

Pengaruh *Surfactant* dalam Delignifikasi Oksigen terhadap Kualitas Bilangan *Kappa*, Viskositas dan *Brightness* Pulp

Agung Rhama Fauja^{1*}, Sri Haryati², Budi Santoso³

¹⁻³Universitas Sriwijaya, Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia

*Corresponding Author's e-mail: agungrhamafauja@gmail.com

ARMADA
JURNAL PENELITIAN MULTIDISIPLIN

e-ISSN: 2964-2981

ARMADA : Jurnal Penelitian Multidisiplin

<https://ejournal.45mataram.ac.id/index.php/armada>

Vol. 04, No. 05 Mei, 2026

Page: 852-863

DOI:

<https://doi.org/10.55681/armada.v4i5.2243>

Article History:

Received: April 20, 2026

Revised: Mei 10, 2026

Accepted: Mei 18, 2026

Abstract : *The pulp bleaching process requires proper control of the kappa number, viscosity, and brightness to achieve optimal pulp quality. However, increasing kappa number reduction is often accompanied by a significant decrease in viscosity, thereby reducing bleaching selectivity. Therefore, auxiliary chemicals in the form of surfactants are required to enhance the effectiveness of the pulp bleaching process. This study aimed to determine the most effective type and dosage of surfactant capable of achieving a kappa number reduction of more than 35% while maintaining viscosity and improving brightness. The research employed an experimental approach using three types of surfactants, namely Surfactant A, Surfactant B, and Surfactant C, with dosage variations of blank, 100, 200, 300, and 400 ppm. The analysed parameters included kappa number, viscosity, selectivity, and brightness. The results showed that Surfactant A achieved optimum performance at a dosage of 100 ppm with a selectivity value of 3.15 points and brightness of 37.2 %ISO. Surfactant B reached optimum conditions at 300 ppm with a selectivity value of 3.20 points and brightness of 37.0 %ISO, while Surfactant C demonstrated the best performance at 300 ppm with a selectivity value of 3.27 points and brightness of 37.7 %ISO. All optimum conditions produced a kappa number reduction of more than 35%. Therefore, Surfactant C at a dosage of 300 ppm was identified as the most effective surfactant for improving the selectivity and quality of the pulp bleaching process.*

Keywords: *Surfactant, Oxygen Delignification, Kappa Number, Viscosity, Brightness*

Abstrak : Proses pemutihan pulp memerlukan pengendalian bilangan kappa, viskositas, dan *brightness* untuk menghasilkan kualitas pulp yang optimal. Namun, peningkatan reduksi bilangan kappa sering kali diikuti penurunan viskositas yang tinggi sehingga menurunkan selektivitas proses pemutihan. Oleh karena itu, diperlukan bahan kimia pembantu berupa surfaktan untuk meningkatkan efektivitas proses pemutihan pulp. Penelitian ini bertujuan menentukan jenis dan dosis surfaktan terbaik yang mampu menghasilkan reduksi bilangan kappa lebih dari 35% dengan tetap menjaga viskositas serta meningkatkan *brightness*. Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan tiga jenis surfaktan, yaitu Surfactant A, Surfactant B, dan Surfactant C dengan variasi dosis blanko, 100, 200, 300, dan 400 ppm. Parameter yang dianalisis meliputi bilangan kappa, viskositas, selektivitas, dan *brightness*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Surfactant A optimum pada dosis

100 ppm dengan selektivitas 3,15 poin dan *brightness* 37,2 %ISO, Surfactant B optimum pada dosis 300 ppm dengan selektivitas 3,20 poin dan *brightness* 37,0 %ISO, sedangkan Surfactant C optimum pada dosis 300 ppm dengan selektivitas 3,27 poin dan *brightness* 37,7 %ISO. Seluruh kondisi optimum menghasilkan reduksi bilangan kappa lebih dari 35%. Dengan demikian, Surfactant C pada dosis 300 ppm merupakan surfaktan paling efektif dalam meningkatkan selektivitas dan kualitas proses pemutihan pulp.

Kata Kunci: Surfactant, Oxygen Delignification, Kappa Number, Viscosity, Brightness

PENDAHULUAN

Dalam industri pulp, khususnya di tahap delignifikasi oksigen dalam O₂ Reaktor 1 dan O₂ reaktor 2, akan menghasilkan *kappa number* dan viskositas yang juga mirip, yaitu *kappa number* rendah, viskositas juga rendah atau *kappa number* tinggi, viskositas juga tinggi, hubungann antara dua parameter ini disebut selektivitas, ketika pulp keluar dari tahap delignifikasi oksigen, hasil yang diharapkan adalah *kappa number* mengalami penurunan seoptimal mungkin tapi viskositas tetap bisa dipertahankan, ini yang disebut dengan selektivitas yang baik, sehingga bisa memaksimalkan penggunaan ClO₂ dan meminimalisir penggunaan H₂O₂ di tahap *bleaching* nantinya, namun untuk mencapai hal tersebut cukup sulit didapatkan, semua kondisi tersebut terjadi kemungkinan karena parameter delignifikasi oksigen di dalam O₂ Reaktor 1 dan O₂ reaktor 2 yang belum optimal, sehingga perlu dicoba menggunakan bantuan bahan kimia pembantu lainnya seperti *surfactant*.

Rumusan masalah dari penelitian ini, antara lain: penurunan bilangan *kappa* kurang dari 35% dan tidak bisa menjaga penurunan viskositas secara optimal, serta sulit mendapatkan *brightness* yang baik, setelah melewati tahap delignifikasi oksigen. Perlu dilakukan pengujian menggunakan bahan kimia pembantu seperti *surfactant* dengan variasi dosis untuk mendapatkan nilai selektifitas yang tinggi, reduksi bilangan *kappa* lebih dari 35%, serta peningkatan *brightness* yang baik. Tujuan Penelitian ini diantaranya: pertama, menurunkan bilangan *kappa* lebih dari 35% tapi tetap bisa menjaga penurunan viskositas secara optimal yang disebut selektifitas yang baik, serta mendapatkan peningkatan *brightness* yang baik. Kedua, Mengetahui mana produk *surfactant* dengan dosis terbaik yang memberikan nilai selektifitas tinggi, reduksi bilangan *kappa* lebih dari 35%, serta peningkatan *brightness* yang baik. Manfaat Penelitian, adapun manfaat penelitian yang bisa kita dapatkan setelah tujuan dari penelitian ini bisa tercapai, antara lain, pertama bisa mengoptimalkan konsumsi ClO₂ dalam tahap pemutihan pulp nantinya. Kedua, Mengurangi konsumsi H₂O₂ di tahap pemutihan pulp selanjutnya. Ketiga, bisa mengurangi biaya produksi, sehingga bisa meningkatkan keuntungan untuk perusahaan.

Delignifikasi oksigen adalah proses di mana pulp yang tersuspensi dalam larutan alkali, diberi tekanan dengan oksigen yang membentuk dispersi stabil dalam pulp dan dikonsumsi dalam reaksi lignin. Tahap ini menghilangkan 50% lignin yang tersisa dalam pulp coklat, menghemat bahan kimia di Pabrik Pemutih (Vianna *et al.*, 2018). Degradasi serat dan pelarutan lignin sebagian besar dapat ditemukan dalam proses pemasakan dan pemutihan pulp. Delignifikasi oksigen konsistensi sedang sebagai proses diselesaikan dengan menggunakan perlakuan kimia, termasuk perlakuan asam dan basa (Hermansyah *et al.*, 2019). Kualitas pulp setelah proses delignifikasi diukur berdasarkan kandungan lignin (bilangan *kappa*) dan viskositas (kekuatan pulp). Dalam penelitian ini, *Eucalyptus Pellita* diolah dalam proses *Kraft* diikuti dengan delignifikasi oksigen. Pulp yang dihasilkan kemudian dianalisis dalam hal bilangan *kappa* dan viskositas. (Agata *et al.*, 2023). Variabel yang terlibat dalam delignifikasi oksigen pada konsistensi medium adalah tekanan reaktor, suhu proses, pH, waktu reaksi, dan konsistensi pulp. (Júnior dan Gomes, 2018 dalam Irawan *et al.*, 2020). Lignin, salah satu komponen utama kayu, adalah polimer kompleks yang terbentuk dari berbagai senyawa fenolik yang dihubungkan melalui ikatan ester, eter, dan karbon-karbon (Wu *et al.*, 2024; Long *et al.*, 2025 dalam Li *et al.*, 2025).

Surfaktan berfungsi dengan mengurangi tegangan permukaan dan membentuk misel dalam pelarut dan dikenal karena sifat aktif permukaannya, (Rebello, *et al.*, 2014 dalam Merouani *et al.*, 2024). Dalam kasus pembuatan pulp jerami gandum, penambahan surfaktan lauril dan PEG 1500 secara signifikan meningkatkan nilai *yield* pada bilangan *kappa* yang hampir sama. Dalam kasus pengolahan pulp populus, penambahan surfaktan lauril dan kenol meningkatkan hasil. Namun, nilai *kappa* sedikit meningkat; sebaliknya, penambahan PEG menurunkan *yield* maupun nilai *kappa*. Hasil dan nilai *kappa* bervariasi pada berbagai replikasi perlakuan kontrol untuk pembuatan pulp kayu keras hutan campuran; namun, setiap empat Surfaktan menyebabkan peningkatan hasil dan penurunan nilai *kappa*. Hasil ini sangat signifikan. (Omid, 2016). Surfaktan nonionik membentuk salah satu kelompok yang paling beragam. Karena bagian hidrofobik dan hidrofilik dari surfaktan nonionik terbentuk karena perbedaan polaritas bagian molekulnya (Kiss and Nagy, 2024).

Surfaktan nonionik banyak digunakan sebagai zat pembasah, Emulsifier (Merouani *et al.*, 2024). penggunaan PEG dalam pembuatan pulp kraft kayu keras meningkatkan laju delignifikasi, selektivitas, dan nilai *yield*. Pada waktu dan suhu reaksi yang sama, penambahan PEG meningkatkan *yield* pulp dan menurunkan kandungan lignin. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan PEG telah meningkatkan proses delignifikasi. hubungan antara bilangan Kappa dan *yield* pulp, bilangan *kappa* berkorelasi dengan kandungan lignin yang tersisa dalam pulp, menunjukkan selektivitas delignifikasi. ketika PEG ditambahkan ke larutan pembuatan pulp, terdapat peningkatan selektivitas dibandingkan dengan larutan pembuatan pulp kontrol tanpa PEG (Guo *et al.*, 2003). *brightness* pulp kraft hibrida akasia yang telah diputihkan sangat dipengaruhi oleh jenis dan dosis surfaktan yang digunakan% (Kathomdani, *et al.*, 2022). Delignifikasi oksigen meningkatkan kecerahan pulp (Ferdous *et al.* 2020). Korelasi yang kuat diamati antara efisiensi delignifikasi tahap-O dan kandungan gugus hidroksil fenolik dari lignin; pengamatan ini menguatkan bahwa gugus hidroksil fenolik bebas adalah situs reaktif untuk reaksi oksigen molekuler dengan lignin (Gomes *et al.*, 2018).

Penurunan kandungan lignin selama delignifikasi oksigen (ODL) dengan konsistensi sedang direpresentasikan oleh derajat delignifikasi. Derajat delignifikasi adalah persentase penurunan kandungan lignin sebelum dan sesudah proses delignifikasi oksigen dengan konsistensi sedang. Kandungan lignin dihitung berdasarkan bilangan *kappa*, di mana Lignin dalam persen (%) sama dengan 0,147 dikali bilangan *kappa* (Violette, 2003). Selain itu juga, viskositas menggambarkan kekuatan pulp dan bergantung pada rantai selulosa, rantai selulosa yang panjang memberikan viskositas yang tinggi (Darmawan *et al.* 2020). Kehilangan viskositas pulp selama delignifikasi oksigen disebabkan oleh pembelahan rantai selulosa yang diakibatkan oleh serangan radikal berbasis oksigen yang dihasilkan melalui reaksi dengan lignin. (Ferdous *et al.* 2020). Tujuan dari proses pemutihan adalah untuk meningkatkan kualitas fisik dan optik seperti keputihan dan kecerahan (Nagar *et al.*, 2022 dalam Michael *et al.*, 2024). Delignifikasi melibatkan modifikasi struktur lignin melalui pemutusan ikatan eter dan pembentukan gugus fenolik. Pemutusan ikatan tersebut menyebabkan masuknya gugus fungsional polar ke dalam lignin. Gugus fenolik polar ini larut dalam larutan alkali, sehingga memudahkan penghilangan lignin (Brogdon, 2008 dalam Michael *et al.*, 2024). Selektivitas didefinisikan sebagai penurunan bilangan *kappa* setelah ODL (delignifikasi oksigen), dibagi dengan penurunan viskositas pulp.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan kuantitatif eksperimental laboratorium dengan desain Completely Randomized Design (CRD) untuk menguji pengaruh surfaktan nonionik terhadap efektivitas delignifikasi oksigen pada pulp dengan tiga jenis surfaktan (A, B, dan C) pada variasi dosis 0 ppm (kontrol), 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, dan 400 ppm yang diaplikasikan secara acak pada sampel pulp. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium R&D PT. Tanjungenim Lestari Pulp and Paper pada tahun 2026 menggunakan bahan utama berupa pulp 200 gram OD (503 gram AD) per sampel dari outlet TRPE, larutan NaOH 10%, oksigen 70 Psi, dan demineralised water. Data diperoleh melalui karakterisasi surfaktan menggunakan GC-MS dan FTIR serta pengujian kualitas pulp meliputi bilangan *kappa* (TAPPI T236), viskositas (TAPPI T230), dan *brightness* (TAPPI T272),

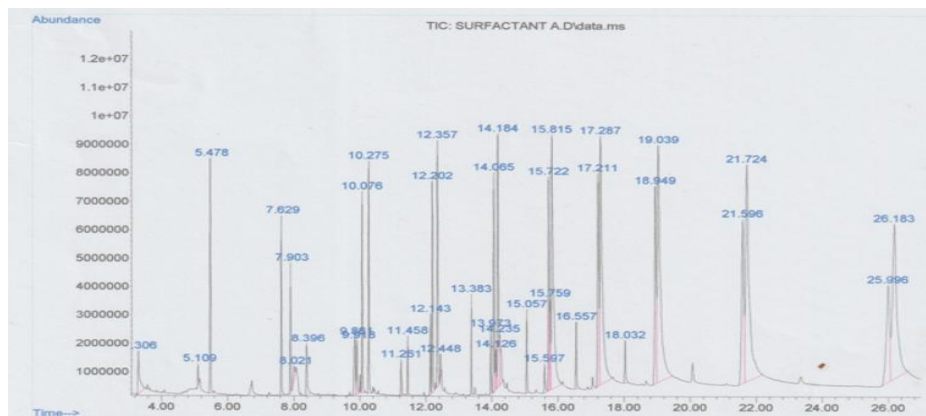
kemudian dianalisis menggunakan ANOVA dan uji lanjut untuk melihat perbedaan antarperlakuan, sedangkan efektivitas perlakuan ditentukan berdasarkan reduksi bilangan kappa, selektivitas delignifikasi, dan peningkatan brightness dengan kriteria utama reduksi kappa lebih dari 35% dan selektivitas tertinggi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

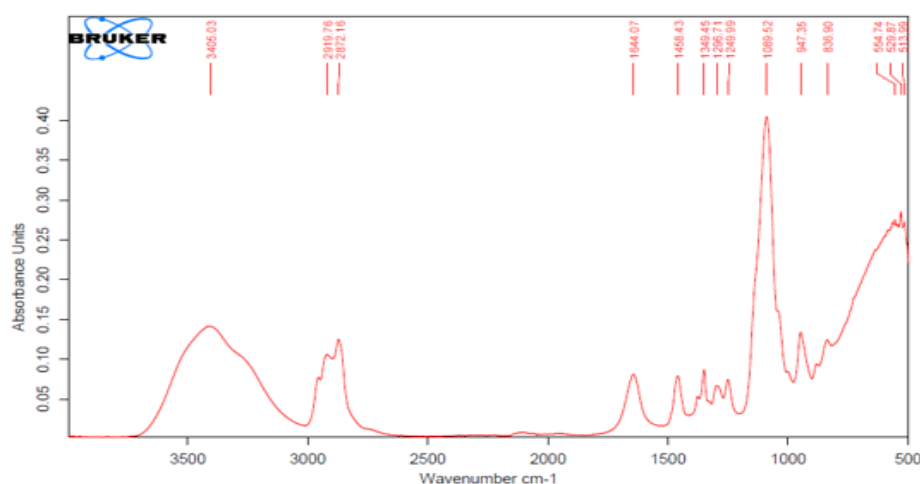
Kandungan *surfactant* A, Kandungan senyawa kimia dan gugus fungsional dalam surfaktan A, setelah diperiksa dengan GCMS dan FTIR. Hasil dihitung berdasarkan persentase masing-masing senyawa kimia dan gugus fungsional.

Tabel 1. Chemical compounds and functional groups of surfactant A

no	Senyawa kimia	Gugus fungsi	%
1	<i>Ethoxylate/polyethylene glycol</i>	$C-O-C / -OH$	80.18
2	<i>Esther</i>	$C=O$	7.53
3	<i>Ether</i>	$C-O-C$	4.6
4	<i>Aliphatic alcohol</i>	$O-H$	3.97
5	<i>Aliphatic hydrocarbons</i>	$C-H$	2.7
6	<i>Aromatic / heterocyclic</i>	<i>Aromatic / heterocyclic</i>	1.02



Gambar 1. Chromatogram Dari *Surfactant* A.

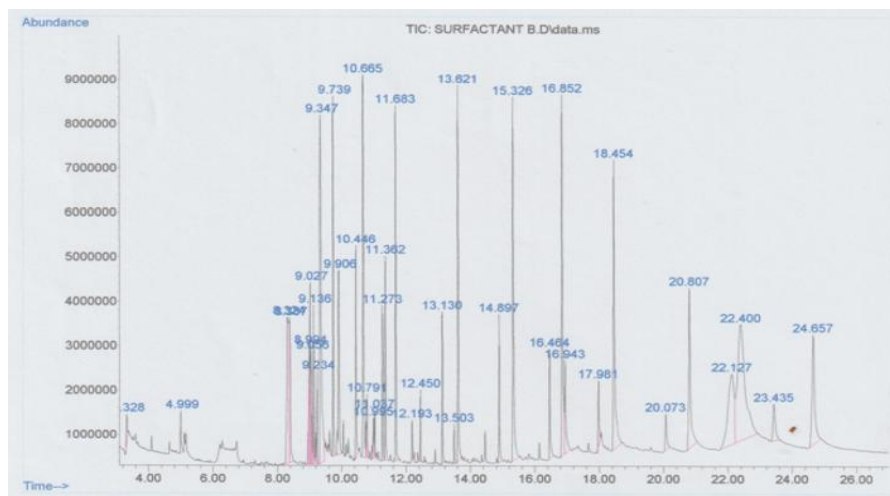
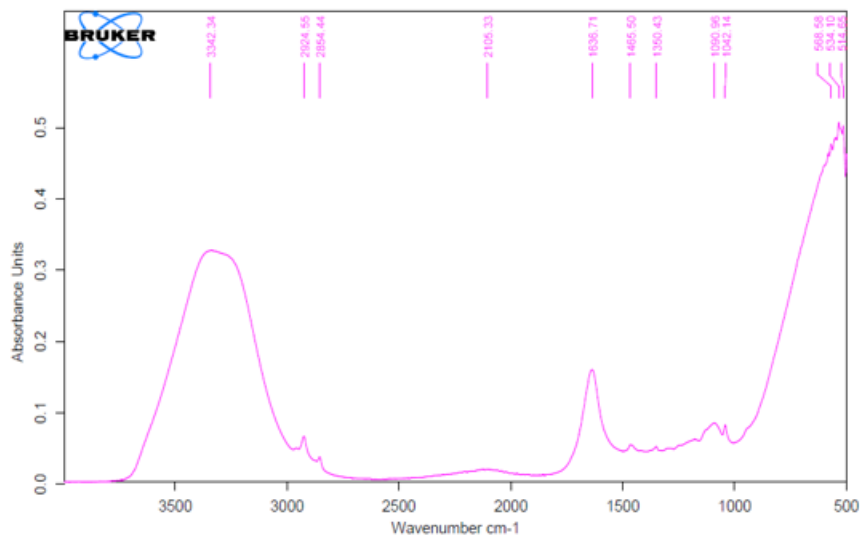


Gambar 2. Spektrum *Infrared* Pada *Surfactant* A.

Kandungan senyawa kimia dan gugus fungsional dalam surfaktan B, setelah diperiksa dengan GCMS dan FTIR. Hasil dihitung berdasarkan persentase masing-masing senyawa kimia dan gugus fungsional.

Tabel 2. Senyawa Kimia Dan Gugus Fungsi *Surfactant B*

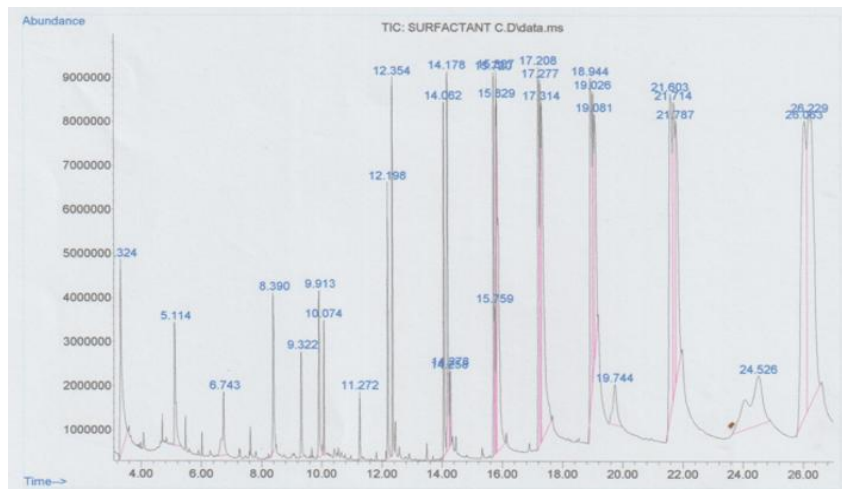
o	n	Senyawa kimia	Gugus fungsi	%
1		<i>Ethoxylated alcohol / polyethylene glycol ether</i>	$C-O-C / -OH$	59.7
2		<i>Long chain alkenes</i>	$C=C$	16.3
3		<i>Aliphatic alcohol</i>	$O-H$	9.57
4		<i>Fatty acid esters</i>	$C=O$	7.85
5		<i>Cyclic hydrocarbons</i>	$C-H$	3.28
6		<i>Aromatic heterocyclic compounds</i>	<i>Aromatic heterocyclic</i>	1.26
7		<i>Carbonyl compounds</i>	<i>Ketone / carbonyl</i>	1.95

**Gambar 3.** *Chromatogram* Dari *Surfactant B*.**Gambar 4.** Spektrum *infrared* *surfactant B*.

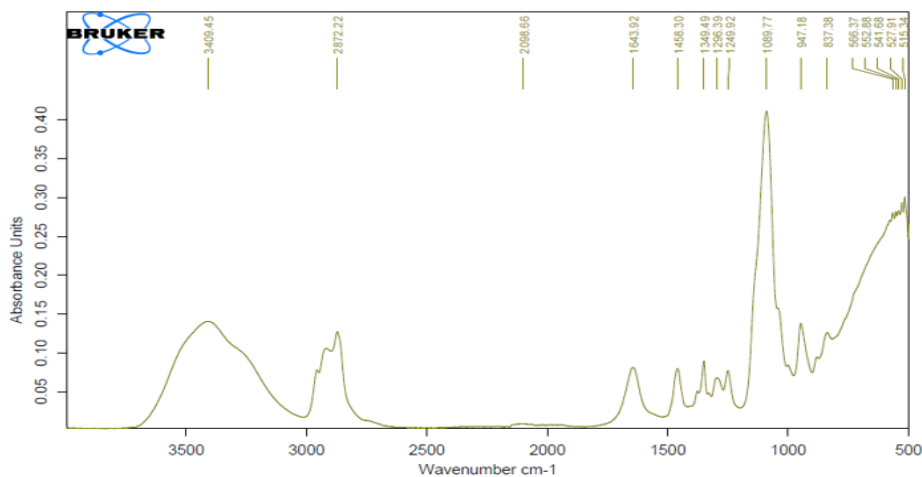
Kandungan senyawa kimia dan gugus fungsi dalam surfaktan C, setelah diperiksa dengan GCMS dan FTIR. Hasilnya dihitung berdasarkan persentase masing-masing senyawa kimia dan gugus fungsional.

Tabel 3. Senyawa Kimia Dan Gugus Fungsi *Surfactant C*

no	Senyawa Kimia	%
1	<i>Ethoxylate / polyethylene glycol</i>	94.44
2	<i>Aromatic / heterocyclic</i>	3.72
3	<i>Aliphatic hydrocarbons</i>	0.92
4	<i>alcohol / Aliphatic aldehydes</i>	0.57
5	<i>Esther / carbonate / acid</i>	0.36
Gugus fungsi		%
6	<i>C-O-C / -OH</i>	94.44
7	<i>Aromatic / heterocyclic</i>	3.33
8	<i>C-H Aliphatic</i>	1.49
9	<i>C=O (esther/acid)</i>	0.74



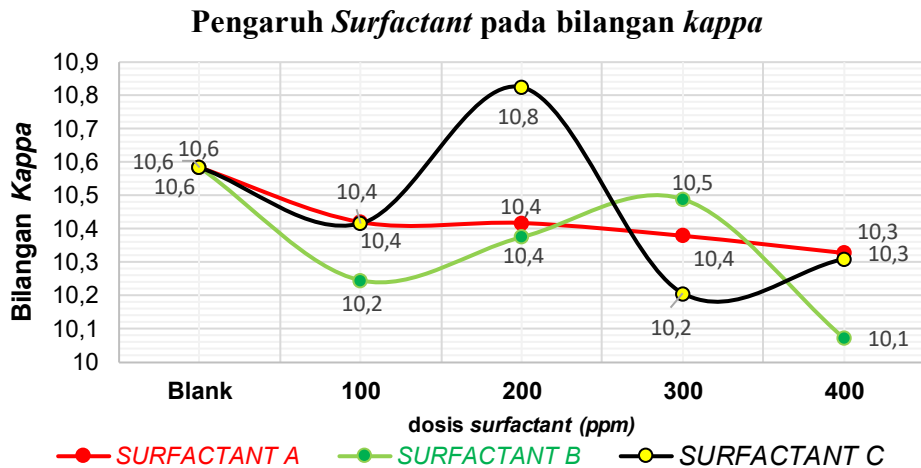
Gambar 5. Chromatogram Dari *Surfactant C*.



Gambar 6. Spektrum *Infrared Surfactant C*.

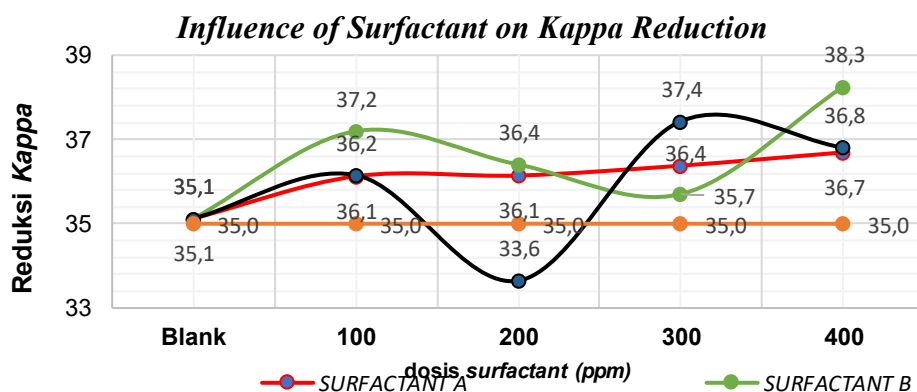
Pengaruh *Surfactant* terhadap Bilangan *Kappa*. Pada Gambar 7, dapat kita lihat bahwa pengaruh *surfactant A* terhadap hasil bilangan *kappa* berbanding lurus dan cenderung turun, semakin banyak dosis *surfactant A* maka bilangan *kappa* yang dihasilkan cenderung menurun walaupun tidak drastis, dari sampel *blank* yang tidak memakai *surfactant* hingga pemakaian dosis tertinggi 400 ppm, dari bilangan *kappa blank* yaitu 10,6 turun hingga 10,3. Pada kurva *surfactant B* terjadi fluktuasi, dari bilangan *kappa blank* 10,6 lalu turun ke 10,2 pada dosis 100 ppm, kemudian naik lagi ke 10,4 pada 200 ppm, lalu naik lagi ke 10,5 pada dosis 300 ppm, terakhir

pada dosis 400 ppm turun drastis ke 10,1. Pada kurva *Surfactant C*, pengaruhnya memberikan dampak yang naik turun juga, dari *blank* 10,6 lalu turun ke 10,4 pada 100 ppm, kemudian naik ke 10,8 pada 200 ppm, kemudian pada dosis 300 ppm turun drastis ke 10,2, lalu pada dosis 400 ppm naik lagi ke 10,3. Kandungan surfaktan A, B dan C didominasi oleh PEG, oleh karena itu Gambar 7 menunjukkan tren yang cenderung menurun, serupa seperti yang dikatakan oleh Omid (2016) bahwa penambahan PEG menurunkan hasil dan angka kappa.



Gambar 7. Grafik pengaruh *surfactant* terhadap bilangan *kappa*

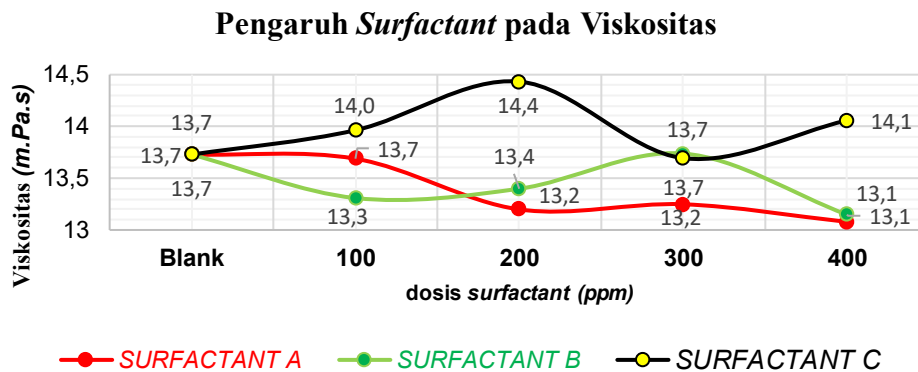
Pengaruh *Surfactant* terhadap Laju Reduksi Bilangan *Kappa*. Pada Gambar 8, kita bisa melihat bahwa dari Pengaruh *Surfactant* terhadap laju reduksi bilangan *kappa*, ada yang cenderung naik dan ada yang naik turun. target utama dari laju penurunan bilangan *kappa* adalah minimal 35%. Sementara dari ketiga kurva *Surfactant* tersebut semua *Surfactant* memberikan hasil yang baik semua, yaitu di atas 35%, kecuali satu saja, yaitu pada *Surfactant C* pada dosis 200 ppm. Pada kurva *Surfactant A*, menunjukkan naik terus, dari *blank* 35,1% lalu naik ke 36,1% dan bertahan di 36,1%, kemudian naik lagi ke 36,4% dan terakhir naik ke 36,7%. Pada *Surfactant B*, *Kappa* reduksi naik dari *blank* 35,1% ke 37,2% lalu turun ke 36,4%, kemudian turun lagi ke 35,7%, dan terakhir naik drastis ke 38,3%. Pada *Surfactant C* kurvanya juga menunjukkan naik turun, dimulai dari *blank* 35,1% lalu naik ke 36,2%, lalu turun ke 33,6%, kemudian naik lagi drastis ke 37,4% lalu terakhir sedikit turun ke 36,8%. Pada Gambar 8 terlihat bahwa tren pengurangan *kappa* cenderung meningkat. Penambahan PEG meningkatkan hasil pulp dan menurunkan kandungan lignin. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan PEG telah meningkatkan proses delignifikasi (Guo *et al*, 2003). Jadi, peningkatan dosis cenderung meningkatkan pengurangan *kappa*.



Gambar 8. Grafik pengaruh *surfactant* terhadap reduksi *kappa*

Pengaruh *Surfactant* terhadap Viskositas. Pada Gambar 9. kita dapat melihat bahwa ketiga *Surfactant* tersebut memberikan dampak yang naik turun. Pada kurva *Surfactant A*, menunjukkan relatif turun terus, dimulai dari viskositas *blank* 13,7 mPa.S, lalu pada dosis 100 ppm masih

bertahan sama, kemudian turun pada dosis 200 ppm turun drastis ke 13,2 mPa.S, kemudian pada dosis 300 ppm masih sama, lalu pada dosis 400 ppm sedikit turun ke 13,1 mPa.S. Pada kurva *Surfactant B*, terjadi penurunan drastis dari *blank* 13,7 mPa.S ke dosis 100 ppm ke 13,3 mPa.S, kemudian sedikit naik ke 13,4 mPa.S pada dosis 200 ppm, lalu naik lagi ke 13,7 mPa.S pada dosis 300 ppm, terakhir turun drastis ke 13,1 mPa.S pada dosis 400 ppm. Pada kurva *Surfactant C*, dari viskositas *blank* 13,7 mPa.S naik ke 14,0 mPa.S pada dosis 100 ppm, kemudian naik lagi ke 14,4 mPa.S pada dosis 200 ppm, kemudian turun drastis ke 13,7 mPa.S pada dosis 300 ppm, terakhir terjadi sedikit kenaikan ke 14,1 mPa.S pada dosis 400 ppm.

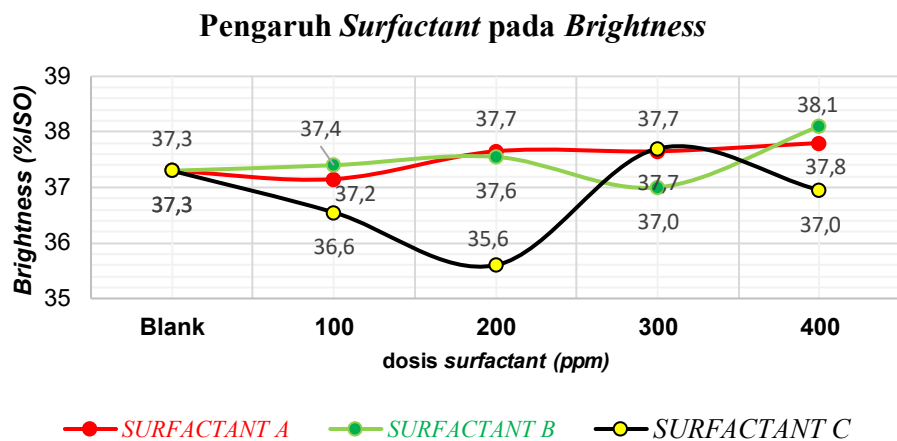


Gambar 9. Grafik pengaruh *surfactant* terhadap viskositas

Penambahan PEG meningkatkan hasil pulp (Guo *et al.*, 2003). Artinya, jika kita meningkatkan PEG, maka selulosa dan hemiselulosa akan tetap terjaga sehingga viskositas akan terlindungi dari degradasi. Surfaktan C memiliki kandungan PEG terbanyak, oleh karena itu viskositas tertinggi terdapat pada surfaktan C. Viskositas menggambarkan kekuatan pulp dan bergantung pada rantai selulosa, rantai selulosa yang panjang memberikan viskositas yang tinggi (Daarmawan *et al.*, 2020). Hilangnya viskositas pulp selama delignifikasi oksigen disebabkan oleh pemutusan rantai selulosa akibat serangan radikal berbasis oksigen yang dihasilkan melalui reaksi dengan lignin (Ferdous *et al.*, 2020).

Pengaruh *Surfactant* terhadap *Brightness*. Pada Gambar 10. terlihat ada kurva yang relatif naik dan ada yang naik turun. Pada kurva *surfactant A*, menunjukkan kurva yang relatif naik, walau ada sedikit penurunan, dari *blank brightness* 37,3 %ISO, turun sedikit pada dosis 100 ppm ke 37,2 %ISO, kemudian naik ke 37,7 %ISO pada dosis 200 ppm, lalu masih bertahan pada dosis 300 ppm, kemudian naik lagi sedikit pada 400 ppm ke 37,8 %ISO. Pada kurva *surfactant B*, terjadi naik turun, dari *blank* 37,3 %ISO naik ke 37,4 %ISO pada 100 ppm, lalu naik lagi ke 37,6 %ISO pada 200 ppm, kemudian pada dosis 300 ppm terjadi penurunan drastis ke 37,0 %ISO, terakhir naik signifikan ke 38,1 %ISO. Pada kurva *surfactant C*, juga terjadi naik turun, dari *blank brightness* 37,3 %ISO, turun ke 36,6 %ISO pada dosis 100 ppm, lalu turun lagi ke 35,6 %ISO pada 200 ppm, kemudian naik drastis ke 37,7 %ISO pada 300 ppm, terakhir menurun sedikit pada dosis 400 ppm ke 37,0 %ISO. *Brightness* pulp sangat dipengaruhi oleh efektivitas penghilangan lignin berwarna. Surfaktan C, dengan sifat hidrofilik tinggi dan kemampuan meningkatkan difusi reaktan, memberikan kontribusi peningkatan *brightness* paling besar. Surfaktan B menunjukkan peningkatan *brightness* menengah, sedangkan Surfaktan A memberikan peningkatan yang relatif lebih rendah.

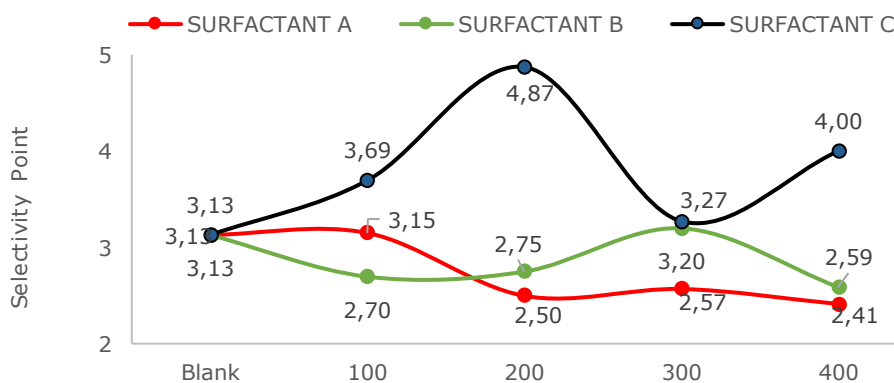
Penambahan PEG menurunkan kandungan lignin (Guo *et al.*, 2003). Penambahan PEG menurunkan angka kappa (Omid, 2016). Lignin yang lebih banyak membuat pulp lebih gelap daripada lignin yang lebih sedikit, karena lignin menyerap warna dan membuat pulp lebih gelap. Delignifikasi oksigen meningkatkan kecerahan pulp (Ferdous *et al.*, 2020). Kecerahan pulp kraft hibrida akasia yang diputihkan sangat dipengaruhi oleh jenis dan dosis surfaktan yang digunakan (Kathomdani *et al.*, 2022).



Gambar 10. Grafik Pengaruh *Surfactant* Terhadap *Brightness*

Pengaruh *Surfactant* terhadap Selektivitas. Pada Gambar 11 terlihat semua kurva relatif naik turun. Pada kurva *surfactant* A, dimulai dari selektivitas *blank* sebesar 3,13 kemudian naik sedikit ke 3,15 pada dosis 100 ppm, kemudian turun drastis ke 2,5 pada dosis 200 ppm, lalu naik sedikit ke 2,57 pada 300 ppm, terakhir turun lagi ke 2,41 pada 400 ppm. Pada kurva *surfactant* B, dari selektivitas *blank* sebesar 3,13 turun drastis ke 2,70 pada dosis 100 ppm, kemudian sedikit naik ke 2,75 pada 200 ppm, lalu naik lagi drastis ke 3,20 pada 300 ppm, terakhir turun drastis lagi ke 2,59 pada 400 ppm. Pada kurva *surfactant* C, dari selektivitas *blank* sebesar 3,13 naik ke 3,69 pada 100 ppm, lalu naik lagi ke 4,87 pada 200 ppm, kemudian turun drastis ke 3,27 pada 300 ppm, terakhir naik lagi ke 4,00 pada 400 ppm.

Penambahan PEG meningkatkan hasil pulp dan menurunkan kandungan lignin. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan PEG telah meningkatkan proses delignifikasi. Hubungan antara angka Kappa dan hasil pulp, angka kappa berkorelasi dengan kandungan lignin residual dalam pulp, menunjukkan selektivitas delignifikasi, ketika PEG ditambahkan ke larutan pulp, terjadi peningkatan selektivitas dibandingkan dengan larutan pulp kontrol tanpa PEG (Guo *et al*, 2003). Berdasarkan pernyataan di atas, penambahan PEG meningkatkan hasil pulp dan menurunkan kandungan lignin yang menggambarkan selektivitas yang baik yang mengurangi kandungan lignin dan mempertahankan serat yang meningkatkan hasil. Surfaktan C memiliki kandungan PEG paling banyak dan menghasilkan selektivitas tertinggi.

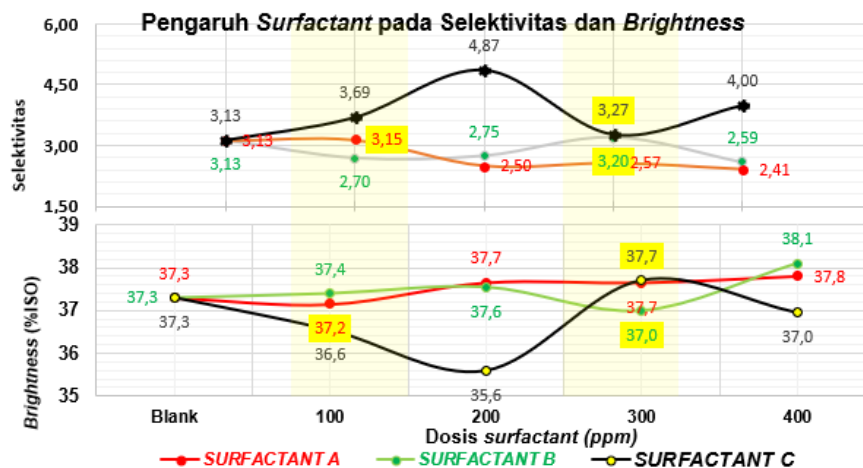


Gambar 11. Grafik pengaruh *surfactant* terhadap Selektivitas

Pengaruh *surfactant* terhadap selektivitas, *brightness* dan reduksi *Kappa*. Pada Gambar 11, kita bisa melihat pengaruh *surfactant* secara keseluruhan baik itu terhadap selektivitas, *brightness* dan reduksi *kappa*, sehingga kita bisa menentukan mana *surfactant* terbaik dari ketiga *surfactant* tersebut jika ditinjau dari pengaruhnya terhadap selektivitas, *brightness* dan reduksi *kappa*. Pada kurva *surfactant* A, selektivitas tertinggi didapatkan pada dosis 100 ppm sebesar 3,15 poin meningkat sedikit dari selektivitas *blank* 3,13 dan diiringi dengan *brightness* 37,2% ISO, walaupun

*brightness*nya sedikit turun dari *brightness blank* 37,3 %ISO, tapi jika kita bandingkan selektivitas antara dosis 100 ppm dengan dosis lainnya yaitu 200, 300 dan 400 ppm semuanya mengalami penurunan dari selektivitas *blank* itu sendiri. Sehingga untuk *surfactant A* dosis terbaiknya berada pada 100 ppm. Pada kurva *surfactant B*, selektivitas tertinggi didapatkan pada dosis 300 ppm sebesar 3,20 poin dan diiringi dengan *brightness* 37,0 %ISO yang sedikit lebih rendah dari *brightness blank*, namun selektivitas dosis lainnya semuanya lebih rendah dari selektivitas *blank*, sehingga walaupun *brightness*nya lebih rendah dari *blank* namun selektivitasnya tertinggi dari yang lainnya dan lebih tinggi dari *blank*, sehingga untuk *surfactant B* dosis terbaik berada pada dosis 300 ppm.

Pada kurva *surfactant C*, selektivitas tertinggi berada pada dosis 200 ppm dengan nilai selektivitas sebesar 4,87 poin, namun *brightness* juga mengalami penurunan terendah yaitu 35,6 %ISO, jauh menurun dari *brightness blank* awal sebesar 37,3 %ISO, dan catatan khususnya ternyata hanya pada *surfactant C* dosis 200 ppm ini saja bahwa reduksi *kappanya* hanya 33,6% tidak memenuhi minimal target reduksi *kappa* sebesar 35%, sementara *surfactant* lain dengan semua dosisnya bisa memenuhi target minimal tersebut. Sedangkan pada dosis 300 ppm didapatkan selektivitas sebesar 3,27 poin walau bukan nilai tertinggi namun hanya dosis ini yang memiliki nilai *brightness* yang meningkat sebesar 37,7 %ISO dibandingkan *brightness blank* sebesar 37,3%ISO, sementara dosis lainnya semua *brightness*nya di bawah nilai *brightness blank*, walaupun nilai selektivitas dosis lainnya lebih tinggi dari nilai selektivitas dosis 300 ppm yang hanya sebesar 3,27 poin, tapi jika dilihat dari reduksi *kappa*, dosis 300 ppm ini juga memberikan reduksi *kappa* tertinggi kedua dari seluruh dosis *surfactant* yaitu sebesar 37,4%, sehingga dosis 300 ppm ini merupakan pilihan dosis terbaik pada *surfactant C*.



Gambar 12. Grafik pengaruh *surfactant* terhadap selektivitas dan *brightness*

KESIMPULAN DAN SARAN

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap surfaktan memiliki kondisi optimum yang berbeda, yaitu Surfactant A pada 100 ppm (selektivitas 3,15; brightness 37,2 %ISO), Surfactant B pada 300 ppm (selektivitas 3,20; brightness 37,0 %ISO), dan Surfactant C pada 300 ppm (selektivitas 3,27; brightness 37,7 %ISO). Di antara ketiganya, Surfactant C pada dosis 300 ppm merupakan kondisi paling optimal, karena menghasilkan performa delignifikasi oksigen terbaik dengan reduksi bilangan kappa sebesar 37,4% (melampaui target minimal 35%), selektivitas tertinggi sebesar 3,27 yang menunjukkan efisiensi tinggi dalam menghilangkan lignin tanpa degradasi signifikan pada viskositas, serta peningkatan brightness yang konsisten. Keunggulan ini berkorelasi dengan komposisi kimianya yang didominasi PEG (94,44%) serta keberadaan gugus fungsi $-OH/C-O-C$ (ethoxylate) yang berperan dalam meningkatkan selektivitas proses delignifikasi oksigen. Dengan demikian, Surfactant C terbukti paling efektif secara keseluruhan dalam meningkatkan kualitas pulp pada proses delignifikasi oksigen.

Disarankan agar penelitian selanjutnya memperluas variasi dosis surfaktan untuk memperoleh pemetaan respons yang lebih komprehensif terhadap proses delignifikasi oksigen.

Selain itu, perlu dilakukan studi komparatif dengan menggunakan jenis surfaktan lain di luar kelompok nonionik guna mengevaluasi perbedaan efektivitas dan selektivitasnya, sehingga diperoleh informasi yang lebih mendalam terkait pengaruh struktur kimia surfaktan terhadap kualitas pulp dan optimalisasi proses delignifikasi oksigen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberi dukungan baik moril maupun materil terhadap pelaksanaan kegiatan ini. Terutama kepada pihak penyedia dana Penelitian ini yaitu program Beasiswa PT. Tanjungenim Lestari Pulp and Paper, Muara Enim, Sumatera Selatan, Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Agata, M. M., Virda, S. A., Darmawan, A., Ni'mah, H., Roesyadi, A., and aKurniawansyah, F. (2023). *Kappa* number and viscosity in oxygen delignification of kraft-pulp Eucalyptus pellita in comparison with prediction data. *AIP Conf. Proc.* 2818, 080005 (2023). <https://doi.org/10.1063/5.0131542>.
- Darmawan, A., Ramadhan, Y. A. P., Dewi, N. R., Ni'mah, H., Roesyadi, A., and Kurniawansyah, F. (2020). Effect of oxygen delignification process on the lignin content and wastewater quality from kraft pulped Eucalyptus Pellita. *AIP Conference Proceedings* 2197, 110002. <https://doi.org/10.1063/1.5140955>.
- Ferdous, T., Quaiyyum, M. A., and Jahan, M. S. (2020). Chlorine dioxide bleaching of nineteen non-wood plant pulps. *Nord. Pulp Pap. Res. J.* 35(4): 569–576. <https://doi.org/10.1515/npprj-2020-0043>.
- Gomes, V. J., Jameel, H., Chang, H. M., Narron, R., Colodette, J., and Hart, P. W. (2018). Effects of lignin chemistry on oxygen delignification performance. *Tappi Kournal* 373. Vol 17 no 7. <https://doi.org/10.32964/TJ17.07.373>.
- Guo, Z., April, G. C., Li, M., Willauer, H. D., Huddleston, J. G., and Rogers, R. D. (2003). Peg-based aqueous biphasic systems as improvement for kraft hardwood pulping process, *Chemical Engineering Communications*, 190:9, 1155-1169, <https://doi.org/10.1080/00986440302163>
- Hermansyah, H., Putri, D. N., Prasetyanto, A., Chairuddin, Z. B., Perdani, M. S., Sahlan, M., and Yohda, M. (2019). Delignificaton of Oil Palm Empty Fruit Bunch using Peracetic Acid and Alkaline Peroxide Combined with the Ultrasound. *International Journal of Technology*, Volume 10(8), pp. 1523–1532 Irawan *et al.* 773.
- Irawan, B., Darmawan, A., Roesyadi, A., and Prajitno, D. H. (2020.) Improving Reaction Selectivity with NaOH Charges and Reaction Time in the Medium Consistency Oxygen Delignification Process. *International Journal of Technology*, Volume 11(4), pp.764-773.
- Kathomdani, P. D. S., Marsoem S. N. M., Sunarti, Sri., Nirsatmanto, A. (2022). Effects of surfactant application on *acacia* hybrid kraft pulp properties. *Cellulose Chem. Technol.*, 56 (5-6), 619-624(2022),
- Kiss, A. V. M., Nagy, R. (2024). Investigation of Some Food Industrial vegetable Oil-Based Nonionic Surfactants. *Waste and Biomass Valorization* (2024) 15:917–921. <https://doi.org/10.1007/s12649-023-02200-w>.
- Li, J., Zha, Y. N., Wang, H. M., Tian, J. N., and Hou, Q. X. (2025). Advances in lignin chemistry during pulping and bleaching. *Industrial Crops & Products* 229 (2025) 121004, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121004>.
- Merouani, S., Dehane, A., Hamdaoui, O. (2024). Ultrasonic destruction of surfactants. *Ultrasonics Sonochemistry* 109 (2024) 107009. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.107009>.
- Michael, M.T., Fath, A., Alexander, V., Hasibuan, G. C. R., Syukri, M., Ginting, M. H. S., and Sidabutar, R. (2024). MATLAB-empowered brightness defect prediction system in pulp processing bleaching stage: An empirical modelling approach. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 10 (2024) 100934. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100934>.

- Omid, G. M. (2016). Study of Surfactants Effect on Pulp Properties. *Environ Sci Ind J.* 2016;12(10):119. ©2016 Trade Science Inc.
- Sahu. S.K., Pradhan, S.K., and Panigrahi, J.C. (2008). Additives for Increased Lignin Removal Efficiency in Oxygen Delignification. *IPPTA J. Vol.20, No.2 , Apr.-June, 2008. Pulp And Paper Research Institute, Jaykaypur-765 017, Dist. Rayagada, Orissa.*
- Vianna, V., Yamamoto, C. I., and Vieira, O. (2018). Modeling and simulation of an oxygen delignification industrial process of cellulosic pulp using kinetic expressions and the software CADSIM Plus. *IJAERS: Vol 5, Issue 5.* <https://doi.org/10.22161/ijaers.5.5.35>.
- Violette, S.M. (2003). Oxygen Delignification Kinetics and Selectivity Improvement, Chemical Engineering. The University of Maine, Orono, Maine, USA
- Wistara, N. J., Carolina, A., Pulungan, W. S., Emil, N., Lee, S. H., and Kim, N. H. (2015). Effect of Tree Age and Active Alkali on Kraft Pulping of White Jabon. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, Volume 43(5), pp. 566–577.