

PERHITUNGAN NERACA MASSA UNTUK INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH TERPADU

Hj. Hasmawaty. AR
Dosen Universitas Bina Darma.
Jalan Jendral Ahmad Yani No. 12, Palembang
Pos-el: cathie_adam@yahoo.co.id

Abstract. *Industry area planning should have the integrated Waste Water Treatment Plant (WWTP). So that, the experiment is having a goal to get the WWTP model which fits to similar industry area, just like an agro industry. The treatment process which have been planned contains; pre, primary, and secondary. The variable (unit) that is used for treatment is efficient and effective, and standard of waste water for industry plan has to consider the Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No 18 Tahun 2005. The finishing WWTP is using mass balance calculation, and the parameter which is analyzed from output, such as Q, TSS, and BOD. The plan model of integrated- WWTP for agro industry area is considered as a way expand the environmental science in anticipating the waste water from agro industry, in order to keep the river. From the calculation, it is 87,16 mg/L in TSS result, and 32,19 mg/L in BOD.*

Key word : pre treatment, primary treatment, secondary treatment

Abstrak. Perencanaan kawasan industri seharusnya mempunyai Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) terpadu. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan mendapatkan model IPAL terpadu yang cocok untuk kawasan industri sejenis seperti industri agro. Tahapan *treatment* yang direncanakan terdiri dari; *pre, primary, dan secondary*. Variabel (unit) *treatment* dipilih yang paling efisien dan efektif. BMLC untuk rencana industri harus mengacu peraturan Gubernur Sumatera Selatan No. 18 Tahun 2005. Penyelesaian dengan perhitungan neraca massa, dan parameter yang dianalisis dari *output* IPAL, seperti Q, TSS, dan BOD. Diharapkan model rancangan IPAL terpadu untuk kawasan industri agro dapat sebagai pengembangan ilmu pengetahuan lingkungan dalam mengantisipasi air limbah industri agro, agar kelestarian sungai tetap terjaga. Hasil perhitungan, mendapatkan TSS sebesar 87,16 mg/L dibawah ambang batas BMLC industri yaitu sebesar 200 mg/L. BOD sebesar 32,19 mg/L sedangkan BMLC industri untuk BOD diizinkan 100 mg/L. TSS dihasilkan dari *sludge dewatering* sebesar 724,48 mg/L per hari yang ditampung pada *sludge removal facilities*.

Kata kunci : pre treatment, primary treatment, secondary treatment

1. PENDAHULUAN

Air limbah dari kawasan industri yang harus diwaspadai adalah berupa air limbah bersifat organik maupun anorganik yang berasal keluaran IPAL industri-industri agro. Jenis

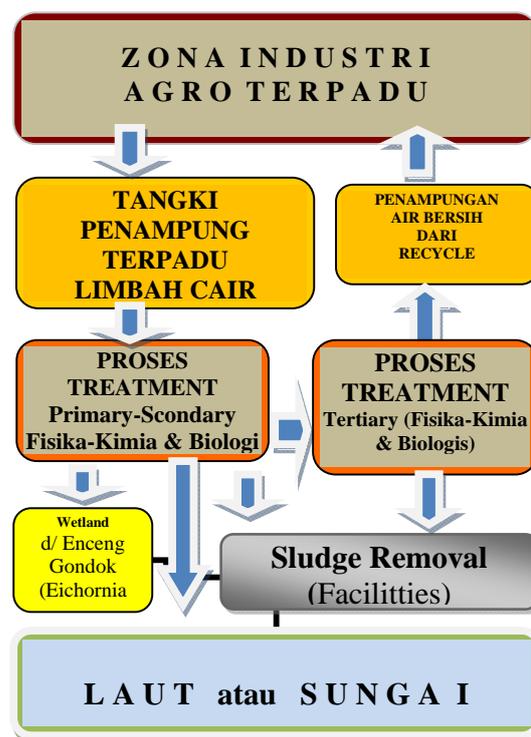
industri agro dengan karakteristik air limbah yang dapat dilihat dan dirasakan secara fisik seperti mengeluarkan aroma yang tidak enak (bau menyengat), warna limbahnya coklat sampai kehitaman dan mengandung minyak, di

mana limbah yang membentuk *solid* dapat menjadi endapan pada dasar sungai penerima limbah dari air limbah seperti dari industri-industri agro. Unit pengolahan air limbah terpadu untuk perencanaan pengembangan industri belum ada, ini dimungkinkan karena mengingat masing-masing karakteristik air limbah yang dikeluarkan berbeda. Kebutuhan utilitas seperti IPAL industri akan menjadi kendala apabila tidak ditangani dengan benar, salah satu solusi yang baik untuk masalah-masalah tersebut di atas, adalah membuat atau mengelompokkan industri yang sejenis dari industri sejenis lainnya, sehingga dapat dibangun IPAL terpadu per zona industri.

Mekanisme pengolahan air limbah terpadu di kawasan industri yang akan direncanakan seperti pada Gambar 1. Mekanisme limbah cair tersebut, rencananya ditampung di satu bak penampung bersama dan akan diolah berdasarkan karakter limbahnya yang terdiri dari limbah organik dan anorganik termasuk limbah logam berat. Pengolahan limbah bersama akan melalui tahapan *primary dan secondary treatment*, kolam aerasi yang disiapkan adalah kolam biologis, unit ini untuk menurunkan kandungan senyawa anorganik dengan menggunakan mikroorganisme. Logam berat yang masih tersisa akan dialirkan ke *wetland*, yaitu suatu unit atau kolam penampungan, yang ditumbuhi dengan enceng gondok (*eichornia crassipes*), berfungsi sebagai media berfungsi senyawa-senyawa anorganik, karena senyawa anorganik ini sebagai nutrisi bagi enceng

gondok tersebut, dimana enceng gondok dapat mereduksi limbah logam berat yang tersisa (Suardana, 2005).

Endapan lumpur dalam air limbah disiapkan suatu unit yang seperti *sludge removal facilities*, unit ini untuk pemisah dan pengolah lumpur dengan *filter press* yang menghasilkan lumpur padat kering. Air limbah dari akhir proses *treatment* dibuang ke badan air dalam hal ini sungai. Air limbah dari IPAL bersama sebagian dapat diproses untuk menghasilkan air bersih dengan cara *recycle*, yang dapat dipakai untuk proses di industri-industri tersebut. Mekanisme IPAL terpadu dapat dilihat pada Ilustrasi pada gambar berikut ini:



Gambar 1. Mekanisme Pengolahan Air Limbah Terpadu

Pada dasarnya pengolahan air limbah dapat dibedakan berdasarkan pengolahan menurut

tingkat perlakuan dan pengolahan menurut karakteristik limbah. Berdasarkan tingkat proses atau perlakuannya, pengolahan air limbah dapat melalui empat tingkatan diantaranya, *pre-treatment*, *primary treatment*, *secondary treatment*, dan *tertiary treatment*. Namun demikian tidak berarti bahwa semua tingkatan harus dilalui karena pilihan tingkatan proses tetap tergantung pada kondisi limbah, sedangkan kondisi limbah sendiri baru diketahui setelah ada hasil uji laboratorium. Untuk mengetahui jenis-jenis parameter zat pencemar dalam limbah cair dapat digunakan jenis peralatan dan metode yang sesuai.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di beberapa industri agro seperti industri kelapa sawit, industri karet, dan industri kelapa kopra, pada *influent* dan *effluent* IPAL

2.2. Data Sampel

Data air limbah diambil atau dipakai hasil analisis Hasmawaty, 2011, dimana sampelnya dari *influent* IPAL industri karet, sawit, dan kelapa di Gasing, Kabupaten Banyuasin. Data-data ini sangat diperlukan sebagai dasar di dalam menghitung neraca massa, dengan memvariasikan variabel per unit *treatment* yang akan digunakan. Semua acuan konstanta dan variabel (dimensi) untuk beberapa unit rencana *treatment* berlandaskan pada *experiment* teori IPAL dari *Fels and Lycon*, 1994. Penelitian

dibatasi untuk menganalisa perhitungan neraca massa untuk IPAL terpadu industri agro, dan parameter yang dianalisis adalah parameter air limbah yang dominan dari *output* IPAL, seperti Q, TSS, dan BOD. Tujuan mendapatkan perhitungan neraca massa di setiap *treatment* IPAL terpadu, dengan harapan hasil perhitungan ini dapat dilanjutkan dalam penelitian berikutnya, yaitu untuk membuat rancangan atau model IPAL terpadu yang lebih efektif dan lebih efisien dalam mengantisipasi air limbah industri agro, agar kelestarian sungai terjaga.

Data sampel dari beberapa industri yang mewakili industri agro di kawasan industri Gasing, diambil dari hasil analisis Hasmawaty, 2011, sebagai berikut

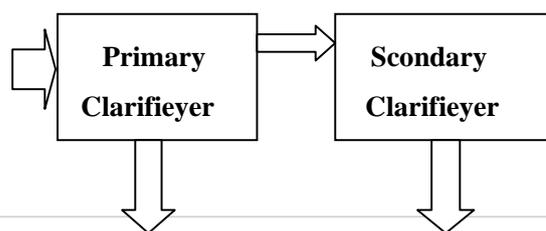
Tabel 1. Data Air Limbah di *Influent* IPAL Industri Agro Gasing

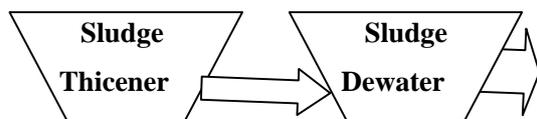
IPAL	Q ton/hr	TSS mg/l	BOD mg/l	X mg/l
Karet	1600	187	2318	0,925
Sawit	603	481	4046	0,894
Klapa	168	155	698	0,818
Total	2371	823	7062	2,637
			--	

Keterangan: BP adalah Beban Pencemaran (Maks)
= kg parameter per satuan produk

2.3. Tahapan dan Model IPAL Terpadu

Model rancangan IPAL terpadu yang direncanakan, dapat dilihat gambar berikut





Gambar 2. Rancangan IPAL terpadu

Tiap-tiap *input* maupun *output* dari tahapan pengolahan, yang akan dihitung diantaranya Q , TSS, dan BOD.

2.3.1. Tahapan Pengolahan Air Limbah

1. Tahapan *pre-treatment*

Pre-treatment adalah pengolahan air limbah tahap awal yaitu tingkat *pre-treatment* yang akan berpengaruh pada hasil pengolahan berikutnya. Dalam air limbah banyak terdapat lumpur, potongan ranting, daun, pasir, dan sisa buangan lain. Bahan tersebut mudah diidentifikasi, sebab dapat dilihat secara fisiknya seperti juga lapisan minyak dan lemak, akan terlihat mengapung diatas permukaan air.

Proses *pre-treatment* untuk IPAL terpadu bisa digunakan saringan (*filter*) kasar yang tidak mudah berkarat, seperti alat pemisah yang disebut dengan *screening*, yaitu suatu alat berfungsi untuk menyaring bahan kasar dan padatan yang masih terikut dalam air limbah yang dialirkan melalui saluran tertutup yang berasal dari industri sebagai *influent* ke *primary treatment*, alatnya adalah pembersih mekanik otomatis yang dilengkapi dengan motor elektrik yang disebut *bar screen*, (Ginting, 2007). *Bar*

screen dipilih diharapkan dari tiap-tiap produk limbah yang dikeluarkan oleh industri sudah disaring terlebih dahulu, dengan *screening* yang disesuaikan dengan kondisi masing-masing industri agro.

2. Tahap proses di *primary treatment*

Proses penanganan primer air limbah pada prinsipnya terdiri dari tahapan untuk memisahkan limbah padatan atau lumpur (*sludge*) dalam air limbah, yaitu dengan cara membiarkan *sludge* tersebut mengendap. Prosesnya sebagai berikut; zat yang telah hancur berupa *sludge* tersuspensi akan dipisahkan pada *primary clarifier*, dengan cara memperlambat aliran air limbah, hasilnya berupa endapan *sludge*. Padatan tersebut kemudian dikumpulkan di *sludge thicener*. Kemudian air limbah yang telah dihilangkan padatan tersuspensinya diberikan perlakuan (*treatment*) dengan gas klor, kemudian dialirkan ke *equalization basin* untuk diproses lebih lanjut.

Tahapan pengolahan air limbah pada *primary treatment* adalah *treatment* tahap awal setelah *pre-treatment*, dimana *flowrate* dari *outlet bar screen* dialirkan sebagai *inlet* ke *primary clarifier*, yaitu alat pengolahan yang berfungsi menghilangkan padatan halus, zat warna terlarut maupun tersuspensi yang tidak tertahan pada jaringan pendahuluan. Pada *primary clarifier* dapat dilakukan dengan 2 (dua) cara seperti; cara fisik, yaitu kolam didesain ukuran tertentu sehingga dapat mengendapkan partikel-partikel tanpa zat kimia, dengan cara air

dibiarkan mengalir dan partikel-partikelnya yang ada akan terus mengendap. Desain kolam disesuaikan dengan kondisi kecepatan limbah, sehingga cukup waktu untuk partikel mengendap, dimana hasilnya bergantung dari kondisi selama operasi. Pada *primary clarifier*, pengolahan secara fisik dapat dilakukan juga dengan cara pengapungan, yaitu menghilangkan senyawa terlarut dengan bantuan udara.

Dengan cara kimia, ada 3 (tiga) proses yang dilakukan seperti: (a) Netralisasi, yaitu proses reaksi antara asam dan basa yang akan menghasilkan air dan garam, tujuannya untuk mengatur pHnya di antara 6,5-8,5. Biasanya zat kimia yang digunakan adalah CaCO_3 . Jika netralisasi air limbah bersifat basah bisa ditambahkan dengan senyawa-senyawa (Siregar, Sakti A, 2005) seperti: H_2SO_4 , HCl , HNO_3 , dan H_3PO_4 atau CO_2 yang bersumber dari *flue gas*, penambahan asam akan mengakibatkan air limbah menjadi bau. (b) Koagulasi bertujuan untuk membuat gumpalan-gumpalan yang lebih besar dengan penambahan zat-zat kimia (Problogger, 2007) seperti; Al_2SO_4 , Fe_2SO_4 , NaOH , alum *ferry chloride*, soda abu, soda api, *lime* dan lainnya, variasinya berkisar dari 50 ppm sampai 300 rpm. Waktu tinggal yang dibutuhkan bisa 30 detik sampai 2 menit. *Flash mixer* digunakan bisa berupa *mixer* jenis turbine atau *propeller* dengan kecepatan 250 rpm atau lebih. (c) Flokulasi bertujuan membuat gumpalan yang lebih besar dari pada gumpalan yang terbentuk selama koagulasi (Siregar, Sakti A, 2005) seperti: dengan penambahan polimer,

waktu tinggal untuk reaksi biasanya antara 20 sampai 30 menit, dan *slow mixer* digunakan dengan kecepatan antara 20 sampai 60 rpm, sedangkan penggunaan bahan kimia antara 2 sampai 5 mg/L. Untuk mengontakkan seluruh zat kimia yang dipakai dengan air limbah menggunakan pengaduk seperti agitator.

Proses pengendapan dengan penambahan zat kimia tersebut untuk mengendapkan padatan jenis limbah anorganik seperti aluminium, besi, timbal, nikel dan lain-lain, dimana akan menghasilkan butiran zat yang lebih besar sehingga berat jenisnya juga lebih besar dari air. *Effluent* dari *primary clarifier* adalah air limbah yang telah dinetralkan tersebut, dialirkan ke *spill basin*, ke *equalization basin*, dan ke *sludge thickener* untuk diproses lebih lanjut. *Spill basin*, adalah suatu alat berfungsi untuk melindungi proses bagian bawah dari pengaruh aliran puncak dengan cara menyediakan volume ekstra agar aliran bisa seimbang. *Equalization basin*, adalah suatu alat proses pengolahan dengan tangki perataan air yang bertujuan meratakan konsentrasi, dan untuk menangani variasi laju alir atau dengan kata lain *equalization basin* dibuat untuk meredam fluktuasi limbah cair, dan untuk menghindari fluktuasi yang mendadak. Sedangkan untuk menahan terjadinya lonjakan, maka air limbah dikumpulkan dahulu di dalam bak penyangga, dengan melakukan homogenisasi sebelum proses lebih lanjut. Dengan adanya bak *equalization basin* maka pH, COD dan *hidraulic load* akan relatif lebih konstan dan seragam. Posisi *equalization basin*

dapat ditempatkan setelah pengolahan primer, ini biasanya disebabkan oleh masalah-masalah yang ditimbulkan oleh *sludge* dan buih. Jika posisi *equalization basin* diletakkan sebelum pengolahan primer dan pengolahan biologis, maka pada proses *equalization basin* diperlukan pengadukan bertujuan mencegah pengendapan, dan juga dipasang alat aerasi bertujuan mencegah timbulnya bau. Volume bak *equalization basin* harus dibuat lebih besar dari volume teori (Lycon Dave 1994), karena pengoperasian alat aerasi dan pengadukan secara kontinu dapat menyebabkan air meluap berlebihan, dan mengantisipasi perubahan aliran yang secara tiba-tiba, juga memperhitungkan adanya aliran *recycle* dari *spill basin*.

Air Limbah yang masih mengandung padatan tersuspensi yang disebut lumpur mentah ditampung pada tangki pengendap. Keluaran sebagai *outlet* dari *primary clarifier* dialirkan ke tangki pengendap yang disebut dengan *sludge thickener*. Apabila dalam air limbah dalam kolam *equalization* ditemukan zat phenol yang berasal dari limbah zat industri *plywood*, maka untuk menghancurkan zat tersebut dengan oksidasi kimia, seperti mengatur konsentrasi zat tersebut dengan penambahan air, setelah konsentrasinya merata kemudian baru dengan pengoksidasian dengan kimia. Oksidasi kimia disamping mudah juga murah, dan ini baik dilakukan apabila buangan phenol sangat tinggi di dalam proses *equalization* ini. *Sludge thickener*, adalah suatu alat untuk mengentalkan lumpur dengan cara meningkatkan konsentrasi

padatan (lumpur) dan mengurangi volume dengan metode *gravity thickening* yang dilakukan pada bak bulat yang serupa dengan bak sedimentasi. Air pada bagian atas relatif bersih sedangkan lapisan bawahnya adalah sedimen atau lumpur kemudian lumpur yang sudah kental di masukkan ke *sludge mixing*. Diameter *sludge thickener* dapat mencapai 12 meter (Lycon, 1994).

3. Tahap proses di *secondary treatment*

Secondary treatment adalah proses *treatment* kedua yang disebut *secondary clarifer*, dimana tahapan prosesnya adalah proses kimia, dan didominasi proses biologi, tujuannya untuk menghasilkan air limbah yang lebih baik dari tahapan proses sebelumnya. *Secondary clarifer*, adalah aktifitas untuk memperkaya lumpur dengan melibatkan proses biologis prosesnya disebut *activated sludge process*, tujuan proses ini untuk menghilangkan zat organik dalam air limbah yaitu melalui oksidasi biokimia. Pilihan proses biologis bergantung pada banyak faktor, misalnya kuantitas air limbah dan luas areal. Proses biologis banyak menggunakan reaktor lumpur aktif dan *tricking filter*. Pada proses lumpur aktif kecepatan aktivitas bakteri ditingkatkan sehingga lebih banyak mengalami kontak dengan air buangan, yang sebelumnya telah mengalami kontak beberapa jam di dalam tangki aerasi. Selama proses berlangsung bahan buangan organik dipecah dengan cara memasukkan udara (aerasi) dan lumpur aktif

yang mengandung bakteri ke dalam tangki, menjadi senyawa-senyawa yang sederhana. Proses penanganan sekunder ini diakhiri dengan proses klorinasi. Lumpur yang mengandung bakteri dapat digunakan lagi dengan mengalirkan kembali ke dalam tangki dan mencampurnya dengan air buangan yang baru dan udara atau oksigen murni. Suatu sistem lumpur aktif yang efisien dapat menghilangkan padatan tersuspensi dan BOD sampai 90%, sedangkan sistem penyaring trickling dapat menghilangkan padatan tersuspensi dan BOD sampai 80-85% (Kristanto, 2006).

Proses aerobik pada *activated sludge* ditandai oleh adanya molekul oksigen yang terlarut atau proses anaerobik yang tidak menunjukkan adanya oksigen yang terlarut. *Process activated sludge (suspended growth process)*, adalah mikroorganisme membentuk gumpalan-gumpalan koloni bakteri yang bergerak secara bebas (tersuspensi) di dalam air limbah. Mikroorganisme-mikroorganisme dapat keluar melalui aliran air limbah, sehingga densitas bakteri di dalam reaktor harus dikontrol. Pengembalian atau *recycling* bakteri merupakan cara yang paling banyak digunakan untuk mengontrol densitas bakteri di dalam reaktor. Pada umumnya, reaktor proses *activated sludge* berupa bak beton dengan mikroorganisme yang tersuspensi di dalam cairan. Oksigen disediakan oleh *diffusers* pada bagian bawah bak atau oleh permukaan reaktor. Biomassa yang terakumulasi dipisahkan dari cairan di dalam bak sedimentasi. Sebagian dari biomassa yang dipisahkan dari

cairan dikembalikan ke dalam reaktor untuk mengontrol densitas bakteri di dalam reaktor. Pengoperasian yang teliti untuk memperoleh kualitas *effluent* yang tinggi dan efisiensi operasi. Proses anerobik ini bertujuan untuk menstabilkan lumpur. Reaktor tipe *suspended growth* dan pengadukan pada reaktor dilakukan dengan menggunakan *mixer* berkecepatan lambat atau resirkulasi (Hasmawaty, 2005).

Mixing sludge, adalah alat pencampur *sludge* yang berasal dari *sludge thickener* dengan *sludge* dari *outlet secondary treatment* yang akan menghasilkan *biosludge*, kemudian dilanjutkan ke proses *sludge dewatering*. *Sludge dewatering* adalah suatu alat untuk pembuangan akhir *sludge* dengan mengeluarkan air dalam jumlah yang cukup banyak sehingga lumpur berbentuk seperti padatan, pengoperasiannya dapat dikerjakan melalui beberapa proses, salah satu contohnya adalah *sludge drying bels*, pada proses ini terdiri dari lapisan pasir kasar (kerikil) dengan ukuran yang berbeda, dan pipa didesain berlubang-lubang tujuannya sebagai jalan aliran air. Air limbah hasil penirisan lumpur dikembalikan ke *primary clarifier*.

2.3.2. Menghitung Neraca Masa IPAL

Persamaan Matematika IPAL Terpadu untuk zona Industri Agro, adalah dengan menghitung parameter air limbah disetiap *treatment* seperti; Q adalah *flowrate* air limbah (m^3/hr), B adalah BOD yang terkandung dalam air limbah, (mg/l), dan T adalah *solid loading rate* atau total *suspended solid* dalam air limbah

atau disingkat TSS (mg/L). Perhitungannya menggunakan model matematika neraca massa umum (Hadlock, C. R. 2002), seperti:

$$Q_{I1}, T_{I1}, B_{I1} = Q_S, T_S, B_S + Q_E, T_E, B_E \quad (1)$$

Dimana indeks I = *influent* atau *input*, S = *sludge*, dan E = *effluent-excavation* atau *output*, dan notasi-notasi dalam setiap persamaan matematika yang dipakai, dapat dilihat pada daftar notasi.

Beberapa air limbah industri agro seperti dari industri; karet, sawit, kelapa, dan lainnya, masing-masing diberi indeks P₁, P₂, P₃, P₄,..... P_n. Total air limbah dari ketiga industri tersebut adalah P, berasal dari P₁ + P₂ + P₃ + P₄ +..... + P_n. Besarnya P tersebut bersama-sama dengan *recycle* (R_{1a}) yang berasal dari *sludge dewater* sebagai (I₁) untuk diproses di *primary clarifier*. Saat proses awal R_{1a} dianggap nol (0). Persamaan neraca massa untuk IPAL terpadu berawal dari persamaan dari *primary clarifier* yaitu Q_{I1} = Q_P + Q_{R1a} seperti persamaan (2), kemudian dihitung juga kandungan TSS dan BOD-nya. Hasil perhitungan adalah (S₁) sebagai (I₂) dan (E₁) sebagai (I₃) yang akan dihitung dalam unit berikutnya. Persamaan neraca massa per-unit dikutip dari *Fels dan Lycon*, 1994.

a. Neraca Massa di *Primary Clarifier*

Neraca Massa di *Influen* (I₁):

$$Q_{I1} = Q_P + Q_{R1a} \quad (2)$$

$$T_{I1} = \frac{Q_{R1a} T_{R1a} + Q_P T_P}{Q_{I1}} \quad (3)$$

$$B_{I1} = \frac{Q_{R1a} B_{R1a} + Q_P B_P}{Q_{I1}} \quad (4)$$

$$X_{I1} = \frac{Q_{R1a} X_{R1a} + Q_P X_P}{Q_{I1}} \quad (5)$$

Neraca Massa di *Effluent* (E₁):

$$T_{E1} = T_{I1} \{a_1 + a_2(Q_{I1}/A_1)\} \quad (6)$$

$$B_{E1} = B_{I1} \{a_3 + a_4(Q_{I1}/A_1)\} \quad (7)$$

$$X_{E1} = X_{I1} \quad (8)$$

$$T_{S1} = (a_5) + (a_6) (Q_{I1}/A_1) \quad (9)$$

$$Q_{S1} = \frac{Q_R (T_R - T_{E1}) + Q_P (T_P - T_{E1})}{T_{S1} - T_{E1}} \quad (10)$$

$$X_{S1} = 0 \quad (11)$$

$$Q_{E1} = Q_R + Q_P - Q_{S1} \quad (12)$$

$$B_{S1} = \frac{Q_R B_R + Q_P B_P - Q_{E1} B_{E1}}{Q_{S1}} \quad (13)$$

Beberapa data konstanta dan parameter yang harus dipakai diantaranya; a₁ = TSS *intercept*; a₂ = TSS *slope*; a₃ = BOD *intercept*; a₄ = BOD *slope*; a₅ = *solids out intercept* dan ; a₆ = *solids out slope*.

b. Neraca Massa di *Spill Basin*

$$Q_{I3} = Q_{I2} = Q_{R3} \quad (14)$$

$$T_{I3} = \frac{Q_{I2} T_{I2} + Q_{R3} T_{R3}}{Q_{I3}} \quad (15)$$

$$B_{I3} = \frac{Q_{I2} B_{I2} + Q_{R3} B_{R3}}{Q_{I3}} \quad (16)$$

$$X_{I3} = \frac{Q_{I2} X_{I2} + Q_{R3} X_{R3}}{Q_{I3}} \quad (17)$$

c. Neraca Massa di *Equalization Basin*

$$Q_{E2} \text{ atau } Q_{I3} = Q_{I4} \text{ atau } Q_{E3} \quad (18)$$

$$T_{E2} \text{ atau } T_{I3} = T_{I4} \text{ atau } Q_{E3} \quad (19)$$

$$B_{E2} \text{ atau } B_{I3} = B_{I4} \text{ atau } Q_{E3} \quad (20)$$

$$X_{E2} \text{ atau } X_{I3} = X_{I4} \text{ atau } Q_{E3} \quad (21)$$

Pada *secondary treatment, activated sludge* neraca massanya berasal dari *equillizatin basin* ke *aeration tank* (reaktor anaerobik) sebagai I_4 yang menghasilkan *outlet* berupa *coefficient* (E_4) untuk *secondary clarifier* yang menghasilkan *output* sebagai *effluent/excavation* (E_5), dimana *recycle*-nya kembali ke *aeration tank* (R_4), sedangkan lumpur sebagai S_3 keluar ke *sludge mixing*. Lumpur yang keluar dari *sludge mixing* ke *sludge dewatering* sebagai (S_5). Persamaan neraca massanya sebagai berikut:

$$V_{E4} = r_4 \frac{Q_{I4}}{24} \quad (22)$$

$$B_{E4} = \frac{(Q_{I4} B_{I4})}{b_1 b_2^{(T_4-20)} V_{E4} X_{E4} + Q_{I4}} \quad (23)$$

$$Q_{R4} = \frac{Q_{I4} \{X_{E4} - X_{I4} - b_3(B_{I4} - B_{E4})\}}{(X_{R4} - X_{E4})} \quad (24)$$

$$Q_{E4} = Q_{I4} + Q_{R4} \quad (25)$$

$$X_{S3} = X_{R4} \quad (26)$$

$$X_{E5} = b_4^{(T_5-20)} \left[\frac{b_{10} + \left\{ b_{11} \left(\frac{Q_{E4}}{A_{R4}} \right) X_{E4} \right\}}{24 \times 1000} \right] \quad (27)$$

$$Q_{S3} = \frac{Q_{E4} X_{S3} - Q_{R4} X_{E4} - Q_{I4} X_{E5}}{X_{S3} - X_{E5}} \quad (28)$$

$$Q_{E5} = Q_{I4} - Q_{S3} \quad (29)$$

$$B_{E5} = B_{E4} = B_{S3} = B_{R4} \quad (30)$$

$$B_{S3} = B_{E4} + (B_{E3} - B_{R4}) \quad (31)$$

$$T_{E5} = \frac{Q_{I4} T_{I4} \{a_1 + a_2 (Q_{E3}/A_{R4})\}}{Q_{E4} \{a_1 + a_2 (Q_{E3}/A_1)\}} \quad (32)$$

$$T_{E4} = \frac{T_{E5}}{a_1 + a_2 (Q_{E3}/A_{R4})}$$

$$(33)$$

$$T_{S3} = \frac{(Q_{E4} T_{E4} - Q_{E5} T_{E5})}{Q_{S3}} \quad (34)$$

$$T_{R4} = T_{S3} \quad (35)$$

d. Neraca Massa di *Sludge Mixer*

$$Q_{S4} = Q_{S2} + Q_{S3} \quad (36)$$

$$T_{S4} = \frac{Q_{S2} T_{S2} + Q_{S3} T_{S3}}{Q_{S4}} \quad (37)$$

$$B_{S4} = \frac{Q_{S2} B_{S2} + Q_{S3} B_{S3}}{Q_{S4}} \quad (38)$$

$$X_{S4} = \frac{Q_{S2} X_{S2} + Q_{S3} X_{S3}}{Q_{S4}} \quad (39)$$

e. Neraca Massa di *Sludge Thickener*

$$F = \frac{X_{S4}}{X_{S4} + T_{S4}} \quad (40)$$

$$R = c_1 + c_2 F \quad (41)$$

$$T_{R2} = (1-F) (c_3 + c_4 F) \quad (42)$$

$$X_{R2} = F (c_3 + c_4 F) \quad (43)$$

$$B_{R2} = B_{S1} \quad (44)$$

$$Q_{R2} = (R)(Q_{S1}) \frac{T_{S1} + X_{S1}}{T_{R2} + X_{R2}} \quad (45)$$

$$Q_{S2} = Q_{S1} - Q_{R2} \quad (46)$$

$$T_{S2} = \frac{Q_{S1} T_{S1} - Q_{R2} T_{R2}}{Q_{S2}} \quad (47)$$

$$B_{S2} = B_{S1} \quad (48)$$

$$X_{S2} = \frac{Q_{S1} X_{S1} + Q_{R2} X_{R2}}{Q_{S2}} \quad (49)$$

c_1 dan c_2 adalah pemilihan koefisien, sedangkan c_3 dan c_4 adalah koefisien padatan atau lumpur.

f. Neraca Massa di *Sludge Dewatere*

$$F = \frac{X_{S4}}{X_{S4} + T_{S4}} \quad (50)$$

$$R = d_1 + d_2 F \quad (51)$$

$$T_{R1} = (1-F) (d_3 + d_4F + d_5F^2) \quad (52)$$

$$X_{R1} = F (d_3 + d_4F + d_5F^2) \quad (53)$$

$$B_{R1} = B_{S4} \quad (54)$$

$$Q_{R1} = R \frac{(T_{S4} + X_{S4})}{T_{R1} + X_{R1}} \quad (55)$$

$$Q_{S5} = Q_{S4} - Q_{R1} \quad (56)$$

$$T_{S5} = \frac{(Q_{S4}T_{S4}) - (Q_{R1}T_{R1})}{Q_{S5}} \quad (57)$$

$$B_{S5} = B_{S4} \quad (58)$$

$$X_{S5} = \frac{(Q_{S4}X_{S4}) - (Q_{R1}X_{R1})}{Q_{S5}} \quad (59)$$

d_1 dan d_2 adalah pemilihan koefisien di *belt* (*recovery coeff*), d_3 , d_4 , dan d_5 adalah koefisien padatan atau lumpur di *belt* (*solids coeff*).

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Tahapan IPAL dalam prakteknya tidak memenuhi syarat teoritis yang semestinya, terlihat dari data analisis pada Tabel 1, banyak ditemukan kadar *output* limbah tidak memenuhi baku mutu lingkungan yang diizinkan. Ini jelas karena adanya beberapa proses pada tahapan *treatment* yang tidak dilakukan.

3.1. Analisis Tahapan *Treatment*

Dalam tahapan awal proses di *primary treatment* adalah proses *primary clarifier*, tujuannya untuk memisahkan air limbah dan lumpur (*sludge*) sehingga membentuk dua zona, melalui baik pada tahapan proses fisika maupun kimia. Proses kimia yang dilakukan yaitu dengan cara koagulasi, zat kimia yang dipilih adalah *lime* (kapur) dengan formula kimianya CaCO_3 . Penambahan CaCO_3 ini harus tetap

dijaga pH limbahnya di antara 6,5-8,5 (Utomo, 2007).

Pada *secondary treatment*, *aktivatated sludge* berasal dari *equalizatin basin*, Di reaktor diinjeksikan udara, nitrogen dan fosfor tujuannya untuk proses anaerobik kemudian sebagai *waste flow* tersebut dibuang ke sungai, sedangkan *sludge* dialirkan ke unit *sludge mixing* bercampur dengan aliran lumpur dari *sludge thickener*, ke-2 (dua) aliran lumpur tersebut diproses lebih lanjut pada *sludge* akhir yaitu unit *sludge dewatering*. Di unit ini diinjeksikan polimer untuk menghasilkan endapan yang lebih banyak, sehingga lumpur ditampung dalam *removal facilities*.

3.2. Hasil Perhitungan Neraca Massa

Hasil perhitungan pada Tabel (2-8), adalah saat awal proses *treatment*, dengan satuan mg/L,

Tabel 2. Hasil Perhitungan di *Primary Clarifier*

Komposisi	Influent, I_1	Effluent, E_1	Sludge, S_1
Q, ton/hari	$2,37 \times 10^{12}$	$2,32 \times 10^{11}$	$5,55 \times 10^{11}$
TSS, mg/L	30.123,47	123,47	$3,0 \times 10^4$
BOD, mg/L	91.488,09	5.161,62	$8,63 \times 10^4$

Tabel 3. Hasil Perhitungan di *Spill Basin*

Komposisi	Influent, S_4	Effluent, S_5	Recycle, R_{1b}
Q, ton/hari	$2,88 \times 10^{12}$	$2,87 \times 10^{12}$	$1,7 \times 10^{12}$
TSS, mg/L	720,19	724,48	113.092,33
BOD, mg/L	3.340,84	3.340,84	3.340,84

Tabel 4. Perhitungan di *Equalization Basin*

Komposisi	Influent, (I ₃)	Effluent, (E ₂)
Q, ton/hari	2,32x10¹²	2,32x10¹²
TSS, mg/L	123,47	123,47
BOD, mg/L	5.161,62	5.161,62

Tabel 5. Perhitungan di *Secondary Treatment*

Komposisi	E ₃	S ₃	E ₄	E ₅
Q, ton/hr	2,3x10 ¹²	2,9x10 ¹²	3,1x10 ¹²	1,7x10 ¹²
TSS, mg/L	123,5	64,6	625,6	87,2
BOD, mg/L	5.161,6	32,2	32,2	32,2

Tabel 6. Hasil Perhitungan di *Sludge Thickener*

Komposisi	Influent, (I ₂)	Effluent, (I ₃)
Q, ton/hari	2,32x10¹²	2,32x10¹²
TSS, mg/L	123,47	123,47
BOD, mg/L	5.161,62	5.161,62

Tabel 7. Hasil Perhitungan di *Sludge Mixer*Tabel 8. Hasil Perhitungan di *Sludge Dewater*

Komposisi	Sludge, S ₂	Sludge, S ₃	Sludge, S ₄
Q, ton/hari	5,55x10 ⁹	2,87x10 ¹²	2,88x10 ¹²
TSS, mg/L	3.0x10 ⁴	663,58	720,19
BOD, mg/L	8,63x10 ⁴	32,19	3.340,84

Tabel 9. Hasil Neraca Massa Debit Air Limbah

Unit Treatment	Neraca Balance		Q ton/hari
Primary Clarifier	I ₁	E ₁ + S ₁	2,32 x10 ⁴

Spill Basin	I ₂	E ₂	2,32 x10 ⁴
Equalization Basin	I ₃	E ₃	2,32 x10 ⁴
Secondary Treatment	I ₄ + R ₄	E ₅ + S ₃	3,05x10 ⁶
Sludge Thickener	S ₁	S ₂ + R ₂	5,55x10 ⁴
Sludge Mixer	S ₂ + S ₃	S ₄	2,88x10 ⁶
Sludge Dewater	S ₄	S ₅ + R ₁	2,88x10 ⁶

3.3. Analisis di Effluent IPAL Terpadu

Besarnya nilai TSS dan BOD dari E₅ di *effluent* IPAL terpadu untuk rencana industri agro untuk kawasan industri di Tanjung Api-api, dan dari ke-3 (tiga) industri; karet, sawit, dan kelapa yang dihitung menggunakan IPAL terpadu, menghasilkan parameter dibawah BMLC industri yang diizinkan, yaitu terdiri dari; a) *output scoundary treatment* dan yang akan dibuang ke sungai, yaitu Q sebesar 1.7 x 10¹² ton/hari, TSS sebesar 87.2 mg/L, dan BOD sebesar 32.2 mg/L. b) *output sludge dewatering* dan akan ditampung pada removal facilities, berupa sludge, yaitu Q sebesar 2.87 x 10¹² ton/hari, TSS sebesar 724.48 mg/L, dan BOD sebesar 3.349,84 mg/L

Tabel 10. Analisis TSS dan BOD di IPAL Industri Gasing dan IPAL Terpadu

Parameter	IPAL Industri Agro, dengan Q Influent (ton/hari)		
	IPAL Gasing		
	Karet, 1600	Sawit, 603	Kelapa, 163
TSS, mg/l	85/100*	213/250*	53/60*

BOD, mg/l	41/60*	98/100*	69/75*
Keterangan: * BMLC , Peraturan GubSum Sel No 18, Th 2005.			

Padatan seperti *sludge* dapat menjadi masalah besar apa bila tidak difikirkan solusinya, karena ada pengaruh kelarutan oksigen akan terjadi. Pengaruh kelarutan oksigen karena adanya padatan tersuspensi, artinya zat padat terlarut dan tersuspensi dalam air sungai berupa *sludge* yang makin hari akan makin meningkat dapat mengakibatkan semakin berkurangnya kelarutan oksigen dalam air, sehingga kualitas sungai akan menurun. Dimana seharusnya zat padat terlarut di dalam sungai tidak lebih dari 500 mg/L. Air sungai dapat dikatakan masih dianggap baik, apabila adanya tanda kehidupan tumbuh-tumbuhan dan hewan di dalamnya. IPAL terpadu dapat memberikan solusi mengontrol dan mengatur *output* air limbah dengan memperhitungkan beban limbah (*polluting load*) pada suatu perairan, terutama khusus untuk limbah organik. Hal ini penting juga bagi pemerakarsa proyek, untuk menghindari beban biaya yang terlalu tinggi akibat pengolahan limbah yang terlalu intensif.

4. SIMPULAN

Beberapa sampel industri agro di Gasing, setelah di hitung dengan IPAL terpadu mengandung TSS sebesar 87,16 mg/L dibawah ambang batas yang diizinkan dari BMLC industri sebesar 200 mg/L. BOD dihasilkan sebesar 32,19 mg/L sedangkan BMLC industri

untuk BOD diizinkan 100 mg/L. TSS dihasilkan dari *sludge dewatering* sebesar 724,48 mg/L per hari ditampung pada *sludge removal facilities*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bapedadal Kabupaten Banyuasin. 2008. *Laporan Tahunan Hasil Kegiatan Industri. Pemantauan Kualitas Lingkungan Di Kabupaten Banyuasin*. Sumatera Selatan
- Fels, M and Lycon, D. 1994. *Environmentally Sensitive Invertment System (ESIS), wastewater Treatment Models (Final Report)*., Technical University of Nova Scotia Halifax, Nova Scotia.
- Ginting, P. 2007. *Sistem Pengelolaan Lingkungan dan Limbah Industri*. CV Yrama Widya, Bandung.
- Hadlock, C.R. 2002. *Mathematical Modeling in The Environment*. Published by The Mathematical Association of America.
- Hasmawaty AR, M. Faizal, M. Hasyim. 2005. *Mendapatkan Model Matematika Laju Kecepatan Reaksi dengan Pengolahan Limbah Cair Minyak Bumi* . **Jurnal Tekno**. Vol 2: 57-72, April 2005. Fakultas Teknik, Universitas Bina Darma
- Hasmawaty AR. 2011. Analisis Air Limbah di *Influent* dan *Effluent* IPAL Industri (Karet, Sawit, dan Kelapa Kopra). **Jurnal Tekno**. Vol 2. Agustus 2011. Fakultas Teknik, Universitas Bina Darma
- Kristanto, P. 2006. *Ekologi Industri*. Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- Peraturan Gubernur Provinsi Sumatera Selatan Nomor 18. Tahun 2005. *Tentang Baku Mutu Limbah Cair (BMLC) Bagi Kegiatan Industri, Hotel, Rumah Sakit, Domestik dan Pertambangan Batu Bara*. Provinsi Sumatera Selatan.

- Problogger. 2007. *Kajian Proses Start-Up Sequencing Batch Reactor (SBR) Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Karet.*
- Suardana, I.W. 2005. *Penggunaan Enceng Gondok Sebagai Teknik Alternatif Pengolahan Limbah Cair.* **Jurnal Veteriner-Fakultas Kedokteran Universitas Udayana.** mhtml:file://F:\kawasan industri enceng gondok.
- Siregar, S.A. 2005. *Instalasi Pengolahan Air Limbah (Menuntaskan Pengenalan Alat-alat dan Sistem Pengolahan Air Limbah.* Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Utomo, T.P. 2007. *Optimasi Proses Penyisihan Karbon dan Nitrogen Secara Simultan Dari Limbah Cair Industri Karet Remah Menggunakan Sequencing Batch Reaktor.* **Jurnal Lampung University Library.**
-