

# The Effect of CH<sub>3</sub>COOH Concentration and Heating Time on Lignin Content in Pineapple Crown Pulp Using Acetosolv Process and HCl Catalyst

Dwi Tanjung Kalingga<sup>1</sup> , Malik Musthofa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Chemical Engineer, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia

<sup>2</sup> Department of Chemical Engineer, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia

 d500200173@student.ums.ac.id

## **Abstract**

*The use of wood as raw material for making paper results in greater deforestation which ultimately has a negative impact on the environment. Pineapple crowns contain quite high levels of cellulose and low levels of lignin so they can be used as an alternative raw material for pulp production. One environmentally friendly pulp production method is the acetosolv method which uses an acid solvent as a cooking agent. The aim of this research is to obtain optimal acid concentration and cooking time and high lignin content in making pineapple crown pulp. Variations in the concentration of the acid mixture used were 50%, 60%, 70% and variations in the time used were 60, 90, 120 minutes. Optimum cooking conditions occurred at a mixture concentration of 70% with a cooking time of 120 minutes where a lignin content of 1.14% was obtained. The lignin content taken was 3.41% of the initial content.*

**Keywords** : pineapple crown; acid solvent; lignin content; pulp; acetosolv method

## **Pengaruh Konsentrasi CH<sub>3</sub>COOH dan Waktu Pemasakan Terhadap Kandungan Lignin Pada Pulp Mahkota Nanas dengan Proses Acetosolv dan Katalis HCl**

### **Abstrak**

Penggunaan kayu sebagai bahan baku pembuatan kertas mengakibatkan penebangan hutan semakin besar yang pada akhirnya berdampak buruk pada lingkungan. Mahkota nanas mengandung kadar selulosa yang cukup tinggi dan kadar lignin yang cukup rendah sehingga dapat dijadikan bahan baku alternatif untuk produksi pulp. Salah satu metode produksi pulp yang ramah lingkungan yaitu metode acetosolv yang menggunakan pelarut asam sebagai bahan pemasak. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan konsentrasi asam dan waktu pemasakan yang optimal dan besar kadar lignin pada pembuatan pulp mahkota nanas. Variasi konsentrasi campuran asam yang digunakan adalah 50%, 60%, 70% dan variasi waktu yang digunakan adalah 60, 90, 120 menit. Kondisi pemasakan optimum terjadi pada konsentrasi campuran 70% dengan waktu pemasakan 120 menit dimana diperoleh kadar lignin sebesar 1,14%. Kadar lignin terambil sebanyak 3,41% dari kandungan awal.

**Kata kunci** : mahkota nanas; pelarut asam; kadar lignin; pulp; metode acetosolv

# 1. Pendahuluan

Jumlah kebutuhan pemakaian kertas mengalami peningkatan tiap tahunnya. Penggunaan kayu sebagai bahan baku pembuatan kertas mengakibatkan penebangan hutan semakin besar yang pada akhirnya berdampak buruk pada lingkungan. Selain itu proses pulping memakai bahan kimia yang sulit terdegradasi secara alami. Oleh karena itu, untuk mengurangi penggunaan kayu sebagai bahan baku pembuatan kertas digunakanlah alternatif untuk mengurangi dampak yang kurang baik yaitu dengan mengganti bahan dasar pembuatan pulp dengan bahan non kayu dan mencari proses pembuatan yang tidak berdampak pada lingkungan [1].

Pulp terbentuk dari hasil pemisahan serat dari bahan baku berserat. Pulp dapat dibuat dari bahan kayu, nonkayu dan kertas bekas (*waste paper*) Pulp adalah bubur kayu yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan kertas, dan dapat dibuat dari kayu, bahan non-kayu, atau kertas bekas. Tiga komponen utama bahan baku pulp adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Secara umum prinsip pembuatan pulp merupakan proses pemisahan selulosa terhadap impurities bahan-bahan dari senyawa yang dikandung oleh kayu di antaranya lignin [2].

Pembuatan pulp adalah proses pemisahan lignin untuk mendapatkan selulosa dari bahan berserat. Oleh karena itu, selulosa harus bersih dari lignin agar kualitas kertas yang dihasilkan tidak berubah warna selama pemakaian. Tiga jenis proses berbeda dapat digunakan dalam pembuatan pulp yaitu mekanis, semi-kimia, dan kimia. Pada umumnya yang sering digunakan adalah proses kimia [3].

Banyak bahan alternatif non-kayu lain yang bisa digunakan sebagai sumber selulosa seperti jerami alang-alang, kulit jagung, pelepah pisang dan lainnya. Pada pembuatan pulp kertas pulp harus memenuhi syarat antara lain, berserat serta mengandung selulosa lebih dari 40% dan kadar lignin kurang dari 25% [4]. Maka pada penelitian ini digunakan mahkota nanas sebagai bahan pembuat pulp karena kadar selulosanya yang tinggi yaitu sebesar 69,5-71,5% dan kadar lignin sebesar 4,4-4,7%. Selain itu mahkota nanas juga mudah dicari di Indonesia dan karena rata-rata masyarakat hanya mengambil daging buahnya sedangkan bagian lain buah nanas kurang dimanfaatkan, sebagai contoh mahkota nanas ini sendiri, maka perlu adanya inovasi-inovasi yang menjadikan suatu produk hingga *zero waste* atau nol limbah [1].

Dalam mengurangi masalah lingkungan maka metode pembuatan pulp juga perlu dipertimbangkan. Terdapat bermacam-macam metode pembuatan pulp secara kimia antara lain, metode nitrat, metode sulfat, metode soda atau kraft dan metode acetosolv. Pada penelitian ini digunakan metode acetosolv, yaitu penggunaan asam asetat sebagai pelarut organik. Pada pengolahan pulp menggunakan metode acetosolv unggul dikarenakan kandungan senyawa sulfurnya tidak ada, didapatkan hasil pulp yang lebih tinggi, dan sisa cairan hitam limbah proses pembuatan yang mudah didaur ulang [5]. Selain mempertimbangkan penggunaan metode untuk keberhasilan proses pulping, pada proses pemasakan yang bertujuan untuk mendegradasi lignin pada pulp juga mempertimbangkan katalisator karena proses ini memerlukan waktu yang lama dan suhu yang tinggi sehingga membutuhkan katalisator. Jenis katalisator asam antara lain  $H_2SO_4$  dan  $HCl$  karena dapat

mengefisiensi waktu dalam proses reaksi delignifikasi. Pada penelitian ini digunakan HCl sebagai katalis. HCl pada ekstraksi pektin menghasilkan daya ekstrak yang lebih besar dibanding pelarut  $H_2SO_4$ .  $H_2SO_4$  memiliki tingkat valensi 2 dimana tingkat keasamannya lebih tinggi dibanding HCl, sehingga hal tersebut menyebabkan degradasi pektin menjadi asam pektat yang akan membuat perolehan kadar pektin semakin sedikit. Penggunaan katalis  $H_2SO_4$  akan membutuhkan waktu yang lama supaya pektin yang terdegradasi semakin banyak sehingga pelarut HCl lebih cocok digunakan daripada  $H_2SO_4$  karena tidak membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mendegradasi pektin sebanyak mungkin [6].

Maka fokus dari penelitian ini yaitu pengaruh konsentrasi larutan asam yaitu asam  $CH_3COOH$  dan HCl serta waktu pemasakan terhadap penurunan kadar lignin pulp dengan memanfaatkan mahkota buah nanas sebagai bahan alternatif non-kayu menggunakan metode acetosolv.

## 2. Metode

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan mulai dari menyiapkan bahan baku, tahap dehidrasi atau pengeringan, tahap pembuatan blanko, tahap pulping, tahap penentuan bilangan kappa setelah pulping, dan analisis indikator pencapaian delignifikasi hasil percobaan. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah buret, corong kaca, Erlenmeyer 250 ml, gelas beker 250 dan 500 ml, hot plate, kain saring, karet hisap, kaca arloji, pipet volume 25 ml, labu ukur 200 ml, magnetie stirrer, oven, panci, pengaduk kaca, pengaduk kaca dan thermometer. Bahan yang digunakan pada penelitian adalah mahkota nanas yang didapatkan dari limbah penjual nanas di pasar tradisional, aquades,  $H_2SO_4$  2,779 gram, KI 0,996 gram,  $KMnO_4$  0,079 gram,  $Na_2S_2O_3$  12,4 gram, HCl 10% dan  $CH_3COOH$  dengan variasi 40%; 50%; dan 60% yang diperoleh dari CV Medina Lab.

### 2.1. Perlakuan awal Bahan Baku

Limbah mahkota nanas dicuci terlebih dahulu untuk membersihkan kotoran-kotoran yang ada. Setelah itu mahkota nanas dipotong kecil-kecil dengan cara digunting. Kemudian masuk ke tahap dehidrasi, dimana mahkota nanas yang sudah diperkecil kemudian dimasukkan ke dalam dryer selama beberapa menit atau sampai kering, setelah itu dimasukkan ke dalam oven selama 30 menit atau sampai kandungan air dalam mahkota nanas benar-benar berkurang.

### 2.2. Pembuatan Blanko

Aquades 210 mL dimasukkan ke dalam gelas beker lalu ditambahkan  $KMnO_4$  dan  $H_2SO_4$  masing-masing sebanyak 25 mL. Setelah itu, campuran dicampur menggunakan *magnetic stirrer* selama 10 menit pada suhu ruang. Selanjutnya ditambahkan KI sebanyak 6 mL dan dititrasikan dengan  $Na_2S_2O_3$  (b) hingga terjadi perubahan warna dari coklat menjadi bening. Catat volumenya.

### 2.3. Proses Pulping

Mahkota nanas yang sudah dikeringkan ditimbang sebanyak 2 gram lalu dimasukkan ke dalam gelas beker dan ditambahkan larutan  $CH_3COOH$  dan HCl pada variasi 50%, 60%, dan 70% hingga beratnya 20 gram, diaduk hingga merata dengan waktu pengadukan 5 menit. Kemudian sampel dipindahkan ke wadah kaca untuk selanjutnya proses pulping.

Pemasakan dilakukan dengan waktu pemasakan 60, 90, dan 120 menit pada suhu 120°C. Mahkota nanas yang telah dimasak dikeluarkan dan didinginkan hingga mencapai suhu ruang. Residu dan filtrat kemudian disaring menggunakan kertas saring lalu pulp dicuci dengan aquades hingga bersih dari zat pelarutnya.

#### 2.4. Penentuan Bilangan Kappa

Bilangan Kappa adalah volume (dalam mililiter) dari larutan kalium permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) 0,1 N yang dikonsumsi oleh 1 gram pulp kering. Penghitungan bilangan kappa pada penelitian ini sesuai dengan SNI 0494:2008 (Pulp -cara uji bilangan kappa). Pengukuran bilangan Kappa diawali dengan menimbang pulp dengan cara diletakkan dalam gelas beker dan ditambahkan dengan 230 mL aquades. Kemudian dimasukkan 25 mL  $\text{KMnO}_4$  (P) 0,1N dan 25 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2N. Reaksi dijalankan dengan suhu ruang selama 10 menit, reaksi dihentikan dengan menambahkan 6 mL KI 1M. Iodine yang terbentuk kemudian dititrasi menggunakan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (a) yang dibutuhkan untuk titrasi. Titrasi selesai ditandai dengan adanya perubahan warna dari coklat menjadi bening. Terakhir catat volumenya [7].

$$P = \frac{(b-a) \times N}{0,1} \quad (1)$$

$$f = \frac{(b-a)}{b} \times 100 \quad (2)$$

$$K = \frac{P \times f}{W} \quad (3)$$

- K = bilangan kappa  
P = jumlah  $\text{KMnO}_4$  yang terpakai oleh pulp (mL)  
a = jumlah  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  yang terpakai pada titrasi pulp (mL)  
b = jumlah  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  yang terpakai pada titrasi blanko (mL)  
N = normalitas  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  yang digunakan (N)  
W = berat pulp kering (gram)  
F = factor koreksi pemakaian  $\text{KMnO}_4$  0,1 N

#### 2.5. Analisis Pencapaian Bilangan Kappa

Turunnya kadar lignin dan naiknya kadar selulosa pada mahkota nanas hingga mencapai derajat yang sesuai untuk dijadikan pulp bahan pembuatan kertas [8].

$$\% \text{ lignin} = 0,15\% \times K$$

### 3. Hasil dan Pembahasan

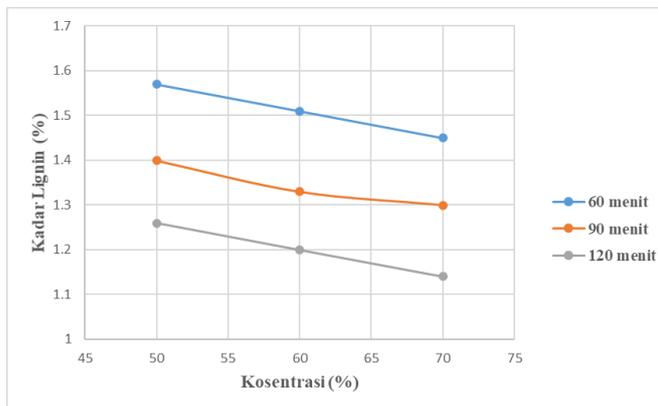
Pada penelitian ini, pembuatan pulp dari mahkota nanas menggunakan proses acetosolv, dengan *raw material* yang digunakan adalah 2 gram, pelarut campuran asam dengan variasi konsentrasi 50%, 60% dan 70% dan waktu pemasakan dengan variasi 60, 90 dan 120 menit. Tabel 1 merupakan hasil bilangan kappa yang diperoleh dari analisa penelitian :

Tabel 1. Faktor koreksi dan bilangan kappa

waktu	konsentrasi (%)	faktor koreksi	bilangan kappa
60	50	0.9993	10.4599
	60	0.9994	10.0604
	70	0.9994	9.6608
90	50	0.9994	9.3280
	60	0.9994	8.8617
	70	0.9995	8.6620
120	50	0.9995	8.3957
	60	0.9995	7.9961
	70	1.0000	7.6000

### 3.1. Pengaruh Konsentrasi Campuran Asam Terhadap Kadar Lignin

Kadar lignin yang dihasilkan pada proses pulping menggunakan campuran asam memiliki pengaruh bahwa semakin tinggi konsentrasi campuran asam maka semakin rendah pula perolehan kadar lignin yang diperoleh. Pernyataan tersebut diperkuat berdasarkan Gambar 1.

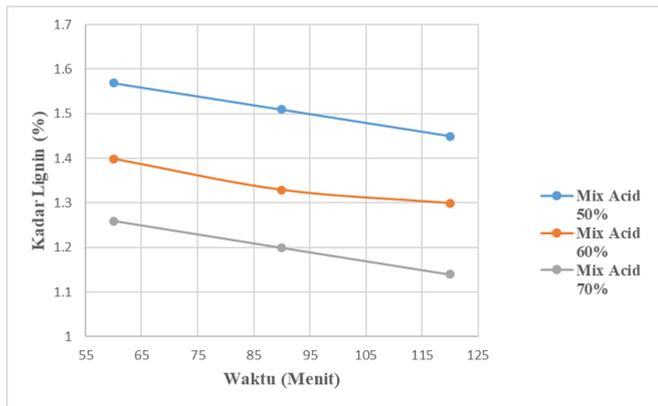


Gambar 1. Pengaruh Konsentrasi Terhadap Kadar Lignin pada berbagai waktu pemasakan

Pada Gambar 1. Dapat dilihat hasil dari konsentrasi pelarut campuran asam yang tinggi menghasilkan perolehan kadar lignin yang rendah. Pada penelitian E. Malachowska et al [9] dijelaskan hal itu terjadi karena ketika kadar selulosa dalam pulp semakin berkurang menyebabkan perolehan pulp juga semakin berkurang. Hasil lignin tertinggi diperoleh dari konsentrasi campuran asam 50% yaitu 1,56% dan perolehan kadar lignin terendah diperoleh pada konsentrasi asam campuran 70% yaitu 1,14%.

### 3.2. Pengaruh Waktu Pemasakan Terhadap Kadar Lignin

Pada proses pulping menggunakan metode acetosolv selain konsentrasi pelarut asam, waktu juga berpengaruh pada kadar lignin dimana semakin lama waktu pemasakan maka kadar lignin yang dihasilkan akan semakin berkurang. Pernyataan tersebut diperkuat berdasarkan Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh Waktu Pemasakan Terhadap Kadar Lignin pada berbagai konsentrasi asam

Pada Gambar 2. Hasil konsentrasi kadar lignin pada tiap konsentrasi campuran asam yang dihasilkan rata-rata bernilai kurang dari 2%. Hal tersebut terjadi disebabkan karena pelepasan pektin sebelum pulping yang menyebabkan kadar lignin dalam pulp sangat rendah sampai bahkan tidak ada. Pada penelitian yang telah dilakukan Bahri [3] kadar lignin yang baik dari bahan non-kayu adalah 1,25% - 1,75%. Sedangkan dapat dilihat pada Gambar 2. Kadar lignin paling rendah diperoleh 1,14% pada waktu 120 menit dengan konsentrasi campuran asam 70%. Terlalu rendah atau hampir tidak adanya lignin sendiri juga berpengaruh pada kualitas ketahanan pulp, karena lignin sendiri berfungsi sebagai pengikat antar serat [10]. Hal tersebut terjadi juga karena dipengaruhi oleh suhu. Pada penelitian ini suhu pemasakan dilakukan pada suhu 120°C karena semakin tinggi suhu pemasakan yang digunakan dapat menyebabkan terpecahnya molekul yang terkandung dalam dalam *raw pulp* maka komposisi kimia yang terdapat dalam bahan baku akan lebih banyak berkurang pula [9].

Pada penelitian ini masih diperoleh rata-rata kadar lignin kurang dari 2% dimana kadar lignin tertinggi yaitu hanya 1,56% yang diperoleh pada waktu pemasakan 60 menit dengan konsentrasi campuran asam 50%, karena jika pulp masih dalam kategori *high yield* yaitu keadaan dimana kadar lignin belum sepenuhnya terpisah dari *raw pulp* sehingga dapat mengakibatkan turunnya kualitas pulp [11]. Karena kadar lignin yang terlalu tinggi nantinya menghasilkan pulp yang bersifat kaku, sulit digiling serta sulit diputihkan [12]. Pulp yang memiliki sifat serat pulp kuat atau tidak mudah putus, panjangnya stabil dan memiliki kualitas cetak baik sehingga mudah bila diputihkan berdasarkan penelitian yang dilakukan Vania et al [11] dengan penghasil selulosanya yaitu jerami padi didapatkan pulp yang optimal adalah 70,25% atau masih dalam kategori rendemen sedang.

Hasil penelitian lain oleh Hidayati et al [13] menyatakan bahwa konsentrasi asam formiat, HCl dan lama waktu pemasakan jelas berpengaruh terhadap penurunan kadar lignin, dilaporkan kadar lignin terkecil diperoleh pada konsentrasi HCl lebih dari 0,5%, asam formiat 15 sampai 30% dengan lama pemasakan berkisar 1,5 sampai 3 jam. Sedangkan kadar lignin tertinggi diperoleh pada penggunaan asam formiat kurang dari 15% dan lama pemasakan kurang dari 1,5 jam. Hal tersebut diduga karena proses delignifikasi belum terjadi di rentang waktu tersebut.

Proses delignifikasi terjadi selama proses pemasakan pulp mahkota nanas, yang mengakibatkan penurunan kadar lignin. Delignifikasi adalah proses pemecahan lignin menjadi lebih sederhana dengan bantuan asam, suhu, dan waktu pemasakan yang lama. Dalam proses pembuatan pulp acetosolv, bahan lignoselulosa dapat difraksionasi menjadi

selulosa (serat pulp), lignin asam, dan monosakarida. Ini menunjukkan bahwa hidrolisis ikatan eter  $\alpha$ -aril adalah yang mengakibatkan proses delignifikasi asam [14].

Pada penelitiannya Muurinen [15] menyatakan meskipun demikian pemasakan terlalu lama dan peningkatan konsentrasi larutan asam dianggap dapat menyebabkan lignin mengalami kondensasi kembali ke bahan mahkota nanas sehingga menyebabkan lignin yang dihasilkan kembali tinggi. Hal ini disebabkan karena pemakaian konsentrasi asam organik yang terlalu pekat cenderung meningkatkan reaksi polimerisasi kembali lignin yang telah larut dalam cairan pemasak, yang mengakibatkan kadar lignin pulp kembali meningkat. Pada penelitian lain menyatakan bahwa kadar lignin yang tinggi hasil dari pemasakan pulp diduga disebabkan oleh proses kondensasi sehingga lignin yang mengendap pada permukaan pulp yang mengakibatkan warna pulp menjadi lebih gelap atau kehitaman. Proses kondensasi terjadi karena penggabungan rantai-rantai karbon yang membentuk rantai lebih panjang, sehingga senyawa yang terbentuk merupakan zat antara ion karbonium yang ditandai dari adanya perubahan warna [13].

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kondisi optimum diperoleh pada larutan campuran asam 70% dengan waktu pemasakan 120 menit dimana penurunan kadar lignin diperoleh sampai 1,14%. Penggunaa konsentrasi NaOH melebihi 70% dan waktu pemasakan lebih dari 2 jam akan menyebabkan reaksi kondensasi sehingga lignin mengendap pada permukaan pulp sehingga warna menjadi lebih gelap. Pada penelitian selanjutnya, sebaiknya konsentrasi campuran asam yang digunakan bisa lebih rendah.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada orang tua, lalu kepada dosen pembimbing serta laboran Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Surakarta dan teman-teman khususnya teman satu kelompok penelitian penulis yang telah bersedia membimbing dan memberi dukungan dalam penyelesaian naskah ini.

## Referensi

- [1] Jayanudin, "Pemutihan Daun Nanas Menggunakan Hidrogen Peroksida," *J. Rek. Pros.*, vol. 3, no. 1, pp. 10–14, 2009.
- [2] T. H. Rony Tulak, Lyse Bulo, "Chemical engineering journal.," *Chem. Eng. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2022, [Online]. Available: <http://publikace.k.utb.cz/handle/10563/1005318>.
- [3] S. Bahri, "Pembuatan Pulp dari Batang Pisang," *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 4, no. 2, p. 36, 2017, doi: 10.29103/jtku.v4i2.72.
- [4] A. Melani, Atikah, R. Arjeni, and Robiah, "Pengaruh Volume Pelarut NaOH dan Temperatur Pemasakan Pulp Dari Pelepah Pisang Klutuk," vol. 7, no. 1, pp. 18–27, 2022.
- [5] F. R. R. Rachma Tia Evitasari, Ilham Habib Haspadilah, "Pembuatan Pulp Dari Kulit Jagung dan Ampas Tebu Dengan Metode Acetosolv Pelarut Asam Cuka Apel Dengan Variasi Kulit Jagung dan Ampas Tebu," *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 2, no. November, pp. 136–143, 2022.
- [6] N. S. Djenar and J. Suryadi, "Microwave Power and pH Regulating Solution Effect on Characteristics of Pectin from Sukun Peel ( *Artocarpus altilis* ) using

- Microwave Assisted Extraction (MAE) ,” vol. 198, no. Issat, pp. 124–128, 2020, doi: 10.2991/aer.k.201221.022.
- [7] A. I. Rahmadi, S. Madusari, and I. Lestari, “Uji Sifat Fisik dan Sifat Kimia Pulp Dari Limbah Pelepah Kelapa Sawit ( *Elaeis guineensis* Jacq .),” *STR-006*, pp. 1–6, 2018.
- [8] Kusyanto, I. E. Rahayu, and Andi Nandayani, “Pengaruh Konsentrasi CH<sub>3</sub>COOH Pada Pembuatan Pulp Dari Batang Pisang Dengan Bantuan Gelombang Mikro,” *Pros. 4th Semin. Nas. Penelit. Pengabd. Kpd. Masy. 2020*, pp. 124–129, 2020.
- [9] E. Małachowska, M. Dubowik, A. Lipkiewicz, K. Przybysz, and P. Przybysz, “Analysis of cellulose pulp characteristics and processing parameters for efficient paper production,” *Sustain.*, vol. 12, no. 17, pp. 1–12, 2020, doi: 10.3390/su12177219.
- [10] N. F. Atindu, M. Yerizam, and E. Dewi, “Rancang Bangun Digester Untuk Proses Pulping dari Campuran Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Pelepah Pisang dengan Pelarut NaOH,” *J. Pendidik. dan Teknol. Indones.*, vol. 1, no. 9, pp. 365–374, 2021, doi: 10.52436/1.jpti.88.
- [11] S. N. Vania, P. B., and A. M. Fuadi, “Pemanfaatan jerami padi (*Oryza sativa*) sebagai bahan pembuatan pulp dengan proses soda diawali ekstrak pektin,” vol. 28, no. 2, pp. 76–84, 2022.
- [12] L. Wang *et al.*, “Highly efficient lignin removal from the waste liquor of chemical pulping with an integrated polyaluminium chloride-assisted acidification/activated carbon adsorption process,” *J. Clean. Prod.*, vol. 267, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122005.
- [13] S. Hidayati *et al.*, “Optimasi Produksi Pulp Formacell dari Tandan Kosong Kelapa Sawit ( TKKS ) dengan Metode Permukaan Respon,” *Reaktor*, vol. 16, no. 4, pp. 161–171, 2016.
- [14] J. Gierer and S. Forest, “Wood Science and Technology,” vol. 266, pp. 241–266, 1980.
- [15] E. Muurinen, *Organosolv pulping- a review and distillation study related to peroxyacid pulping*. 2000.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)