

# PENGOLAHAN LIMBAH CAIR ASAM FORMIAT DENGAN METODE OKSIDASI BASAH BERKATALIS $\text{CoSO}_4$

Harry Alfiyan R., Desi Susanti, Chairul, Is Sulistyati P.  
Laboratorium Bioproses, Jurusan Teknik Kimia  
Fakultas Teknik Universitas Riau  
E-mail: [harry\\_alfiyan@yahoo.com](mailto:harry_alfiyan@yahoo.com)

## Abstrak

Oksidasi basah atau *wet oxidation* merupakan salah satu metode pengolahan limbah secara kimia dengan menggunakan reaksi oksidasi fasa cair pada suhu dan tekanan yang relatif tinggi (125-320 °C dan 5-198 atm). Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengolahan limbah asam formiat dengan metode oksidasi basah, pengaruh variabel proses, dan kinetika reaksi oksidasi basah asam formiat. Asam formiat yang diolah memiliki kadar COD dengan jumlah 6506,1000 mg/l. Untuk mempercepat terjadinya reaksi, maka digunakan  $\text{CoSO}_4$  sebagai katalis. Peralatan yang digunakan berupa reaktor otoklaf berpengaduk dirangkai dengan peralatan untuk mengalirkan oksigen, penangas minyak (*oil-bath*), serta kran pengeluaran sampel. Variabel yang dipelajari adalah suhu pada 125 °C, 135 °C dan 145°C, dan penggunaan katalis 0-10 %-berat. Kadar asam formiat yang tersisa selama pengolahan dinyatakan dalam parameter COD (mg/l). Penyisihan COD pada masa *start-up* berkisar antara 1,82-6,02 % dan selama proses pengolahan tingkat penyisihan COD sebesar 5,55-8,82 %. Konstanta kecepatan reaksi untuk oksidasi basah tanpa katalis pada suhu 125-145 °C mengikuti persamaan  $k' = (3,7714E-03) \exp(-67315,7143/RT)$  dan untuk oksidasi basah berkatalis mengikuti persamaan  $k' = (3,7866E-03) \exp(-65600,0584/RT)$ .

*Kata kunci:* oksidasi basah; asam formiat; katalis  $\text{CoSO}_4$ ; kinetika reaksi

## 1. Pendahuluan

Limbah cair asam formiat merupakan buangan yang berasal dari industri tekstil dan kulit. Pada industri tekstil, asam formiat digunakan pada pengasaman bak celup, untuk menetralkan larutan alkali, dan mempercepat pembilasan pada tahap pencucian bahan tekstil. Asam formiat juga dimanfaatkan pada industri kulit yaitu pada tahap pengembangan bahan kulit, tahap pengapuran, tahap pencelupan, tahap penyisihan bulu, dan sebagai desinfektan untuk mencegah pertumbuhan jamur dan bakteri pada permukaan kulit (Kirk dan Othmer, 1979). Limbah ini sangat berbahaya jika dibuang langsung ke lingkungan karena bersifat racun, cenderung bersifat stabil dan sulit terurai di badan air. Hal ini disebabkan karena asam formiat dapat membentuk ikatan hidrogen berganda yang kuat dalam air maupun dalam bentuk murni. Oleh karena itu, cara pengolahan yang tepat dan efisien diperlukan untuk mengolah limbah tersebut agar limbah yang dibuang ke perairan tidak menimbulkan pencemaran.

Berbagai upaya dilakukan untuk memperoleh metode yang tepat dan mampu mengolah berbagai jenis limbah cair. Salah satu metode yang paling banyak diminati adalah proses lumpur aktif, karena prosesnya tergolong sederhana dan biayanya relatif murah. Namun metode ini memiliki keterbatasan karena hanya mampu mengolah limbah cair dengan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang rendah yaitu 187-5400 mg/l (Metcalf dan Eddy, 1991). Chairul (1996) telah mencoba mengolah lumeran sampah (*leachate*) dengan kadar COD awal 3000 mg/L menggunakan proses lumpur aktif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah yang telah diolah tersebut masih mengandung kadar COD sebesar 407 mg/L dengan efisiensi

rata-rata pengolahannya adalah 86,42 %. Akan tetapi, kadar COD tersebut dinilai belum memenuhi baku mutu limbah cair industri yang telah ditetapkan pemerintah, yaitu sebesar 100 mg/L (Kementerian Negara Lingkungan Hidup, 1998). Kadar senyawa organik pada limbah bisa diidentikkan dengan COD, karena COD menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik secara kimia pada limbah, sehingga angka COD tersebut dapat dijadikan sebagai ukuran bagi pencemaran air oleh zat organik.

Proses pengolahan limbah dengan metode oksidasi basah merupakan cara yang lebih baik untuk menjawab ketidakmampuan proses lumpur aktif dalam mengolah limbah dengan kadar COD yang tinggi dan sulit terurai (Li., 1991; Mishra dkk., 1995). Oksidasi basah merupakan salah satu metode pengolahan limbah cair secara kimia melalui reaksi oksidasi fase cair menggunakan oksigen yang dilangsungkan pada suhu 125-320 °C dan tekanan 5-198 atm. Selama reaksi oksidasi berlangsung, senyawa organik kompleks dalam limbah cair berangsur-angsur terurai menjadi asam karboksilat dengan berat molekul yang rendah dan selanjutnya menjadi karbondioksida, air, dan molekul sederhana lainnya (Mishra dkk., 1995). Shende dan Mahajani (1997) telah mempelajari oksidasi basah asam formiat dengan atau tanpa katalis  $\text{CuSO}_4$ , dengan variabel proses yang dipelajari adalah suhu pada 150-240 °C dan tekanan pada 3,41-13,62 atm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu hingga 225 °C mampu menyisihkan COD sebesar 92%. Namun katalis  $\text{CuSO}_4$  yang digunakan pada penelitian tersebut mempunyai kelemahan yaitu pada suhu diatas 200 °C akan terdekomposisi membentuk  $\text{SO}_2$  dan  $\text{CuO}$  yang dapat menimbulkan pencemaran bagi lingkungan (Remy, 1956). Oleh karena itu, metode oksidasi basah dengan kondisi operasi yang lebih kuat diharapkan dapat menyempurnakan oksidasi basah asam formiat menjadi karbondioksida dan air.

Pada penelitian ini, oksidasi basah asam formiat dilangsungkan pada rentang suhu 125-145 °C menggunakan katalis  $\text{CoSO}_4$  dengan rentang konsentrasi (0-10) %-berat. Variabel suhu dan penggunaan katalis  $\text{CoSO}_4$  digunakan untuk mempelajari pengolahan limbah asam formiat dan kinetika reaksi oksidasi basah asam formiat.

## 2. Fundamental

### • Metode Oksidasi Basah (*Wet Oxidation*)

Oksidasi basah atau *wet oxidation* adalah salah satu metode pengolahan limbah cair secara kimia melalui reaksi oksidasi fase cair menggunakan oksigen yang dilangsungkan pada suhu 125-320 °C dan tekanan 5-198 atm (Li dkk., 1991; Mishra dkk., 1995). Jika udara digunakan sebagai sumber oksigen, maka metode ini dikenal dengan oksidasi udara basah atau *wet air oxidation* (WAO). Metode oksidasi basah dapat diterapkan pada berbagai jenis limbah organik atau anorganik yang dapat dioksidasi dan larut atau tersuspensi dalam air, terutama limbah yang bersifat racun dan memiliki kadar COD yang tinggi. Peningkatan suhu bertujuan untuk meningkatkan kelarutan oksigen dalam cairan limbah dan tekanan yang tinggi menjaga air tetap pada kondisi cair, dalam hal ini air berfungsi sebagai media perpindahan panas (Mishra dkk., 1995).

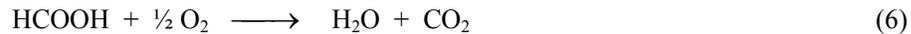
Oksidasi basah mampu memutuskan atau memecah struktur molekul besar dalam limbah dan mengubahnya terutama menjadi karbondioksida, air, dan asam karboksilat dengan berat molekul rendah. Secara umum, metode oksidasi basah melibatkan beberapa reaksi oksidasi dan hidrolisis, yaitu sebagai berikut (Mishra dkk., 1995):



Penerapan metode oksidasi basah pada pengolahan limbah dengan kadar COD yang tinggi lebih ditujukan pada pengolahan awal, sehingga beban pengolahan untuk tahap berikutnya menjadi berkurang.

- **Kinetika Reaksi Oksidasi Basah Asam Formiat**

Oksidasi basah pada asam formiat berlangsung menurut reaksi berikut :



Konsentrasi dari asam formiat yang tersisa pada aliran akhir digambarkan sebagai konsentrasi COD dan laju reaksi oksidasi basah asam formiat tanpa katalis mengikuti persamaan dibawah ini:

$$\frac{-d(\text{COD})}{dt} = r = A \exp[-Ea/RT][\text{COD}]^m [\text{O}_2]^n \quad (7)$$

Dalam fasa gas konsentrasi oksigen besar, tetapi kelarutan oksigen dalam fasa cair kecil, sehingga konsentrasi oksigen berlebih dari kebutuhan stoikiometri. Jadi, konsentrasi oksigen dalam hal ini dianggap konstan (Fogler, 1999). Persamaan (7) dapat disederhanakan menjadi:

$$\frac{-d(\text{COD})}{dt} = k'[\text{COD}]^m \quad (8)$$

dimana,  $k' = A \exp[-Ea/RT]$  (9)

Persamaan laju reaksi oksidasi basah asam formiat menggunakan katalis disusun sebagai berikut:

$$\frac{-d(\text{COD})}{dt} = r = k'[\text{COD}]^m [\text{O}_2]^n [\text{CoSO}_4]^p \quad (10)$$

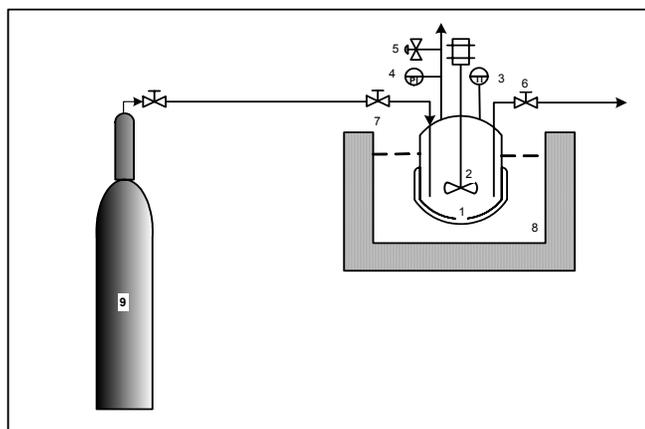
Katalis dapat mempercepat laju reaksi tetapi tidak terkonsumsi selama reaksi berlangsung sehingga konsentrasi katalis dapat dianggap konstan. Persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi:

$$\frac{-d(\text{COD})}{dt} = r = k'[\text{COD}]^m \quad (11)$$

### 3. Metodologi

- **Bahan dan Alat**

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah asam formiat teknis sebagai sumber senyawa organik,  $\text{CoSO}_4$  p.a (pro analyst) sebagai katalis homogen, dan gas oksigen dengan kemurnian 99,5% sebagai sumber oksidator. Peralatan yang digunakan terdiri dari reaktor autoklaf bervolume 2 liter yang dilengkapi dengan pengaduk elektrik, termometer sebagai penunjuk suhu, indikator tekanan sebagai penunjuk tekanan dalam reaktor, katup pengaman tekanan, kran pemasukan oksigen, dan kran pengambilan sampel. Untuk mempertahankan suhu konstan diatas  $100^\circ\text{C}$ , maka digunakan penangas minyak. Rangkaian alat oksidasi basah asam formiat dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Keterangan:

1. Reaktor
2. Pengaduk elektrik
3. Indikator suhu
4. Indikator tekanan
5. Katup pengaman tekanan
6. Kran pengambilan sampel
7. Kran pemasukan oksigen
8. Penangas minyak
9. Tabung oksigen

Gambar 1. Rangkaian Alat Oksidasi Basah Asam Formiat

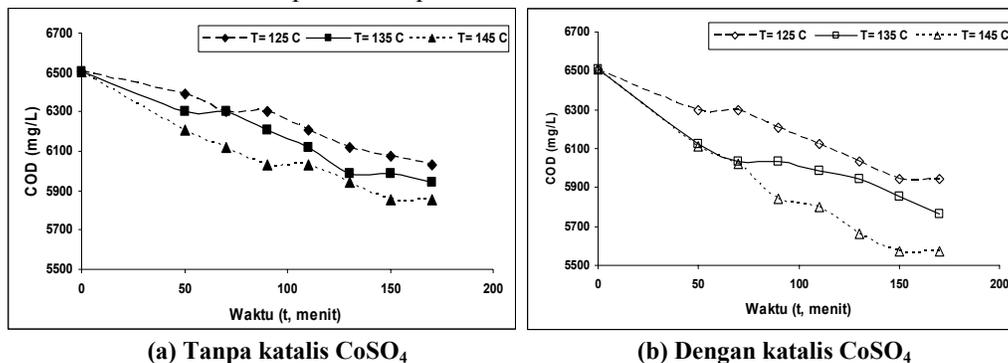
- **Prosedur percobaan**

Larutan asam formiat dengan dengan kadar COD sebesar 6506,1000 mg/l dimasukkan kedalam reaktor, setelah itu oksigen dialirkan pada setiap awal tempuhan sampai tekanan reaktor maksimum. Selanjutnya reaktor dipanaskan hingga suhu yang diinginkan tercapai. Percobaan dilakukan selama  $\pm$  3 jam, 50 menit pertama adalah masa *start-up* yang merupakan waktu yang diperlukan hingga suhu yang diinginkan tercapai, dan sisa waktu berikutnya dilakukan pengambilan sampel dalam selang 20 menit sampai waktu pengolahan selesai. Sampel diambil sebanyak 10 ml dan langsung didinginkan untuk menghentikan reaksi yang terjadi. Waktu pengambilan sampel pertama ini dianggap sebagai waktu nol reaksi. Sampel tersebut dikumpulkan secara periodik, kemudian dianalisa dengan metode volumetri. Percobaan menggunakan katalis hampir sama dengan oksidasi basah tanpa katalis, tetapi pada percobaan ini penambahan katalis dilakukan bersama-sama dengan asam formiat sebelum dipanaskan.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

- **Pengaruh Suhu dan Penggunaan Katalis**

Suhu merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi reaksi oksidasi basah asam formiat. Berdasarkan Persamaan Arrhenius, suhu berbanding lurus dengan konstanta kecepatan reaksi, sehingga peningkatan suhu dapat meningkatkan kecepatan reaksi. Penelitian ini juga membuktikan bahwa pengolahan limbah asam formiat pada suhu 125-145 °C mampu menyisihkan COD limbah dari 6387 mg/L hingga 5855 mg/L, dengan tingkat penyisihan COD berkisar 1,82-9,99 %. Pengaruh suhu operasi terhadap penurunan COD pada pengolahan limbah cair asam formiat dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



(a) Tanpa katalis CoSO<sub>4</sub> (b) Dengan katalis CoSO<sub>4</sub>  
Gambar 2. Pengaruh Suhu terhadap COD pada Reaksi Oksidasi

Hasil analisa pengolahan limbah asam formiat tanpa katalis menunjukkan bahwa kadar COD menurun meskipun tingkat penyisihannya masih relatif rendah. Pada suhu 125 °C, COD limbah menurun dari 6388 mg/L sampai 6033 mg/L dengan tingkat penyisihan COD 7,27 %. Peningkatan suhu hingga 145 °C mampu menyisihkan COD dari 6210 mg/L sampai 5856 mg/L dengan tingkat penyisihan 9,99 %.

Pengaruh suhu juga terlihat pada pengolahan limbah dengan menggunakan katalis CoSO<sub>4</sub>, seperti terlihat pada Gambar 2(b). Peningkatan suhu pada pengolahan limbah menggunakan katalis mampu menyisihkan COD relatif lebih besar dibandingkan dengan pengolahan limbah tanpa katalis. Pada suhu 125 °C, COD limbah menurun dari 6299 mg/L sampai 5944 mg/L dengan tingkat penyisihan 8,64 %. Penurunan COD terlihat jelas pada suhu 145 °C, dimana COD berkurang hingga 5574 mg/L dengan tingkat penyisihan sebesar 14,31 % dari COD umpan reaktor. Fenomena di atas menunjukkan bahwa peningkatan suhu pada oksidasi basah asam formiat akan menurunkan COD limbah yang lebih besar. Hal ini dapat dijelaskan dengan Persamaan Arrhenius bahwa suhu berbanding lurus dengan konstanta kecepatan reaksi dan berbanding terbalik terhadap energi aktivasi. Jadi, suhu yang lebih tinggi mampu memperbesar konstanta kecepatan reaksi dan memperkecil energi aktivasi sehingga reaksi berlangsung lebih cepat pada suhu tinggi.

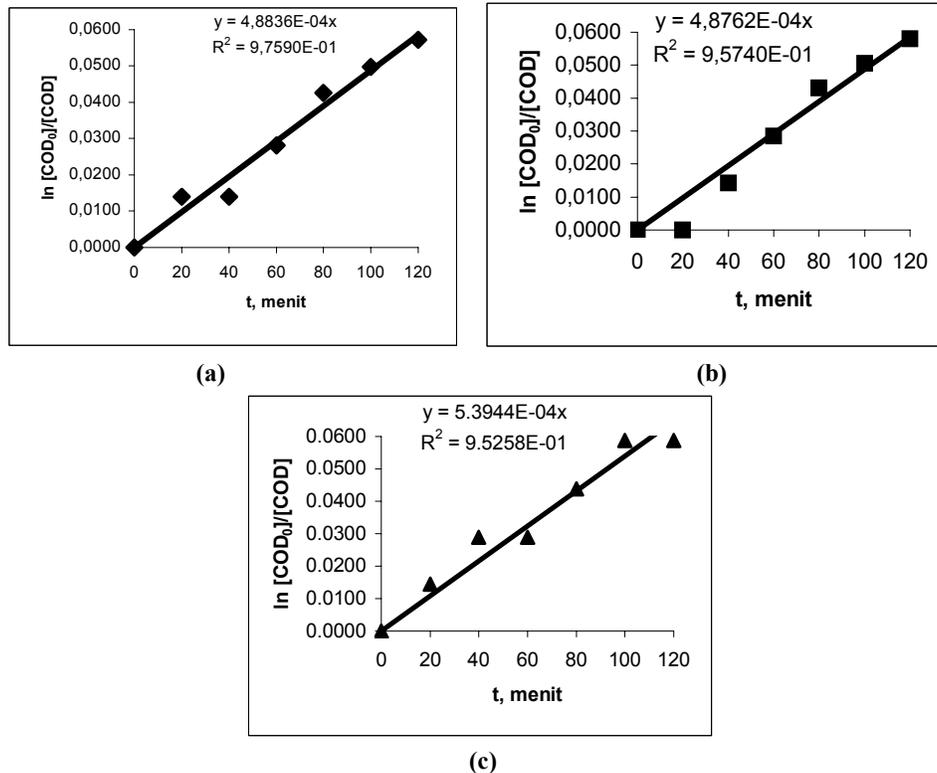
Variabel proses yang juga dipelajari pada penelitian ini adalah penggunaan katalis. Penggunaan katalis pada metode oksidasi basah berfungsi untuk mempercepat terjadinya reaksi oksidasi. Seperti yang terlihat pada Gambar 2(b), pada suhu 125 °C berkatalis,  $t_0 = 50$  menit diperoleh COD sebesar 6299 mg/L, sedangkan pada waktu dan suhu yang sama pada pengolahan tanpa katalis COD limbah masih tersisa sebesar 6389 mg/L. Fenomena ini juga terlihat pada suhu 145 °C berkatalis,  $t_0 = 50$  menit, diperoleh COD sebesar 6114 mg/L. Sedangkan pada waktu dan suhu yang sama pengolahan tanpa katalis COD limbah yang tersisa lebih tinggi yaitu 6210 mg/L. Penurunan COD dengan menggunakan katalis cenderung lebih besar dibandingkan dengan pengolahan tanpa katalis. Penggunaan katalis dalam reaksi mampu memperkecil energi aktivasi reaksi, sehingga reaksi dapat berjalan lebih cepat dan perolehan produk pada akhir reaksi menjadi lebih banyak. Perbandingan tersebut membuktikan bahwa katalis  $\text{CoSO}_4$  dapat mempercepat terjadinya reaksi oksidasi basah asam formiat dan mempersingkat waktu pengolahan. Fakta ini juga diperkuat oleh Shende dan Mahajani (1997) yang mempelajari pengolahan limbah asam formiat menggunakan katalis  $\text{CuSO}_4$  pada suhu 150 °C, yang membuktikan bahwa pemakaian katalis  $\text{CuSO}_4$  mampu menurunkan COD hingga 120 mg/L hanya dalam waktu 2 jam, sedangkan pada kondisi operasi yang sama tanpa pemakaian katalis dalam limbah masih mengandung COD sebesar 280 mg/L pada 2 jam waktu pengolahan.

- **Kinetika Reaksi Oksidasi Basah Asam Formiat Tanpa Katalis**

Untuk reaksi oksidasi basah asam formiat dengan orde reaksi 1, persamaan kinetika untuk menghitung nilai  $k'$  adalah:

$$\ln \frac{[\text{COD}_0]}{[\text{COD}]} = k't \quad (12)$$

Pada Gambar 3 berikut ditampilkan grafik hubungan konsentrasi terhadap waktu pada suhu 125 °C, 135 °C dan 145 °C.



Gambar 3. Grafik Hubungan Konsentrasi COD Sebagai Fungsi Waktu untuk Reaksi Oksidasi Tanpa Katalis dan Suhu: (a)  $T = 125\text{ }^\circ\text{C}$ , (b)  $T = 135\text{ }^\circ\text{C}$ , dan (c)  $T = 145\text{ }^\circ\text{C}$

Nilai konstanta laju reaksi,  $k'$  diperoleh dari *slope* grafik  $\ln[COD_0]/[COD]$  terhadap waktu. Kemudian nilai konstanta laju reaksi,  $k'$  seperti yang ditampilkan pada Tabel 1 digunakan untuk menentukan energi aktivasi,  $E_a$ . Energi aktivasi,  $E_a$  dapat ditentukan dengan menurunkan Persamaan Arrhenius berikut:

$$k' = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (13)$$

sehingga, 
$$\ln k' = \ln A - \left(\frac{E_a}{R}\right)\left(\frac{1}{T}\right) \quad (14)$$

Tabel 1. Data  $\ln k'$  terhadap  $(1/T)$  untuk Orde Reaksi  $m=1$

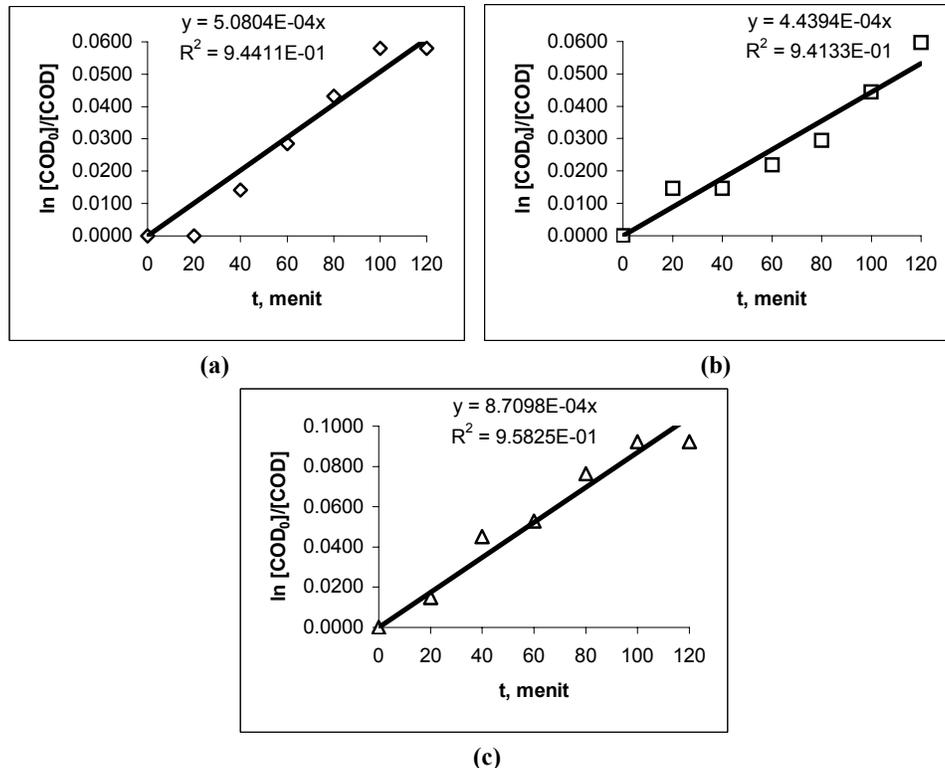
T, °C	T, °K	(1/T)	$k'$ , menit <sup>-1</sup>	Ln $k'$
125	398	2,5126E-03	4,8836×10 <sup>-4</sup>	-7,6245
135	408	2,4510E-03	4,8762×10 <sup>-4</sup>	-7,6260
145	418	2,3923E-03	5,3944×10 <sup>-4</sup>	-7,5250

Energi aktivasi yang diperoleh berdasarkan *slope* kurva  $\ln k'$  vs  $1/T$  adalah sebesar 67315,7143 Joule dan faktor frekuensi tumbukan,  $A$  sebesar 3,7714E-03. Jadi, laju reaksi oksidasi basah asam formiat tanpa katalis pada suhu 125 °C, 135 °C, dan 145 °C, mengikuti persamaan dibawah ini.

$$-\frac{d[COD]}{dt} = r = (3,7714E - 03) \exp[-67315,7143/T][COD] \quad (15)$$

• **Kinetika Reaksi Oksidasi Basah Asam Formiat Menggunakan Katalis**

Pada Gambar 4 berikut ditampilkan grafik hubungan konsentrasi terhadap waktu pada suhu 125 °C, 135 °C dan 145 °C.



Gambar 4. Grafik Hubungan Konsentrasi COD sebagai Fungsi Waktu untuk Reaksi Oksidasi dengan Katalis dan Suhu: (a) T= 125 °C, (b) T= 135 °C, dan (c) T= 145 °C

Dengan cara yang sama, nilai konstanta laju reaksi,  $k'$  dapat diperoleh dari *slope* grafik  $\ln[COD_0]/[COD]$  terhadap waktu. Kemudian nilai konstanta laju reaksi,  $k'$  (lihat Tabel 2) digunakan untuk menentukan energi aktivasi,  $E_a$ .

**Tabel 2. Data  $\ln k'$  terhadap (1/T) untuk Orde Reaksi  $m=1$**

T, °C	T, °K	$k'$ , menit <sup>-1</sup>	(1/T)	Ln $k'$
125	398	5,0804E-04	2,5126E-03	-7,5850
135	408	4,4394E-04	2,4510E-03	-7,7198
145	418	8,7098E-04	2,3923E-03	-7,0459

Energi aktivasi yang diperoleh berdasarkan *slope* kurva  $\ln k'$  vs 1/T adalah sebesar 363360,4666 Joule dan faktor frekuensi tumbukan, A sebesar 30,1867. Jadi, kecepatan reaksi oksidasi basah asam formiat menggunakan katalis pada suhu 125 °C, 135 °C, dan 145 °C, mengikuti persamaan dibawah ini.

$$-\frac{d[COD]}{dt} = r = (30,1867) \exp[-363360,4666/T][COD] \quad (16)$$

#### • Pengaruh Katalis terhadap Energi Aktivasi

Pengaruh katalis dalam suatu reaksi adalah menurunkan energi aktivasi. Energi aktivasi merupakan energi minimum yang dibutuhkan untuk berlangsungnya suatu reaksi. Pada reaksi yang melibatkan katalis, energi aktivasi yang dibutuhkan lebih rendah sehingga reaksi berlangsung lebih cepat. Namun berdasarkan Persamaan (16), energi aktivasi pada reaksi oksidasi basah dengan menggunakan katalis relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan energi aktivasi yang diperoleh pada reaksi oksidasi basah asam formiat tanpa katalis. Energi aktivasi untuk reaksi oksidasi tanpa katalis sebesar 67315,7143 J dan energi aktivasi untuk reaksi oksidasi berkatalis sebesar 363360,4666 J. Jika dilihat pada Tabel 2, nilai  $k'$  untuk suhu 135 °C diperoleh sebesar 4,4394E-04 menit<sup>-1</sup>. Nilai ini relatif lebih rendah dibandingkan dengan nilai  $k'$  pada suhu 125 °C yaitu 5,0804E-04 menit<sup>-1</sup>. Hal ini disebabkan karena tingkat penyisihan COD pada 40-80 menit waktu pengolahan untuk suhu 135 °C lebih kecil yaitu 1,44-2,89 % jika dibandingkan dengan tingkat penyisihan COD terhadap waktu pada 40-80 menit untuk suhu 125 °C, yaitu 1,40-4,22 %. Sehingga, plot antara  $\ln [COD_0/COD]$  terhadap waktu menghasilkan grafik garis lurus yang landai dengan tingkat kemiringan kurva yang kecil.

Faktor lain yang menyebabkan terjadinya kondisi diluar yang diharapkan ini kemungkinan juga karena keterbatasan kondisi operasi reaktor. Kondisi operasi reaktor yang ditemui pada kasus ini adalah kesulitan dalam mencapai tekanan operasi oksidasi basah yang diinginkan yaitu 5-198 atm, sehingga sampel diambil pada saat kondisi operasi dibawah batas tekanan yang diinginkan meskipun suhu operasi telah tercapai. Suplai oksigen yang terbatas juga diperkirakan sebagai penyebab berkurangnya tingkat penyisihan COD limbah. Keterbatasan suplai oksigen disebabkan karena oksigen dialirkan pada setiap awal tempuhan, walaupun kondisi idealnya adalah oksigen harus dialirkan secara kontinu ke reaktor selama waktu pengolahan.

Oleh karena itu, jika pengaruh suhu 135 °C pada reaksi oksidasi berkatalis diabaikan, maka harga energi aktivasi yang diperoleh sebesar 65600,0584 J. Nilai energi aktivasi yang diperoleh ini lebih kecil dibandingkan dengan nilai energi aktivasi untuk reaksi oksidasi tanpa katalis. Hal ini membuktikan bahwa katalis  $CoSO_4$  mampu menurunkan energi aktivasi reaksi, sehingga katalis  $CoSO_4$  berfungsi untuk mempercepat reaksi oksidasi meskipun penurunannya relatif kecil yaitu 1715,6559 J.

#### 5. Kesimpulan

Peningkatan suhu operasi dan waktu pengolahan pada pengolahan limbah cair asam formiat dapat meningkatkan persentase penyisihan COD limbah, meskipun limbah cair yang dihasilkan masih memiliki kadar COD yang relatif tinggi disebabkan karena keterbatasan kondisi operasi reaktor.

Penggunaan katalis  $\text{CoSO}_4$  mampu mempercepat terjadinya reaksi oksidasi basah asam formiat. Proses oksidasi basah asam formiat berkatalis mampu menyisihkan COD yang lebih besar yaitu 14,31 % jika dibandingkan dengan proses tanpa menggunakan katalis yaitu 7,27 % terhadap COD umpan reaktor. Berdasarkan hasil perhitungan kinetika reaksi, hubungan konstanta kecepatan reaksi terhadap suhu 125-145 °C untuk reaksi oksidasi basah tanpa katalis adalah  $k' = (3,7714E-03) \exp(-67315,7143/RT)$  dan untuk reaksi oksidasi basah berkatalis mengikuti persamaan  $k' = (3,7866E-03) \exp(-65600,0584/RT)$ .

#### Daftar Notasi

R = konstanta gas universal = 82,0575 L.atm/kgmol.K  
T = suhu operasi (°C atau K)  
 $t, t_0$  = waktu (menit) dan waktu nol reaksi (menit)  
 $k'$  = konstanta laju reaksi ( $\text{menit}^{-1}$ )  
 $r$  = laju reaksi (kgmol/L.menit)  
 $m, n, p$  = subscript orde komponen  
[COD<sub>0</sub>] dan [COD] = konsentrasi COD awal limbah dan konsentrasi COD pada saat  $t$  (kgmol/l)

#### Daftar Pustaka

- Chairul, 1996, "Pengolahan Lumeran Sampah dengan Proses Lumpur Aktif dan Penentuan Koefisien Kinetika Biologis Skala Laboratorium", *Skripsi S1* Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- Fogler, S.H., 1999, "Elements of Chemical Reaction Engineering", 3<sup>rd</sup> ed., Prentice Hall Inc., New Jersey.
- Alfian R., Harry, "Pengolahan Limbah Cair Asam Formiat dengan Metode Oksidasi Basah Berkatalis  $\text{CoSO}_4$ ", *Skripsi S1* Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup, 1998, "Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.3 Tahun 1998 Tentang: Baku Mutu Limbah Cair bagi Kawasan Industri", Jakarta, 15 Januari 1998.
- Kirk, R.E., Othmer, D.F., 1979, "Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology", 3<sup>rd</sup> ed., (11), 251-257, John Wiley and Sons Inc., New York.
- Li, L., Chen, P., Gloyna, E.F., 1991, "Generalized Kinetic Model for Wet Oxidation of Organic Compounds", *AIChE Journal*, 37 (11), 1687-1697.
- Lin, S.H., Ho., S.J., Wu, C.L., 1996, "Kinetic and Performance Characteristic of Wet Air Oxidation", *Ind. Eng. Chem. Res.*, (35), 307-314.
- Mishra, V.S., Mahajani, V.V., Joshi, J.B., 1995, "Wet Air Oxidation (Review)", *Ind. Eng. Chem. Res.*, (34), 2-48.
- Metcalf & Eddy Inc., 1991, "Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse", 3<sup>rd</sup> ed, McGraw-Hill, New York.
- Pertiwi, D.S., Surjowidjojo, M.H., 2001, "Wet Air Oxidation untuk Mengolah Limbah Cair Organik Berkadar COD Tinggi; Studi Kasus: Pengolahan Limbah Cair Industri Spiritus dan Arak Palimanan", *Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia*, Institut Teknologi Nasional, Surabaya.
- Remy, H., 1956, "Treatise on Inorganic Chemistry", vol. 1, Elsevier Publishing Company, Hamburg-Jerman.
- Shende, R.V., Mahajani, V.V., 1994, "Kinetics of Wet Air Oxidation of Glyoxalic Acid and Oxalic Acid", *Ind. Eng. Chem. Res.*, (33), 3125-3130.
- Shende, R.V., Mahajani, V.V., 1997, "Kinetics of Wet Air Oxidation of Formic Acid and Acetic Acid", *Ind. Eng. Chem. Res.*, (36), 4809-4814.