2008), bahwa adanya aktivitas tersebut mengakibatkan terjadinya reaksi penambahan atom OH⁻ sehingga terjadi penambahan nilai pH pada air limbah. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Amin *et al.* (2016), yaitu bahwa tingkat keasaman juga dapat dijadikan acuan terhadap kandungan amonia (NH₃⁺) maupun amonium (NH₄⁺) pada suatu limbah. Apabila nilai pH suatu limbah rendah maka yang dominan adalah ammonium (NH₄⁺), sebaliknya bila nilai pH tinggi yang dominan dalam limbah tersebut adalah ammonia (NH₃⁺). Apabila nilai pH kurang dari 6 aktivitas mikroorganisme akan terhambat dalam mereduksi polutan yang terdapat dalam limbah cair organik.

Dissolved Oxygen (DO)

DO merupakan jumlah oksigen terlarut dalam miligram yang terdapat dalam satu liter air. DO umumnya berasal dari difusi udara melalui permukaan air, air hujan, proses fotosintesis plankton atau tumbuhan air. DO merupakan parameter penting karena dapat digunakan untuk mengetahui gerakan massa air serta merupakan indikator yang peka bagi proses kimia maupun biologi.

Hasil pengamatan mengenai limbah cair organik pada kolam *anaerob* PG Bunga Mayang menunjukkan kadar DO yang rendah ($0,14 \text{ mg.l}^{-1}$). Kondisi limbah cair *anaerob* kurang mendukung adanya kehidupan mikroorganismenya (Widiastuti *et al.*, 2015) sehingga perlu penanganan khusus untuk memenuhi kebutuhan oksigen yang dibutuhkan mikroorganismenya dalam mereduksi polutan yang terdapat dalam limbah cair organik kolam *anaerob* PG Bunga Mayang. Gambar 2 merupakan hasil pengamatan DO setelah pemberian lumpur aktif dan natrium bikarbonat.

Jumlah DO limbah cair tidak terlepas dari pengaruh lingkungan biologi. Tampak pada Gambar 2, terjadi perubahan setelah pemberian lumpur aktif dan natrium bikarbonat mulai hari ke-5 hingga hari ke-20 DO air limbah mengalami perubahan yang bervariasi. Pada hari ke-5 DO pada perlakuan limbah cair tanpa perlakuan, pemberian natrium bikarbonat dan pemberian natrium bikarbonat + lumpur aktif secara berurutan mencapai $0,085$, $0,075$, dan $0,075 \text{ mg.l}^{-1}$. Pada hari ke-10 nilai DO sedikit mengalami perubahan dibandingkan pengamatan sebelumnya hanya mencapai $0,405$, $0,025$, dan $0,150 \text{ mg.l}^{-1}$. Selanjutnya pada hari ke-15 nilai DO berfluktuasi yaitu mencapai $0,290$, $0,160$, dan $0,170 \text{ mg.l}^{-1}$. Terakhir pada hari ke-20 nilai DO bertambah tinggi secara berurutan mencapai $0,980$, $0,655$, dan $0,895 \text{ mg.l}^{-1}$.



Gambar 2. Hasil pengamatan oksigen terlarut air limbah setiap 5 hari selama percobaan

Hasil pengamatan menunjukkan jumlah DO pada limbah cair organik kolam *anaerob* PG Bunga Mayang (Gambar 2) berfluktuasi, kadar DO berfluktuasi setiap hari tergantung pada pencampuran dan pergerakan massa air, jumlah dan aktivitas mikroorganisme, serta respirasi dalam air limbah. Peningkatan suhu 1 °C akan meningkatkan konsumsi oksigen oleh mikroorganisme sebesar 10 mg.l⁻¹.

Berdasarkan hasil pengamatan jumlah DO dalam limbah organik kolam *anaerob* instalasi pengelolaan air limbah P.G. Bunga Mayang pada masing-masing perlakuan, menunjukkan adanya perbedaan setiap interval waktu pengamatan. Jumlah oksigen terlarut tertinggi yaitu kondisi limbah *anaerob* tanpa perlakuan (0,290 mg.l⁻¹), sedangkan jumlah DO terendah yakni limbah *anaerob* dengan perlakuan penambahan lumpur aktif dan natrium bikarbonat (0,160 mg.l⁻¹).

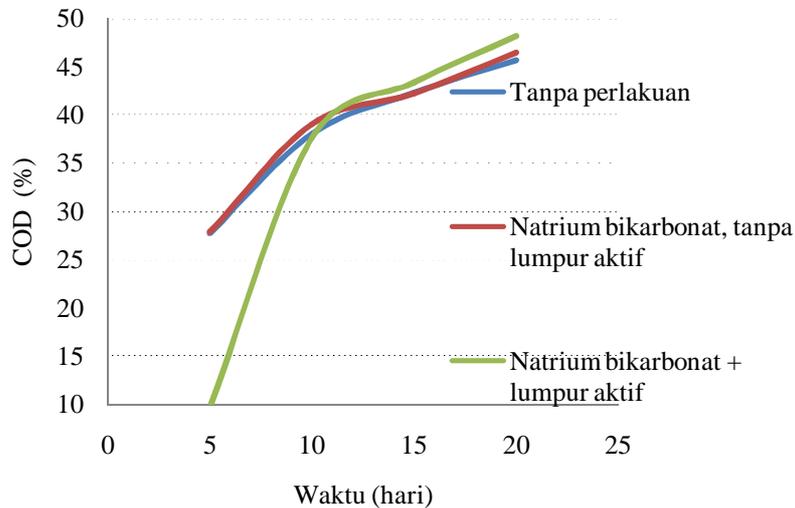
Adanya perbedaan jumlah DO disebabkan oleh jumlah mikroorganisme yang bekerja pada masing-masing perlakuan dalam mendegradasi bahan organik limbah cair *anaerob*, tingginya jumlah DO tanpa perlakuan karena jumlah dan aktivitas mikroorganisme dalam mereduksi polutan lebih rendah dibanding limbah cair *anaerob* dengan penambahan natrium bikarbonat dan lumpur aktif, kondisi ini yang menyebabkan adanya perbedaan, karena limbah cair *anaerob* yang diberi perlakuan menunjukkan aktivitas mikroorganisme yang tinggi dalam mereduksi polutan limbah organik. Meningkatnya jumlah dan aktivitas mikroorganisme akan mengakibatkan tingginya konsumsi oksigen yang dibutuhkan dalam mereduksi polutan limbah cair organik, sehingga DO dalam limbah menjadi lebih rendah dibanding tanpa perlakuan. Hal ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Angraeni *et al.* (2013), semakin besar volume lumpur yang digunakan maka akan berbanding lurus dengan jumlah mikroba dalam limbah organik. Hasil ini didukung oleh Tururaja & Moge (2012) yang menyatakan bahwa kebutuhan DO air limbah semakin meningkat seiring dengan aktivitas mikroorganisme yang semakin meningkat dalam mereduksi bahan organik air limbah, Pemberian oksigen pada lumpur aktif menyebabkan terjadinya biosintesis dan biodegradasi. Terjadinya proses biosintesis mengakibatkan peningkatan lumpur aktif dan terjadinya biodegradasi yang mengakibatkan bahan organik terurai menjadi CO₂, NO₃, SO₄, dan PO₄.

Chemical Oxygen Demand (COD)

COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mereduksi zat-zat organik yang terdapat dalam limbah cair dengan memanfaatkan oksidator kalium dikromat sebagai sumber oksigen. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat organik yang secara alamiah, dapat direduksi melalui proses biologis dan dapat menyebabkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air. Berikut hasil pengamatan persentase reduksi COD setelah perlakuan dapat dilihat pada Gambar 3.

Berdasarkan pengamatan, data yang dihasilkan menunjukkan oksigen yang dibutuhkan dalam mereduksi zat-zat organik masih terlampaui tinggi dari baku mutu yang diharapkan. Nilai

rerata COD sebelum perlakuan pada limbah organik kolam *anaerob* 1897 mg.l⁻¹, oleh sebab itu perlu pengelolaan lebih lanjut mengenai instalasi pengelolaan air limbah PG Bunga Mayang. Gambar 3 merupakan hasil pengamatan persentase reduksi COD setelah perlakuan.



Gambar 3. Reduksi (*removal*) COD air limbah setiap 5 hari selama percobaan

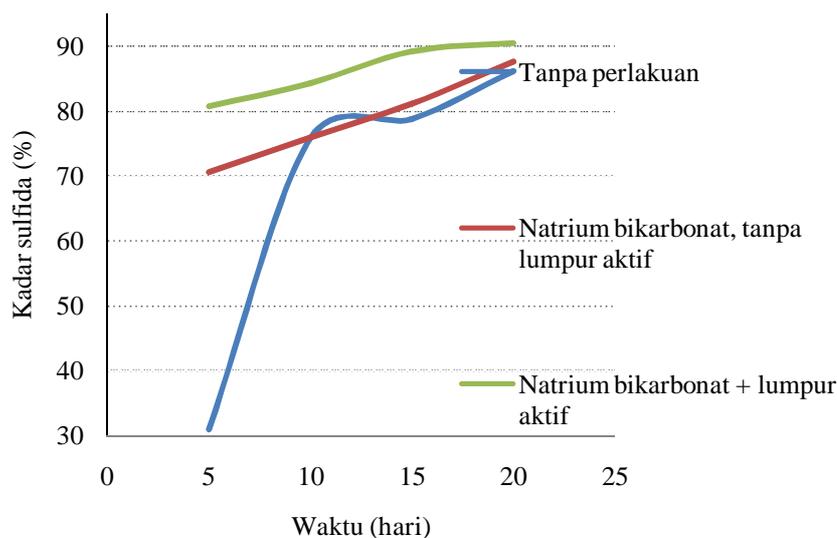
Gambar 3, menunjukkan bahwa adanya peningkatan tingkat penurunan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mereduksi zat-zat organik yang terdapat dalam limbah cair organik kolam *anaerob* PG Bunga Mayang. Perlakuan berpengaruh mulai hari ke-5 hingga hari ke-20, nilai COD hari ke-5 pada perlakuan limbah cair tanpa perlakuan, pemberian natrium bikarbonat dan pemberian natrium bikarbonat + lumpur aktif mengalami peningkatan nilai reduksi secara berurutan mencapai 27,7%, 27,8%, dan 9,6% pada hari ke lima ini tampak nilai reduksi terendah pada perlakuan dengan pemberian natrium bikarbonat dan lumpur aktif. Rendahnya nilai reduksi tersebut disebabkan adanya jangka waktu yang belum memadai untuk proses adaptasi mikroorganisme, baik yang berasal dari limbah maupun lumpur aktif pada perlakuan yang diaplikasikan. Kemudian pada hari ke-10 persentase nilai reduksi COD bertambah tinggi yaitu mencapai 38,0%, 39,0%, dan 37,6% tampak pada hari ke-10 nilai reduksi COD semakin meningkat, meskipun demikian persentase nilai reduksi pada perlakuan yang diberikan natrium bikarbonat dan lumpur aktif lebih rendah dibanding perlakuan lainnya, selanjutnya pada hari ke-15 persentase nilai reduksi COD semakin meningkat seiring dengan waktu tinggal yaitu mencapai 42,3%, 42,2%, dan 43,4% persentase nilai reduksi COD tertinggi pada perlakuan dengan pemberian natrium bikarbonat dan lumpur aktif, terindikasi bahwa mikroorganisme yang terdapat dalam limbah maupun lumpur aktif telah merespon adanya natrium bikarbonat dan terakhir pada hari ke 20 nilai COD berbanding lurus dengan waktu tinggal yakni persentase nilai reduksi semakin pesat yaitu mencapai 45,6%, 46,5%, dan 48,1% tentunya pada hari ke-20 persentase nilai reduksi COD tertinggi pada perlakuan dengan pemberian natrium bikarbonat dan lumpur aktif.

Dari ketiga perlakuan di atas selama 20 hari setelah perlakuan, persentase nilai reduksi COD tertinggi pada perlakuan dengan penambahan natrium bikarbonat dan lumpur aktif mencapai 48% (983 mg.l^{-1}), Hal ini disebabkan pH limbah *anaerob* netral karena adanya penambahan natrium bikarbonat sebanyak 5 g.l^{-1} sehingga mikroorganisme maksimal dalam melakukan aktivitasnya mereduksi polutan limbah organik kolam *anaerob* ini. Berbeda dengan limbah cair yang diberi perlakuan, limbah tanpa perlakuan mengalami peningkatan nilai reduksi COD namun nilai reduksinya hanya mencapai 45%, nilai ini masih dibawah persentase nilai reduksi COD limbah yang ditambahkan natrium bikarbonat dan lumpur aktif.

Perbedaan persentase nilai reduksi ini karena adanya jumlah mikroorganisme yang terdapat dalam limbah cair, tingginya persentase nilai reduksi COD pada limbah cair yang diberi perlakuan disebabkan oleh jumlah mikroorganisme yang terkandung dalam lumpur aktif yang ditambahkan kedalam limbah cair *anaerob*, dengan tingginya jumlah mikroorganisme pereduksi polutan maka akan berbanding lurus dengan tingginya persentase nilai reduksi COD limbah cair organik kolam *anaerob*.

Kadar Sulfida

Sulfida adalah suatu ion dari sulfur, merupakan toksikan yang dihasilkan oleh industri penyamakan kulit, penggilingan minyak, industri gula dan beberapa industri lainnya. Sulfida merupakan salah satu gas yang berbahaya, menempati kedudukan kedua setelah hidrogen sianida (HCN) dengan tingkat racun yang sangat tinggi lima sampai enam kali lebih beracun dari karbon monoksida. Gambar 4, merupakan hasil pengamatan persentase reduksi sulfida setelah perlakuan.



Gambar 4. *Removal* kadar sulfida air limbah setiap 5 hari selama percobaan

Rerata kadar sulfida pada limbah cair organik kolam anaerob instalasi pengelolaan air limbah PG Bunga Mayang sebelum perlakuan masih cukup tinggi 71 mg.l^{-1} , sehingga perlu adanya perlakuan khusus untuk mengurangi kadar sulfida yang terdapat dalam limbah cair supaya tingkat pencemaran yang disebabkan oleh toksikan sulfida berkurang hingga mendekati nilai baku mutu air limbah industri gula sebesar $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$ (Kementerian Lingkungan Hidup, 2014).

Tampak pada Gambar 4, mulai hari ke-5 hingga hari ke-20 terjadi reduksi kadar sulfida yang tinggi. Pada hari ke-5 persentase nilai reduksi kadar sulfida pada perlakuan limbah cair tanpa perlakuan, pemberian natrium bikarbonat dan pemberian natrium bikarbonat + lumpur aktif secara berurutan mencapai 30,9%, 70,6%, dan 80,7%, sehingga awal pengamatan yang amat baik karena dalam jangka waktu yang singkat kadar sulfida dalam air limbah dapat diturunkan dengan $>50\%$, hal ini dapat terjadi karena adanya aktivitas mikroorganisme yang sangat aktif dalam mereduksi kadar sulfida, terjadinya aktivitas mikroorganisme tersebut tak terlepas dari jumlah dan kondisi lingkungan mikro limbah cair.

Pada awal pengamatan persentase nilai reduksi tertinggi mencapai 80,7% terindikasi bahwa pH netral pada limbah setelah ditambahkan natrium bikarbonat mendukung lingkungan sejumlah mikroorganisme yang terdapat dalam limbah maupun lumpur aktif yang ditambahkan sehingga aktivitas berlangsung maksimal kemudian pada hari ke-10 persentase nilai reduksi kadar sulfida bertambah tinggi mencapai 75,6%, 75,9%, dan 84,2%. Pada hari ke-15 persentase nilai reduksi semakin meningkat yaitu mencapai 78,7%, 81,1%, dan 89,1% serta terakhir pada hari ke-20 persentase nilai reduksi kadar sulfida mengalami penurunan dibandingkan pengamatan sebelumnya yaitu mencapai 86,1%, 87,6%, dan 90,4%.

Ketiga perlakuan tersebut pada waktu 20 hari setelah perlakuan mengalami peningkatan persentase nilai reduksi kadar sulfida yang amat baik. Dari ketiga perlakuan di atas, persentase nilai reduksi kadar sulfida tertinggi mencapai 90,44% ($6,80 \text{ mg.l}^{-1}$) yaitu pada perlakuan L_2 dengan penambah natrium bikarbonat dan lumpur aktif sedangkan persentase nilai reduksi kadar sulfida terendah hanya mencapai tingkat penurunan sebesar 86,13% ($9,86 \text{ mg.l}^{-1}$) yaitu pada kondisi limbah tanpa perlakuan.

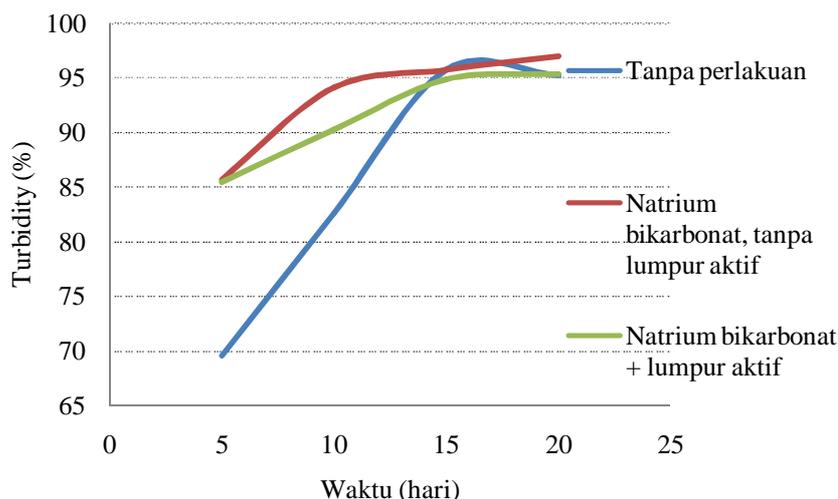
Perbedaan persentase nilai reduksi kadar sulfida pada limbah cair organik kolam anaerob instalasi pengelolaan air limbah (IPAL) PG Bunga Mayang disebabkan adanya perbedaan jumlah mikroorganisme yang terdapat dalam air limbah, persentase nilai reduksi kadar sulfida tertinggi yaitu pada perlakuan L_2 dengan penambah natrium bikarbonat dan lumpur aktif karena kondisi limbah yang diberi natrium bikarbonat memiliki pH netral sehingga aktivitas mikroorganisme yang terkandung dalam lumpur aktif cenderung stabil dan lebih optimal dalam mendegradasi kadar sulfida limbah cair organik kolam anaerob instalasi pengelolaan air limbah (IPAL) PG Bunga Mayang.

Turbidity (Kekeruhan)

Kekeruhan merupakan sifat fisik air yang menyebabkan air tidak produktif, karena menghalangi masuknya sinar matahari untuk fotosintesa. Kekeruhan ini disebabkan air mengandung begitu banyak partikel tersuspensi sehingga merubah bentuk tampilan menjadi berwarna dan kotor. Gambar 5, merupakan hasil pengamatan *turbidity* air limbah setelah perlakuan.

Limbah cair organik kolam *anaerob* instalasi pengelolaan air limbah PG Bunga Mayang sebelum perlakuan memiliki tingkat kekeruhan berkisar antara 200—220 NTU. Berdasarkan hasil pengamatan tingkat kekeruhan limbah cair organik kolam anaerob PG Bunga Mayang, setelah perlakuan terlihat pada Gambar 5, terjadi peningkatan nilai reduksi kekeruhan.

Meskipun dari ketiga perlakuan tersebut mengalami peningkatan nilai reduksi kekeruhan, tetapi peningkatan nilai reduksi kekeruhan yang berbeda antara masing-masing perlakuan. Besarnya tingkat reduksi kekeruhan pada limbah cair dapat dilihat pada Gambar 5. Tingkat kekeruhan pada hari ke-5 hingga hari ke-20 mengalami peningkatan nilai reduksi yang tinggi. Pada hari ke-5 peningkatan nilai reduksi kekeruhan pada limbah cair tanpa perlakuan, pemberian natrium bikarbonat dan pemberian natrium bikarbonat + lumpur aktif secara berurutan mencapai 69,5, 85,7, dan 85,4%, kemudian pada hari ke-10 peningkatan nilai reduksi kekeruhan bertambah tinggi yaitu tingkat kekeruhan mencapai 82,6, 94,1, dan 90,2%. Pada hari ke-15, peningkatan nilai reduksi kekeruhan mencapai 95,7, 95,7, dan 94,8%. Pada hari ke 20, nilai reduksi kekeruhan mengalami peningkatan dan penerunan dibandingkan pengamatan sebelumnya mencapai 95,2, 97,0, dan 95,3 %.



Gambar 5. Hasil pengamatan *turbidity* air limbah setiap 5 hari selama percobaan

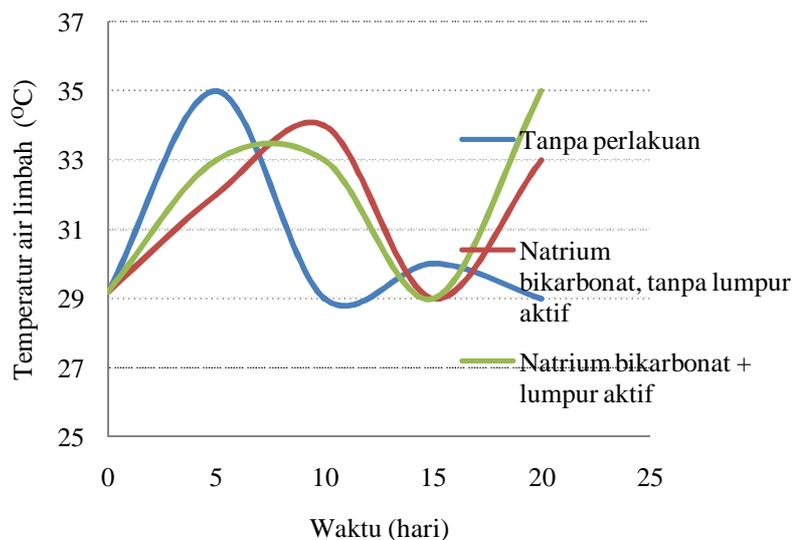
Tingkat nilai reduksi kekeruhan tertinggi mencapai 97% pada limbah dengan perlakuan penambahan 5 g.l⁻¹ natrium bikarbonat tanpa penambahan lumpur, nilai reduksi kekeruhan terendah hanya mencapai 95,2% pada limbah tanpa perlakuan. Sedangkan limbah dengan perlakuan penambahan 5 g.l⁻¹ natrium bikarbonat dan 100 ml.l⁻¹ lumpur aktif memberikan nilai reduksi kekeruhan mencapai 95,4% dibanding limbah cair kolam anaerob instalasi pengelolaan air limbah PG Bunga Mayang tanpa perlakuan.

Perbedaan tingkat reduksi kekeruhan pada limbah cair organik PG Bunga Mayang menunjukkan adanya pengaruh perlakuan yang diberikan, tingkat reduksi kekeruhan dipengaruhi oleh adanya penambahan natrium bikarbonat yang fungsinya bukan hanya menaikkan pH melainkan dapat mengendapkan dan memisahkan logam-logam berat dalam limbah cair, sehingga limbah cair dengan penambahan lumpur sebanyak 100 ml.l⁻¹ + 5 g.l⁻¹ natrium bikarbonat dan limbah cair tanpa perlakuan menunjuk nilai 95,4% (10,1—10,5 NTU) sedangkan perlakuan dengan penambahan 5 g.l⁻¹ natrium bikarbonat tanpa pemberian lumpur aktif menunjukkan tingkat reduksi yang maksimal yakni mencapai 97% (6,58 NTU).

Temperatur

Suhu merupakan variabel pengamatan yang penting, karena efek yang ditimbulkannya terhadap reaksi kimia, laju reaksi, aktivitas mikroorganisme di dalam limbah cair. Meningkatnya suhu limbah cair akan menyebabkan menurunnya jumlah oksigen terlarut dalam air limbah. Tampak pada Gambar 6, hari ke-5 keadaan temperatur limbah cair pada perlakuan limbah cair tanpa perlakuan, pemberian natrium bikarbonat dan pemberian natrium bikarbonat + lumpur aktif mencapai 35 °C, 32 °C, dan 33 °C pada pengamatan pertama yakni hari kelima keadaan temperatur berada pada keadaan yang amat baik, karena perkembangan mikroorganisme dalam melakukan aktivitasnya membutuhkan temperatur berkisar antara 32—36 °C, sehingga kondisi tersebut masih dalam keadaan optimum namun seiring bertambahnya waktu tinggal limbah cair yang diamati pada hari ke-10 keadaan suhu yaitu mencapai 29 °C, 34 °C, dan 33 °C.

Suhu mengalami perubahan pada perlakuan dengan pemberian natrium bikarbonat dan tanpa perlakuan hal ini disebabkan adanya perbedaan kondisi lingkungan mikro limbah dan jumlah mikroorganisme yang terdapat dalam limbah cair maupun lumpur aktif (Sudaryati, *et al.*, 2007) Pada hari ke-15 keadaan suhu yaitu mencapai 30 °C, 29 °C, dan 29 °C. Terakhir pada hari ke-20 keadaan suhu limbah cair yaitu mencapai 29 °C, 33 °C, dan 35 °C. Pengamatan hari ke-20 kondisi suhu tertinggi pada limbah cair dengan perlakuan pemberian natrium bikarbonat dan lumpur aktif, keadaan ini disebabkan oleh pH air dalam keadaan netral karena adanya penambahan natrium bikarbonat kemudian berbanding lurus dengan penambahan jumlah mikroorganisme yang berasal dari lumpur aktif sehingga aktivitas mikroorganisme berlangsung secara maksimal yang menyebabkan terjadinya peningkatan suhu air limbah.



Gambar 6. Pengamatan suhu pada interval waktu yang menjadi perlakuan

Berdasarkan hasil pengamatan suhu pada limbah cair kolam *anaerob* instalasi pengelolaan air limbah PG Bunga Mayang setelah perlakuan dapat dilihat pada Gambar 6. Kondisi suhu terlihat pada Gambar 6, menunjukkan bahwa suhu pada air limbah berfluktuasi. Adanya perbedaan suhu dapat disebabkan oleh faktor eksternal dan internal limbah (Effendi, 2002), faktor eksternal berupa kondisi iklim makro dan mikro tempat penempatan limbah sedangkan faktor internal yang mempengaruhi suhu pada air limbah adalah laju aktivitas mikroorganisme mereduksi bahan organik dalam limbah cair kolam *anaerob* instalasi pengelolaan air limbah PG Bunga Mayang.

Pada perlakuan dengan penambahan natrium bikarbonat dan lumpur aktif tampak bahwa suhu selama 20 hari setelah perlakuan mencapai 35 °C menunjukkan aktivitas mikroorganisme yang tinggi dalam mereduksi bahan organik limbah, pada perlakuan dengan penambahan natrium bikarbonat tanpa penambahan lumpur aktif menunjukkan aktivitas yang sama positifnya yakni mencapai 33 °C sedangkan pada limbah tanpa perlakuan mengalami penurunan yakni hanya mencapai 29 °C. Dengan adanya penurunan suhu terindikasi bahwa aktivitas mikroorganisme dalam mereduksi bahan organik air limbah cair kolam *anaerob* instalasi pengelolaan air limbah PG Bunga Mayang rendah. Sesuai dengan pernyataan Hammer (2012) yang menyatakan bahwa pengaruh temperatur untuk pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri adalah terhadap proses kerja enzim yang berperan dalam sintesis bahan-bahan organik terlarut dalam limbah cair. Temperatur optimal dalam proses lumpur aktif untuk pertumbuhan bakteri adalah 32—36 °C .

Setelah dilakukan penelitian, mengenai efektivitas kombinasi lumpur aktif dan natrium bikarbonat (NaHCO_3) dalam pengelolaan limbah cair industri tebu. Masing-masing parameter pencemar yang telah dijabarkan di atas mulai dari pH, DO, COD, Sulfida, *Turbidity*, Temperatur sangat berkaitan erat dalam mempengaruhi tingkat reduksi polutan limbah cair. *Chemical Oxygen*

Demand (COD) merupakan parameter penting dalam pengelolaan limbah cair karena berkaitan erat dengan jumlah keseluruhan oksigen yang dibutuhkan dalam mengurai bahan-bahan organik yang ada dalam air limbah. Jika bahan-bahan organik dalam air limbah berkurang maka kebutuhan oksigen untuk merombak bahan organik akan berkurang namun jumlah oksigen yang terlarut dalam air limbah bertambah karena aktivitas mikroorganisme semakin berkurang. Untuk meningkatkan persentase nilai reduksi COD ada Keterkaitan masing-masing parameter pencemar lain dalam mempengaruhi tingkat reduksi polutan karena adanya kondisi yang saling berhubungan.

Mulai dari tingkat kemasaman air limbah yakni pH, jika air limbah tersebut memiliki tingkat kemasaman yang normal, aktifitas mikroorganisme dalam limbah cair akan meningkat. Meningkatnya aktifitas mikroorganisme akan mempengaruhi suhu air limbah, sedangkan menurut Hammer (2012), temperatu mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme, terutama terhadap proses kerja enzim yang berperan dalam sintesis bahan-bahan organik terlarut dalam limbah cair. Adanya peningkatan aktivitas mikroorganisme akan mengurangi jumlah DO. Jika DO tak mencukupi atau lebih sedikit maka suplay oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme dalam beraktivitas pun kurang optimal. Tinggi rendahnya DO air limbah dipengaruhi oleh pencampuran dan pergerakan massa air, jumlah dan aktivitas mikroorganisme, dan sinar matahari sebagai faktor utama terjadinya fotosintesis serta respirasi dalam air limbah. Jika kondisi air limbah keruh akan menyebabkan air limbah tidak produktif, sehingga mikroorganisme kurang optimal dalam beraktivitas maka kadar polutan limbah cair tersebut seperti sulfida akan sulit terurai, sedangkan kita ketahui sulfida merupakan salah satu gas yang berbahaya, menempati kedudukan kedua setelah hidrogen sianida (HCN) dengan tingkat racun yang sangat tinggi lima sampai enam kali lebih beracun dari karbon monoksida.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan, pengujian dan pembahasan mengenai penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kombinasi penggunaan 100 ml.l⁻¹ lumpur aktif + 5 g.l⁻¹ natrium bikarbonat dapat meningkatkan pH menjadi 7,85, DO menjadi 0,16 mg.l⁻¹, mereduksi COD mencapai 48,18%, kadar sulfida mencapai 90,44%, *turbidity* mencapai 95,4%, dan meningkatkan suhu air limbah kolam anaerob PG Bunga Mayang menjadi 35 °C. Waktu yang dibutuhkan bagi aktivitas lumpur aktif dan natrium bikarbonat dalam mereduksi polutan limbah cair kolam anaerob hingga mendekati nilai baku adalah 20 hari.

DAFTAR PUSTAKA

Agus, F. (2005). Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. Bogor: Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian.

- Amin, A., Sitorus, S., & Yusuf, B. (2016). Pemanfaatan limbah tongkol jagung (*Zea mays* L.) sebagai arang aktif dalam menurunkan kadar amonia, nitrit dan nitrat pada limbah cair industri tahu menggunakan teknik celup. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 13(2), 78-84.
- Anggraeni, D., Sutanhaji, A. T., & Rahadi, B. (2014). Pengaruh volume lumpur aktif pada proses lumpur aktif stabilisasi kontak. *Jurnal Sumber Daya Alam dan Lingkungan*, 1(3), 6-12.
- Asmadi, Endro, S., & Oktiawan, W. (2011). Pengurangan chrom (cr) dalam limbah cair industri kulit pada proses tannery menggunakan senyawa alkali $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH dan NaHCO_3 (studi kasus PT. Trimulyo Kencana Mas Semarang). *Jurnal Air Indonesia*, 5(1), 41-54.
- Cyio, M. B. (2008). Efektivitas bahan organik dan tinggi genangan terhadap perubahan Eh, Ph, dan status Fe, P, Al terlarut pada tanah ultisol. *Jurnal Agroland*, 15(4), 257-263.
- Effendi, M. S. (2002). Kinetika fermentasi asam asetat (vinegar) oleh bakteri *Acetobacter aceti* B 127 dari etanol hasil fermentasi limbah cair pulp kakao. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 13(2), 125-135.
- Gunawan, B., Pratiwi, Y. I., & Saadah, T. T. (2017). Study Of Liquid Organic Fertilizer Tech Nano In The Rate Of Increase In Growth Beginning Cuttings Bagal Plant Cane Ps-881. *JHP17: Jurnal Hasil Penelitian*, 2(01), 62-67.
- Hammer, M.J. (2012). *Water and wastewater technology. 7th ed.* United States: Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2002). Program penilaian peringkat kinerja perusahaan. Kep/Menlh/Nomor 127/Tahun 2002.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2014). Baku mutu air limbah bagi industri gula. Kep/Menlh/Nomor 05/Tahun 2014.
- Khuluq, A. D., & Mulyaningsih, S. (2016). Pertumbuhan dan produktivitas tebu pada beberapa paket tata tanam di lahan kering. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 44(2), 211-220.
- Lestari, L. C., Widyaswari, A., & Arif, Z. (2013). Penentuan Kadar Sulfat Menggunakan Turbidimetri. Jawa Barat: Institut Pertanian Bogor.
- Meitiniarti, V. I., Soetarto, E. S., Sugiharto, E., & Timotius, K. H. (2008). Optimum concentration of glucose and Orange II for growth and decolorization of Orange II by *Enterococcus faecalis* ID6017 under static culture. *Microbiology Indonesia*, 2(2), 73-78.
- Moertinah, S., Yuliasuti, R., & Yuliasni, R. (2010). Peningkatan kinerja lumpur aktif dengan penambahan karbon aktif dalam pengolahan air limbah industri tekstil pewarnaan dengan zat warna indigo & sulfur. *Jurnal Riset Industri*, 4(1), 23-33.
- Paramita, P., Shovitri, M., & Kuswyasari, N. D. (2012). Biodegradasi Limbah Organik Pasar dengan Menggunakan Mikroorganisme Alami Tangki Septik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 1(1), E23-E26.
- Paramita, P., Shovitri, M., & Kuswyasari, N. D. (2012). Biodegradasi Limbah Organik Pasar dengan Menggunakan Mikroorganisme Alami Tangki Septik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 1(1), E23-E26.

- Sudaryati, N. L. G., Kasa, I. W., & Suyasa, I. W. B. (2007). Pemanfaatan sedimen perairan tercemar sebagai bahan lumpur aktif dalam pengolahan limbah cair industri tahu. *ECOTROPHIC: Jurnal Ilmu Lingkungan*, 3(1), 21-29.
- Widiastuti, H., Prakoso, H. T., Suharyanto, & Siswanto. (2016). Optimasi pengomposan tandan kosong kelapa sawit menggunakan dekomposer bakteri lignoselulolitik skala komersial. *Menara Perkebunan*, 83(2), 60-69.