

EVALUASI PENYERAPAN Cl_2 MENGGUNAKAN LARUTAN NaOH PADA H_2 SCRUBBER

Jabosar Ronggur Hamonangan Panjaitan^{1*}, Disty Rahmawati¹, Dhanda Ahmad Valiendra¹, Ahmad Su'aidi², Franki Eka S²

¹Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia

²PT. Tanjungenim Lestari Pulp and Paper, Muara Enim, Sumatera Selatan, Indonesia

E-mail: jabosar.panjaitan@tk.itera.ac.id

Abstract

Chlorine is a halogen compound that in high concentration can pollute the environment. One way that can be done to reduce chlorine from the environment is by the absorption process using sodium hydroxide (NaOH) solution. In this study, the absorption of Cl_2 gas at industrial scale using NaOH solution in H_2 scrubber will be studied. The research showed that high excess OH values produce high scrubber efficiency. Several factors can affect H_2 scrubber efficiency, including the use of aged packing and tray, reduced in pump performance, pipe scaling, reduced alkali solution due to the large flow of Cl_2 , change in production rate, and ClO_2 plant tripped. In addition, pump efficiency showed that at $10 \text{ m}^3/\text{h}$ flow rate produced the highest pump efficiency which was 34.49%. This indicated that increasing the flow rate will increase the pump efficiency. Other factors such as large pump power also made higher pump efficiency.

Keywords: Chlorine; Scrubber; Sodium Hydroxide

Abstrak

Klorin adalah senyawa halogen yang dalam konsentrasi tinggi dapat mencemari lingkungan. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi klorin dari lingkungan adalah dengan proses absorpsi menggunakan larutan alkali sodium hidroksida (NaOH). Pada penelitian ini akan diteliti penyerapan gas Cl_2 skala industri dengan menggunakan larutan NaOH pada alat H_2 Scrubber. Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan nilai excess OH yang tinggi menghasilkan efisiensi Scrubber yang tinggi. Beberapa faktor dapat mempengaruhi efisiensi H_2 scrubber antara lain penggunaan umur packing dan tray, berkurangnya performa pompa, scaling pada pipa, hangusnya larutan alkali akibat banyaknya aliran Cl_2 , perubahan rate produksi, dan ClO_2 plant tripped. Selain itu, analisis efisiensi pompa menunjukkan bahwa pada laju alir $10 \text{ m}^3/\text{h}$ menghasilkan nilai efisiensi pompa yang paling besar yaitu 34,49%. Hal ini menandakan meningkatnya laju alir membuat efisiensi pompa semakin naik. Faktor lain seperti kuat arus dan daya yang besar juga membuat efisiensi pompa yang dihasilkan akan semakin besar.

Kata Kunci: Klorin; Scrubber; Sodium Hidroksida.

1. Pendahuluan

Klorin merupakan unsur halogen yang umum digunakan sebagai desinfektan, pemutih atau pembersih [1]. Klorin umum ditemukan di alam terutama di perairan yang dapat menyebabkan tingginya salinitas [2]. Klorin umumnya dapat dijumpai dalam bentuk garam natrium klorida (NaCl). Dalam jumlah yang besar, klorin dapat menyebabkan pencemaran lingkungan [3]. Klorin juga kadang digunakan sebagai pewarna beras agar tampak lebih putih, namun hal ini berbahaya bagi kesehatan [4][5].

Proses absorpsi merupakan proses yang penting karena dapat digunakan dalam proses perpindahan dan pemisahan massa. Pemisahan secara absorpsi dilakukan dengan menyerap salah satu komponen dalam suatu campuran menggunakan absorben. Secara umum absorpsi terbagi dua yaitu absorpsi fisika dan kimia [6]. Absorpsi gas adalah proses adsorpsi kimia yang umum terjadi di industri. Salah satu absorben yang umum digunakan adalah sodium hidroksida (NaOH). Salah satu aplikasi umum absorpsi gas adalah penyerapan gas CO₂ dalam proses pemurnian biogas [7]. Klorin dapat diabsorpsi menggunakan senyawa sodium hidroksida (NaOH). Penyerapan senyawa klorin menggunakan sodium hidroksida merupakan proses chlor-alkali yang menghasilkan produk garam [8][9][10].

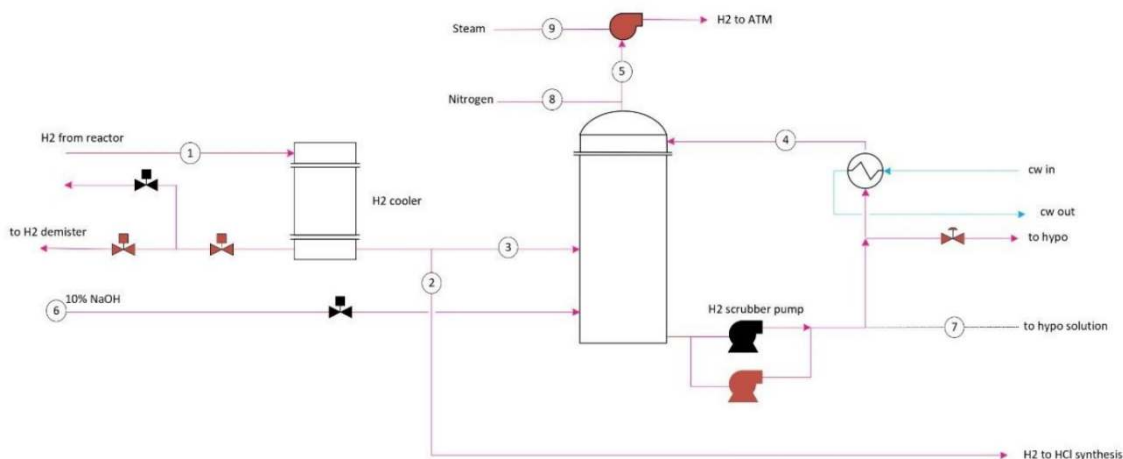
Chemical Plant merupakan unit penunjang produksi kertas di PT. Tanjungenim Lestari *Pulp and Paper*. Unit ini berguna untuk memproduksi bahan kimia yang akan digunakan dalam proses *bleaching* dan *cooking*. Pada *Chemical Plant* terdapat *Clordioxide Plant* (ClO₂ plant) yang berfungsi untuk menghasilkan ClO₂. Pada ClO₂ plant menghasilkan gas H₂ yang masih mengandung Cl₂ yang akan dialirkan menuju H₂ scrubber untuk memisahkan Cl₂. Gas H₂ yang masih mengandung Cl₂ harus diproses lebih lanjut dikarenakan gas Cl₂ merupakan gas berbahaya jika dilepaskan sembarangan ke lingkungan.

Pada penelitian ini akan diteliti evaluasi penyerapan gas Cl₂ menggunakan *Caustic* atau sodium hidroksida (NaOH) pada H₂ Scrubber *Chemical Plant Departement* di PT. Tanjungenim Lestari *Pulp and Paper* serta menghitung konsumsi energi pompa dalam mensirkulasikan sodium hidroksida pada H₂ Scrubber dan faktor - faktor yang mempengaruhi performa penyerapan Cl₂ pada H₂ Scrubber.

2. Metode Penelitian

Proses H₂ Scrubber

H₂ Scrubber merupakan alat yang digunakan dalam memisahkan gas H₂ dan Cl₂ yang berasal dari *chlorate reactor* dan menangani H₂ yang tidak digunakan dalam produksi *hydrochloric acid*. Komponen utama yang terdapat pada sistem H₂ Scrubber adalah H₂ Cooler, H₂ Scrubber, H₂ Scrubber Pump, H₂ Scrubber Cooler.



Gambar 1. Diagram proses H₂ scrubber

Diagram proses H₂ Scrubber dapat dilihat pada Gambar 1. H₂ Cooler akan menurunkan temperatur hydrogen dari 80°C menjadi 60°C. H₂ Scrubber menggunakan larutan kimia untuk menghilangkan Cl₂ dan H₂ sebelum dibuang ke atmosfer. Proses pemisahan gas H₂ dan Cl₂ yang berasal dari *chlorate reactor* memerlukan bahan alkali (NaOH) yang berfungsi untuk menghilangkan residual dari Cl₂ dan menjaga kadar larutan penyerap. Reaksi kimia antara NaOH dan Cl₂ adalah:



H₂ Scrubber akan menangani kelebihan H₂ yang tidak dibutuhkan untuk menghasilkan *hydrochloric acid*. H₂ Scrubber Pump akan mensirkulasikan larutan NaOH dari dasar Scrubber melalui Cooler dan akan terus naik ke atas. Pada H₂ Scrubber Cooler menggunakan *cooling water* untuk mempertahankan temperatur larutan NaOH agar tetap konstan. Hal ini disebabkan larutan NaOH yang bereaksi dengan Cl₂ menghasilkan panas yang menaikkan temperatur larutan NaOH. NaOH ditambahkan secara periodik ke Scrubber untuk mempertahankan kadar larutan penyerap. Kemudian larutan dipindahkan dari H₂ Scrubber menuju hypo. Hypo berfungsi untuk menampung dan mengolah seluruh limbah gas yang dihasilkan *Chemical Plant Departement*.

Pompa H₂ Scrubber

Pada alat Scrubber di PT. Tanjungenim Lestari *Pulp and Paper* memiliki 2 pompa yang disusun secara paralel. Pompa pada alat Scrubber digunakan untuk mengalirkan fluida yang sudah terpisah dari gas menuju hypo. Pompa yang digunakan memiliki kapasitas 10 m³/hr dengan normal flow 8,77, kecepatan 1200 *rotary per-menit* (RPM) memiliki nilai head 15 m, angka *specific gravity* 1,095 dengan daya maksimal 3 Kilowatt.

Data Pendukung

Evaluasi efisiensi Scrubber terhadap komposisi yang dibutuhkan menggunakan metode sumber data sekunder. Sumber data sekunder yang diambil berkaitan dengan konsentrasi Cl₂-OH, dan spesifikasi pompa dari PT. Tanjungenim Lestari *Pulp and Paper*. Sedangkan untuk analisisnya menggunakan metode analisis jenis deskriptif, dimana hasil yang telah didapatkan akan dijabarkan dalam bentuk tabel, grafik, dan gambar.

Tabel 1. Spesifikasi pompa

Spesifikasi motor	Pump 1	Pump 2
Daya (Hp/kW)	3	3
Tegangan (Volt)	380	380
Kuat arus (ampere)	6,3	6,3
Rpm (rotary per minute)	2810	2810
Frekuensi (phase/hz)	0,06	0,06
SF (servive factor)	1,15	1,15

Persamaan Perhitungan

Persamaan perhitungan yang digunakan untuk menghitung efisiensi pompa antara lain

Fraksi massa

$$\text{Fraksi massa} = \frac{\text{jumlah satu komponen}}{\text{total komponen}} \quad (1)$$

Laju alir mol

$$\text{Laju alir mol} = \frac{\text{laju alir komponen}}{\text{Berat molekul}} \quad (2)$$

Fraksi mol

$$\text{Fraksi mol} = \frac{\text{jumlah satu komponen}}{\text{total komponen}} \quad (3)$$

Densitas campuran

$$\rho_{\text{campuran}} = \text{Fraksi mol komponen} \times \text{densitas komponen} \quad (4)$$

Water horse power

$$W_{hp} = \rho \times g \times Q_p \times H_p \quad (5)$$

dimana W_{hp} adalah *water horse power*, ρ adalah massa jenis, g adalah gravitasi, Q_p adalah laju alir, dan H_p adalah *head pump*

Brake horse power

$$B_{hp} = \eta_{tr} \times E_p \quad (6)$$

dimana B_{hp} adalah *brake horse power*, η_{tr} adalah efisiensi transmisi, dan E_p adalah *electrical power*.

Electrical power

$$E_p = V \times I \quad (7)$$

dimana E_p adalah *electrical power*, V adalah voltage, dan I adalah kuat arus.

Efisiensi pompa

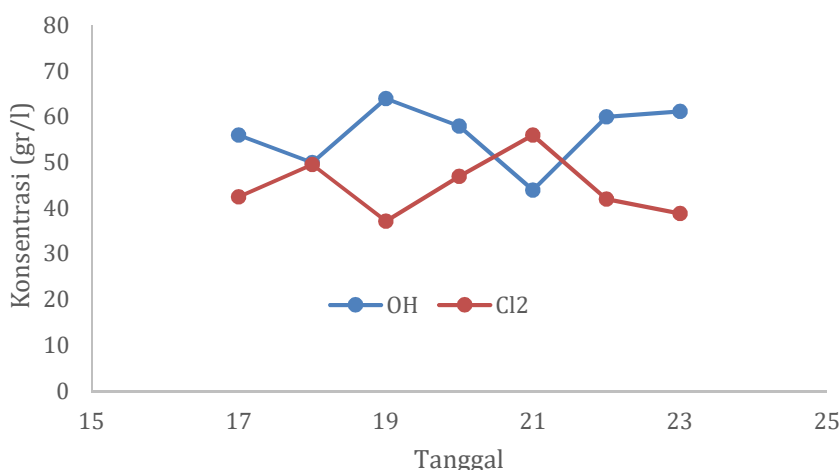
$$\eta = \frac{Whp}{Bhp} \times 100\% \quad (8)$$

dimana η adalah efisiensi pompa, Whp adalah *water horse power*, dan Bhp adalah *brake horse power*.

3. Hasil dan Pembahasan

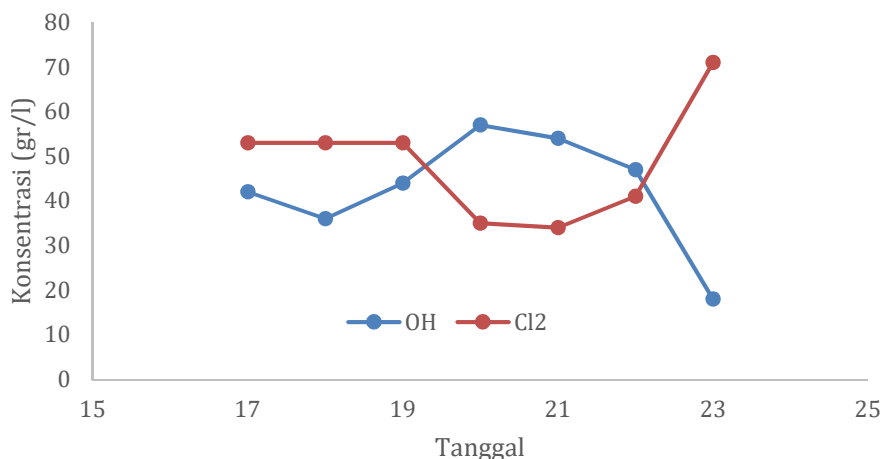
Penyerapan Cl₂ pada Scrubber

Scrubber pada *Chemical Plant Departement* berperan penting dalam pengelolaan gas buang yang berbahaya, yaitu gas Cl₂ dan H₂ yang dihasilkan dari reaktor. Gas Cl₂ pada scrubber diserap menggunakan Caustic 10-25% yang diinputkan setiap 300 detik sekali selama 4 detik.



Gambar2. Performa H₂ Scrubber pada bulan agustus 2023

Pada Gambar 2 terlihat bahwa besarnya penyerapan Cl₂ menggunakan Caustic naik turun di setiap harinya. Hal ini dapat disebabkan oleh kenaikan/penurunan kapasitas produksi ClO₂ *Chemical Plant Departement*, dan dapat dikarenakan Caustic hangus akibat Cl₂ yang masuk terlalu banyak ClO₂ *plant tripped*. Nilai *excess* OH dengan *average* Cl₂ berbanding terbalik, karena semakin rendah *excess* OH akan semakin tinggi *average* Cl₂. Hal ini disebabkan karena OH yang ditambahkan mengikat gas Cl₂ dengan baik. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi *average* Cl₂ dan semakin rendah *excess* OH, maka akan semakin tinggi performa Scrubber dalam menyerap gas Cl₂. Pada tanggal 18, nilai *excess* OH 50 gr/l dan Cl₂ 49,6 gr/l mempunyai perbandingan yang sangat sedikit, dikarenakan saat pengambilan sampel H₂ Scrubber sedang diinjeksikan NaOH. Gambar 2 menunjukkan *average* Cl₂ dan *excess* OH masih dalam batas normal atau masih sesuai dengan range. Range dari Cl₂ yaitu <90 gr/liter dan range OH >2 gr/liter [11].



Gambar 3. Performa H₂ Scrubber pada bulan juni 2024

Pada Gambar 3, tanggal 18 hingga 20 Juni 2024 excess OH mengalami kenaikan dan nilai average Cl₂ mengalami penurunan. Tetapi mulai tanggal 21-23 excess OH mengalami penurunan dan average Cl₂ pada tanggal 21-23 mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan karena menurunnya konsentrasi OH yang ditambahkan serta OH tidak mengikat baik gas Cl₂ sehingga kandungan Cl₂ meningkat. Pada 23 Juni, excess OH mengalami penurunan drastis diikuti dengan kenaikan average Cl₂. Hal ini dapat disimpulkan bahwa penyerapan Cl₂ menggunakan Caustic menurun, sehingga performa Scrubber berkurang.

Penurunan performa *Scrubber* dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu *packing* yang sudah berumur sehingga kontak antara larutan *Caustic* dan gas H₂ kurang maksimal, berkurangnya performa pompa untuk mensirkulasikan *Caustic*, *scalling* pada pipa, hangusnya larutan *Caustic* akibat Cl₂ yang masuk terlalu banyak, perubahan laju produksi, dan ClO₂ *plant tripped*.

Performa Pompa Scrubber

Pompa H₂ scrubber berfungsi untuk memompakan Cl₂ yang sudah diserap menggunakan Caustic ke hypo, sebagian dipompakan ke Cooler untuk diturunkan temperaturnya lalu dimasukkan kembali ke H₂ Scrubber. Pompa Scrubber ini bekerja menggunakan maksimal daya 3000 watt dan kuat arus 6,3 A yang diatur melalui *Programmable Logic Controller* (PLC). Efisiensi pompa dapat diketahui jika mengetahui densitas dari cairan yang masuk kedalam pompa. Densitas campuran dari keluaran *Scrubber* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Densitas campuran aliran

Komponen	Laju alir (kg/jam)	Laju alir (kmol/jam)	Densitas (kg/m ³)	campuran
H ₂ O	8441	407,982	997,768	
NaOH	212	0,116	0,606	
NaCl	445	0,350	1,850	
NaOCl	566,8	0,446	1,211	

Sebelum menghitung efisiensi pompa, perlu diketahui densitas campuran suatu fluida terlebih dahulu untuk menghitung *Water Horse Power* (WHP) dan *Brake Horse Power*

(BHP). *Water Horse Power* (WHP) merupakan energi yang diterima fluida yang dimanfaatkan untuk dapat mengalir dari satu tempat ke tempat lain. Densitas campuran fluida berpengaruh terhadap *Water Horse Power* (WHP), karena semakin besar densitas campuran dari suatu fluida maka nilai *Water Horse Power* (WHP) yang dihasilkan akan semakin besar. Jika nilai dari *Water Horse Power* (WHP) besar, maka semakin besar efisiensi pompa Scrubber yang dihasilkan.

Tabel 3. Efisiensi pompa scrubber

Q (m ³ /h)	WHP (watt)	BHP (watt)	Eff (%)
10	408,919	1185,6	34,49
8,7	358,622	1185,6	30,25

Efisiensi pompa adalah acuan yang digunakan untuk mengukur seberapa baik pompa dapat mengubah energi. Tabel 3 menampilkan efisiensi pompa Scrubber menggunakan perhitungan *Water Horse Power* (WHP) dan *Brake Horse Power* (BHP), dengan daya 1520 watt dan faktor transmisi 0,8. Pada laju alir 10 m³/h dengan nilai WHP yang besar dapat menghasilkan efisiensi sebesar 34,49%, sedangkan laju alir 8,7 m³/h dengan nilai WHP lebih kecil hanya menghasilkan efisiensi 30,25%. Hal ini menunjukkan bahwa nilai efisiensi berbanding lurus dengan nilai WHP. Efisiensi pompa cenderung naik seiring dengan meningkatnya laju alir. Pada laju alir rendah, pompa hanya dapat beroperasi dengan efisiensi cukup. Namun seiring dengan meningkatnya laju alir, efisiensi pompa akan meningkat. Dengan kuat arus dan daya yang besar, efisiensi pompa yang dihasilkan akan semakin besar. Di sisi lain, efisiensi pompa akan menurun jika pompa dijalankan dengan daya tinggi hingga mendekati daya maksimum desain yang menyebabkan kerja pompa terlalu berat. Selain itu, penurunan efisiensi pompa dapat disebabkan karena adanya sumbatan (*scalling*) pada pipa.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini diteliti penyerapan gas Cl₂ dengan menggunakan sodium hidroksida pada H₂ Scrubber. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi excess OH maka semakin tinggi efisiensi Scrubber. Faktor – faktor yang mempengaruhi efisiensi H₂ Scrubber antara lain pengaruh *packing* dan *tray* yang sudah lama, berkurangnya performa pompa, *scalling* pada pipa, hangusnya larutan *Caustic* akibat Cl₂ yang masuk terlalu banyak, perubahan rate produksi, dan ClO₂ *plant tripped*. Analisis efisiensi pompa menunjukkan pada laju alir 10 m³/h menghasilkan nilai efisiensi paling besar sebesar 34,49%. Hal ini menandakan bahwa efisiensi pompa cenderung naik seiring dengan meningkatnya laju alir. Kuat arus dan daya yang besar membuat efisiensi pompa yang dihasilkan akan semakin besar.

Referensi

- [1] Hayat, F. (2020). Analisis Kadar Klor Bebas (Cl₂) dan Dampaknya Terhadap Kesehatan Masyarakat di Sepanjang Sungai Cidanau Kota Cilegon. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Mulawarman*, vol. 2, no. 2.
- [2] Hasibuan, N.F., Oktavia, B., Nasra, E., dan Kurniawati, D. (2023). Optimasi Penyerapan Anion Klorida Menggunakan Silika Gel (SiO₂)-GPTMS Dimodifikasi dengan Dimetilamina. *Chemistry Journal of Universitas Negeri Padang*, vol. 12, No. 1.

- [3] Hasan, A. (2006). Dampak Penggunaan Klorin. *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 7, no. 1, 90 – 96.
- [4] Putri, U.R., Miswan, Rismawati, N. (2020). Uji Kandungan Klorin (Cl_2) pada Beras di Pasar Inpres Manonda Palu. *Jurnal Kolaboratif Sains*, vol. 3, no. 3.
- [5] Meliala, D.I.P., Rijayanti, Feri. (2020). Penyuluhan Tentang Bahaya Klorin Bagi Tubuh Manusia di Desa Candirejo. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Putri Hijau*, vol. 1, no. 1.
- [6] Robiah, R., Renaldi, U., dan Melani, A. (2021). Kajian Pengaruh Laju Alir NaOH dan Waktu Kontak Terhadap Absorpsi Gas CO_2 Menggunakan Alat Absorber Tipe Sieve Tray. *Distilasi*, vol. 6, no. 2. pp. 27 – 35.
- [7] Mara, I.M. (2012). Analisis Penyerapan Gas Karbondioksida (CO_2) dengan Larutan NaOH Terhadap Kualitas Biogas Kotoran Sapi. *Dinamika Teknik Mesin*, vol. 2, no. 1.
- [8] Ihsan, D., Istadi, Djaeni, M. (2002). Improving Public Salt Quality by Chemical Treatment. *Journal of Coastal Development*, vol. 5, no. 3.
- [9] Hou, M., Chen, L., Guo, Z., Dong, X., Wang, Y., dan Xia, Y. (2018). A Clean and Membrane-Free Chlor-Alkali Process with Decoupled Cl_2 and H_2/NaOH Production. *Nature Communications*, vol. 9, no. 438.
- [10] Pratiwi, W.S.W., Efendy, M., Nuzula, N.I., Rahem, M., Afrani, F. (2023). Production of Purified Sodium Chloride as Industrial Standard. *Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, vol. 4, no. 4.
- [11] Egas, A.P.V., Slmao, J.P.F, Costa, I.M.M., Francisco, S.C.P., dan Castro, J.A.A.M. (2002). Experimental Methodology for Heterogeneous Studies in Pulping of Wood. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol. 41, pp. 2529 – 2534.