

Submitted : 13 March 2017

Revised : 27 April 2017

Accepted : 2 May 2017

PEMODELAN DAN SIMULASI REAKSI DEGRADASI PARASETAMOL DENGAN KATALIS TiO_2

I Gede Pandega Wiratama^{1*}, Hendra Ronaldi¹, Herry Santoso¹

¹Program Studi Teknik Kimia, Universitas Katholik Parahyangan

Jl. Ciumbuleuit 94, Bandung

*Email: pandega.wiratama@unpar.ac.id

Abstrak

Tujuan utama penelitian ini untuk menentukan model dan kondisi optimum pada reaksi degradasi fotokatalitik parasetamol. Berdasarkan mekanisme fotokatalitik yang berlangsung pada reaksi ini, model kinetika reaksi yang disarankan adalah pseudo homogen, Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama Tahap, dan Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Kedua. Penelitian ini dilakukan dengan terlebih dahulu menentukan model kinetika reaksi yang akan digunakan, kemudian estimasi parameter-parameter yang terdapat pada model tersebut menggunakan software Matlab. Parameter k dan n untuk model kinetika pseudo homogen. Parameter k_{sr} , k_{ads} , k_{des} , K_A , K_P , K_R , dan K_S untuk model kinetika Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama dan Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Kedua. Parameter-parameter dilakukan validasi dan simulasi berdasarkan data-data hasil percobaan yang dilakukan pada penelitian sebelumnya. Validasi model dilakukan pada kondisi variasi pH dan konsentrasi katalis. Penelitian menunjukkan bahwa model kinetika yang paling sesuai adalah model Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama Tahap Penentu Reaksi Permukaan dengan error yang tidak berpola saat validasi model. Hasil simulasi menunjukkan kondisi optimum berada pada pH 9 dan konsentrasi katalis 1 g/L dengan nilai konversi degradasi parasetamol sebesar 99.961%.

Kata kunci: fotokatalitik, konsentrasi katalis, parasetamol, pH, TiO_2

Abstract

The objective of this experiment was to determine the model and the optimum condition of the photocatalytic degradation of paracetamol. Based on the mechanism of the process, the suggested kinetics models are pseudo homogenous model, First Unimolecular Catalytic Reaction model, and Second Unimolecular Catalytic Reaction model. The first step of this research was determining the model then estimating the parameters of the model. k and n for the pseudo homogenous model; k_{sr} , k_{ads} , k_{des} , K_A , K_P , K_R , and K_S for the First Unimolecular Catalytic Reaction and Second Unimolecular Catalytic Reaction model. The validation and simulation of the parameters were based on the results of experiments conducted in the previous study. Validation of the models were carried out under the variations of catalyst loading and pH. This research showed that Surface reaction of First Unimolecular Catalytic Reaction's model fitted the best from the data and there was no pattern on the error. The simulation gave the optimum conditions at catalyst loading 1 g/L and pH 9. In this optimum conditions, the simulation of paracetamol degradation could reach 99.961% on the conversion.

Keywords: catalyst loading, paracetamol, pH, photocatalytic, TiO_2

1. PENDAHULUAN

Parasetamol merupakan salah satu senyawa yang sering digunakan untuk mengurangi demam dan rasa sakit. Namun, dalam jumlah yang terlalu banyak parasetamol dapat berdampak buruk, seperti menimbulkan kerusakan hati dan kematian. Seringkali, parasetamol dijumpai dalam fasa akuatik (Desale et al., 2013).

Pada proses penanggulangan pencemaran dari limbah cair parasetamol, umumnya menggunakan *advanced oxidation processes* (AOPs). AOPs merupakan proses oksidasi suatu senyawa dengan bantuan senyawa radikal yang memiliki kemampuan mengoksidasi yang tinggi. AOPs yang digunakan pada penelitian adalah fotokatalisis UV/TiO₂. Pada fotokatalisis ini proses pembentukan senyawa radikal dan oksidasi berlangsung dengan bantuan katalis semikonduktor TiO₂ dan bantuan cahaya UV. (Munter, 2001; Mota, 2008).

Katalis semikonduktor TiO₂ dapat teraktifkan dengan energi bantuan dari cahaya UV. Reaksi degradasi limbah cair parasetamol dengan bantuan katalis TiO₂ merupakan reaksi heterogen. Dengan demikian, reaksi yang terjadi terbagi menjadi 3 tahap, yaitu adsorpsi parasetamol ke permukaan pusat aktif katalis TiO₂, reaksi pada permukaan katalis, dan desorpsi produk yang dihasilkan dari permukaan pusat aktif katalis TiO₂.

Pada penelitian ini, degradasi limbah parasetamol dengan katalis TiO₂ berlangsung secara *batch* dalam *bubble column reactor* (Desale et al., 2013).

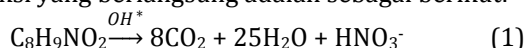
Dari penelitian-penelitian sebelumnya tersebut, telah diketahui bahwa massa katalis dan pH berpengaruh terhadap laju reaksi fotokatalisis, namun belum sampai mendapat persamaan-persamaan yang menghubungkan pengaruh massa katalis dan pH terhadap parameter-parameter laju reaksi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pH dan konsentrasi katalis terhadap parameter-parameter laju reaksi degradasi parasetamol melalui fotokatalisis UV/TiO₂ pada *bubble column reactor*.

Model kinetika reaksi yang digunakan adalah *Pseudo Homogen*, Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama, dan Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Kedua.

Model kinetika setiap variasi pH dan konsentrasi katalis yang didapat akan divalidasikan dengan data dari literatur.

Model Kinetika

Reaksi yang berlangsung adalah sebagai berikut:



Misalkan:

- $C_8H_9NO_2 = A$
- $CO_2 = R$
- $H_2O = P$
- $HNO_3^- = S$

Reaksi yang berlangsung merupakan reaksi unimolekular *irreversible*, sehingga model yang dapat

digunakan adalah *Pseudo Homogen*, Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama, dan Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Kedua dengan model sebagai berikut:

Pseudo Homogen

Pseudo homogen mengasumsikan reaksi-reaksi senyawa heterogen menjadi dianggap seolah-olah homogen. Dengan demikian, kinetika reaksi yang terjadi dapat diasumsikan mengikuti persamaan *power law*. Bentuk persamaan kinetika reaksi secara umum menjadi (Bischoff et al., 1979):

$$\frac{dC_A}{dt} = -kC_A^n \quad (2)$$

Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama

Model kinetika yang digunakan diacukan kepada persamaan laju reaksi yang berlangsung paling lambat (*determining step*) dengan asumsi bahwa laju reaksi yang lainnya berlangsung sangat cepat. Tahap penentu ini ditentukan dari tahap adsorpsi reaktan ke permukaan katalis, reaksi di permukaan katalis, atau desorpsi produk dari permukaan katalis berdasarkan persamaan (3), (4), dan (5) (Missen et al., 1999).

Tahap Penentu Adsorpsi

$$\frac{dC_A}{dt} = - \frac{k_{ads} C_A}{1 + K_R C_R + K_P C_P + K_S C_S} \quad (3)$$

Tahap Penentu Reaksi permukaan

$$\frac{dC_A}{dt} = -k \frac{K_A C_A}{1 + K_A C_A + K_P C_P + K_R C_R + K_S C_S} \quad (4)$$

Tahap Penentu Desorpsi

$$\frac{dC_A}{dt} = -k_{des} \quad (5)$$

Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Kedua

Pada model ini tidak terdapat tahap yang jauh lebih cepat atau jauh lebih lambat dari tahap lainnya (Bischoff et al., 1979).

$$\frac{dC_A}{dt} = - \frac{k_0 C_A}{\left(\frac{k_0}{k_1} + \frac{1}{K_A}\right) + \left(1 + \frac{K_R}{k_3} + \frac{K_P}{k_4} + \frac{K_S}{k_5}\right) C_A + \left(\frac{k_0}{k_1} + \frac{1}{K_A}\right) K_R C_R + \left(\frac{k_0}{k_1} + \frac{1}{K_A}\right) K_P C_P + \left(\frac{k_0}{k_1} + \frac{1}{K_A}\right) K_S C_S} \quad (6)$$

2. METODOLOGI

Pemodelan dan simulasi dilakukan berdasarkan variasi derajat keasaman (pH) dan konsentrasi katalis dengan bantuan *software* Matlab dan *hardware* laptop merk Asus. Variasi pH yang digunakan adalah 3,5,7,9, dan 11. Sementara variasi konsentrasi katalis yang digunakan adalah 1 g/L, 2 g/L, 3 g/L, dan 4 g/L. Kedua variasi tersebut dilakukan pada nilai konsentrasi awal parasetamol 100 ppm. Dalam penelitian ini, metodologi dibagi menjadi 3 tahap, yaitu estimasi parameter, validasi, dan simulasi.

2.1 Estimasi Parameter

Dalam tahap estimasi parameter, parameter-parameter yang terdapat pada setiap model diestimasi

secara iteratif hingga mencapai nilai *error* minimum antara C_{data} yang diperoleh dari data literatur dengan C_{model} yang didapat dari penyelesaian persamaan. Nilai *error* dinyatakan sebagai SS_E berdasarkan persamaan:

$$SS_E = \sum(C_{data} - C_{model})^2 \quad (7)$$

2.2 Validasi

Berdasarkan hasil estimasi parameter, didapat hubungan-hubungan parameter-parameter terhadap variasi pH dan konsentrasi katalis dalam suatu fungsi. Nilai parameter-parameter pada variasi data yang digunakan untuk validasi dicari berdasarkan fungsi-fungsi tersebut.

2.3 Simulasi

Simulasi dilakukan apabila model persamaan telah selesai divalidasi. Berdasarkan fungsi-fungsi parameter tersebut, nilai parameter pada berbagai kondisi pH dan konsentrasi katalis dapat dicari. Kondisi optimum dicari dengan mengalurkan nilai konversi terhadap kedua variasi tersebut dalam grafik 3 dimensi.

3. HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN

Estimasi parameter pada masing-masing data dilakukan dengan lima model, yaitu Model *Pseudo Homogen*, Model Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama dengan tahap penentu adsorpsi reaktan, reaksi permukaan, dan desorpsi produk, serta Model Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Kedua. Kecenderungan perubahan masing-masing nilai parameter pada variasi pH 3, 5, 9, dan 11 pada konsentrasi katalis 2 g/L serta variasi konsentrasi katalis 1, 3, dan 4 g/L pada pH 7.

Pada variasi pH 11 dan konsentrasi katalis 2 g/L nilai-nilai estimasi parameter yang dihasilkan cenderung berbeda jauh serta cenderung memiliki nilai SSE yang besar dan R^2 yang kecil apabila dibandingkan dengan nilai-nilai estimasi parameter, nilai SSE, dan nilai R^2 pada variasi pH dan konsentrasi katalis lainnya. Dengan demikian, data pada variasi pH 11 dengan katalis 2 g/L tidak digunakan dalam penelitian ini. Hal ini dapat dilihat pada **Tabel 1, 2, 3, 4, 5, dan 6.**

Tabel 1. Estimasi Parameter Model *Pseudo Homogen*

konsentrasi katalis (g/L)	pH	k	n	SSE	R^2
1	7	0,00525	0,48781	0,00384	0,9923
3	7	0,00777	0,62296	0,0015	0,997
4	7	0,00899	0,64812	0,003	0,995
2	3	0,00875	0,53979	0,002	0,9965
2	5	0,01265	0,52819	0,0051	0,9901
2	9	0,01544	0,7986	0,006	0,9885
2	11	0,00414	0,21613	0,0112	0,9814
Total				0,0213	0,9915

Tabel 2 Estimasi Parameter Model Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama Tahap Penentu Adsorpsi

Konsentrasi katalis (g/L)	pH	k_{ads}	K_R	K_p	K_s	SSE	R^2
1	7	0,0085	1,75E-07	4,82E-07	1,13E-05	0,0149	0,9703
3	7	0,01159	1,50E-07	3,85E-07	1,09E-05	0,0076	0,9851
4	7	0,0128	1,38E-07	3,38E-07	1,12E-05	0,0083	0,9852
2	3	0,0138	1,22E-07	3,04E-07	1,13E-05	0,0091	0,9839
2	5	0,02011	3,71E-08	7,57E-08	1,19E-05	0,0103	0,978
2	9	0,01871	5,18E-08	1,14E-07	1,19E-05	0,0069	0,9868
2	11	0,00845	2,84E-07	4,49E-08	6,70E-05	0,0493	0,918
Total						0,0571	0,9728

Tabel 3 Estimasi Parameter Model Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama Tahap Penentu Reaksi Permukaan

konsentrasi katalis (g/L)	pH	k_{sr}	K_A	K_R	K_P	K_S	SSE	R^2
1	7	0.00495	6.8367	0.0543	4,45E-06	0,218	0,00259	0,9948
3	7	0.00734	4.5859	0.0572	4,64E-06	0,2726	0,00134	0,9974
4	7	0.00856	4.3401	0.0547	4,62E-06	0,2544	0,00155	0,9973
2	3	0.00837	5.6448	0.0670	6,68E-07	0,2242	0,00143	0,9975
2	5	0.01065	9.1639	0.1247	3,55E-07	0,086	0,00368	0,9929
2	9	0.01457	3.3108	0.0616	1,68E-06	0,3655	0,00457	0,9913
2	11	0.00353	10255	1.1274	2,66E-01	0,0013	0,00676	0,9888
Total							0,02192	0,9943

Tabel 4 Estimasi Parameter Model Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama Tahap Penentu Desorpsi

konsentrasi katalis (g/L)	pH	k_{des}	SSE	R^2
1	7	0,00293	0,02919	0,94172
3	7	0,00335	0,10212	0,79839
4	7	0,00342	0,12847	0,77248
2	3	0,00347	0,15105	0,73274
2	5	0,00371	0,36223	0,29763
2	9	0,00359	0,30802	0,41024
2	11	0,00313	0,02418	0,96344
Total			1,08108	0,70238

Tabel 5 Estimasi Parameter Model Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Kedua (1)

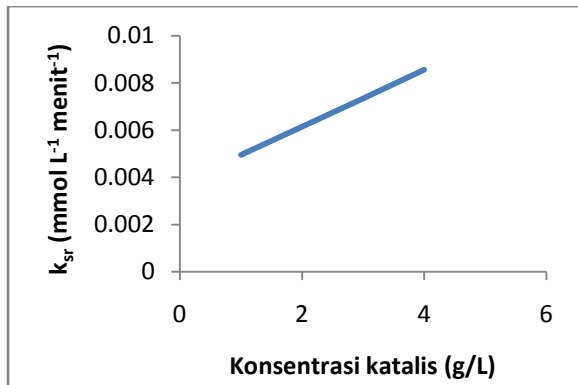
konsentrasi katalis (g/L)	pH	k_0	k_1	K_A	k_3	K_R
1	7	0,09004	0,053554	1,4084	0,03449	1,20E-05
3	7	0,0989	0,0627	1,4923	0,0860	9,18E-06
4	7	0,09598	0,055171	1,3643	0,03535	1,23E-05
2	3	0,13048	0,057617	1,5812	0,03725	1,26E-05
2	5	0,16832	0,132471	2,6999	0,07627	2,91E-06
2	9	0,1097	0,0650	1,3955	0,0355	1,27E-05
2	11	0,1258	1,4484	13,3916	0,0391	1,66E-03

Tabel 6 Estimasi Parameter Model Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Kedua (2)

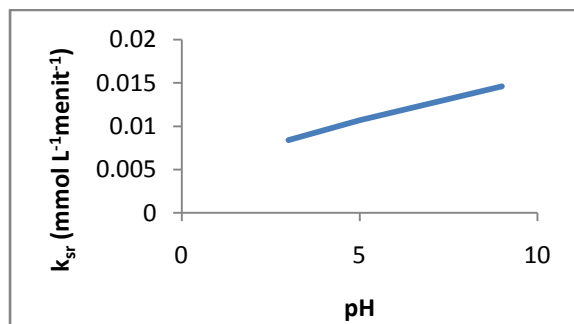
konsentrasi katalis (g/L)	pH	k_4	K_P	k_5	K_S	SSE	R^2
1	7	0,06303	5,42E-07	0,01541	0,26315	0,00259	0,9948
3	7	0,0311	1,44E-07	0,0567	0,7361	0,00134	0,9974
4	7	0,067	5,31E-07	0,01819	0,17946	0,00155	0,9973
2	3	0,0826	3,62E-07	0,00948	0,13156	0,00143	0,9975
2	5	0,05327	3,28E-08	0,01791	0,25708	0,00368	0,9929
2	9	0,0691	5,15E-07	0,0172	0,1002	0,00457	0,9913
2	11	0,7413	7,27E-07	1,10E-09	3,65E-08	0,00801	0,9867
Total						0,02317	0,994

3.1 Hasil Estimasi Parameter

Hasil estimasi parameter menunjukkan bahwa nilai SSE terkecil merupakan model Reaksi Katalisis Jenis Kedua. Namun karena perbedaan nilai SSE sangat mirip serta bentuk model jauh lebih sederhana, maka model Reaksi Katalisis Jenis Pertama dengan Tahap Penentu Reaksi Permukaan sudah mewakili reaksi degradasi parasetamol. Parameter-parameter yang terdapat pada model reaksi ini dapat dilihat kecenderungannya terhadap variasi pH dan konsentrasi katalis.



Gambar 1 Perubahan Konstanta Laju Reaksi di Permukaan Katalis terhadap Konsentrasi katalis Model Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama Tahap Penentu Reaksi Permukaan

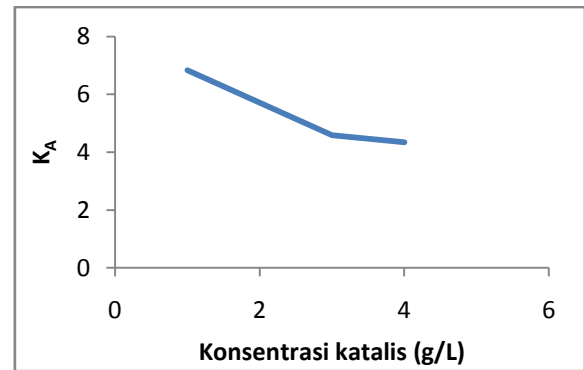


Gambar 2 Perubahan Konstanta Laju Reaksi di Permukaan terhadap Variasi pH Model Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama Tahap Penentu Reaksi Permukaan

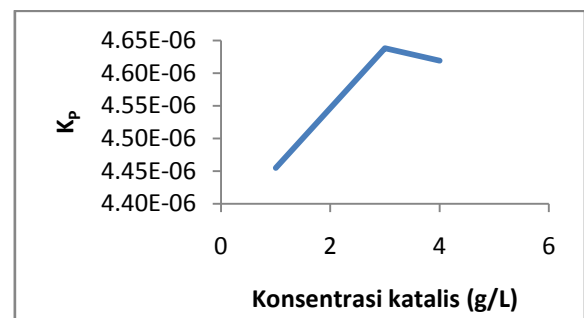
Berdasarkan **Gambar 1** dan **2**, nilai k_{sr} cenderung naik pada peningkatan konsentrasi katalis dan pH. Namun, variasi konsentrasi katalis dilakukan pada pH 7. Berdasarkan data dan hasil estimasi parameter, dapat dilihat bahwa laju reaksi pada pH 7 ini berjalan lebih lambat dibandingkan pada variasi pH lainnya. Namun, pada kondisi pH 7, nilai pH ini dekat dengan titik isoelektrik katalis TiO₂ yaitu pH 6,9 (Dutta et al., 2004). Dengan demikian, dapat menyebabkan katalis bermuatan netral dan mengakibatkan katalis TiO₂ mudah mengendap dan menempel satu sama lain. Hal ini akan mengakibatkan penurunan pusat aktif katalis yang mengakibatkan menurunnya laju reaksi. Secara

keseluruhan pada perubahan pH perubahan konstanta laju reaksi dapat terjadi naik turun seiring peningkatan pH. Dengan demikian, konstanta laju reaksi dapat diasumsikan memiliki fungsi terhadap kedua variasi tersebut seperti yang tampak pada persamaan 4.3.

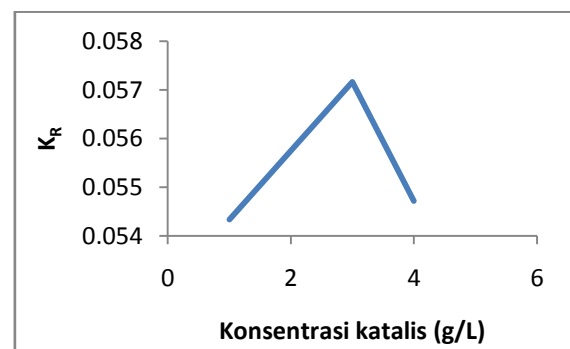
$$k = a c l + b (pH)^3 + c (pH)^2 + d pH + e \quad (7)$$



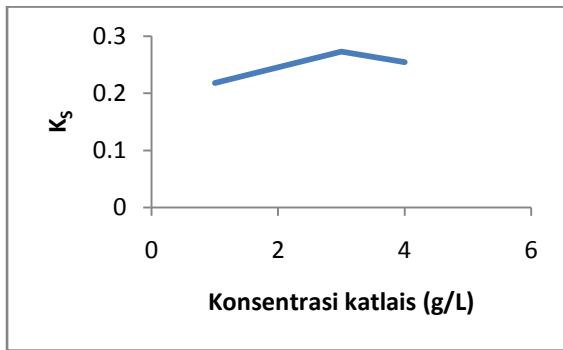
Gambar 3 Perubahan Konstanta Kesetimbangan Adsorpsi Parasetamol terhadap Variasi Konsentrasi katalis Model Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama Tahap Penentu Reaksi Permukaan



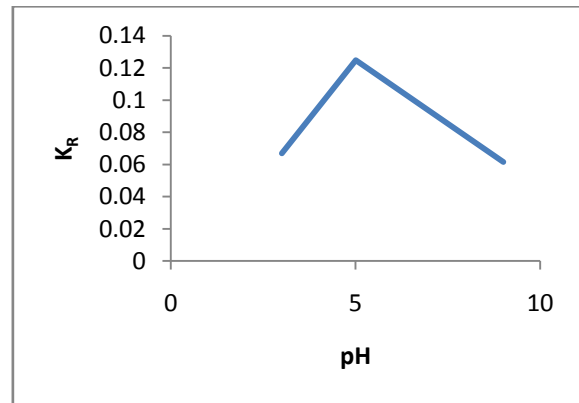
Gambar 4 Perubahan Konstanta Kesetimbangan Adsorpsi H₂O terhadap Variasi Konsentrasi katalis Model Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama Tahap Penentu Reaksi Permukaan



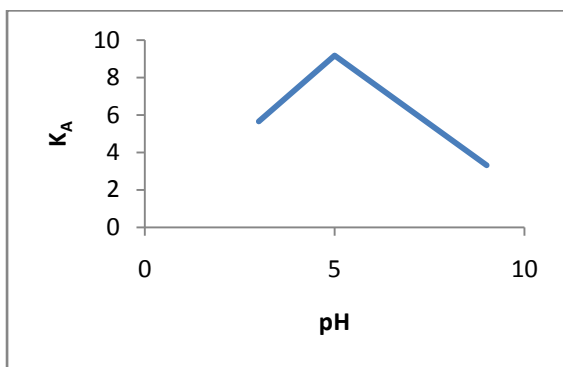
Gambar 5 Perubahan Konstanta Kesetimbangan Adsorpsi CO₂ terhadap Variasi Konsentrasi katalis Model Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama Tahap Penentu Reaksi Permukaan



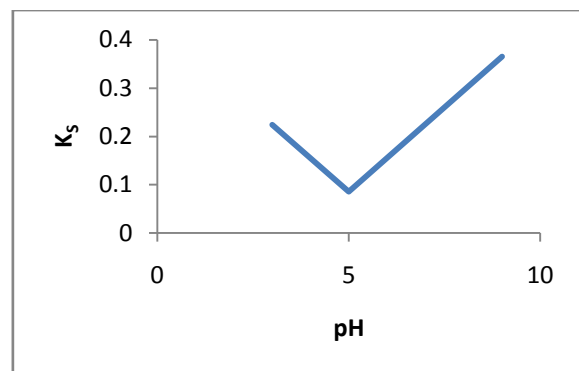
Gambar 6 Perubahan Konstanta Keseimbangan Adsorpsi HNO_3 terhadap Variasi Konsentrasi katalis Model Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama Tahap Penentu Reaksi Permukaan



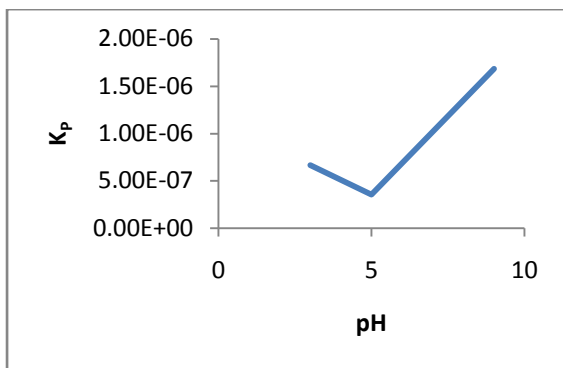
Gambar 9 Perubahan Konstanta Keseimbangan Adsorpsi CO_2 terhadap Variasi pH Model Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama Tahap Penentu Reaksi Permukaan



Gambar 7 Perubahan Konstanta Keseimbangan Adsorpsi Parasetamol terhadap Variasi pH Model Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama Tahap Penentu Reaksi Permukaan



Gambar 10 Perubahan Konstanta Keseimbangan Adsorpsi HNO_3 terhadap Variasi pH Model Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama Tahap Penentu Reaksi Permukaan



Gambar 8 Perubahan Konstanta Keseimbangan Adsorpsi H_2O terhadap Variasi pH Model Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama Tahap Penentu Reaksi Permukaan

Berdasarkan **Gambar 3** hingga **10**, walaupun konsentrasi katalis cenderung mempengaruhi nilai konstanta kesetimbangan adsorpsi, namun tetap diasumsikan konsentrasi katalis tidak mempengaruhi konstanta kesetimbangan adsorpsi.

Pada variasi pH, nilai konstanta kesetimbangan adsorpsi reaktan dan produk mengalami perubahan secara naik turun. Hal ini dapat disebabkan adanya kemungkinan persaingan adsorpsi antar senyawa terlibat sehingga perubahan secara naik turun ini mungkin terjadi. Dengan demikian, konstanta kesetimbangan adsorpsi reaktan dan produk dapat diasumsikan berubah secara kuadratik.

$$K = a (\text{pH})^2 + b \text{pH} + c \quad (8)$$

3.2 Hasil Validasi

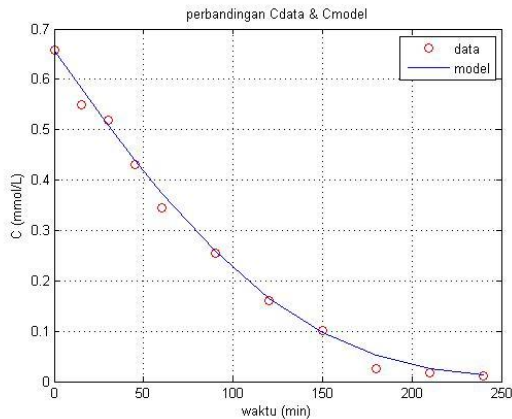
Validasi dilakukan terhadap data perubahan konsentrasi parasetamol pada konsentrasi katalis 2 g/L dan pH 7. Persamaan kinetika reaksi model Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama Tahap Penentu Reaksi Permukaan yang digunakan pada tahap validasi. Nilai-nilai parameter yang terdapat, yaitu konstanta laju reaksi di permukaan (k_{sr}) serta konstanta kesetimbangan adsorpsi reaktan dan produk (K_A , K_R , K_p , dan K_s). Nilai-nilai parameter yang

digunakan pada kondisi konsentrasi katalis 2 g/L dan pH 7 dicari berdasarkan fungsi-fungsi yang telah diprediksi sebelumnya.

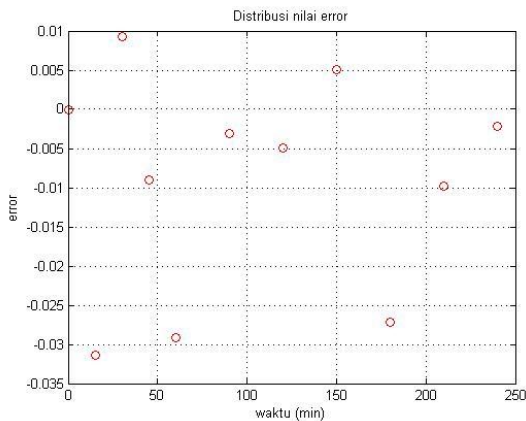
g/L. Pada kondisi ini, besarnya nilai konversi yang diberikan mampu mencapai di atas 99,99%.

Tabel 7 Nilai Parameter Validasi

Parameter	Nilai	SSE	R ²
	6,84E-03		
k _{Sr}	mM menit ⁻¹	5,24E-10	0,9999
K _A	4,709610	3,45E-08	0,9999
K _R	0,035700	7,97E-07	0,9996
K _P	1,13E-06	1,19E-14	0,9912
K _S	0,107828	7,86E-06	0,9999



Gambar 11 Hasil Validasi

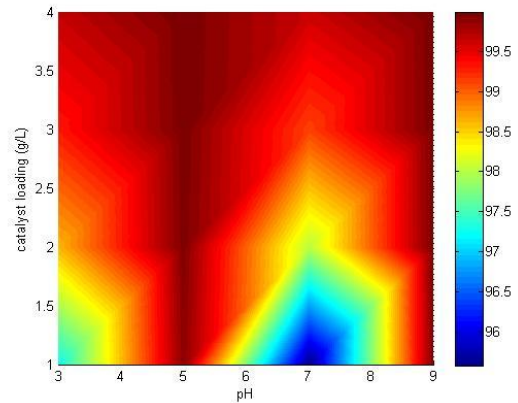


Gambar 12 Distribusi Nilai Error

Hasil validasi didapat dengan nilai SSE = 0,0029 dan nilai R² = 0,9947. Distribusi nilai error yang merupakan selisih antara data dengan model tiap waktu dapat dilihat pada **Gambar 12**. Berdasarkan distribusi nilai error yang didapat, terlihat bahwa distribusi nilai error tidak berpola. Dengan demikian, kesalahan-kesalahan yang didapat pada data saat percobaan merupakan kesalahan yang terjadi secara acak dan model kinetika reaksi Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama Tahap Penentu Reaksi Permukaan dapat mewakili kinetika reaksi pada data tersebut.

3.3 Hasil Simulasi

Berdasarkan hasil simulasi, seperti yang tampak pada **Gambar 13** dan **Tabel 8**, nilai kondisi optimum berada pada pH 5 dan 9 serta konsentrasi katalis 4



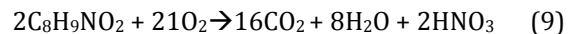
Gambar 13 Hasil Simulasi

Tabel 8 Nilai Konversi (%) Reaksi Degradasi Parasetamol pada Variasi pH dan Variasi Konsentrasi katalis

Konsentrasi katalis (g/L)	pH			
	3	5	7	9
1	97,25	99,90	95,58	99,96
2	98,62	99,96	98,00	99,98
3	99,32	99,98	99,13	99,99
4	99,66	99,99	99,62	99,99

Pada umumnya, kondisi pH parasetamol dengan konsentrasi awal 100 ppm akan berada pada nilai sekitar 7. Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor KEP-51/MENLH/10/1995 (Muliarta, 2004) tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri, nilai pH limbah cair industri farmasi harus berada sekitar 6 hingga 9 dan nilai *chemical oxygen demand* (COD) maksimum sebesar 150 ppm. Dengan demikian, kondisi pH 5 walaupun memberikan konversi yang besar, tetapi tidak memenuhi peraturan sehingga tidak dapat dijadikan kondisi optimum.

COD merupakan jumlah oksigen dalam limbah cair yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa limbah. Dengan asumsi bahwa pada limbah cair hanya mengandung parasetamol, maka dapat diasumsikan oksidasi parasetamol dengan oksigen mengikuti persamaan reaksi berikut:



Berdasarkan persamaan reaksi 4.13 dan definisi nilai COD, maka nilai oksigen sebesar 150 ppm mampu mengoksidasi parasetamol sebesar 67,5ppm. Jika dibandingkan dengan konsentrasi awal parasetamol sebesar 100 ppm, nilai konversi yang dibutuhkan adalah sebesar 32,5%. Dengan demikian, kondisi optimum dapat dicapai cukup dengan nilai pH 7 dan konsentrasi katalis 1 g/L.

4. KESIMPULAN

Model kinetika reaksi Reaksi Katalisis Unimolekular Jenis Pertama Tahap Penentu Reaksi Permukaan mampu memodelkan kinetika reaksi degradasi fotokatalitik parasetamol. Kondisi optimum dicapai pada konsentrasi katalis 1 g/L dan pH 7. Pada kondisi ini, simulasi reaksi degradasi parasetamol mampu mencapai konversi sebesar 95,58%.

5. KETERANGAN SIMBOL

k = konstanta laju reaksi ($\text{mmol}^{1-n} \text{L}^{n-1} \text{menit}^{-1}$)

n = orde reaksi

$k_0 = k_{sr}$ = konstanta laju reaksi di permukaan ($\text{mmol L}^{-1} \text{menit}^{-1}$)

$k_1 = k_{ads}$ = konstanta laju adsorpsi parasetamol ($\text{mmol L}^{-1} \text{menit}^{-1}$)

k_3 = konstanta laju adsorpsi CO_2 ($\text{mmol L}^{-1} \text{menit}^{-1}$)

k_4 = konstanta laju adsorpsi H_2O ($\text{mmol L}^{-1} \text{menit}^{-1}$)

k_5 = konstanta laju adsorpsi HNO_3 ($\text{mmol L}^{-1} \text{menit}^{-1}$)

k_{des} = konstanta laju desorpsi produk ($\text{mmol L}^{-1} \text{menit}^{-1}$)

K_A = konstanta kesetimbangan adsorpsi parasetamol

K_P = konstanta kesetimbangan adsorpsi H_2O

K_R = konstanta kesetimbangan adsorpsi CO_2

K_S = konstanta kesetimbangan adsorpsi HNO_3

6. DAFTAR PUSTAKA

Desale, A., Kamble, S. P., & Deosarkar, M. P., Photocatalytic Degradation of Paracetamol Using Degussa TiO_2 Photocatalyst, *International Journal of Chemical and Physical Sciences*, 2013, 140-148.

Drs. I Ketut Muliarta, M., Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Cair Industri Kecil, Kementerian Lingkungan Hidup dengan PT Envirotekno Karya Mandiri, Jakarta, 2004.

Dutta, P. K., Ray, A. K., Sharma, V. K., & Millero, F. J., Adsorption of arsenate and arsenite on titanium dioxide suspensions, *Journal of Colloid and Interface Science*, 2004, 278, 270-275.

Froment, G. F., & Bischoff, K. B., *Chemical Reactor Analysis and Design*, John Wiley & Sons, New York, 1979.

Hashimoto, K., Irie, H., & Fujishima, A., TiO_2 Photocatalysis: A Historical Overview and Future Prospects, *Japanese Journal of Applied Physics*, 2005, 44, 8269-8285.

Melo, M. d., & Silva, L. A., Photocatalytic Production of Hydrogen: an Innovative Use for Biomass Derivatives, *Journal of The Brazilian Chemical Society*, 2011, 1399-1406.

Missen, R. W., Mims, C. A., & Saville, B. A., *Introduction to Chemical Reaction Engineering and Kinetics*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1999.

Mota, A. L., Albuquerque, L. F., Beltrame, L. T., Chiavone-Filho, O., Jr., A. M., & Nascimento, C. A., Advanced Oxidation Processes and Their Application in The Petroleum Industry : A Review, *Brazilian Journal of Petroleum and Gas*, 2008, 122-142.

Nabil Jallouli, K. E., Photocatalytic degradation of paracetamol on TiO_2 nanoparticles and

TiO_2 /cellulosic fiber under UV and sunlight irradiation, *Arabian Journal of Chemistry*, 2014, 1-6.

Ohtani, B., Titania Photocatalysis beyond Recombination: A Critical Review, *Catalysts*, 2013, 942-953.

Umar, M., & Aziz, H. A., Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants in Water, *Organic Pollutants - Monitoring, Risk and Treatment*, 2013, 196-208.