



## **PENGARUH KONSENTRASI NAOH TERHADAP *KAPPA* REDUCTION PADA PROSES *OXYGEN DELIGNIFICATION* DI PT. TOBA PULP LESTARI, TBK**

**Tommy Prima<sup>a</sup>, Muhrinsyah Fatimura<sup>a,\*</sup>, Rully Masriatin<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>Program Studi Teknik Kimia Universitas PGRI Palembang

Jend. A. Yani Lorong Gotong Royong, 9/10 Ulu, Kec. Seberang Ulu II, Palembang City, Sumatra Utara 30116

\*E-mail: m.fatimura@univpgri-palembang.ac.id

*Masuk Tanggal: 22 Juli, revisi tanggal: 23 Agustus, diterima untuk diterbitkan tanggal: 20 Desember 2025*

### **Abstrak**

Industri pulp dan kertas merupakan sektor strategis yang berkontribusi signifikan terhadap perekonomian Indonesia, salah satunya melalui produksi *dissolving pulp* dengan kandungan selulosa tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi konsentrasi NaOH terhadap penurunan nilai Kappa, serta menganalisis hubungannya dengan viskositas dan tingkat kecerahan (*brightness*) pulp pada proses *oxygen delignification*. Pengujian dilakukan di PT. Toba Pulp Lestari Tbk dengan metode standar, nilai *Kappa* ditentukan menggunakan TAPPI T236, viskositas diukur dengan metode larutan tembaga etilendiamin (CuEn), dan *brightness* dianalisis menggunakan standar ISO 2470. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi NaOH menurunkan nilai Kappa dan meningkatkan *brightness*, namun diikuti penurunan viskositas. Kondisi optimum dicapai pada konsentrasi NaOH sebesar 11%, dengan nilai Kappa 4,4, *brightness* 48,9% ISO dan viskositas 16,3 mPa·s. Dengan demikian, konsentrasi 11% NaOH dianggap paling efektif dalam meningkatkan efisiensi delignifikasi tanpa mengorbankan kualitas pulp.

**Kata Kunci:** *Dissolving pulp, Kappa number, NaOH, Oxygen delignification*

### **Abstract**

*The pulp and paper industry is a strategic sector contributing significantly to Indonesia's economy, particularly through the production of dissolving pulp with high cellulose content. This study aimed to evaluate the effect of varying NaOH concentrations on Kappa number reduction, and to analyze its relationship with pulp viscosity and brightness in the oxygen delignification process. The experiments were conducted at PT. Toba Pulp Lestari Tbk using standard methods: Kappa number was determined according to TAPPI T236, viscosity was measured with the cupriethylenediamine (CuEn) method, and brightness was analyzed based on ISO 2470. The results showed that increasing NaOH concentration reduced the Kappa number and enhanced brightness, while viscosity decreased. The optimum condition was obtained at 11% NaOH, with a Kappa number of 4.4, brightness of 48.9% ISO, and viscosity of 16.3 mPa·s. Therefore, 11% NaOH is considered the most effective concentration for improving delignification efficiency without compromising pulp quality.*

**Keywords:** *Dissolving pulp, Kappa number, NaOH, Oxygen delignification*

### **1. PENDAHULUAN**

Industri pulp dan kertas merupakan sektor strategis yang terus berkembang, dengan nilai ekspor mencapai USD 7,5 miliar pada tahun 2023 dan menyumbang lebih dari 0,6% terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) Indonesia. Salah

satu produk bernilai tambah tinggi dalam sektor ini adalah *dissolving pulp*, yang digunakan secara luas dalam industri tekstil sintetis, plastik biodegradable, serta produk turunan selulosa lainnya. PT. Toba Pulp Lestari berperan penting dalam produksi dalam negeri. Proses *oxygen*

*delignification* (OD) menawarkan solusi ramah lingkungan dibanding metode klorinasi. Namun, optimasi konsentrasi NaOH masih menjadi tantangan karena dapat memengaruhi kualitas pulp.

Salah satu produk turunan *pulp* yang memiliki nilai ekonomi tinggi adalah *Dissolving pulp*. Produk ini dicirikan oleh kadar  $\alpha$ -selulosa yang sangat tinggi, yakni di atas 90%, serta kadar lignin dan hemiselulosa yang sangat rendah. Karena kemurniannya, *Dissolving pulp* digunakan sebagai bahan baku utama dalam produksi serat sintetis seperti rayon dan *viscose*, serta aplikasi lainnya seperti plastik *biodegradable* dan bahan aditif farmasi [1].

Untuk memperoleh *dissolving pulp* berkualitas tinggi, diperlukan proses delignifikasi yang efisien dan ramah lingkungan. Proses *oxygen delignification* (OD) menjadi alternatif unggul karena mampu mengurangi lignin tanpa penggunaan klorin. Konsentrasi yang terlalu rendah dapat menyebabkan delignifikasi tidak optimal, sementara konsentrasi terlalu tinggi berisiko merusak struktur selulosa, yaitu proses penghilangan lignin menggunakan oksigen dalam media alkali [2].

Dalam proses produksi, tahapan *oxygen delignification* (OD) memegang peranan penting untuk menurunkan kadar lignin yang ditunjukkan oleh nilai Kappa. Namun, penggunaan alkali (NaOH) dalam OD tidak hanya memengaruhi *kappa number*, tetapi juga berdampak pada penurunan viskositas akibat degradasi selulosa, serta perubahan tingkat kecerahan (*brightness*). Oleh karena itu, diperlukan keseimbangan agar efisiensi delignifikasi tetap tinggi tanpa mengorbankan kualitas pulp [3].

Namun demikian, keberhasilan proses *post (Pre-Oxygen Stage Treatment)* sangat bergantung pada pengaturan konsentrasi NaOH yang digunakan. Proses *post* adalah tahapan setelah *oxygen delignification* yang biasanya meliputi *bleaching sequence*. Konsentrasi yang terlalu rendah dapat menyebabkan proses delignifikasi menjadi tidak efektif, sehingga lignin tidak terurai secara optimal. Sebaliknya, jika konsentrasi terlalu tinggi, risiko degradasi selulosa meningkat, yang ditandai dengan penurunan viskositas dan menurunnya kekuatan serat *pulp*. Oleh karena itu, penting untuk menentukan titik keseimbangan konsentrasi NaOH yang mampu menghasilkan efisiensi delignifikasi maksimal dengan dampak minimal terhadap kualitas *pulp* [4].

Sejauh ini, masih terbatas studi yang secara spesifik mengevaluasi titik optimum konsentrasi NaOH dalam OD untuk aplikasi industri di

Indonesia. Terutama, belum banyak kajian yang mengintegrasikan evaluasi tiga parameter utama mutu pulp secara simultan: *kappa number*, viskositas, dan brightness.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi konsentrasi NaOH terhadap *kappa number*, viskositas, dan brightness pulp, serta menentukan konsentrasi optimum NaOH dalam proses *oxygen delignification* di PT. Toba Pulp Lestari Tbk [5]. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi terhadap optimalisasi proses produksi *Dissolving pulp* yang lebih efisien, berkualitas tinggi, dan berorientasi pada keberlanjutan lingkungan.

## 2. PROSEDUR PERCOBAAN

Percobaan dilakukan dengan variasi konsentrasi NaOH 9–13% pada kondisi suhu 90°C dan tekanan 6 bar selama 60 menit. Pemilihan suhu 90°C dilakukan karena suhu ini memungkinkan reaksi oksidasi lignin berlangsung optimal tanpa merusak struktur serat selulosa. Tekanan 6 bar dipilih agar kelarutan oksigen di dalam larutan alkali cukup untuk mendukung reaksi delignifikasi. Fokus utama dari percobaan adalah untuk mengevaluasi dampak variasi konsentrasi NaOH terhadap perubahan karakteristik *pulp*, yang meliputi bilangan *Kappa*, viskositas, dan tingkat kecerahan (*brightness*). Seluruh proses dilakukan secara sistematis, mulai dari perlakuan awal terhadap sampel, proses reaksi dalam kondisi terkontrol, hingga pengujian kualitas hasil *pulp* pasca perlakuan [6].

Eksperimen dilaksanakan di fasilitas laboratorium PT. Toba Pulp Lestari, Tbk selama bulan Mei hingga Juni 2025. Setiap prosedur pelaksanaan dirancang berdasarkan standar operasional laboratorium industri *pulp*, serta mengacu pada metode resmi seperti TAPPI T236 cm-85 dan ISO 9001. Penggunaan standar ini bertujuan untuk memastikan validitas hasil serta keterbandingan data dengan penelitian sejenis dalam lingkup industri *pulp* dan kertas.

### 2.1. Bahan dan Alat

Penelitian ini menggunakan pulp eucalyptus tak diputihkan (*unbleached*) sebagai sampel utama. Bahan kimia yang digunakan meliputi natrium hidroksida (NaOH) dengan variasi konsentrasi 9,0%–13,0%, larutan asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 2N, kalium permanganat (KMnO<sub>4</sub>) 0,1N, kalium iodida (KI), natrium tiosulfat (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 0,1N, indikator pati, air suling (akuades), serta gas oksigen sebagai agen pengoksidasi.

Alat yang digunakan mencakup reaktor tertutup bertekanan untuk proses oxygen delignification, *water bath*, oven pengering, desikator, neraca analitik ( $\pm 0,1$  mg), blender laboratorium, gelas beaker, labu erlenmeyer, gelas ukur, pipet ukur, buret, batang pengaduk kaca, *magnetic stirrer*, serta instrumen analisis seperti viskometer kapiler dan spektrofotometer brightness berbasis standar ISO.

Seluruh prosedur dilaksanakan dengan mengikuti protokol keselamatan laboratorium, termasuk penggunaan alat pelindung diri (APD) sesuai standar kerja yang berlaku. Pemilihan dan penggunaan alat serta bahan disesuaikan dengan kebutuhan spesifik setiap tahap proses, baik pada perlakuan reaksi maupun saat pengujian hasil akhir [2].

## 2.2. Kondisi Operasi

Kondisi operasi pada proses oxygen delignification ditetapkan dengan parameter yang terkontrol untuk memastikan efektivitas reaksi. Proses ini dijalankan dengan konsistensi pulp sebesar 10%, yang setara dengan berat kering 10 gram pulp, dalam medium reaksi berbasis NaOH dengan volume total 200 mL. Suhu reaksi dipertahankan pada 90 °C, sedangkan tekanan oksigen diatur sebesar 6 bar guna mendukung oksidasi lignin secara optimal. Waktu reaksi ditetapkan selama 60 menit agar proses delignifikasi berlangsung efektif tanpa menyebabkan degradasi serat secara berlebihan.

## 2.3. Tahapan Proses Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pulp eucalyptus sebagai bahan utama dalam proses oxygen delignification pada skala laboratorium. Variasi konsentrasi NaOH yang digunakan dalam percobaan meliputi 9,0%, 9,5%, 10,0%, 10,5%, 11,0%, 11,5%, 12,0%, 12,5%, hingga 13,0%, dengan tujuan untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap *kappa reduction* [7]. Proses dilakukan pada konsistensi pulp sebesar 10% dengan berat sampel 10 gram dalam setiap perlakuan. Penentuan nilai Kappa dilakukan sesuai dengan metode standar yang ditetapkan oleh TAPPI T236 cm-85, untuk menjamin akurasi dan keterbandingan hasil pengukuran kandungan lignin. Rangkaian percobaan ini dirancang untuk menilai efektivitas masing-masing konsentrasi NaOH dalam menurunkan nilai Kappa dan mengidentifikasi titik optimum yang memberikan hasil terbaik tanpa mengorbankan kualitas fisik pulp.

Tahapan proses pada penelitian ini diawali dengan penimbangan pulp eucalyptus sebanyak 10 gram, yang kemudian diencerkan hingga

mencapai konsistensi 10%. Selanjutnya, larutan NaOH dengan konsentrasi bervariasi antara 9,0% hingga 13,0% dipersiapkan sebagai media reaksi. Campuran pulp dan larutan NaOH tersebut dimasukkan ke dalam reaktor, kemudian diberikan tekanan oksigen sebesar 6 bar untuk memfasilitasi proses oksidasi. Reaksi dilaksanakan selama 60 menit pada suhu 90 °C menggunakan *water bath* guna menjaga kestabilan suhu. Setelah reaksi selesai, pulp dicuci menggunakan air suling hingga mencapai pH netral, kemudian dikeringkan sebelum dilakukan analisis mutu untuk mengevaluasi hasil delignifikasi.

## 2.4. Metode Analisis

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pengukuran *kappa number*, viskositas, dan *brightness* untuk mengevaluasi kualitas pulp setelah proses *oxygen delignification*. *kappa number* ditentukan berdasarkan metode TAPPI T236 cm-85 dengan membandingkan nilai sebelum (*pre-Kappa*) dan sesudah (*post-Kappa*) perlakuan. Viskositas diukur menggunakan metode larutan tembaga etilendiamin (CuEn) yang dianalisis dengan viskometer kapiler, di mana nilai viskositas dihitung berdasarkan waktu alir larutan pada suhu standar. Sementara itu, *brightness* ditentukan menggunakan spektrofotometer sesuai standar ISO 2470 dan dinyatakan dalam satuan % ISO.

# 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

## 3.1 Pengaruh NaOH Terhadap *Kappa Reduction*

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa peningkatan konsentrasi NaOH dari 9,0% hingga 13,0% secara konsisten menurunkan nilai Kappa dari 7,2 menjadi 3,0. Persentase *kappa reduction* meningkat dari 56,36% hingga 81,82%. Ini menunjukkan bahwa proses *oxygen delignification* menjadi semakin efektif dalam menghilangkan lignin seiring naiknya konsentrasi basa. Namun, peningkatan ini juga perlu ditinjau lebih lanjut terhadap dampaknya pada viskositas dan struktur selulosa.

Peningkatan *Kappa reduction* yang tercatat dari 56,36% hingga 80,61% menunjukkan bahwa penambahan NaOH mampu meningkatkan efektivitas oksidasi lignin oleh oksigen, baik pada gugus fenolik maupun non-fenolik. Hal ini mengindikasikan bahwa lingkungan alkali yang diciptakan oleh NaOH berperan penting dalam memfasilitasi degradasi lignin secara lebih efisien. Namun, penurunan viskositas yang cukup tajam dari 18,2 mPa·s menjadi 10,7 mPa·s pada konsentrasi tinggi mengindikasikan terjadinya

degradasi karbohidrat, Fenomena serupa dilaporkan oleh [8] yang menunjukkan bahwa kenaikan NaOH mempercepat reaksi peeling pada rantai selulosa. Namun, hasil ini berbeda dengan [7], yang menemukan penurunan viskositas lebih moderat, kemungkinan karena kondisi operasi (suhu lebih rendah, 80°C).

Visualisasi data melalui grafik menunjukkan adanya korelasi positif antara kenaikan konsentrasi NaOH dan efisiensi delignifikasi, yang tercermin dari peningkatan nilai *Kappa reduction*. Semakin tinggi kadar NaOH yang digunakan, semakin besar proporsi lignin yang berhasil dihilangkan dari *pulp*. Hal ini ditunjukkan oleh kenaikan *Kappa reduction* dari 56,36% pada konsentrasi 9,0% hingga mencapai 80,61% pada konsentrasi 13,0%.

Tabel 1. Pengaruh Konsentrasi NaOH terhadap nilai kappa reduction

Konsentrasi NaOH (%)	Kappa number Awal	Kappa number Akhir	Kappa Reduction (%)
9	16.5	7.2	56.36
9.5	16.5	6.4	61.21
10	16.5	5.7	65.45
10.5	16.5	5.0	69.70
11	16.5	4.4	73.33
11.5	16.5	3.9	76.36
12	16.5	3.5	78.79
12.5	16.5	3.2	80.61
13	16.5	3.0	81.82

Proses *oxygen delignification* merupakan tahapan penting dalam pemurnian *pulp*, di mana oksigen digunakan untuk mengoksidasi lignin dalam suasana alkali. Natrium hidroksida (NaOH) menyediakan kondisi basa yang diperlukan untuk mengaktifkan struktur lignin, khususnya melalui ionisasi gugus fenolik menjadi bentuk fenolat yang lebih reaktif terhadap oksigen. Reaksi ini memungkinkan lignin dipecah menjadi senyawa yang larut dalam air seperti quinon dan asam karboksilat.

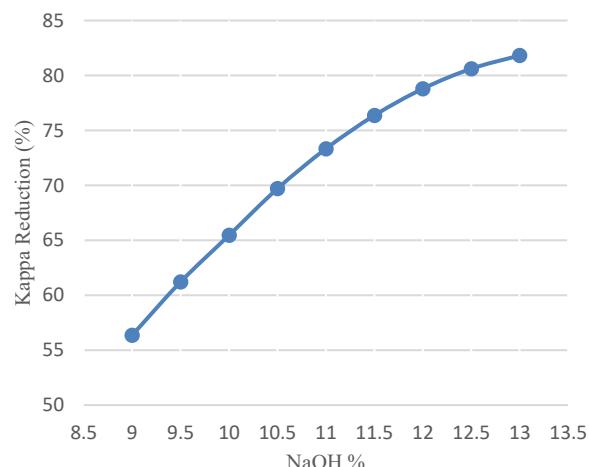
Konsentrasi NaOH memegang peran sentral dalam menentukan efektivitas delignifikasi. Semakin tinggi konsentrasi NaOH, semakin kuat kondisi basa yang terbentuk, sehingga reaksi oksidasi lignin berlangsung lebih cepat dan efisien. Namun, peningkatan ini tidak berlangsung linear tanpa batas. Setelah mencapai titik tertentu, efisiensi delignifikasi mulai menurun karena lignin yang tersisa sulit terdegradasi, sementara reaksi samping terhadap selulosa mulai meningkat.

Dalam suasana basa, ion OH<sup>-</sup> dari NaOH memicu deprotonasi gugus hidroksil fenolik pada lignin, membentuk ion fenolat (Ar-O<sup>-</sup>). Ion fenolat inilah yang berperan sebagai titik serang

oksigen molekuler (O<sub>2</sub>), yang kemudian membentuk radikal superoksida (O<sub>2</sub>•<sup>-</sup>) [9]. Radikal ini sangat reaktif dan memulai reaksi berantai yang memecah ikatan-ikatan penting dalam struktur lignin, terutama ikatan β-O-4 yang mendominasi lignoselulosa [10].

Pemutusan ikatan β-O-4 menghasilkan senyawa aromatik sederhana seperti vanillin, asam sinapat, dan asam ferulat yang larut dalam air. Reaksi oksidatif ini dapat dirangkum sebagai pemutusan gugus eter dalam lignin menjadi aldehida dan fenol, yang kemudian terlepas dari struktur *pulp*. Semakin banyak ikatan yang terputus, semakin besar lignin yang terdegradasi dan larut keluar dari sistem.

Hasil akhir dari proses ini adalah berkurangnya kandungan lignin dalam *pulp* yang ditunjukkan oleh penurunan nilai bilangan *Kappa*. Selain itu, semakin sedikit lignin yang tersisa, maka tingkat kecerahan (*brightness*) *pulp* juga meningkat. Seluruh senyawa hasil degradasi lignin dipisahkan melalui proses pencucian, sehingga menghasilkan *pulp* yang lebih bersih dan siap menuju tahap pemutihan lanjutan.



Gambar 1. Pengaruh NaOH terhadap *kappa reduction* (%)

### 3.2 Pengaruh NaOH terhadap Viskositas

Konsentrasi NaOH yang lebih besar berkontribusi terhadap efektivitas reaksi oksidasi lignin, yang tercermin dari turunnya nilai *Kappa* dan membaiknya kecerahan hasil *pulp*. Namun, kondisi alkali yang semakin kuat juga berdampak pada penurunan viskositas *pulp*, yang menunjukkan adanya degradasi terhadap struktur karbohidrat, khususnya selulosa.

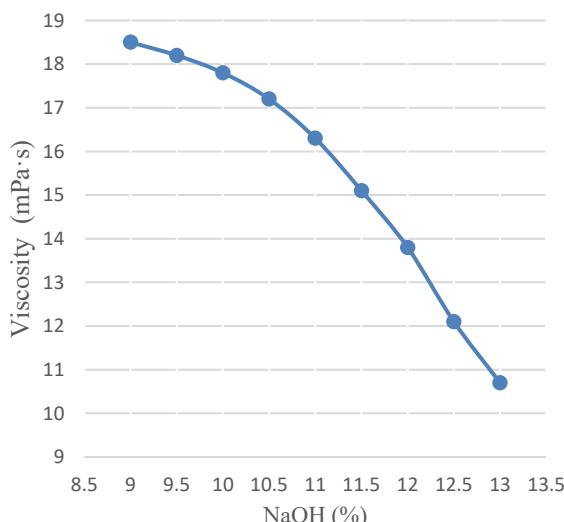
Viskositas merupakan indikator penting untuk menilai integritas serat selulosa dalam *pulp*. Nilai viskositas yang terlalu rendah mengindikasikan rusaknya rantai polimer selulosa, yang dapat menurunkan kekuatan mekanik produk akhir. Oleh karena itu, meskipun peningkatan NaOH

efektif dalam mendegradasi lignin, penurunan viskositas perlu menjadi perhatian utama.

Tabel 2. Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap nilai Viscosity

Konsentrasi NaOH (%)	Viskositas Awal (mPa·s)	Viskositas Akhir (mPa·s)	Konsentrasi NaOH (%)
9	19.0	18.5	9
9.5	19.0	18.2	9.5
10	19.0	17.8	10
10.5	19.0	17.2	10.5
11	19.0	16.3	11
11.5	19.0	15.1	11.5
12	19.0	13.8	12
12.5	19.0	12.1	12.5
13	19.0	10.7	13

Terpantau adanya penurunan viskositas dari 18,5 mPa·s menjadi 10,7 mPa·s seiring dengan peningkatan konsentrasi NaOH dari 9% hingga 13%. Hal ini menandakan bahwa pada konsentrasi tinggi, degradasi selulosa mulai terjadi secara signifikan, sehingga dibutuhkan titik optimum yang mempertahankan efisiensi delignifikasi tanpa mengorbankan stabilitas serat *pulp*.



Gambar 2. Pengaruh NaOH terhadap viskositas (mPa·s)

Dalam tahapan delignifikasi menggunakan oksigen, viskositas mencerminkan stabilitas dan kelengkapan struktur selulosa dalam *pulp*. Natrium hidroksida (NaOH) berperan menciptakan suasana basa yang dibutuhkan untuk oksidasi lignin, namun pada konsentrasi tinggi dapat memicu degradasi karbohidrat melalui reaksi peeling dan depolimerisasi [11].

Proses degradasi tersebut menghasilkan senyawa seperti asam aldonat dan memutus rantai polimer panjang pada selulosa, yang pada akhirnya menurunkan viskositas *pulp*. Oleh sebab itu, diperlukan keseimbangan antara

efektivitas penghilangan lignin dan pelestarian struktur serat untuk menjaga mutu akhir *pulp*.

Pengukuran viskositas dilakukan dengan metode standar (TAPPI T236 atau ISO 9001), menggunakan larutan tembaga etilendiamin (CuEn) dan viskometer kapiler. Nilai viskositas dihitung berdasarkan waktu alir larutan pada suhu tertentu, dan dinyatakan dalam satuan mPa·s sebagai indikator kerusakan selulosa akibat perlakuan kimia.

### 3.3 Pengaruh NaOH Terhadap Brightness

Peningkatan *brightness* pada *pulp* merupakan indikator langsung dari berkurangnya kandungan lignin yang tersisa setelah proses *oxygen delignification* [12]. Sisa lignin berwarna gelap cenderung menurunkan kecerahan *pulp*, sehingga semakin tinggi tingkat delignifikasi, maka hasil *pulp* akan tampak lebih terang. Dalam studi ini, peningkatan *brightness* dari 40,0% ISO menjadi 53,0% ISO terjadi pada perlakuan NaOH sebesar 13,0%, hasil sejalan dengan [13].

Nilai *brightness* mengalami lonjakan yang signifikan sejak konsentrasi NaOH mencapai 10,5%, yang juga bertepatan dengan turunnya *Kappa* number ke bawah angka 5. Hal ini memperkuat peran penting NaOH dalam mempercepat degradasi lignin serta meningkatkan efisiensi tahap awal pemutihan. Namun, setelah konsentrasi melewati 12%, peningkatan *brightness* cenderung melambat, menandakan bahwa lignin yang tersisa mungkin sudah lebih kompleks dan memerlukan tahap *bleaching* lanjutan untuk dihilangkan sepenuhnya.

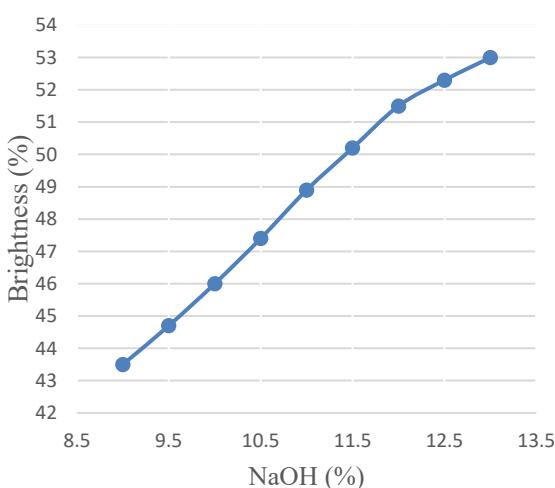
Meskipun peningkatan *brightness* merupakan hasil yang diharapkan, hal ini harus dipertimbangkan bersama parameter lain seperti viskositas. Menurut beberapa studi sebelumnya, peningkatan kecerahan tidak boleh dicapai dengan mengorbankan stabilitas selulosa. Oleh karena itu, pencapaian *brightness* maksimal tetap harus seimbang dengan perlindungan terhadap struktur serat untuk menjaga mutu akhir *pulp*.

Tabel 3. Pengaruh NaOH Terhadap nilai Brightness

Konsentrasi NaOH (%)	Brightness Awal (%ISO)	Brightness Akhir (%ISO)
9	40.0	43.5
9.5	40.0	44.7
10	40.0	46.0
10.5	40.0	47.4
11	40.0	48.9
11.5	40.0	50.2
12	40.0	51.5
12.5	40.0	52.3
13	40.0	53.0

Rendahnya tingkat *brightness* pada *pulp* sebagian besar disebabkan oleh lignin residual yang mengandung kromofor aktif penyerap cahaya. Melalui penambahan NaOH, lignin dapat mengalami oksidasi dan pelarutan dalam kondisi alkali, yang turut menghilangkan senyawa berwarna seperti quinon dan gugus aromatik terkonjugasi. [14].

Kenaikan tingkat *brightness* yang tercatat dalam penelitian ini konsisten dengan hasil studi terdahulu, di mana efisiensi delignifikasi berbanding lurus dengan kecerahan hasil *pulp*. Meskipun demikian, terdapat batas optimal, karena selain lignin, keberadaan karbohidrat teroksidasi dan residu lain juga turut memengaruhi hasil akhir *brightness pulp* [14].



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap peningkatan *brightness* (%)

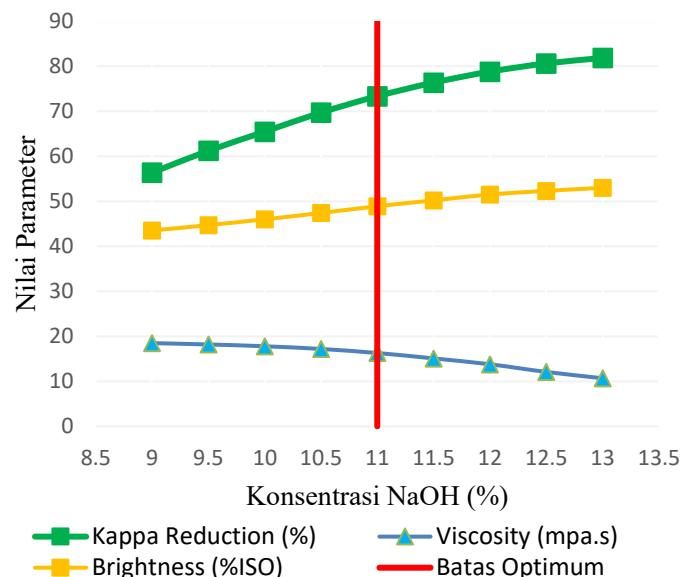
### 3.4 Penentuan Titik Umum Konsentrasi NaOH

Hasil percobaan menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH 11,0% merupakan kondisi paling optimal untuk pelaksanaan proses *oxygen delignification*.

Hal ini didasarkan pada beberapa pertimbangan berikut: (a) nilai bilangan *Kappa* telah turun hingga 4,4, yang sudah berada di bawah ambang batas standar TAPPI T236; (b) tingkat kecerahan (*brightness*) mencapai 48,9%, yang memenuhi kriteria sebagai tahap *pre-ionic* sesuai standar ISO 9001; dan (c) Dengan viskositas mencapai 16,3 mPa·s, kualitas *pulp* masih memenuhi syarat kelayakan karena berada di atas batas minimum 15 mPa·s yang ditetapkan untuk *Dissolving pulp* berdasarkan standar TAPPI T236 [15].

Meskipun hasil delignifikasi menjadi lebih optimal pada konsentrasi NaOH di atas 11,0%, penurunan viskositas yang tajam justru dapat menurunkan integritas mekanis *pulp* dan

menjadikannya kurang layak untuk proses produksi tahap berikutnya.



Gambar 4. Pengaruh NaOH terhadap *kappa reduction*, viskositas dan *brightness*

## 4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi konsentrasi NaOH memberikan pengaruh signifikan terhadap kinerja proses *oxygen delignification*. Peningkatan konsentrasi NaOH terbukti mampu menurunkan nilai *Kappa* secara efektif, yang mencerminkan pengurangan lignin dalam *pulp*. Pada konsentrasi NaOH sebesar 13%, nilai *Kappa* berhasil ditekan dari 16,5 menjadi 3,2, dengan persentase penurunan mencapai 80,61%.

Selain itu, peningkatan konsentrasi NaOH juga berkontribusi terhadap peningkatan *brightness pulp*, dari 43,5% hingga mencapai 53,0% ISO. Namun, efek samping berupa penurunan viskositas turut terjadi, terutama pada konsentrasi tinggi, yang mengindikasikan degradasi struktur selulosa akibat kondisi alkali yang terlalu kuat.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH sebesar 11% merupakan kondisi optimum dalam tahap pre-delignifikasi. Pada titik ini, tercapai keseimbangan yang ideal antara efektivitas penghilangan lignin dan kestabilan mutu *pulp*, dengan nilai *Kappa* sebesar 4,4, tingkat *brightness* 48,9% ISO, serta viskositas 16,3 mPa·s yang masih memenuhi standar *Dissolving pulp*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. V. Ehman, G. E. Rodriguez Rivero, M. C. Area, and F. E. Felissia, “Dissolving pulps by oxidation of the Cellulosic

- fraction of lignocellulosic waste," *Cellul. Chem. Technol.*, vol. 51, no. 9–10, pp. 863–870, 2017.
- [2] B. Irawan, A. Darmawan, A. Roesyadi, and D. H. Prajitno, "Improving Reaction Selectivity with NaOH Charges and Reaction Time in the Medium Consistency Oxygen Delignification Process," *Int. J. Technol.*, vol. 11, no. 4, pp. 764–773, 2020, doi: 10.14716/ijtech.v11i4.3499.
- [3] S. Kumar, N. K. Bhardwaj, and P. Kumar, "Pollution reduction from pulp bleaching effluents by process change," *IPPTA Q. J. Indian Pulp Pap. Tech. Assoc.*, vol. 29, no. 2, pp. 68–73, 2017.
- [4] M. Jablonsky, V. Majova, A. Skulcova, and A. Haz, "07. Full paper - Michal Jablonsky," pp. 1–6, 2020.
- [5] J. Sjöström, M. E. Lindström, T. Vikström, C. V. Esteves, G. Henriksson, and O. Sevastyanova, "On the nature of the selectivity of oxygen delignification," *Nord. Pulp Pap. Res. J.*, vol. 40, no. 1, pp. 61–69, 2025, doi: 10.1515/npprj-2024-0026.
- [6] J. Käyhkö, K. Peltonen, M. Honkanen, A. Kokkonen, and A. VAN HEININGEN, "Model development for real oxygen delignification processes," *Tappi J.*, vol. 23, no. 10, pp. 577–588, 2024, doi: 10.32964/TJ23.10.577.
- [7] F. Agata, M. M., Virda, S. A., Darmawan, A., Ni'Mah, H., Roesyadi, A., & Kurniawansyah, "Kappa number and viscosity in oxygen delignification of kraft-pulp Eucalyptus pellita in comparison with prediction data," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2818(1), 2023, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0131542>.
- [8] X. Chen, Yuxuan and Chen, Yajie and Zhang, Yifei and Wang, Xia and Lu, Xu and Zhang, Xiaoyan and Zhang, "Catalytic Oxygen Delignification of Pine Kraft Pulp with a Bio-Inspired Iron Complex," *ACS Sustain. Chem. & Eng.*, vol. 8, pp. 854--863, 2020, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c02110>
- [9] A. Van Heiningen, "State of Knowledge of Oxygen Delignification," 2017.
- [10] L. Qi, J. Liu, J. Peng, G. Yang, F. Li, Y. Xue, J. Chen, "The Dual Effect of Ionic Liquid Pretreatment on the Eucalyptus Kraft Pulp during Oxygen Delignification Process," vol. 13(10), 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/polym13101600>.
- [11] W. M. Haynes, "CRC Handbook of Chemistry and Physics," *CRC Press. bagian dari Taylor Fr. Gr.*, p. 2670, 2016, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1201/9781315380476>
- [12] O. S. Cláudia S. V. G. Esteves, Elisabet Brännvall, Sören Östlund, "Evaluating the Potential to Modify Pulp and Paper Properties through Oxygen Delignification," *ACS Omega*, 2020, doi: 10.1021/acsomega.0c00869.
- [13] W. Jiang, W. Zhu, and Y. Liu, "Effect of Oxygen Delignification on Kappa Number Reduction in Kraft Pulping Process," *J. Wood Chem. Technol.*, vol. 40, no. 5, pp. 312–325, 2020, doi: 10.1080/02773813.2020.1729992.
- [14] P. Bajpai, *Pulp and Paper Industry: Chemical Recovery*, Reprint ed. Amsterdam: Elsevier, 2016. doi: 10.1016/C2014-0-02795-5.
- [15] TAPPI, "TAPPI T236 cm-85: Kappa Number of Pulp," 2015, *Technical Association of the Pulp and Paper Industry*.