

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembiakan Mikroorganisme

Pembiakan (*seeding*) mikroorganisme dilakukan secara alami yaitu dengan memanfaatkan mikroorganisme, khususnya bakteri yang terkandung dalam air limbah melalui pengaliran air limbah yang akan diolah secara terus menerus ke dalam bioreaktor yang telah terisi media tempurung kelapa sawit. Umumnya air limbah telah mengandung mikroorganisme yang beradaptasi dengan lingkungannya dan mikroorganisme tersebut tidak berada dalam satu spesies secara bebas, melainkan dalam bentuk konsorsium atau campuran dari bermacam-macam spesies tertentu tergantung dari kondisi lingkungannya, dimana masing-masing mikroorganisme tersebut bersaing untuk mendapatkan makanan yang sesuai dengan sifat-sifat organisme tersebut. Kemampuan untuk mendapatkan makanan atau kemampuan metabolisme di lingkungan bervariasi, maka mikroorganisme yang mempunyai kemampuan adaptasi dan kemampuan mendapatkan makanan dalam jumlah besar dengan kecepatan yang maksimum akan berkembang biak dengan cepat dan akan menjadi dominan di lingkungannya. Oleh sebab itu, pembiakan mikroorganisme (bakteri) ini menjadi faktor keberhasilan dalam pengolahan limbah organik dengan mempergunakan biofilter. Hal ini didasari pula bahwa secara alami, senyawa organik dapat terurai menjadi karbondioksida, air dan sejumlah senyawa an-organik yang stabil oleh aktifitas mikroorganisme yang memiliki kemampuan metabolismenya sangat tinggi. Diantara mikroorganisme di

alam, bakteri memiliki kemampuan metabolisme yang paling tinggi, kemudian diikuti oleh eumycetes dan protozoa.

Di dalam proses pengolahan air limbah secara biologis, pada hakekatnya adalah memanfaatkan mikroorganisme (bakteri) yang mempunyai kemampuan untuk menguraikan senyawa-senyawa polutan tertentu di dalam suatu reaktor biologis yang kondisinya dibuat agar sesuai untuk pertumbuhan mikroorganisme (bakteri) yang digunakan. Sesuai dengan biofilter dengan sistem arobik yang digunakan, maka untuk mendukung pertumbuhan mikroorganisme ini diberi suplai oksigen secara terus menerus dengan alat pompa udara. Diharapkan dengan kondisi demikian, mikroorganisme tersebut dapat tumbuh dan berkembang di atas media penyangga (tempurung kelapa sawit) dengan membentuk lapisan biofilm (film biologis). Di dalam penelitian ini, tidak dilakukan identifikasi mikroorganisme yang akan tumbuh dan berkembang serta melekat pada media tempurung kelapa sawit karena alasan biaya terbatas.

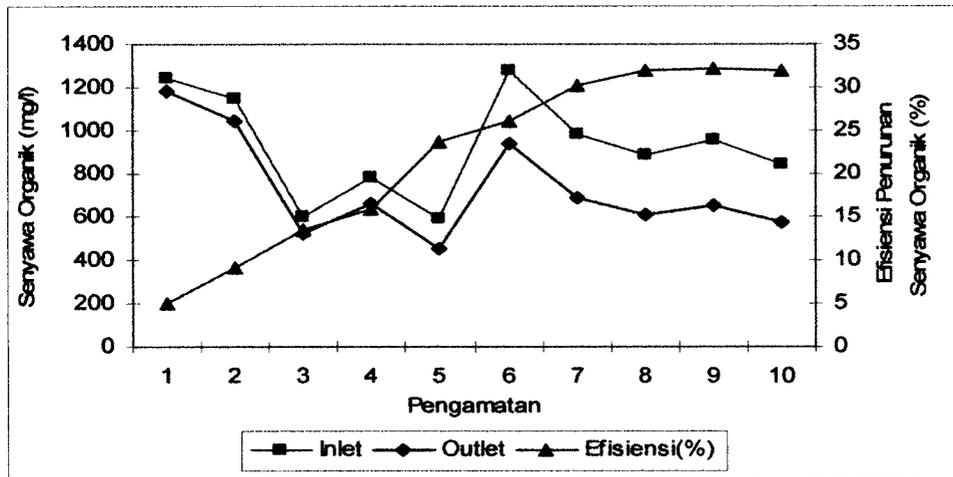
Pembiakan mikroorganisme (bakteri) dalam biofilter bermedia tempurung kelapa sawit dilakukan selama satu bulan. Secara visual, pengamatan terhadap biofilm yang terbentuk di atas media tempurung kelapa sawit sulit ditentukan karena partikel tersuspensi dalam air limbah tahu dan tempe juga mengendap di atas permukaan tempurung kelapa sawit dengan warna awalnya putih menjadi kecoklatan. Pertumbuhan mikroorganisme diamati dengan mengukur penghilangan atau penurunan senyawa organik (angka permanganat, $KmnO_4$) di dalam bioreaktor setelah empat minggu proses berjalan. Pengukuran senyawa organik dilakukan pada inlet dan outlet dengan interval tiga hari hingga penghilangan atau penurunan

senyawa organik menjadi relatif stabil. Konsentrasi senyawa organik pada inlet dan outlet pada saat *seeding* mikroorganismen disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kondisi Senyawa Organik di Inlet dan Outlet pada Saat Pembiakan (*seeding*) Mikroorganismen

Pengamatan	Inlet			Outlet			Efisiensi (%)
	Zat Organik (mg/l)	pH	Suhu	Zat Organik (mg/l)	pH	Suhu	
1	1245.04	5.5	27	1181.65	6	27	5.09
2	1150.24	6	28	1045.68	6	28	9.09
3	600.40	7	30	519.95	6.5	30	13.40
4	783.68	6.5	29.5	659.23	7	29	15.88
5	594.08	7	28.5	453.40	7	28.5	23.68
6	1276.64	7	30	943.44	7	30	26.10
7	979.60	6	30	682.78	6.5	30	30.30
8	891.12	7	28	606.59	7	28	31.93
9	960.64	6	28	651.41	6.5	29	32.19
10	846.88	6	28	575.71	6	28	32.02

Tabel di atas memperlihatkan bahwa pada pengamatan 1 hingga 10 selama satu bulan dengan hari ke-1 hingga ke-20, konsentrasi senyawa organik pada inlet dan outlet sangat berfluktuasi disebabkan perbedaan masukan senyawa organik dan pertumbuhan mikroorganismen, termasuk faktor penghambat aktivitas mikroorganismen dari hari ke hari. Efisiensi penurunan senyawa organik mengalami peningkatan hingga pengamatan ke-7 (30.30%) dan cenderung stabil pada pengamatan ke-8 hingga ke-10 dengan kisaran 31.93 – 32.19%. Konsentrasi senyawa organik pada inlet dan outlet serta efisiensi penurunan senyawa organik pada masa *seeding* mikroorganismen ditampilkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Konsentrasi Senyawa Organik dan Efisiensi Penurunan Senyawa Organik pada *Sedding* Mikroorganism

Rendahnya efisiensi pada awal pengoperasian yang ditunjukkan pada pengamatan awal yaitu 5.09% menunjukkan bahwa pada tahap ini proses pengolahan belum berjalan dengan baik karena mikroorganism yang ada pada bioreaktor belum tumbuh secara optimal. Hal ini disebabkan mikroorganism yang terkandung dalam air limbah membutuhkan waktu untuk tumbuh dan berkembang. Seiring bertambahnya waktu pengolahan, efisiensi penurunan senyawa organik semakin meningkat. Hal ini disebabkan mikroorganism pada reaktor telah tumbuh dan berkembang dan membentuk lapisan biofilm yang lebih tebal dari sebelumnya. Menurut Rittmann *et al.* (1988), proses awal pertumbuhan mikroba dan pembentukan lapisan biofilm pada media membutuhkan waktu beberapa minggu, yang dikenal dengan proses pematangan.

Nilai efisiensi yang tercapai 32% dapat dianggap masih sangat rendah. Hal ini dapat disebabkan kandungan senyawa organik yang tinggi dalam air limbah mempengaruhi pertumbuhan mikroorganism dan pada konsentrasi tertentu dapat

mengakibatkan kematian mikroorganisme. Di samping, biofilter sistem aerobik dapat dianggap tidak cocok digunakan secara langsung untuk menurunkan polutan organik air limbah tahu dan tempe, karena dengan sistem pengolahan tersebut dapat mempengaruhi jumlah dan jenis mikroorganisme yang akan menguraikan senyawa organik tersebut sehingga diperlukan pengolahan pendahuluan.

Menurut Herlambang (2002), dalam proses aerobik, mikroorganisme yang terlibat dalam penguraian senyawa organik hanya dari beberapa jenis saja. Sedangkan dalam proses anaerobik, sebagian besar proses terjadi akibat bakteri. Sejumlah besar bakteri anaerobik dan fakultatif (seperti *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*) terlibat dalam proses penguraian anaerobik. Proses pengolahan limbah dengan sistem anaerobik dapat memberikan efisiensi pengolahan 60-90%. Demikian pula, menurut Bitton (1994), penguraian anaerobik cocok untuk limbah industri dengan konsentrasi pencemar organik yang tinggi. Terdapat empat kategori bakteri yang terlibat dalam transformasi bahan organik menjadi molekul yang sederhana. Kelompok bakteri ini bekerja secara sinergis yaitu : (1) kelompok bakteri hidrolitik, (2) kelompok bakteri asidogenik fermentatif; (3) kelompok bakteri asetogenik; dan (4) kelompok bakteri metanogen. Selain itu, juga dapat disebabkan oleh media tempurung kelapa sawit yang digunakan berukuran kecil dengan bentuk tidak beraturan dan tersusun rapat antara tempurung yang satu dengan lainnya. Hal ini menyebabkan luas permukaan dan ruang kosong tempurung kelapa sawit sebagai media penyangga untuk melekatnya mikroorganisme (bakteri) menjadi kecil.

Menurut Hidayati dan Said (2002), media penyangga menjadi salah satu kunci keberhasilan proses biofilter. Efektivitas media penyangga tergantung pada

jenis bahan, ukuran, bentuk, luas permukaan media tiap satuan volume, volume rongga dalam media dan kekasaran permukaan. Ukuran dan bentuk media berpengaruh terhadap sifat-sifat turbulensi aliran yang memegang peranan penting pada pembentukan biofilm, transportasi dan akumulasi massa biologis atau massa padatan yang tersuspensi, dan distribusi atau peruraian massa limbah sepanjang reaktor. Susunan media yang teratur cocok untuk limbah yang memiliki kandungan padatan tersuspensi yang tinggi. Sedangkan media yang acak (random) digunakan untuk pengolahan air yang dengan konsentrasi padatan tersuspensi yang rendah. Luas permukaan media mempengaruhi jumlah mikroorganisme yang tumbuh sebagai biofilm pada permukaan media di dalam reaktor. Semakin luas permukaan spesifik media penyangga maka akan semakin besar jumlah biomassa mikroorganisme yang tumbuh dan melekat pada permukaan media, sehingga kemampuan penguraian senyawa polutan yang ada di dalam air juga semakin besar.

Selain itu, semakin besar ruang kosong media maka semakin besar kontak biomassa yang menempel atau melekat pada media dengan substrat yang ada dalam air buangan. Kekasaran permukaan memegang peranan penting pada saat awal operasi. Media biofilter yang baik harus memenuhi beberapa syarat, antara lain : (1) luas permukaan yang besar sebagai tempat pertumbuhan mikroorganisme; (2) tidak bersifat racun terhadap mikroorganisme; (3) secara fisik dan kimia harus stabil; dan (4) terdapat celah untuk difusi udara dan dapat dilewati oleh lapisan biofilm yang terlepas.

Penghilangan atau penurunan senyawa organik dalam biofilter diawali dengan pemanfaatan senyawa organik oleh aktivitas mikroorganisme untuk tumbuh dan berkembang. Kebanyakan mikroorganisme dapat tumbuh pada permukaan

padat jika terdapat senyawa organik, garam mineral dan oksigen. Mikroorganisme melekat dengan menggunakan bahan eksopolimer gelatin yang dihasilkan oleh bakteri.

Koloni mikroorganisme dimulai pada daerah tertentu, kemudian terbentuk biofilm secara kontinyu sampai seluruh permukaan tertutup oleh lapisan monoseluler. Sejak itu, pertumbuhan dilakukan dengan memproduksi sel baru yang menutupi lapisan monoseluler pertama. Oksigen dan nutrien yang dibawa air yang iolah akan terdifusi menembus lapisan biofilm sampai kepada lapisan yang paling dalam yang tidak dapat ditembus oleh oksigen dan nutrien. Setelah beberapa lama, terjadi stratifikasi menjadi lapisan aerobik tempat oksigen masih dapat terdifusi dan lapisan anaerobik yang tidak mengandung oksigen tergantung pada ketebalan biofilm yang terbentuk. Dengan demikian, terjadinya proses mineralisasi di dalam biofilm disebabkan oleh substrat organik terdifusi ke dalam biofilm. Substrat organik yang tidak terdifusi ke dalam biofilm akan terbawa aliran kembali. Menurut Levine (1985), hanya bahan organik yang betul-betul terlarut yang dapat terdifusi ke dalam biofilm yang dapat mengalami proses mineralisasi dalam biofilm.

Lebih jauh Lin dan Grady (1980) menjelaskan bahwa mekanisme yang terjadi pada reaktor melekat diam dan terendam adalah (1) transportasi dan adsorpsi zat organik dan nutrien dari fasa liquid ke fasa biofilm, (2) transportasi mikroorganisme dari fasa liquid ke fasa biofilm, (3) adsorpsi mikroorganisme yang terjadi ke dalam lapisan biofilm, (4) reaksi metabolisme mikroorganisme yang terjadi dalam lapisan biofilm memungkinkan terjadinya mekanisme pertumbuhan, pemeliharaan, kematian dan lysis sel, (5) pelekatan mikroba pada permukaan media

pada saat lapisan biofilm mulai terbentuk dan terakumulasi pada lapisan biofilm dan (6) mekanisme pelepasan (*detachment biofilm*) dari produk lainnya (*by product*).

Kondisi suhu pada saat pembiakan mikroorganisme pada inlet dan outlet tidak jauh berbeda dengan kisaran 27 - 30°C. Suhu dalam biofilter sistem aerob ini, bukan merupakan faktor yang dikondisikan, melainkan kondisi suhu yang sangat dipengaruhi oleh iklim yang ada karena dalam penempatan biofilter ini berada di luar ruangan laboratorium. Seperti halnya suhu, nilai pH juga tidak jauh berbeda dengan kisaran 5.5 hingga 7. Walaupun setiap jenis mikroorganisme (bakteri) membutuhkan pH tertentu untuk dapat tumbuh dengan baik. Umumnya semua bakteri memiliki kondisi pertumbuhan antara 4 – 9,5 dengan pH optimum 6,5 – 7,5 (Said dan Hidayati, 2002). Secara keseluruhan mikroorganisme perlu pH 6,5 – 9 (Reynold, 1982) dan bakteri akan tumbuh dengan baik pada kondisi sedikit basa yaitu berkisar antara 7 – 8 (Flathman, 1994). Dengan demikian, pH yang diperoleh masih mendukung pertumbuhan bakteri di dalam biofilter.

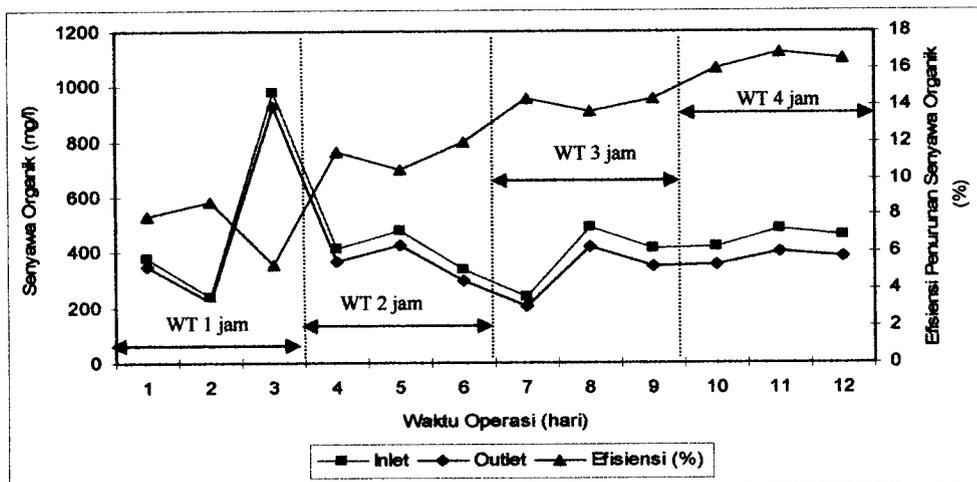
4.2 Pengaruh Waktu Tinggal Terhadap Efisiensi Penurunan Senyawa Organik

Pengujian ini untuk melihat pengaruh waktu tinggal terhadap efisiensi penurunan senyawa organik dilakukan setelah masa biakan (*seeding*) mikroorganisme (bakteri) berjalan selama satu bulan. Laju alir limbah berkisar 0.58 - 2.33 liter/menit sesuai dengan waktu tinggal dan pengujian tiap waktu tinggal dilakukan selama tiga hari berturut-turut. Pengambilan contoh air dilakukan tiap hari. Contoh air diambil selama penelitian ini berjumlah 24 contoh air yang meliputi 192 analisis parameter fisika dan kimia air limbah. Pengamatan yang

dilakukan selama pengujian meliputi suhu air, pH, senyawa organik (KMnO_4), total padatan tersuspensi, total padatan terlarut, amonia, total posfat dan nitrat.

Secara keseluruhan, efisiensi penurunan senyawa organik, padatan tersuspensi total, padatan terlarut total, amonia, total posfat dan nitrat cenderung meningkat seiring dengan peningkatan waktu tinggal, walaupun nilai efisiensi yang dicapai untuk tiap parameter yang diamati tergolong sangat rendah. Hal ini dipengaruhi oleh pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme pada masa *sedding* mikroorganisme mencapai optimal dengan nilai efisiensi yang juga tergolong rendah hanya mencapai 32%. Dengan nilai efisiensi tersebut berkemungkinan biofilm yang terbentuk masih sangat tipis dan hanya menutupi daerah tertentu pada permukaan media tempurung kelapa sawit.

Kandungan senyawa organik pada kondisi stabil pada outlet dipengaruhi oleh kandungan senyawa organik pada inlet dan cenderung stabil hingga akhir penelitian. Konsentrasi senyawa organik dan efisiensi penurunan senyawa organik sesuai dengan waktu tinggal disajikan pada Gambar 4.2.



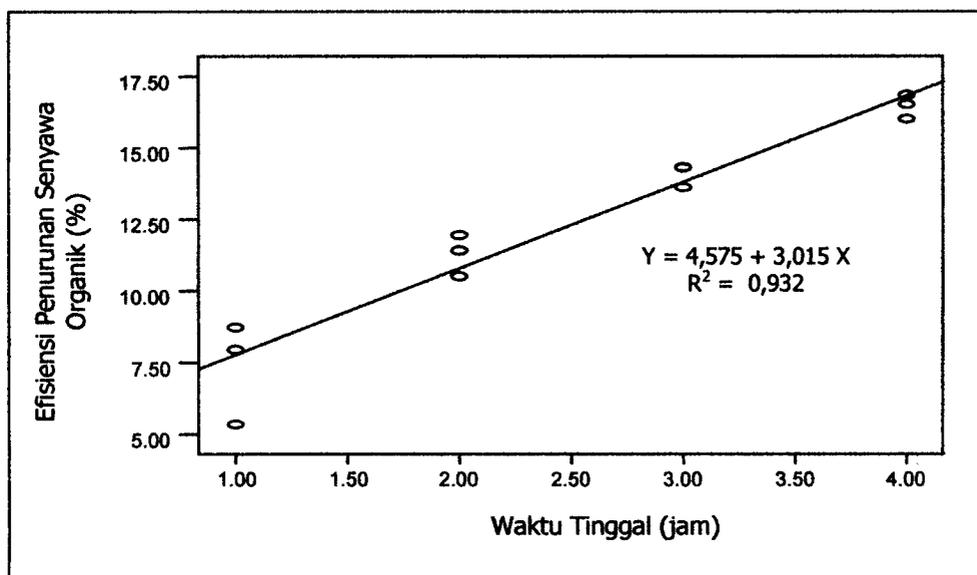
Gambar 4.2 Konsentrasi Senyawa Organik pada Inlet dan Outlet serta Efisiensi Penurunan Senyawa Organik

Dari grafik di atas menunjukkan efisiensi penurunan senyawa organik dengan waktu tinggal 1 hanya mencapai kisaran 5.35 – 8.73% dan tertinggi pada waktu tinggal 4 jam berkisar 16.01 – 16.85%. Waktu tinggal air limbah yang semakin lama di dalam bioreaktor dapat meningkatkan efisiensi penurunan senyawa organik. Atau semakin pendek waktu tinggal yaitu dari 4 jam menjadi 1 jam, efisiensi penghilangan senyawa organik pada kondisi stabil juga semakin kecil. Hal ini kemungkinan disebabkan mikroorganisme memerlukan waktu adaptasi terhadap perubahan beban organik yang masuk ke dalam reaktor. Selain itu, juga disebabkan semakin singkat waktu kontak antara senyawa organik dalam air limbah dengan mikroorganisme pada lapisan biofilm sehingga semakin sedikit kesempatan mikroba untuk dapat memanfaatkan zat organik tersebut untuk proses metabolisme tubuhnya. Menurut Kornegay dan Andrews (1968) menegaskan bahwa penghilangan substrat (senyawa organik) oleh lapisan mikroba akan bertambah secara linier dengan bertambahnya ketebalan film sampai dengan ketebalan maksimum, penghilangan tetap konstan dengan bertambahnya ketebalan lebih lanjut.

Hasil analisis regresi sederhana pada Lampiran 2 menunjukkan bahwa waktu tinggal air limbah dalam reaktor berkorelasi kuat dan hubungan positif dengan efisiensi penurunan senyawa organik ($R^2 = 0.9322$). Semakin lama waktu tinggal akan meningkatkan penurunan senyawa organik. Sebaliknya, semakin singkat waktu tinggal memberikan konsekuensi pada semakin rendahnya penurunan senyawa organik. Korelasi antara waktu tinggal dengan efisiensi penurunan senyawa organik adalah sangat nyata ($p\text{-value} = 0.000$). Hasil penelitian

ini juga menunjukkan bahwa 93.22%, efisiensi penurunan senyawa organik dipengaruhi oleh waktu tinggal.

Hasil Anova menunjukkan bahwa waktu tinggal berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi penurunan senyawa organik ($F_{hitung} > F_{tabel}$; $p\text{-value} < 0.01$) dengan persamaan regresi : $Y = 4.757 + 3.015X$. Hal ini berarti waktu tinggal berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi penurunan senyawa organik. Dengan kata lain, waktu tinggal memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi penurunan senyawa organik. Hubungan antara waktu tinggal dengan efisiensi penurunan senyawa organik disajikan pada Gambar 4.3.



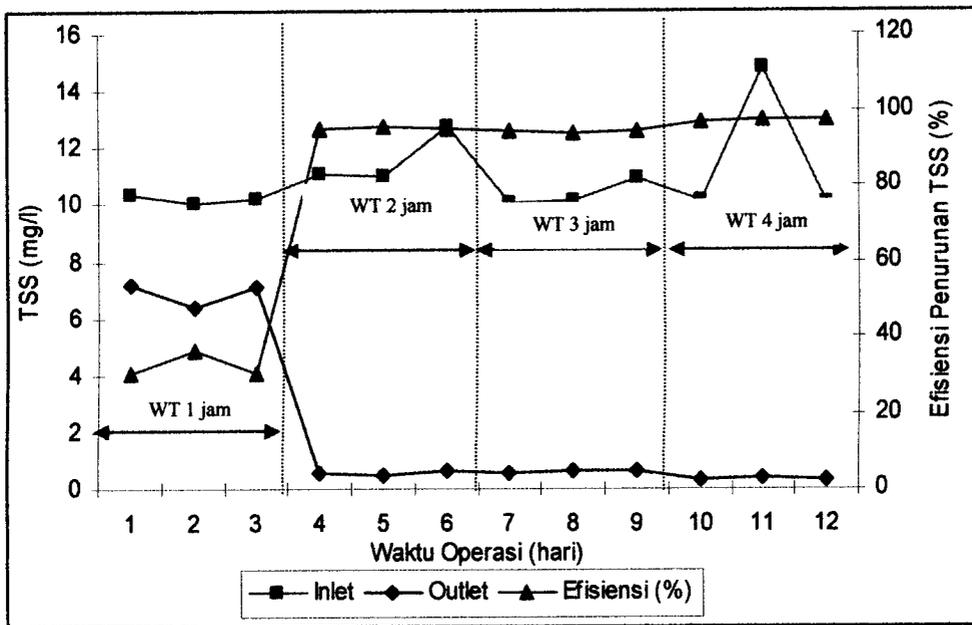
Gambar 4.3. Hubungan antara waktu tinggal dengan efisiensi penurunan senyawa organik

4.3 Pengaruh Waktu Tinggal Terhadap Efisiensi Penurunan TSS

Kadar TSS pada inlet selama pengujian berlangsung berkisar 10.04 – 14.78 mg/l dan mengalami penurunan pada outlet berkisar 0.28 – 7.2 mg/l atau konsentrasi penurunan TSS berkisar 3.11 – 14.4 mg/l. Nilai TSS dalam air limbah

sebelum dan sesudah diolah (outlet) jika merujuk pada Kep-51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri sangat memenuhi syarat, karena ambang batas yang diperkenankan berkisar 200 – 400 mg/l.

Efisiensi penurunan kadar padatan tersuspensi total atau *total suspended solid* terendah dicapai pada waktu tinggal 1 jam dengan rata-rata efisiensi penurunannya sebesar 32.47% dan mengalami peningkatan tajam setelah waktu tinggal diubah menjadi 2 jam sebesar 95.11% dan cenderung stabil hingga waktu tinggal 4 jam sebesar 97.10% (Lampiran 2). Kadar TSS pada inlet dan outlet serta efisiensi penurunan TSS disajikan pada Gambar 4.4.

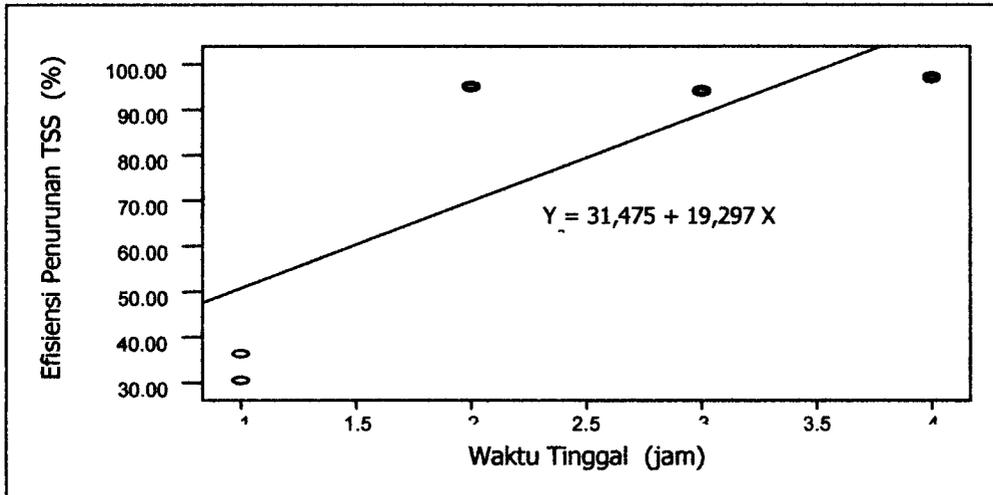


Gambar 4.4 Konsentrasi TSS pada Inlet dan Outlet serta Efisiensi Penurunan TSS

Penurunan padatan tersuspensi total dalam reaktor selama penelitian disebabkan oleh pemakaian media tempurung kelapa sawit sebagai media biofilter. Tempurung kelapa sawit yang berukuran kecil, bentuk yang tidak beraturan dan tersusun rapat dalam reaktor dapat berfungsi sebagai filter fisik. Akibatnya air

limbah yang mengandung muatan padatan tersuspensi setelah melalui filter ini akan berkurang konsentrasinya karena muatan padatan tersuspensi tertahan diantara celah-celah tumpukan tempurung kelapa sawit dengan lainnya. Efisiensi penyaringan bertambah besar karena adanya biofilter up flow yaitu penyaringan dengan sistem aliran dari bawah ke atas akan mengurangi kecepatan partikel yang terdapat pada air limbah dan partikel yang tidak terbawa aliran ke atas diendapkan di dasar filter. Sejumlah kecil partikel padatan masih terbawa aliran ke atas juga mengalami pengendapan di atas permukaan media sejalan dengan lamanya waktu tinggal.

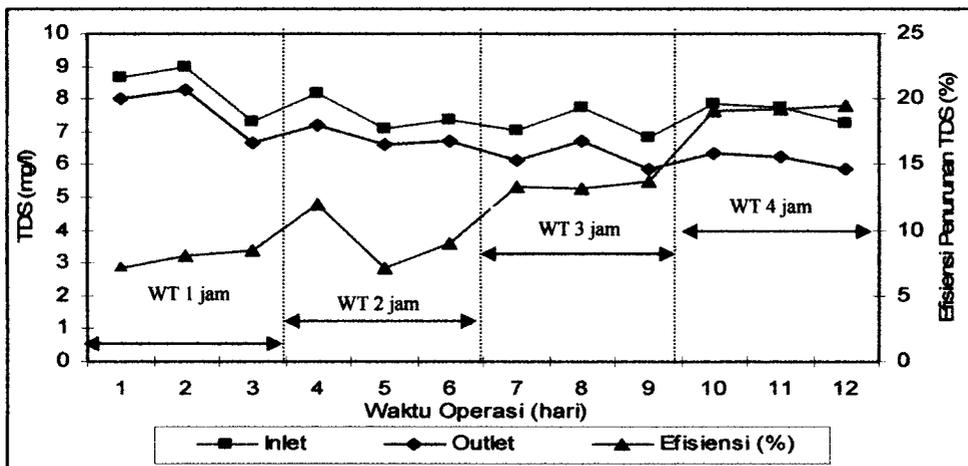
Hasil analisis regresi sederhana pada Lampiran 4 menunjukkan bahwa waktu tinggal air limbah dalam reaktor berkorelasi kuat dan hubungan positif dengan efisiensi penurunan TSS ($R^2 = 0.6236$). Semakin lama waktu tinggal akan meningkatkan penurunan TSS. Sebaliknya, semakin singkat waktu tinggal memberikan konsekuensi pada semakin rendahnya penurunan TSS. Korelasi antara waktu tinggal dengan efisiensi penurunan TSS adalah nyata. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa 93.22%, efisiensi penurunan senyawa TSS dipengaruhi oleh waktu tinggal. Hasil Anova menunjukkan bahwa waktu tinggal berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi penurunan TSS ($F_{hitung} > F_{tabel}$; $p\text{-value} > 0.05$) dengan persamaan regresi : $Y = 31.475 + 19.297X$. Hal ini berarti waktu tinggal berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi penurunan TSS. Hubungan antara waktu tinggal dengan efisiensi penurunan TSS disajikan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Hubungan antara waktu tinggal dengan efisiensi penurunan TSS

4.4 Pengaruh Waktu Tinggal Terhadap Efisiensi Penurunan TDS

Kadar padatan terlarut total atau *Total Dissolve Solid* terendah dicapai dengan waktu tinggal 1 jam dengan rata-rata efisiensi penurunannya sebesar 7.89% dan mengalami peningkatan setelah waktu tinggal diubah menjadi 2 jam, yaitu 9.41%, 3 jam sebesar 13.37% dan 4 jam mencapai 19.25% (Lampiran 5). Kadar TDS pada inlet dan outlet serta efisiensi penurunan TDS pada Gambar 4.6.

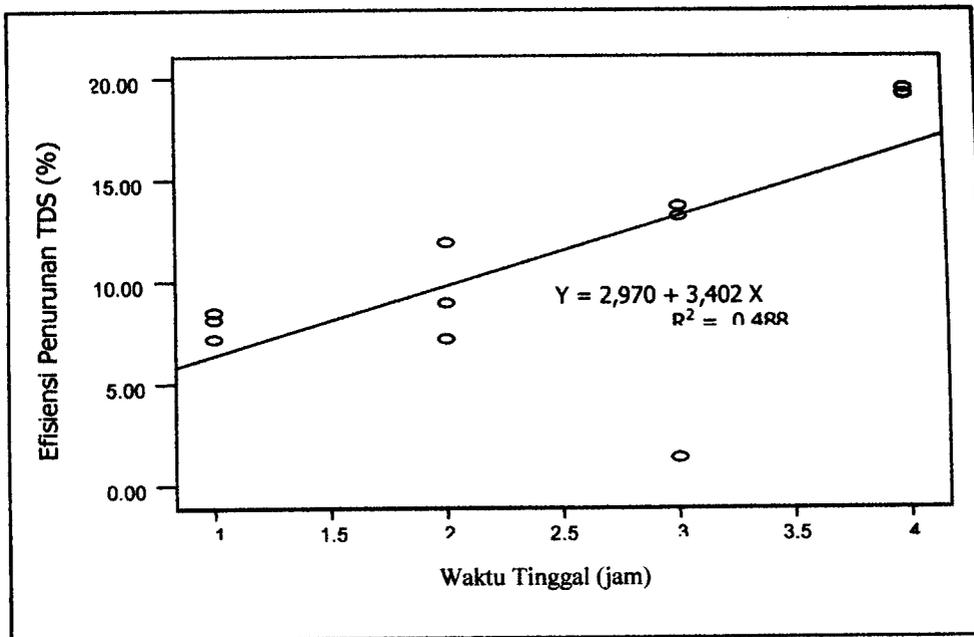


Gambar 4.6 Konsentrasi TDS pada Inlet dan Outlet serta Efisiensi Penurunan TDS

Penurunan padatan terlarut total dalam reaktor selama penelitian disebabkan oleh fraksi senyawa organik dalam bentuk terlarut yang terdifusi ke dalam lapisan biofilm mengalami proses mineralisasi dalam biofilm. Menurut Levine (1985), untuk terjadinya proses mineralisasi di dalam biofilm, substrat organik harus dapat terdifusi ke dalam biofilm, jika tidak substrat organik tersebut akan terbawa aliran kembali.

Efisiensi penurunan TDS mengalami peningkatan seiring dengan lamanya waktu tinggal air limbah dalam reaktor. Hal disebabkan oleh waktu tinggal yang panjang mempengaruhi kecepatan aliran menjadi lebih lambat sehingga permukaan biofilm tidak mudah tererosi yang dapat menghambat proses difusi fraksi fraksi organik terlarut ke dalam biofilm.

Hasil analisis regresi sederhana pada Lampiran 6 menunjukkan bahwa waktu tinggal air limbah dalam reaktor berkorelasi tidak kuat dan hubungan positif dengan efisiensi penurunan TDS ($R^2 = 0.4879$). Panjang atau singkatnya waktu tinggal tidak selalu diikuti dengan peningkatan atau penurunan TDS. Korelasi antara waktu tinggal dengan efisiensi penurunan TDS adalah nyata. Hasil penelitian ini juga menunjukkan hanya 48.79%, efisiensi penurunan senyawa TDS dipengaruhi oleh waktu tinggal. Hubungan antara waktu tinggal dengan efisiensi penurunan TDS, disajikan pada Gambar 4.7. Hasil Anova menunjukkan bahwa ada pengaruh waktu tinggal terhadap efisiensi penurunan TDS ($F_{hitung} > F_{tabel}$; $p\text{-value} > 0.05$), dengan persamaan regresi : $Y = 2.97 + 3.402 X$. Hal ini berarti waktu tinggal berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi penurunan TDS.



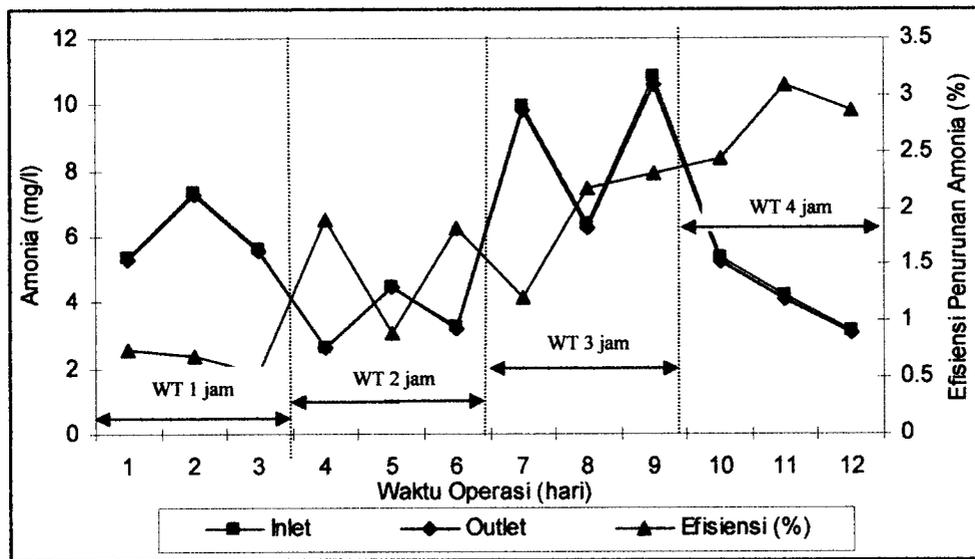
Gambar 4.7. Hubungan antara Waktu Tinggal dengan Efisiensi Penurunan TDS

4.5 Pengaruh Waktu Tinggal Terhadap Efisiensi Penurunan Amonia

Amonia berasal dari nitrogen organik yang terkandung dalam air limbah yang diuraikan oleh organisme heterotrop, yaitu organisme yang membutuhkan nutriennya dalam bentuk senyawa organik dan memperoleh energi dengan mengoksidasi senyawa organik tersebut. Amonia yang terbentuk dapat menyebabkan kondisi toksik bagi kehidupan perairan. Kadar amonia pada inlet selama pengujian berlangsung berkisar 2.64 – 10.87 mg/l dan mengalami penurunan pada outlet berkisar 2.59 – 10.62 mg/l atau konsentrasi penurunan amoniak berkisar 0.54 – 3.09 mg/l. Kadar amoniak dalam air limbah yang telah diolah (outlet) masih tinggi, jika merujuk pada Kep-51/MENLH/10/1995 yang mensyaratkan kadar amonia berkisar 1 – 5 mg/l. Menurut Herlambang dan Marsidi (2003), kehidupan air terpengaruh oleh amonia pada konsentrasi 1 mg/l dan dapat

menyebabkan ikan mati lemas karena dapat mengurangi kapasitas oksigen dalam air.

Efisiensi penurunan amoniak terendah dicapai pada waktu tinggal 1 jam dengan rata-rata efisiensi 0.66% dan mengalami peningkatan setelah waktu tinggal diubah menjadi 2 jam, yaitu 1.44%, 3 jam sebesar 1.87% dan 4 jam mencapai 2.75% (Lampiran 7). Kadar amonia pada inlet dan outlet serta efisiensi penurunan amonia disajikan pada Gambar 4.8.

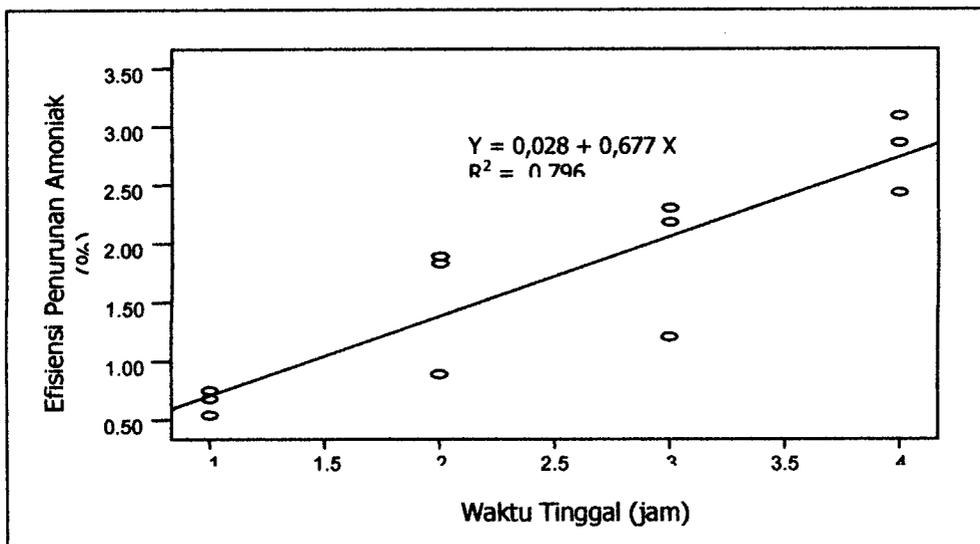


Gambar 4.8 Konsentrasi Amonia pada Inlet dan Outlet serta Efisiensi Penurunan Amonia

Penurunan amonia dalam reaktor selama penelitian disebabkan oleh pemanfaatan amonia oleh mikroorganisme baik yang membentuk biofilm maupun tersuspensi untuk asimilasi menjadi sel baru yang memberikan lebih banyak nitrogen organik atau menghasilkan nitrogen organik. Menurut Herlambang dan Marsidi (2003), amonia dalam air digunakan oleh mikroorganisme dalam proses biosintesis (asimilasi) untuk membentuk sel baru yang akan menghasilkan nitrogen organik.

Efisiensi penurunan amonia mengalami peningkatan seiring dengan lamanya waktu tinggal air limbah dalam reaktor. Hal disebabkan oleh waktu tinggal yang lebih lama memberikan kesempatan proses biosintesis oleh mikroorganisme menjadi lebih panjang untuk membentuk sel baru. Akibatnya penggunaan amoniak oleh mikroorganisme meningkat sehingga meningkatkan efisiensi penurunannya.

Hasil analisis regresi sederhana pada Lampiran 8 menunjukkan bahwa waktu tinggal air limbah dalam reaktor berkorelasi kuat dan hubungan positif dengan efisiensi penurunan amonia ($R^2 = 0.7963$). Semakin lama waktu tinggal akan meningkatkan penurunan amonia. Sebaliknya, semakin singkat waktu tinggal memberikan konsekuensi pada semakin rendahnya penurunan amonia. Korelasi antara waktu tinggal dengan efisiensi penurunan senyawa organik adalah sangat nyata ($p\text{-value} = 0.000$). Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa 79.63%, efisiensi penurunan amonia dipengaruhi oleh waktu tinggal. Hubungan antara waktu tinggal dengan efisiensi penurunan amonia disajikan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Hubungan antara Waktu Tinggal dengan Efisiensi Penurunan Amonia

Hasil Anova menunjukkan bahwa waktu tinggal berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi penurunan amonia ($F_{hitung} > F_{tabel}$; $p\text{-value} < 0.01$) dengan persamaan regresi : $Y = 0.0283 + 0.677X$. Hal ini berarti waktu tinggal berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi penurunan amonia. Dengan kata lain, waktu tinggal memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi penurunan amonia.

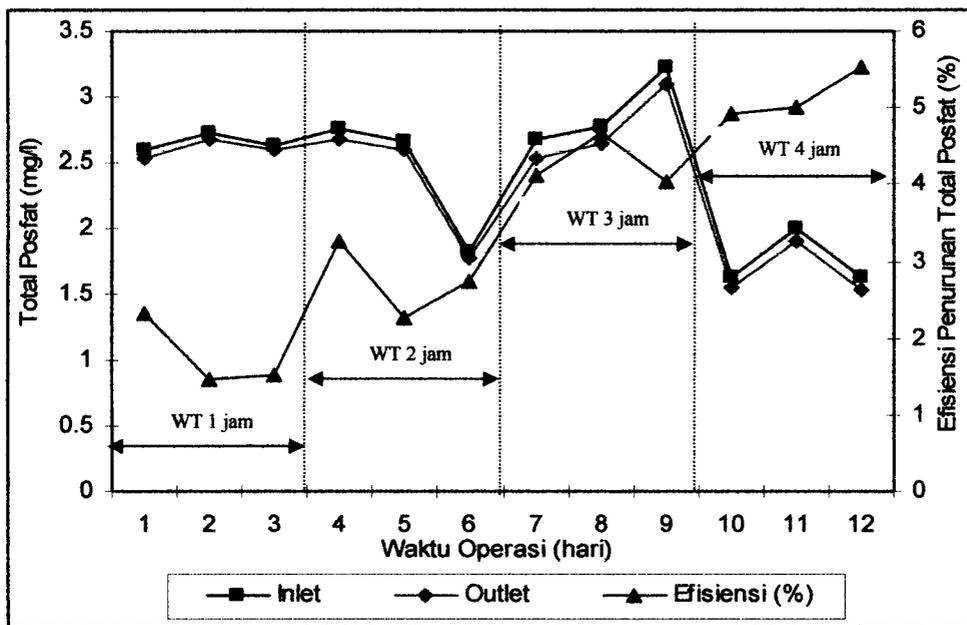
4.6 Pengaruh Waktu Tinggal Terhadap Efisiensi Penurunan Total Posfat

Kadar total posfat pada inlet selama pengujian berlangsung berkisar 1.63 – 3.22 mg/l dan mengalami penurunan konsentrasi pada outlet berkisar 1.54 – 3.09 mg/l atau konsentrasinya mengalami penurunan dengan kisaran 0.04 – 0.13 mg/l. Kadar total posfat dalam air limbah tergolong masih rendah, walaupun tidak syaratkan dalam Kep-51/MENLH/10/1995.

Efisiensi penurunan kadar total posfat terendah dicapai pada waktu tinggal 1 jam dengan rata-rata efisiensi penurunannya sebesar 1.76% dan mengalami peningkatan setelah waktu tinggal diubah menjadi 2 jam, yaitu 2.76%, 3 jam sebesar 4.27% dan 4 jam mencapai 5.13% (Lampiran 9). Kadar total posfat pada inlet dan outlet serta efisiensi penurunan total posfat disajikan pada Gambar 4.10.

Penurunan posfat total dalam reaktor selama penelitian disebabkan oleh adanya proses penghilangan senyawa fosfor oleh mikroorganisme. Selama berada dalam kondisi aerob, senyawa fosfor terlarut akan diserap oleh bakteri dan mikroorganisme dan akan disintesis menjadi polifosfat dengan menggunakan energi yang dihasilkan oleh proses oksidasi senyawa organik. Sementara pada kondisi an-aerob, senyawa fosfor an-organik yang ada dalam sel-sel

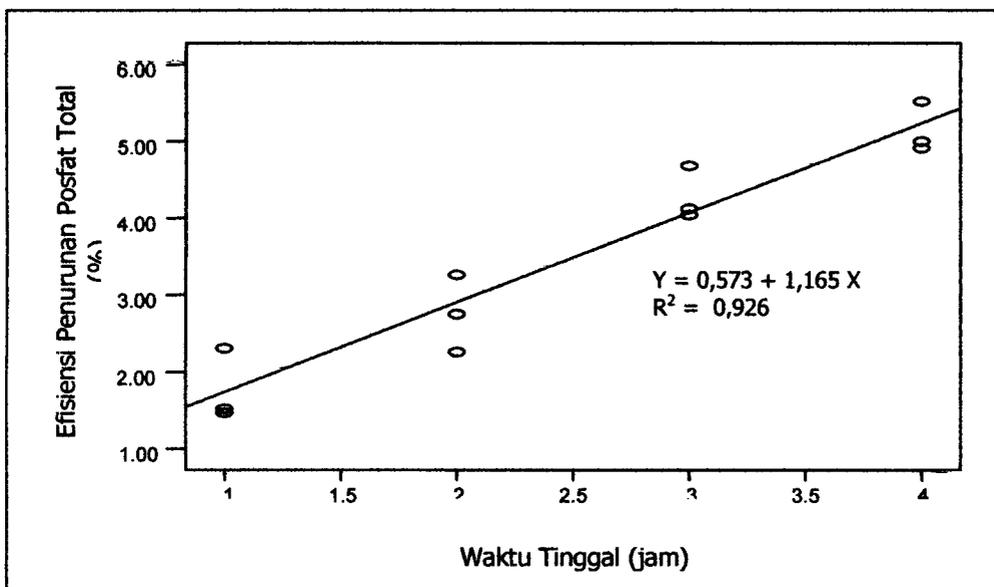
mikroorganisme akan keluar sebagai akibat hidrolisis senyawa senyawa fosfor. Energi yang dihasilkan digunakan untuk menyerap senyawa organik yang ada di dalam limbah. Oleh karena itu, menurut Metcalf dan Eddy (1991) efisiensi penghilangan bahan organik akan berjalan baik jika perbandingan antara BOD₅ dan fosfor (P) lebih besar dari 10.



Gambar 4.10 Konsentrasi Total Posfat pada Inlet dan Outlet serta Efisiensi Penurunan Total Posfat

Efisiensi penurunan posfat total dengan waktu tinggal 1 hingga 4 jam tergolong rendah sangat tergantung pada kelarutan senyawa fosfor yang ada dan seiring pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme dalam air limbah dari waktu ke waktu yang akan membentuk biofilm. Hasil analisis regresi sederhana pada Lampiran 10 menunjukkan bahwa waktu tinggal air limbah dalam reaktor berkorelasi kuat dan hubungan positif dengan efisiensi penurunan posfat total ($R^2 = 0.92.59$). Semakin lama waktu tinggal akan meningkatkan penurunan posfat total. Sebaliknya, semakin singkat waktu tinggal memberikan konsekuensi pada

semakin rendahnya penurunan posfat total. Korelasi antara waktu tinggal dengan efisiensi penurunan nitrat adalah sangat nyata ($p\text{-value} = 0.000$). Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa 92.59% efisiensi penurunan nitrat dipengaruhi oleh waktu tinggal. Hubungan antara waktu tinggal dengan efisiensi penurunan nitrat disajikan pada Gambar 4.11.



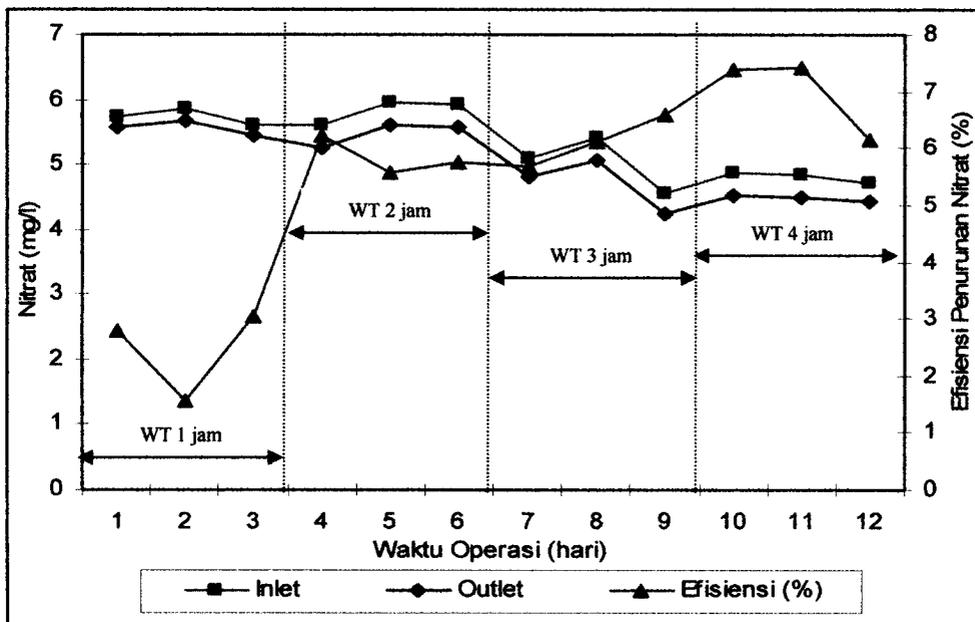
Gambar 4.11. Hubungan antara Waktu Tinggal dengan Efisiensi Penurunan Total Posfat

Hasil Anova menunjukkan bahwa waktu tinggal berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi penurunan posfat total ($F_{hitung} > F_{tabel}$; $p\text{-value} < 0.01$) dengan persamaan regresi : $Y = Y = 0.5733 + 1.6533X$. Hal ini berarti waktu tinggal berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi penurunan posfat total. Dengan kata lain, waktu tinggal memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi penurunan posfat total.

4.7 Pengaruh Waktu Tinggal Terhadap Efisiensi Penurunan Nitrat

Kadar nitrat pada inlet selama pengujian berlangsung berkisar 4.45 – 5.94 mg/l dan mengalami penurunan konsentrasi pada outlet berkisar 4.25 – 5.66 mg/l atau konsentrasinya mengalami penurunan dengan kisaran 0.16 – 0.36 mg/l. Kadar nitrat dalam air limbah baik sebelum dan sesudah diolah, jika merujuk Kep-51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair untuk kegiatan industri masih sangat rendah, karena ambang batas yang diperkenankan 20 – 30 mg/l.

Efisiensi penurunan kadar nitrat terendah dicapai dengan waktu tinggal 1 jam dengan rata-rata efisiensi penurunannya sebesar 3.14% dan mengalami peningkatan setelah waktu tinggal diubah menjadi 2 jam, yaitu 5.84%, 3 jam sebesar 6.11% dan 4 jam mencapai 6.99% (Lampiran 11). Kadar nitrat pada inlet dan outlet serta efisiensi penurunan nitrat disajikan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Konsentrasi Nitrat pada Inlet dan Outlet serta Efisiensi Penurunan Nitrat

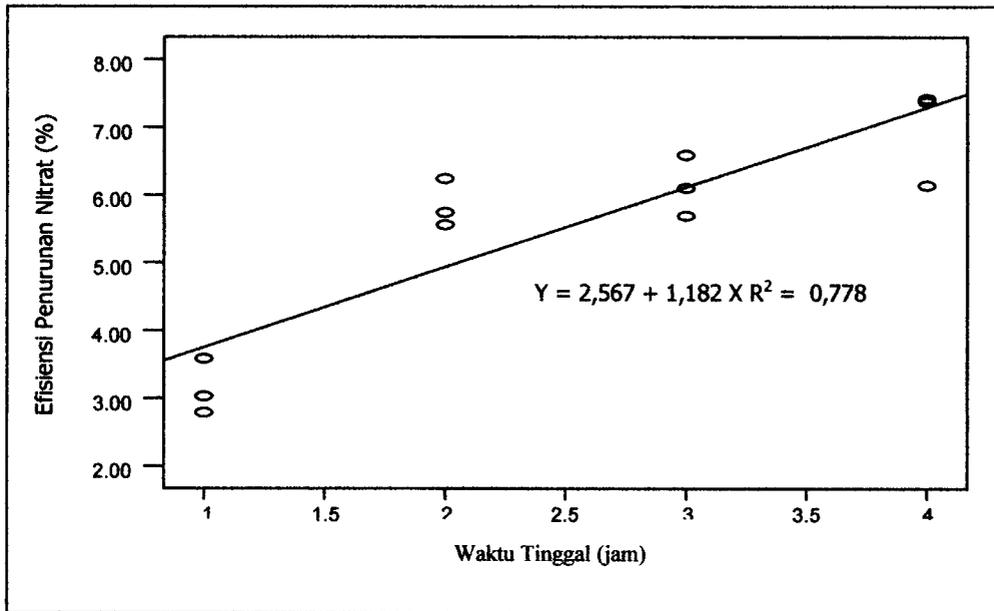
Penurunan nitrat dalam reaktor selama penelitian disebabkan oleh pemanfaatan nitrat oleh mikroorganisme baik yang membentuk biofilm maupun tersuspensi untuk asimilasi menjadi sel baru yang memberikan lebih banyak nitrogen organik atau menghasilkan nitrogen organik. Selain amonia, menurut Herlambang dan Marsidi (2003), senyawa nitrat dalam air digunakan oleh mikroorganisme dalam proses biosintesis (asimilasi) untuk membentuk sel baru yang akan menghasilkan nitrogen organik.

Efisiensi penurunan nitrat mengalami peningkatan seiring dengan lamanya waktu tinggal air limbah dalam reaktor. Hal disebabkan oleh waktu tinggal yang lebih lama memberikan kesempatan yang lebih banyak nitrat yang digunakan oleh mikroorganisme dalam proses biosintesisnya untuk membentuk sel baru. Akibatnya, penggunaan nitrat oleh mikroorganisme meningkat sehingga meningkatkan efisiensi penurunannya.

Hasil analisis regresi sederhana pada Lampiran 12 menunjukkan bahwa waktu tinggal air limbah dalam reaktor berkorelasi kuat dan hubungan positif dengan efisiensi penurunan nitrat ($R^2 = 0.7776$). Semakin lama waktu tinggal akan meningkatkan penurunan nitrat. Sebaliknya, semakin singkat waktu tinggal memberikan konsekuensi pada semakin rendahnya penurunan nitrat. Korelasi antara waktu tinggal dengan efisiensi penurunan nitrat adalah sangat nyata ($p\text{-value} = 0.0001$). Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa 77.76% efisiensi penurunan nitrat dipengaruhi oleh waktu tinggal.

Hasil Anova menunjukkan bahwa waktu tinggal berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi penurunan nitrat ($F_{hitung} > F_{tabel}$; $p\text{-value} < 0.01$) dengan persamaan regresi : $Y = 2.5667 + 1.1820X$. Hal ini berarti waktu tinggal

berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi penurunan nitrat. Dengan kata lain, waktu tinggal memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi penurunan nitrat. Hubungan antara waktu tinggal dengan efisiensi penurunan nitrat disajikan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13. Hubungan antara Waktu Tinggal dengan Efisiensi Penurunan Nitrat