

ABSORPSI GAS SO₂ DENGAN LARUTAN Ca(OH)₂ DALAM REAKTOR BERPENGADUK

Mahfud, A. Mintarto dan A.Indriyaswati^{*)}

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses absorpsi gas SO₂ kedalam larutan Ca(OH)₂ dalam reaktor berpengaduk dan untuk mempelajari pengaruh berbagai kondisi operasi pada proses absorpsi SO₂ kedalam larutan Ca(OH)₂. Penelitian dilakukan dengan mereaksikan gas SO₂ dengan larutan Ca(OH)₂ dalam reaktor berpengaduk. Reaktor yang digunakan terbuat dari acrylic dengan kapasitas 1000 ml, diameter 10 cm, tinggi 14 cm, dilengkapi dengan 4 buah bafel, dan sebuah pengaduk dengan impeler dished blade turbin. Gas yang digunakan adalah campuran gas SO₂ dan udara. Percobaan dilakukan pada Suhu kamar (30 °C) dan Tekanan Atmosferik serta Laju alir 24 10⁻⁶ m³/s dengan variabel percobaan sbb : pH Larutan awal larutan 10 – 14; kecepatan putaran pengaduk 550, 780, 1030 rpm; Konsentrasi Ca(OH)₂ : 0,7 – 2 gr/liter larutan dan fraksi gas SO₂ masuk 1 - 3 %. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju absorpsi sedikit meningkat dengan kecepatan putar pengaduk dan meningkat secara signifikan dengan naiknya konsentrasi gas SO₂. Perubahan konsentrasi Ca(OH)₂ tidak signifikan terhadap perubahan laju absorpsi. Data laju absorpsi hasil percobaan dibandingkan dengan 2 macam model. Dan hasil perbandingan ini menunjukkan hasil percobaan lebih mendekati pada model 2, dimana perpindahan massa sisi cair tidak bisa diabaikan dan reaksi terjadi pada film liquid atau dengan kata lain perpindahan massa sisi cair yang mengendalikan proses absorpsi, dan dari perbandingan laju absorpsi model dan laju absorpsi eksperiment didapatkan kesalahan rata-rata ±10 %.

Kata kunci : absorpsi, gas SO₂, larutan Ca(OH)₂, reaktor berpengaduk

Pendahuluan

Pertumbuhan industri yang semakin pesat di Indonesia akan mempunyai dampak yang menimbulkan permasalahan lingkungan karena akan diikuti dengan penambahan buangan/ limbah industri. Dalam rangka perlindungan lingkungan dari berbagai limbah/ polutan yang semakin meningkat, pemerintah semakin memperketat nilai ambang batas polutan yang boleh dibuang. Oleh karena itu berbagai upaya dilakukan untuk meminimalisasi limbah yang dihasilkan, diantaranya merecovery salah satu atau lebih polutan yang dapat digunakan kembali.

Gas sulfur dioksida (SO₂) merupakan salah satu polutan yang sangat berbahaya, diantaranya merupakan penyebab hujan asam, kabut kota, kerusakan material dan dapat menimbulkan berbagai penyakit pernafasan kesehatan. Sumber-sumber yang dapat menghasilkan gas SO₂ adalah pabrik asam sulfat, pengolahan mineral, unit-unit pembangkit tenaga yang menggunakan bahan bakar fosil (batu bara, minyak bumi). Emisi dari hasil pembakaran bahan bakar tersebut berpotensi menghasilkan polutan seperti SO_x dan NO_x yang cukup besar. Sedangkan SO₂ merupakan senyawa mudah larut dalam air, dapat bereaksi dengan O₂ dari udara pada suhu rendah maupun tinggi dengan bantuan katalis vanadium oksida, platina, carbon aktif (Satyamurthy dkk, 1979; Kiared, dkk 1991; Sevilla dkk., 1993). Pada konsentrasi diatas 20 ppm gas SO₂ merupakan gas

beracun bagi manusia. Ambang batas SO₂ diatmosfer yang diijinkan adalah 0,03 ppm.

Beberapa metoda telah dikembangkan untuk mengendalikan emisi gas SO_x ini antara lain dengan menyerap kedalam larutan basa seperti NaOH, Ca(OH)₂, Mg(OH)₂ dll. Atau penjerapan dengan menggunakan slurry CaCO₃, Mg(OH)₂, dimana gas SO_x ini diabsorb melalui proses satu arah yang akan menghasilkan padatan sebagai buangan (Lancia dkk, 1997, Sada dkk.,1979). Kerugian dari proses ini adalah boros karena harus menyediakan bahan kimia habis pakai (dibuang). Dan juga produk buangannya akan menimbulkan masalah dengan lingkungan. Metoda lainnya adalah sistem kontinue dengan menggunakan H₂O. Proses yang dikembangkan dalam industri perminyakan adalah sistem adsorpsi kontinyu dengan Na₃PO₄ sebagai adsorban dan H₂S sebagai regenerasinya. Sistem ini mempunyai kelebihan karena padat modal namun kelemahannya pada pemanfaatan sulfur hasil keluaran regenerator kurang optimal.

Sehingga pada penelitian ini digunakan metoda alternatif pengambilan gas SO₂ dari campuran gas dengan metoda absorpsi gas SO₂ kedalam larutan Ca(OH)₂ dalam reaktor berpengaduk. Pada absorpsi ini akan terjadi reaksi kimia antara SO₂ dengan Ca(OH)₂, yang pada akhirnya akan menghasilkan gipsium (CaSO₄.2H₂O).

^{*)} Jurusan Teknik Kimia FTI - ITS Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp. (031) 5946240 E-mail : mahfud_its@hotmail.com

Berbagai faktor yang mempengaruhi laju absorpsi diteliti antara lain kecepatan impeler, konsentrasi gas SO₂ dan konsentrasi larutan Ca(OH)₂. Sehingga dalam penelitian ini selain bertujuan untuk mempelajari proses absorpsi gas SO₂ dalam larutan Ca(OH)₂ juga untuk mengetahui pengaruh dari perubahan variabel-variabel yang digunakan terhadap laju absorpsi.

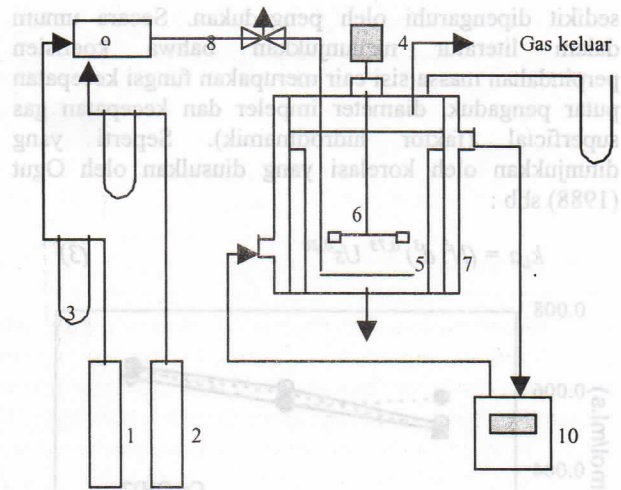
Penelitian dilakukan dalam reaktor berpengaduk, hal ini mengingat kelebihan reaktor berpengaduk yang dapat bervariasi berbagai kondisi hidrodinamika maupun koefisien perpindahan massanya (Beenackers dkk, 1993; Sevilla R., Gonzalez D., 1993; Van't Riet K., 1979). Data-data yang didapatkan dalam penelitian ini dapat digunakan untuk pemilihan dan perancangan reaktor gas-liquid untuk menyerap SO₂ dengan larutan Ca(OH)₂ dalam skala yang lebih besar/ industri, sehingga diharapkan mampu memberikan kontribusi terhadap pengurangan polusi udara khususnya, dan juga untuk kelestarian bumi beserta isinya pada umumnya.

Selain itu dengan dilakukan penelitian ini maka diharapkan dapat membantu tercapainya usaha-usaha pengurangan gas SO₂ dari gas buang dengan metoda yang lebih murah dan sederhana serta memungkinkan pemberdaya-gunakan produk yang dihasilkan sebagai bahan untuk proses-proses kimia yang lain. Dan dengan demikian akan diperoleh suatu metoda yang lebih efisien dengan konversi yang lebih memuaskan. Dengan demikian maka tujuan penelitian ini adalah mempelajari proses absorpsi gas SO₂ kedalam larutan Ca(OH)₂ dalam reaktor berpengaduk dengan mempelajari berbagai faktor yang mempengaruhi laju absorpsi yang kemudian diinterpretasikan dengan menggunakan model absorpsi dengan adanya reaksi kimia.

Peralatan dan Metodologi

Reaktor yang digunakan terbuat dari acrylic dengan kapasitas 1000 ml, diameter 10 cm, tinggi 14 cm, dilengkapi dengan 4 buah bafel, dan sebuah pengaduk dengan impeler dished blade turbin. Gas yang digunakan adalah campuran gas SO₂ dari tabung gas (kemurnian 99 %, IGI) dan udara dari kompressor.

Mula-mula menyiapkan larutan Ca(OH)₂ dengan mengatur pH awal 14 dan memasukkannya kedalam reaktor. Kemudian pengaduk dinyalakan dan diatur pada kecepatan putar pengaduk tertentu. Aliran udara dibuka dan diatur pada laju 24 ml/s bersamaan dengan laju alir gas SO₂ dengan laju 0,08 ml/s. Kemudian campuran gas SO₂ dengan udara dialirkan menuju reaktor melalui pencampur gas dan distributor gas pada bagian bawah reaktor, dan selanjutnya dikontakkan dengan larutan Ca(OH)₂. Pemakaian SO₂ selama reaksi dengan menghitung pengurangan konsentrasi SO₂ dibagian masuk dan keluar reaktor. Setelah keadaan steady dilakukan sampling secara periodik, kemudian dianalisa kadar SO₂ pada bagian keluar reaktor dengan metode iodometri. Kemudian mengulang percobaan tersebut dengan berbagai variabel percobaan.



Keterangan gambar :

- 1. Gas SO₂
- 2. Udara
- 3. Orificemeter
- 4. Motor pengaduk
- 5. Baffle
- 6. Pengaduk
- 7. Reaktor dinding rangkap
- 8. Valve
- 9. Pencampur gas
- 10. Bak Termostat

Gambar 1. Skema Peralatan Percobaan

Variabel Percobaan & kondisi operasi :

- Suhu (T) : 30 °C
- Tekanan (P) : Atmosferik
- Laju alir gas (Q) : 24 10⁻⁶ m³/s
- pH Larutan awal : 10 - 14
- Putaran pengaduk (N): 550, 780, 1030 rpm
- Konsentrasi Ca(OH)₂: 0,7 – 2 gr/liter larutan
- Gas SO₂ masuk (y_{SO2}): 1 - 3 %

Dari besaran – besaran diatas maka dapat ditentukan laju absorpsi dan konversi SO₂ dengan menggunakan hubungan berikut :

Laju absorpsi SO₂ :

$$r_{SO_2} = \frac{Q \cdot P_T}{R \cdot T} (y_{SO_2, in} - y_{SO_2, out}) \quad (1)$$

Konversi absorpsi / reaksi :

$$X = \frac{y_{SO_2, in} - y_{SO_2, out}}{y_{SO_2, in}} \quad (2)$$

Hasil dan Pembahasan

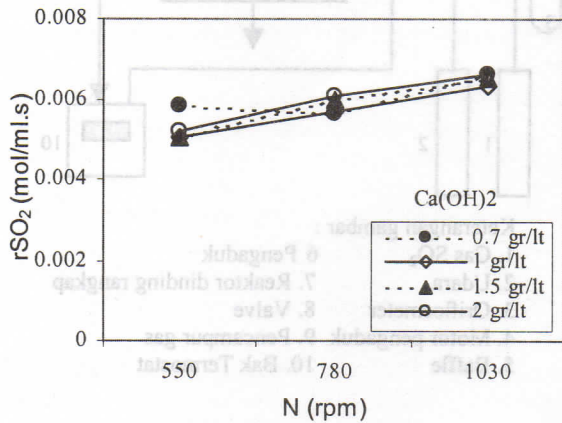
Dari hasil percobaan dan pengolahan data maka dapat diketahui pengaruh dari variabel-variabel percobaan terhadap laju absorpsi dan korelasi hasil eksperimen terhadap model :

Pengaruh kecepatan putar pengaduk

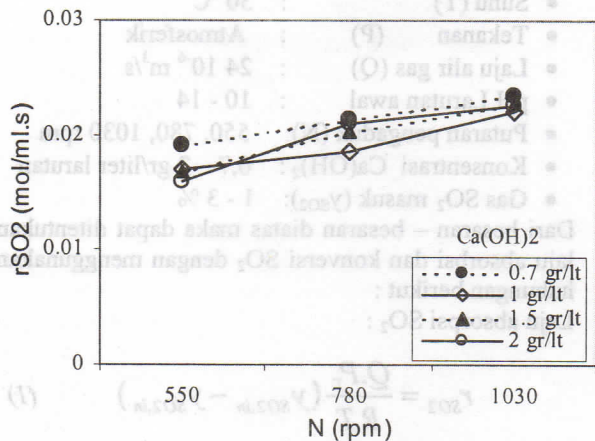
Untuk laju gas yang sama dan konsentrasi larutan Ca(OH)₂ yang sama terlihat pda gambar 2 dan gambar 3, bahwa dengan semakin meningkatnya kecepatan putar pengaduk laju absorpsi terjadi sedikit peningkatan. Hal ini dikarenakan bahwa laju absorpsi

sedikit dipengaruhi oleh pengadukan. Secara umum dalam literatur menunjukkan bahwa koefisien perpindahan massa sisi cair merupakan fungsi kecepatan putar pengaduk, diameter impeler dan kecepatan gas superficial (faktor hidrodinamik). Seperti yang ditunjukkan oleh korelasi yang diusulkan oleh Ogut (1988) sbb :

$$k_L a = (N^3 d^3)^{0,73} U_s^{0,28} \quad (3)$$



Gambar 2. Laju absorpsi vs putaran pengaduk untuk berbagai konsentrasi Ca(OH)_2 ($y_{\text{SO}_2} = 0,83\%$)

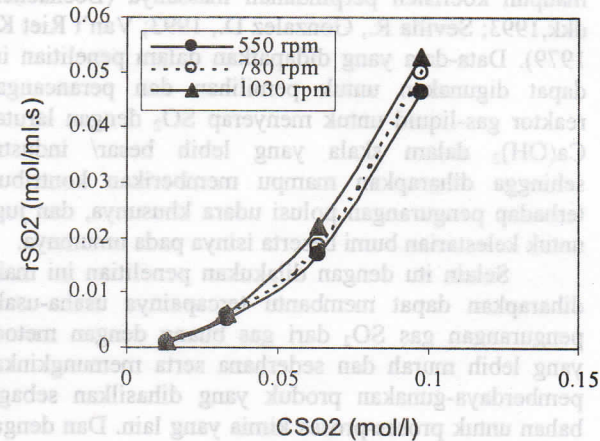


Gambar 3. Laju absorpsi vs putaran pengaduk untuk berbagai konsentrasi Ca(OH)_2 ($y_{\text{SO}_2} = 1,57\%$)

Semakin cepat pengadukan semakin baik distribusi gas dalam liquid. Peningkatan pengadukan akan meningkatkan turbulensi, menyebabkan gerakan liquid semakin cepat dan gas ikut bergerak bersama, kemungkinan terjadinya perpecahan gelembung gas semakin besar. Bila gelembung pecah menjadi bagian yang lebih kecil maka luas kontak akan semakin besar. Hal ini juga sesuai dengan data yang diperoleh oleh Lancia dkk.(1997).

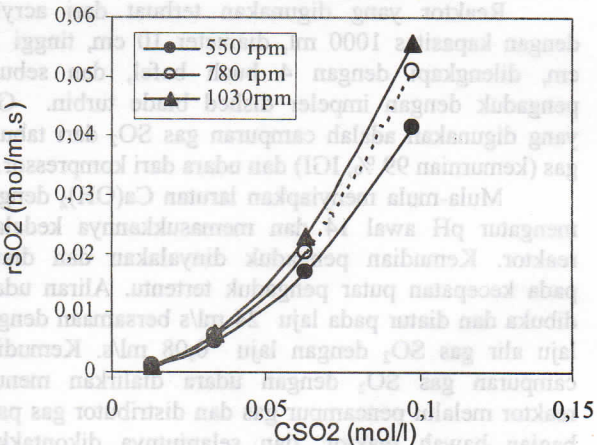
Pengaruh konsentrasi SO_2 masuk

Dengan meningkatnya laju SO_2 antara 0.08 ml/s sampai dengan 0,59 ml/s maka konsentrasi SO_2 dalam campuran gas yang masuk reaktor juga meningkat. Dari hasil eksperimen diperoleh bahwa dengan meningkatnya konsentrasi SO_2 (gambar 4 & 5) terlihat terjadi peningkatan laju absorpsi. Hal ini terjadi karena semakin besar konsentrasi SO_2 maka semakin banyak yang berkontak dengan larutan Ca(OH)_2 , sehingga SO_2 yang terserap dalam liquid semakin besar.



Gambar 4. Laju absorpsi vs C_{SO_2} in pada berbagai putaran pengaduk ($\text{Ca(OH)}_2 = 1 \text{ gr/l}$)

Pada konsentrasi SO_2 masuk 1 %, laju absorpsi SO_2 untuk variasi kecepatan putar pengaduk tidak banyak terjadi perubahan atau laju absorpsi yang terjadi tetap menunjukkan peningkatan hanya saja peningkatan yang terjadi sedikit sekali, hal ini dikarenakan laju gas SO_2 yang masuk terlalu kecil



Gambar 5. Laju absorpsi vs C_{SO_2} in dengan variasi Putaran pengaduk ($\text{Ca(OH)}_2 = 1,5 \text{ gr/l}$)

Pengaruh konsentrasi Ca(OH)_2

Konsentrasi Ca(OH)_2 0,7 gr/l sampai 2 gr/l dengan variasi laju gas yang masuk dan kecepatan putar pengaduk, tidak banyak memberi pengaruh terhadap laju absorpsi yang terjadi, hal ini

dikarenakan dalam larutan ini proses reaksi terjadi sangat cepat sekali, dan reaksi terjadi pada film liquid, sehingga perpindahan massa yang mengontrol jalannya absorpsi.

Pada proses batch komposisi badan liquid di dalam absorber memang berubah-ubah setiap saat, dan konsentrasi larutan akan semakin menurun dari titik jenuhnya dimana mulai terjadi reaksi SO₂, dan padatan yang ada berfungsi sebagai cadangan, sehingga untuk beberapa saat konsentrasi tidak berubah

Model absorpsi SO₂ dalam larutan Ca(OH)₂

Absorpsi SO₂ dalam larutan Ca(OH)₂ merupakan proses absorpsi (perpindahan massa) yang diikuti dengan reaksi kimia yang sangat cepat dipermukaan atau pada film liquid.

Jika reaksi absorpsi terjadi pada interface dan sangat cepat sekali maka laju absorpsi SO₂ dapat dinyatakan dengan persamaan berikut (Model 1) :

$$r_{SO_2} = k_G a (p_{SO_2(av)} - H \cdot C_{SO_2(aq)}) \tag{4}$$

Dan jika reaksi terjadi pada film dan badan liquid maka laju basorbsinya dapat dinyatakan dengan persamaan (Model 2) :

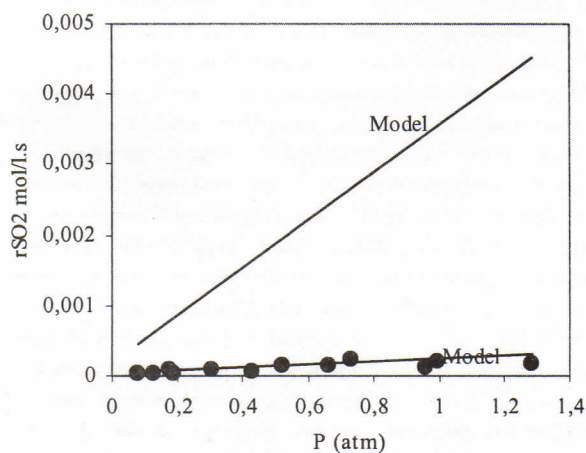
$$r_{SO_2} = \frac{1}{\frac{1}{k_G a} + \frac{H}{k_L a}} (p_{SO_2(av)} - H \cdot C_{SO_2(aq)}) \tag{5}$$

Untuk mendapatkan koefisien perpindahan massa, terhadap laju alir, kecepatan putar pengaduk digunakan suatu korelasi pada penelitian sebelumnya mengenai penentuan koefisien perpindahan massa sisi liquid (k_La) dan sisi gas (k_Ga) sebagai berikut :

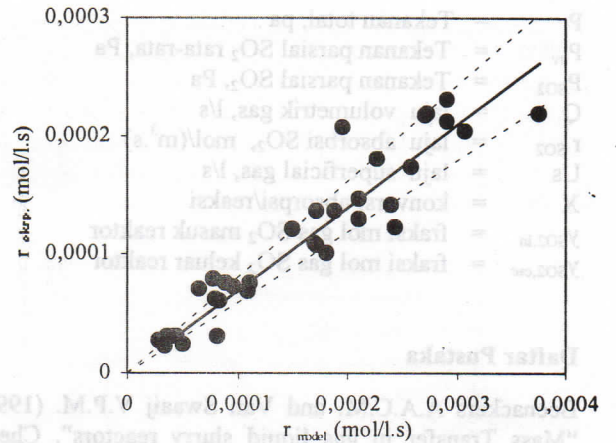
$$k_L a = 0,0028 Q^{0,315} N^{1,33} \tag{6}$$

$$k_G a = 0,3347 Q^{1,606} N^{0,59} \tag{7}$$

Hasil perhitungan dengan menggunakan kedua model tersebut dan dibandingkan dengan hasil eksperimen dapat ditunjukkan pada gambar 6 :



Gambar 6. Laju absorpsi gas SO₂ vs tekanan gas SO₂ rata-rata P_{av} (Pa) (Ca(OH)₂ =1 gr/l)



Gambar 7. Laju absorpsi gas hasil percobaan dengan hasil perhitungan (r_{SO₂,exp} VS r_{SO₂,model})

Dari gambar 6 dapat terlihat bahwa r_{SO₂} eksperimen lebih mendekati pada model 2, hal ini menunjukkan bahwa tahanan perpindahan massa sisi cair tidak bisa diabaikan dan reaksi terjadi pada film liquid. Sedangkan gambar 7 menunjukkan grafik perbandingan laju absorpsi hasil percobaan dan hasil perhitungan berdasarkan model 2, dengan kesalahan rata – rata ± 10 %, hal ini menguatkan konfirmasi kecocokan model 2.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan diatas maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sbb :

- Laju absorpsi sedikit meningkat dengan naiknya kecepatan putar pengaduk
- Laju absorpsi meningkat secara signifikan dengan naiknya konsentrasi SO₂ dalam fasa gas dalam reaktor.
- Variasi konsentrasi larutan Ca(OH)₂ tidak memberi pengaruh yang signifikan terhadap laju absorpsi, hal ini dikarenakan range konsentrasi yang digunakan diatas kelarutannya (sangat berlebih).
- Dari hasil pemodelan absorpsi menunjukan laju absorpsi eksperimen lebih mendekati pada model 2, dimana perpindahan massa sisi cair tidak bisa diabaikan dan reaksi terjadi pada film liquid atau dengan kata lain perpindahan massa sisi cair yang mengendalikan proses absorpsi

Daftar Notasi

- C_{AG} = Kons. gas SO₂ di badan gas, mol/l
- C_{AL} = Kons. gas SO₂ di badan liquid, mol/l
- d = diameter pengaduk, m
- H = konstanta Henry, atm.l/mol
- k_Ga = koefisien perpindahan massa gas, m/s
- k_La = koef. perp. massa liquid, mol/(m³.s.Pa)
- N = laju putaran pengaduk, rpm

- P = Tekanan total, pa
- P_{av} = Tekanan parsial SO_2 rata-rata, Pa
- P_{SO_2} = Tekanan parsial SO_2 , Pa
- Q = laju volumetrik gas, l/s
- r_{SO_2} = laju absorpsi SO_2 , mol/(m³.s)
- U_s = laju superficial gas, l/s
- X = konversi absorpsi/reaksi
- $Y_{SO_2,in}$ = fraksi mol gas SO_2 masuk reaktor
- $Y_{SO_2,out}$ = fraksi mol gas SO_2 keluar reaktor

Daftar Pustaka

Beenackers A.A.C.M. and Van Swaaij V.P.M. (1993) "Mass Transfer in gas liquid slurry reactors", Chem. Eng. Sci., 48, 3109 - 3139.

Kiared, K., Mahfud, and A. Zoulalian (1991), "Study and Analysis of Catalytic Sulfur Dioxide in Verlifix Three-Phase Reactor," 1st International Conference on Environmental Pollution (ICEP. 1), 1, 204-211.

Lancia A. and Pepe F, (1997) "Modeling of SO_2 Absorpsi into Limestone Suspensions", Ind. Eng. Chem, 36, No.1, 197 - 203.

Ogut A and Hatch R.T., (1988), "Oxygen transfer into Newtonian and Newtonian Fluids in Mechanically agitated Vessels", Can. J. Chem. Eng., 66.

Sada E., Kumazawa H. and Butt. M.A, (1979) "Single and simultaneous Absorption of lean SO_2 and NO_2 into aqueous slurries of $Ca(OH)_2$ or $Mg(OH)_2$ particles ", Chem. Eng of Japan., 12, 111-117.

Satyamurthy.N, Degaleesan T.E, (1979) "Absortion of Oxygen by Aqueous Sodium Sulphite Solution", Can. J. Chem. Eng., 57.

Sevilla R., Gonzalez D., (1993), "Absortion of SO_2 : Determination of mass transfer coefficients in a Continuous Stirred-tank Reactor", Int. Chem. Eng., 33, No.1

Van't Riet K., (1979) "Review of measuring methodes and results in nonviscous gas-liquid mass transfer in stirred vessels", Ind. Eng. Chem. Process. Des. Dev., 18, 357-364.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan diatas maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sbb :

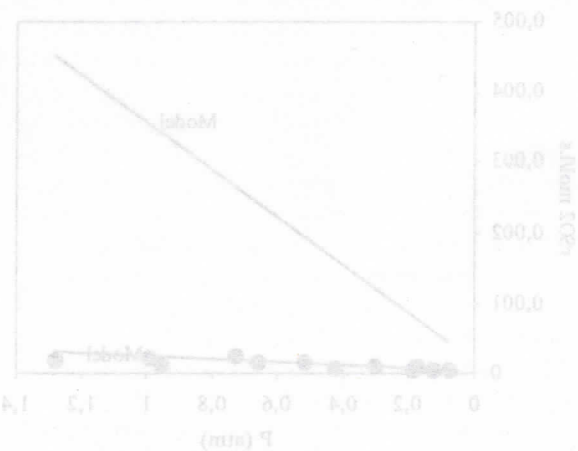
- Laju absorpsi sedikit meningkat dengan naiknya kecepatan putar pengaduk
- Laju absorpsi meningkat secara signifikan dengan naiknya konsentrasi SO_2 dalam fase gas dalam reaktor.
- Variasi konsentrasi larutan $Ca(OH)_2$ tidak memberi pengaruh yang signifikan terhadap laju absorpsi, hal ini dibuktikan dalam range konsentrasi yang digunakan diatas keluatannya (sangat berlebih).
- Dari hasil pemodelan absorpsi menunjukkan laju absorpsi eksperimen lebih mendekati pada model dimana pertindahan massa sisi cair tidak bisa diabaikan dan terjadi pada film liquid atau dengan kata lain pertindahan massa sisi cair yang mengendalikan proses absorpsi

Langkah berikutnya koefisien pertindahan massa terhadap laju absorpsi putar pengaduk digunakan koefisien pertindahan massanya mengenai koefisien koefisien pertindahan massa sisi liquid (k_L) dan sisi gas (k_G) sebagai berikut :

(6) $k_L = 0.0018 Q^{0.75} W^{0.25}$

(7) $k_G = 0.0387 Q^{0.75} W^{0.25}$

Hasil perhitungan dengan menggunakan kedua model tersebut dan dibandingkan dengan hasil eksperimen dapat ditunjukkan pada gambar 6 :



Gambar 6. Laju absorpsi gas SO_2 vs tekanan gas SO_2 rata-rata P_{av} (Pa) ($Ca(OH)_2 = 1$ gram)

Daftar Notasi

C_{AG}	=	Kons. gas SO_2 di badan gas, mol/l
C_{AL}	=	Kons. gas SO_2 di badan liquid, mol/l
d	=	diameter pengaduk, m
H	=	konstanta Henry, atm.l/mol
k_{Ga}	=	koefisien pertindahan massa gas, m/s
k_{La}	=	koef. perp. massa liquid, mol/(m ² .s.Pa)
N	=	laju putaran pengaduk, rpm