

Kinetika Reaksi Delignifikasi Campuran Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Pelepah Pisang sebagai Bahan Baku Pembuatan *Pulp* Menggunakan Alat *Digester*

Azaria Hikmah Fajrianti^{*1}, Indah Purnamasari², Muhammad Yerizam³

^{1,2,3}Program Studi Teknologi Kimia Industri, Jurusan Teknik Kimia
Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia
Email: ¹azariahikmah8@gmail.com

Abstrak

Pulp adalah hasil pemisahan selulosa dari bahan baku berserat (kayu maupun non kayu) melalui berbagai proses pembuatan baik secara mekanis, semi-kimia dan kimia. Campuran bahan dalam pembuatan *pulp* yaitu Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dengan kandungan selulosa sebesar 42,7 – 65% dan pelepah pisang dengan kandungan selulosa sebesar 63 – 64%. Penelitian ini menggunakan variasi temperatur pemasakan 90°C, 100°C, 110°C dan 120°C serta variasi waktu pemasakan selama 60, 75, 90, 105 dan 120 menit. Selain itu juga menggunakan larutan pemasak NaOH konsentrasi 9% dengan komposisi *sample* (TKKS:pelepah pisang) yakni 2:1. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan titik optimum kadar lignin *pulp* didapatkan sebesar 7,75% pada waktu pemasakan 90 menit dan temperatur pemasakan 110°C.

Kata kunci: Konstanta Kecepatan Reaksi, Lignin, Orde Reaksi, Pelepah Pisang, TKKS.

Delignification Reaction Kinetics of a Mixture of Oil Palm Empty Fruit Bunches and Banana Stem as a Raw Material for Making Pulp Using Digester Tool

Abstract

Pulp is the result of separating cellulose from fibrous raw materials (wood and non-wood) through various manufacturing processes, both mechanically, semi-chemically and chemically. The ingredients in the manufacture of pulp are Oil Palm Empty Fruit Bunches (OPEFB) with a cellulose content of 42.7 – 65% and banana stem with a cellulose content of 63 – 64%. This study used variations in cooking temperatures of 90°C, 100°C, 110°C and 120°C as well as variations in cooking time for 60, 75, 90, 105 and 120 minutes. In addition, it also uses a 9% concentration of NaOH cooking solution with a sample composition (OPEFB:banana stem) which is 2:1. Based on research that has been done, the optimum point for pulp lignin content is 7.75% at 90 minutes of cooking time and 110°C of cooking temperature.

Keywords: Banana Stem, Lignin, OPEFB, Reaction Order, Reaction Rate Constant.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan produsen kelapa sawit (*Crude Palm Oil / CPO*) terbesar di dunia, hal tersebut ditandai dengan semakin meningkatnya jumlah luas perkebunan-perkebunan baru. Hal itu secara langsung berpengaruh pada limbah padat yang dihasilkan industri minyak kelapa sawit yaitu Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) [1].

1 ton kelapa sawit diketahui akan mampu menghasilkan berupa 23% atau 230 kg limbah tandan kosong kelapa sawit, 6,5% atau 65 kg sisa limbah cangkang (*shell*), 4% atau 40 kg lumpur sawit (*wet decanter solid*), 13% atau 130 kg serabut (*fiber*) dan 50% limbah cair [2]. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai bahan baku produk berbasis selulosa bisa dimanfaatkan seperti *pulp* dan juga kertas. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dipilih karena memiliki kandungan holoselulosa cukup baik yaitu mencapai 65,45% dengan hemiselulosa sebesar 26,69% dan selulosa 38,76% [3]. Kadar lignin yang terkandung pada Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebesar 22,23%.

Upaya untuk mengurangi limbah padat lainnya yang kurang dimanfaatkan oleh masyarakat adalah pelepah pisang (*Musa paradisiaca L.*). Pelepah pisang adalah tanaman dengan umur simpan yang lama, yang di banyak tempat dapat ditemukan sebagai limbah pertanian, serta untuk perolehan ataupun penanganan bahan mengeluarkan biaya yang cukup rendah [4]. Pelepah pisang mengandung 83,3% α -selulosa dan 2,97% lignin.

Delignifikasi adalah suatu proses yang sangat penting dalam pembuatan *pulp* kertas, sebab kadar lignin yang tinggi dalam suatu bahan akan turut mempengaruhi kondisi pemasakan yang diperlukan untuk menyempurnakan proses pemutusan lignin. Hal ini tentu sangat terkait dengan kualitas kertas yang dihasilkan. Kinetika delignifikasi sabut kelapa dapat diketahui dari banyaknya lignin yang dapat diendapkan dari lindi hitam hasil pemasakan untuk setiap waktu pemasakan yang diperlukan, penelitian yang telah dilakukannya menjelaskan bagaimana proses dasar secara kimia yang terjadi pada delignifikasi sabut kelapa dengan proses peroksida alkali yang meliputi mekanisme reaksi, laju reaksi dan tingkat reaksi dari proses delignifikasi tersebut, yang secara umum merupakan suatu proses yang sangat penting dalam upaya pengendalian proses pembuatan *pulp* (industri kertas), meskipun penelitian dalam skala laboratorium [5].

Untuk beberapa penelitian yang telah mencoba melakukan kajian tentang pembuatan *pulp*, diantaranya adalah Tarigan (2018) telah melakukan penelitian pembuatan *pulp* dengan pemanfaatan serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) pada kondisi perlakuan konsentrasi pelarut KOH 5,6% dengan waktu pemasakan 45; 60; 75; dan 90 menit mendapatkan kadar lignin sebesar 6%. Pada penelitian pembuatan *pulp* dari pelepah pisang yang dilakukan oleh Dewi dkk (2015) pada kondisi perlakuan konsentrasi pelarut NaOH 3% dengan waktu pemasakan 128,413 menit menghasilkan sebesar 2,637% kadar lignin. Lalu pada penelitian pembuatan *pulp* campuran Tandang Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan pelepah pisang yang dilakukan Fariati (2016) diperoleh konsentrasi optimum pada kondisi perlakuan konsentrasi pelarut NaOH 9% mendapatkan rendemen sebesar 44,42% sedangkan waktu optimum pemasakan 150 menit mendapatkan rendemen sebesar 45,57%.

Dari beberapa penelitian diatas yang telah mencoba melakukan kajian tentang pembuatan *pulp* dari bahan baku Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) serta bahan baku pelepah pisang ataupun bahan dasar campuran Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan pelepah pisang ini masih belum adanya pembahasan mengenai kinetika reaksinya. Maka, pada penelitian ini akan sejalan dengan penelitian sebelumnya yang berorientasi pada pengembangan konsep-konsep dasar kinetika dari suatu proses kimia. Dalam prosesnya agar di dapatkan suatu gambaran yang terjadi secara kimia yaitu delignifikasi campuran Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan pelepah pisang dalam pembuatan *pulp*.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Tempat

Pelaksanaan pembuatan alat dilakukan pada bulan April 2021, sedangkan penelitian dilakukan pada bulan Mei–Juli 2021 di Laboratorium Satuan Proses Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang pada pukul 07.00–15.00 WIB.

2.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu terdiri dari seperangkat alat *Digester*, pengaduk, spatula, gelas ukur, pipet tetes, kaca arloji, gelas kimia 250 mL, pipet ukur, bola karet, erlenmeyer 1000 mL, erlenmeyer 500 mL, labu takar, corong kaca, cawan porselin, kertas saring 60 cm × 60 cm, kertas indikator pH, bak perendaman, *hotplate*, *oven*, *waterbath*, neraca analitik.

Adapun bahan-bahan yang digunakan yaitu Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), pelepah pisang, NaOH, H₂SO₄ 98%, aquadest, air es, air panas.

2.3. Proses Pembuatan *Pulp*

Dalam prosedur percobaan pembuatan *pulp* yaitu membersihkan sampel Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang masih kotor dengan mencucinya dengan air bersih mengalir. Lalu mengeringkannya sampai benar-benar kering selama beberapa hari dibawah sinar matahari. Setelah kering, memotong sampel Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) tersebut menjadi ukuran kecil supaya memudahkan dalam tahap penghalusan dengan *crusher*. Untuk sampel pelepah pisang hanya memotongnya menjadi ukuran kecil, kemudian mengeringkannya sampai benar-benar kering selama beberapa hari dibawah sinar matahari dan didapatkan sampel yang garing/renyah jika digenggam. Menghaluskan sampel Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan pelepah pisang dengan *crusher*, untuk mendapatkan serbuk/bubuk maka dilakukan pengayakan sampel Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan pelepah pisang tersebut, lalu menimbang serbuk sebanyak 1 gram untuk menguji dan menganalisa kadar lignin awal pada sampel serbuk tersebut. Untuk pemasakan *pulp* di dalam alat *digester* maka menggunakan perbandingan (2:1) serbuk Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan pelepah pisang, lalu menimbang serbuk sebanyak 248,2436 gram Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan 83,5505 gram pelepah pisang, kemudian mencampurkan sampel di dalam alat *digester* dan menghomogenkannya. Menimbang padatan natrium hidroksida (NaOH) sebanyak 327,24 gram, kemudian melarutkan dalam 4.000 mL aquadest. Lalu,

memasukkan larutan natrium hidroksida (NaOH) (larutan pemasak) tersebut ke dalam alat *digester* yang berisikan sampel. Memasak campuran sampel di dalam alat *digester*. Temperatur pemasakan yang digunakan yaitu 90°C, 100°C, 110°C dan 120°C dengan konsentrasi larutan pemasak NaOH yang digunakan yaitu 9% serta waktu pemasakan yang digunakan yaitu 60, 75, 90, 105, dan 120 menit. Setelah proses pemasakan, mendinginkan sampel. Lalu menyaring dan juga mencuci hasil pemasakan untuk memisahkan *black liquor* (lindi hitam) serta *raw pulp* dari sisa hasil pemasakan. Kemudian menganalisa kadar lignin akhir pada *pulp* tersebut.

2.4. Pengujian Kadar Lignin

Adapun prosedur pengujian kadar lignin (metode Klason SNI 0492:2008) yaitu menimbang contoh kayu sebanyak 1 gram atau *pulp* kering oven sebanyak 2 gram. Memasukkan gelas kimia tersebut ke dalam wadah yang berisikan air es. Memindahkan contoh tersebut untuk kayu ke dalam gelas kimia 50 mL dan untuk *pulp* ke dalam gelas kimia 100 mL lalu kemudian menambahkan 15 mL Asam Sulfat (H₂SO₄) 72% untuk kayu dan 40 mL Asam Sulfat (H₂SO₄) 72% untuk *pulp*. Melakukan penambahan secara perlahan dengan mengatur temperatur 19°C–21°C di dalam bak perendaman sambil melakukan maserasi dan pengadukan selama 2–3 menit menggunakan batang pengaduk. Jika cukup terdispersi, menutup gelas beker menggunakan kaca arloji serta membiarkan selama 2 jam di dalam bak perendaman dan selama proses tersebut berlangsung melakukan sesekali pengadukan. Menambahkan ke dalam erlenmeyer 1.000 mL untuk kayu dan erlenmeyer 2.000 mL untuk *pulp* sebanyak 300 mL aquadest untuk kayu dan 400 mL aquadest untuk *pulp* serta memindahkan secara kuantitatif contoh gelas beker. Menambahkan kembali sampai volume 575 mL aquadest untuk kayu dan volume 1.540 mL aquadest untuk *pulp*, sehingga menjadi 3% konsentrasi asam sulfat (H₂SO₄). Kemudian memanaskan sampai mendidih larutan di dalam erlenmeyer tersebut lalu membiarkan selama 4 jam di atas penangas air memakai api kecil. Menjaga agar larutan dalam volume tetap, atau bisa menggunakan pendingin balik. Mendinginkan serta mendiamkan endapan lignin sampai cukup mengendap secara sempurna. Mendekantasikan larutan tersebut lalu memindahkan secara kuantitatif endapan ke dalam corong gelas atau cawan masir dilapisi dengan kertas yang beratnya sudah diketahui. Mencuci sampai bebas asam dengan air panas endapan lignin tersebut (dengan menguji kertas indikator pH). Mengeringkan kertas saring atau corong gelas atau cawan masir yang berisi endapan lignin ke dalam *oven* dengan temperatur 102°C–108°C. Kemudian mendinginkannya di dalam desikator serta menimbang hingga di dapat berat yang konstan. Perhitungan kadar lignin.

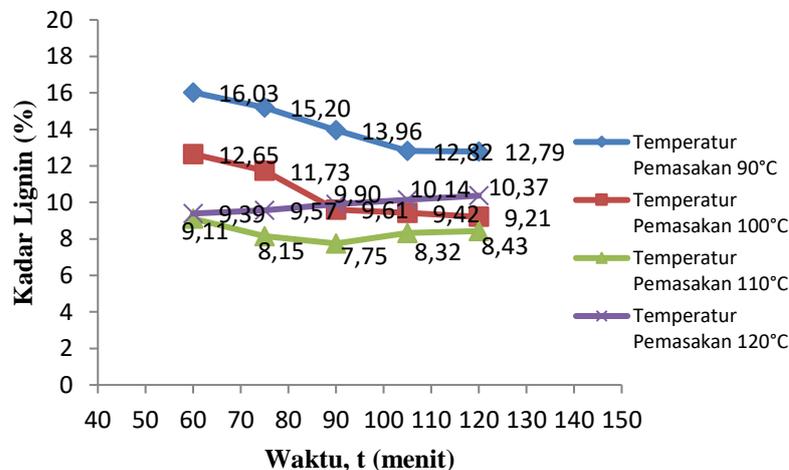
$$x = \frac{A}{B} \times 100\% \tag{1}$$

Keterangan:

- x = nilai kadar lignin (%)
- A = bobot endapan lignin (gr)
- B = bobot contoh kering *oven* (gr)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh Waktu Pemasakan dan Temperatur Pemasakan terhadap Kadar Lignin (%)



Gambar 1. Grafik Hubungan Waktu Pemasakan dan Temperatur Pemasakan terhadap Kadar Lignin

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa di dapatkan hasil analisa kadar lignin *pulp* yang paling tinggi pada awal waktu pemasakan kandungan lignin dalam *pulp* sebesar 16,03%, diperoleh lignin pada waktu pemasakan 60 menit dan temperatur pemasakan 90°C, sedangkan kadar lignin *pulp* yang didapatkan paling rendah dimana merupakan titik optimum pada waktu pemasakan 90 menit dan temperatur pemasakan 110°C sebesar 7,75%, hal ini dapat dilihat bahwa dengan waktu pemasakan yang bertambah, meningkatnya temperatur pemasakan, di dalam cairan pemasak jumlah lignin yang terlarut akan lebih banyak, sehingga kadar lignin akan cenderung menurun. Namun, jika memperpanjang lama pemasakan menjadi 2 jam, akan mengakibatkan kadar lignin *pulp* kembali naik.

Pada Gambar 1 juga menunjukkan bahwa semakin lama waktu pemasakan dan semakin tinggi temperatur pemasakan, maka kandungan lignin *pulp* yang dihasilkan akan semakin rendah. Dikarenakan hal ini terjadi selama berlangsungnya reaksi pemasakan telah banyak lignin yang terdegradasi, namun pada temperatur pemasakan 120°C dengan waktu pemasakan 120 menit kandungan lignin kembali naik dari rentang 9–10%. Hal ini juga disebabkan oleh lignin yang mengalami repolimerisasi yakni pembentukan kembali polimer-polimer lignin akibat dari semakin tingginya temperatur pemasakan, sehingga kandungan lignin pun menjadi lebih tinggi.

3.2. Menentukan Orde Reaksi

Pada reaksi orde 3 persamaan laju reaksinya adalah:

$$-\frac{dC_A}{dt} = k_3 C_A^3 \quad (2)$$

Persamaan tersebut diintegrasikan menjadi:

$$-\int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A^3} = \int_0^t k_3 dt \quad (3)$$

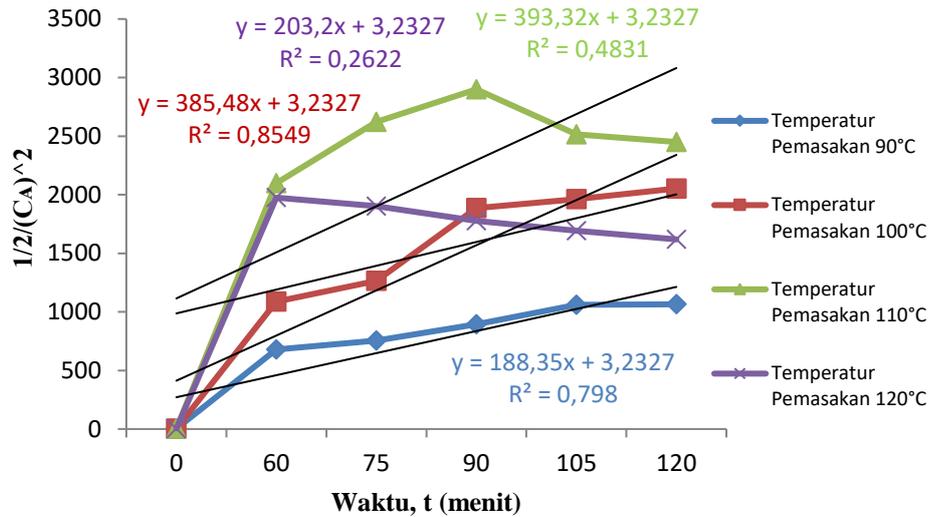
$$\frac{1}{C_A^2} - \frac{1}{C_{A0}^2} = 2k_3 t \quad (4)$$

$$\frac{\frac{1}{2}}{(C_A)^2} = \frac{1}{C_{A0}^2} + k_3 t \quad (5)$$

Maka diperoleh nilai persamaan grafik $y = Ax + B$, dimana $y = \frac{1}{2(C_A)^2}$, $A = k_3 t$, dan $B = \frac{1}{C_{A0}^2}$. Dari persamaan 5 dapat dibuat hubungan antara waktu pemasakan terhadap nilai $\frac{1}{2(C_A)^2}$ pada berbagai temperatur pemasakan seperti disajikan pada Tabel 1. Selanjutnya dibuat grafik hubungan antara waktu pemasakan dan temperatur pemasakan terhadap nilai $\frac{1}{2(C_A)^2}$ seperti disajikan pada Gambar 2.

Tabel 1. Hubungan antara waktu pemasakan terhadap nilai $\frac{1}{2(C_A)^2}$ pada berbagai temperatur pemasakan

Waktu (Menit)	$\frac{1}{2}(C_A)^2$ (mol/L)			
	90°C	100°C	110°C	120°C
0	3,2327	3,2327	3,2327	3,2327
60	677,7168	1088,2640	2098,3531	1975,0775
75	753,7514	1265,6665	2621,8033	1901,4786
90	893,6027	1885,6824	2899,4253	1776,8261
105	1059,5935	1962,5174	2515,7569	1693,7114
120	1064,5700	2053,0336	2450,5309	1619,4137



Gambar 2. Grafik Hubungan Waktu Pemasakan dan Temperatur Pemasakan terhadap Nilai $\frac{1}{2(CA)^2}$

3.3. Pengaruh Temperatur Pemasakan terhadap Konstanta Kecepatan Reaksi

Nilai *slope* dan *intercept* diperoleh dengan perhitungan *excel*, nilai $y = Ax + B$ dimana A (*slope*) digunakan untuk mencari nilai $-\frac{E_a}{R}$ sedangkan B (*intercept*) digunakan untuk mencari nilai A, karena data yang didapat mengikuti reaksi orde tiga sehingga nilai k terhadap T didekati melalui persamaan Arrhenius. Nilai k didapat pada berbagai temperatur pemasakan ditunjukkan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai k pada berbagai temperatur pemasakan

Temperatur Pemasakan (°C)	k (menit ⁻¹)
90	188,35
100	385,48
110	393,32
120	203,2

Nilai k yang diperoleh pada berbagai temperatur dapat digunakan untuk menentukan nilai energi aktivasi (Ea) delignifikasi pada temperatur T, dengan menggunakan persamaan Arrhenius, yaitu:

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (6)$$

Apabila disederhanakan, maka persamaannya menjadi:

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} \quad (7)$$

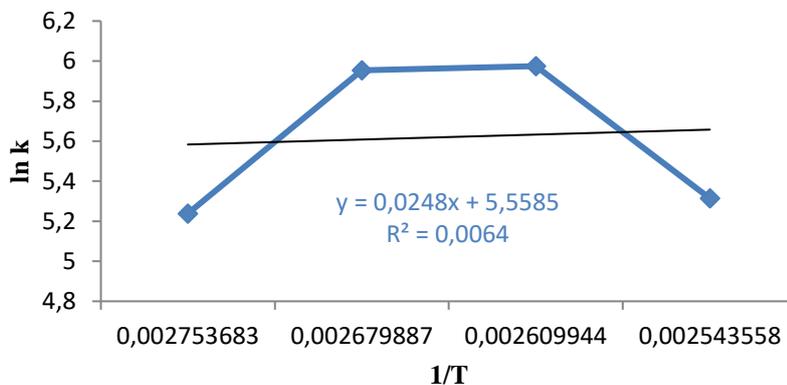
Dimana dapat dihubungkan antara $\ln k$ dan $\frac{1}{T}$, maka akan diperoleh kemiringan yang merupakan $-\frac{E_a}{R}$ (Ea adalah energi aktivasi reaksi yang bersangkutan dan R adalah konstanta gas ideal) dan perpotongan yang merupakan $\ln k$. Hubungan $\frac{1}{T}$ terhadap nilai $\ln k$ dapat dilihat pada Gambar 3.

Dari grafik hubungan $\frac{1}{T}$ terhadap nilai $\ln k$ pada Gambar 3 dapat diketahui bahwa nilai persamaan $y = Ax + B$ dan nilai R² yaitu $y = 0,0248x + 5,5585$ sehingga nilai A = 0,0248 dan nilai B = 5,5585. Dari data tersebut dapat digunakan untuk menghitung nilai A dan nilai Ea sehingga nilai Ea adalah -0,2061872 dan nilai A yang didapat adalah 361826,1907. Sehingga konstanta kecepatan reaksi (k) dari persamaan Arrhenius adalah $k = 361826,1907 \cdot e^{\frac{0,2061872}{T}}$.

Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu reaksi maka jalannya suatu reaksi akan semakin cepat pula. Namun, menurunnya konversi akan terjadi apabila proses berlangsung pada temperatur tinggi [6].

Karena reaksi pergerakan bisa berlangsung lebih cepat jika energi kinetik akan melampaui energi aktivasi tersebut [7].

Berdasarkan teori tumbukan, energi aktivasi merupakan terjadinya reaksi apabila tumbukan antar molekul dengan energi yang cukup besar, guna mengawali reaksi serta memutus ikatan, menghubungkan konstanta laju dan energi aktivasi dengan menggunakan persamaan Arrhenius, $k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}$ [8].



Gambar 3. Grafik Hubungan $\frac{1}{T}$ terhadap Nilai $\ln k$

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diketahui bahwa pengaruh waktu pemasakan dan temperatur pemasakan terhadap kadar lignin yaitu dimana semakin lama waktu pemasakan dan semakin tinggi temperatur pemasakan, maka kandungan lignin *pulp* yang dihasilkan akan semakin rendah, dengan bertambahnya waktu pemasakan dan meningkatnya temperatur pemasakan, lebih banyak jumlah lignin yang terlarut di dalam cairan pemasak. Orde reaksi delignifikasi campuran Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan pelepah pisang dalam pembuatan *pulp* yang didapat mengikuti reaksi orde tiga, karena pada reaksi orde tiga ini nilai k pada berbagai temperatur pemasakan lebih besar dan sudah baik daripada reaksi orde nol, reaksi orde satu maupun reaksi orde dua. Nilai konstanta kecepatan reaksi yang didapat dari hasil penelitian yaitu $k = 361826,1907 \cdot e^{\frac{0,2061872}{T}}$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] DirJen Perkebunan Indonesia. *Statistika Perkelapa Sawitan Indonesia* (Departemen Pertanian). Jakarta, DirJen Perkebunan Indonesia, 2005.
- [2] J. P. Susanto, A. D. Santoso, and N. Suwendi, N, "Perhitungan Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Sumber Energi Terbaharukan dengan Metode LCA," *Jurnal Teknologi Lingkungan*, vol. 18, no. 2, pp. 165–172, 2017, <https://doi.org/10.29122/jtl.v18i2.2046>.
- [3] Darnoko, "Pembuatan *Pulp* dari Tandan Kosong Sawit dengan Penambahan Surfaktan," *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, vol. 3, no. 1, pp. 75–87, 1995.
- [4] I. A. Dewi, A. Ihwah, H. Y. Setyawan, A. A. N. Kurniasari, and A. Ulfah, "Optimasi Proses Delignifikasi Pelepah Pisang Untuk Bahan Baku Pembuatan Kertas Seni," *Sebatik*, vol. 23, no. 2, pp. 447–454, 2019, <https://doi.org/10.46984/sebatik.v23i2.797>.
- [5] S. Chadijah, "Kinetika Delignifikasi Sabut Kelapa dengan Proses Peroksida Alkali pada Pembuatan *Pulp*," *Jurnal Teknosains*, vol. 5, no. 2, pp. 223–231, 2011.
- [6] Irmayanti, "Kinetika Reaksi Hidrolisis Pati Talas (*Colocasia esculenta*) menjadi Etanol dengan cara Fermentasi," *Skripsi*, 2018.
- [7] Haryono, "Analisa Kinetika Reaksi Pembentukan Kerak $\text{CaCO}_3\text{-CaSO}_4$ dalam Pipa Beraliran Laminar pada Suhu 30°C dan 40°C Menggunakan Persamaan Arrhenius," *Traksi*, vol. 17, no. 2, pp. 40–51, 2017.
- [8] R. Chang, "Kimia Dasar Konsep-Konsep Inti Edisi Ketiga Jilid 1," Jakarta, Erlangga, 2003.