

Pemanfaatan Limbah Delignifikasi Bioethanol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Surfaktan Natrium Lignosulfonat

Widia Rini Hartari^{1✉}, Bigi Undadraja², Febrina Delvitasari³, Maryanti⁴, Ersan⁵, Sarono⁶

^{1,3,4,5,6} Jurusan Budidaya Tanaman Perkebunan, Politeknik Negeri Lampung, Indonesia

² Jurusan Agroteknologi, Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian Dharma Wacana Metro, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 20-06-2023

Direvisi : 07-07-2023

Diterima : 11-07-2023

Kata Kunci:

Limbah delignifikasi,
Surfaktan Natrium
Lignosulfonat, TKKS.

Keywords :

*Delignification waste,
Sodium lignosulfonate
surfactant, Oil palm empty
fruit bunch*

ABSTRAK

Surfaktan (*Surface active agent*) merupakan senyawa yang bersifat amfipatik (hidropilik dan hidrofobik dalam satu molekul), sehingga dapat diaplikasikan sebagai *defoaming*, *emulsifier*, *detergency*, *emulsiency*, dan lainnya. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan Surfaktan Natrium Lignosulfonat dari limbah proses delignifikasi bioethanol. Metode penelitian dilakukan 2 tahap yaitu delignifikasi TKKS dengan NaOH yang memiliki konsentrasi 10, 20, dan 30%. Tahap kedua analisis rendemen lignin, TSS (total padatan), dan konsentrasi surfaktan natrium lignosulfonat menggunakan spektrofotometer UV-Vis, pH. Data yang diperoleh kemudian dianalisis secara Deskriptif. Hasil surfaktan dengan pengujian Spektrofotometer UV-Vis adalah kandungan surfaktan yang tinggi dan stabil adalah pada konsentrasi NaOH 10% baik dalam waktu 30 menit yaitu 2,480; 2,360; 2,679 dan 60 menit yaitu 2,768; 2,812; 2,878 ppm.

ABSTRACT

Surfactants (Surface active agents) are compounds that are amfipic (hydrophilic and hydrophobic in one molecule), so they can be applied as defoaming, emulsifier, detergency, emulsiency, and others. The purpose of this study was to obtain sodium lignosulfonate surfactant from bioethanol delignification process waste. The research method was carried out in two stages, namely delignification of OPEFB with NaOH, which had concentrations of 10, 20, and 30%. The second step was to analyze the yield of lignin, TSS (total solids), and surfactant concentration of sodium lignosulfonate using a UV-Vis spectrophotometer and pH. The data obtained were then analyzed descriptively. The surfactant results using the UV-Vis Spectrophotometer test showed a high and stable surfactant content at 10% NaOH concentration in 30 minutes, namely 2.480; 2,360; 2,679 and 60 minutes, which is 2,768; 2,812; 2,878 ppm.

Corresponding Author :

Widia Rini Hartari

Jurusan Budidaya Tanaman Perkebunan, Politeknik Negeri Lampung, Indonesia

Jl. Soekarno Hatta No.10, Rajabasa Raya, Kec. Rajabasa, Kota Bandarlampung

Email: widiarini@polinela.ac.id

PENDAHULUAN

Pengolahan Bioethanol semakin dikembangkan di wilayah Indonesia, yang kaya akan sumberdaya alam. Bahan baku dalam pengolahan bioethanol adalah bahan yang mengandung gula dan serat seperti lignoselulosa. Bioethanol dapat diproduksi melalui pengolahan limbah

industri, seperti Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), yang kaya akan kandungan lignoselulosa. Limbah TKKS ini sering disebut sebagai bahan baku potensial untuk produksi bioethanol generasi kedua. TKKS adalah limbah padat terbesar dalam industri kelapa sawit, dari 1 ton tandan buah segar (TBS) mencapai 23% atau 230 kg bagiannya (Haryanti *et al.*, 2014). Pada tahun 2017 TKKS yang dihasilkan mencapai 31 juta ton (Ditjen Perkebunan, 2017). Tandan Kosong Kelapa Sawit mengandung 45,95% selulosa bagian tertinggi, dan sisanya adalah bahan yang terbuang yaitu lignin dan hemiselulosa dalam proses pengolahan bioethanol (Yoricya *et al.*, 2016).

Selama tahap awal dalam proses pengolahan bioethanol, hanya selulosa yang diekstraksi dari bahan baku, sementara lignin menjadi limbah yang dihasilkan. Proses pemisahan selulosa dan lignin ini dikenal sebagai delignifikasi. Lignin dan air yang terpisah saat ini hanya dibuang begitu saja, tanpa adanya proses pengolahan lanjutan untuk dijadikan produk samping. Lignin adalah makromolekul yang membentuk ikatan kovalen antara selulosa, hemiselulosa, dan lignin itu sendiri. Selain itu, lignin juga memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan perekat, produk polimer dalam industri, bahan pengisi, pengikat, dan surfaktan. (Rachim, 2012). Permintaan surfaktan di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan industri, sementara produksinya terbatas. Oleh karena itu, pengembangan produksi surfaktan secara massal menjadi penting. Harga surfaktan US\$ 16/liter dan diproyeksikan akan terus meningkat setiap tahunnya. Kebutuhan surfaktan di Indonesia mencapai 95.000 ton per tahun, sedangkan produksi domestik hanya mencapai 55.000 ton per tahun. Sebagai akibatnya, Indonesia harus mengimpor sekitar 44.500 ton surfaktan untuk memenuhi kebutuhan tersebut (Wibi Sana & Kailani, 2017). Surfaktan yang diproduksi melalui pengolahan limbah lignin dalam proses delignifikasi bioethanol memiliki kemampuan untuk meningkatkan penyebaran dan mengurangi tegangan permukaan cairan. Hal ini disebabkan oleh struktur molekulnya yang bersifat amphipatic, dengan gugus hidrofobik dan hidrofilik. Karena sifatnya ini, surfaktan tersebut sangat diperlukan dalam berbagai industri, seperti sebagai defoaming agent (agen anti busa), deterjen, emulsifier (pengemulsi), dan masih terdapat berbagai kegunaan lainnya. (Rachim, 2012).

Surfaktan NLS dapat menjadi opsi alternatif untuk menggantikan surfaktan yang saat ini banyak digunakan dalam berbagai industri. Industri kosmetik menggunakan surfaktan untuk mengemulsi air dan minyak, sementara industri tekstil, plastik, sabun, makanan, pestisida, pupuk, dan industri lainnya umumnya mengandalkan surfaktan yang berasal dari minyak bumi, sumber daya yang tidak dapat diperbarui. Namun, menggunakan surfaktan natrium lignosulfonat sebagai pengganti dapat memberikan keuntungan. Surfaktan ini dihasilkan sebagai produk samping dalam proses delignifikasi untuk produksi bioethanol dari bahan lignoselulosa. Dengan mengadopsi penggunaan surfaktan ini, ketergantungan pada surfaktan berbasis minyak bumi dapat dikurangi, sekaligus mendukung upaya keberlanjutan dan penggunaan sumber daya yang dapat diperbarui (Ardinal & Rif'at, 2017). Surfaktan petroleum juga memiliki dampak negatif terhadap lingkungan karena sulit terdegradasi oleh tanah dan dapat menghasilkan limbah. Natrium/Sodium lignosulfonat adalah surfaktan anionic yang terjadi pembentukan melalui interaksi antara natrium bisulfit dan lignin, senyawa ini memiliki rantai hidrokarbon sebagai gugus hidrofobik (bagian non polar berikatan minyak/lemak) dan ion SO_3^- sebagai gugus hidrofilik (bagian polar berikatan air) (Fei *et al.*, 2015).

Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap beberapa faktor, yaitu konsentrasi NaOH dalam proses delignifikasi, suhu pemanasan, dan waktu pemanasan, dengan tujuan menghasilkan lignin yang dapat disulfonasi menjadi surfaktan natrium lignosulfonat. Hasil surfaktan yang dihasilkan kemudian akan diuji menggunakan spektrofotometer untuk menentukan kondisi yang paling optimal dalam menghasilkan surfaktan. Pada penelitian ini, dilakukan penambahan NaOH dengan tiga konsentrasi berbeda, yaitu 10%, 20%, dan 30%. Harapannya, penambahan NaOH dengan konsentrasi tersebut dapat meningkatkan rendemen surfaktan yang dihasilkan. Selain itu, variasi suhu dan waktu pemanasan juga dieksplorasi untuk mencapai kondisi yang optimal dalam proses pembentukan surfaktan natrium lignosulfonat. Diharapkan dari penelitian ini akan mudah diaplikasikan di masyarakat dan dapat membuka lapangan pekerjaan baru.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan bahan-bahan berikut: Tandan Kosong Kelapa Sawit yang diperoleh dari PTPN7 Unit Bekri Lampung, Natrium hidroksida (NaOH), Natrium bisulfit (NaHSO₃), dan Aquadest.

Alat-alat yang dipakai dalam penelitian ini meliputi labu leher tiga, statif, magnet stirer, kondenser, pH meter, Autoclaf, Erlenmeyer 250 ml, peralatan gelas ukur, labu ukur (100 ml, 250 ml, dan 1000 ml), spatula dan batang pengaduk, pipet tetes, corong pemisah, neraca analitik, viskometer, piknometer, dan Spektrofotometer UV-Vis.

Metode Penelitian ini dilakukan 2 tahap yaitu tahap pertama dengan menggunakan konsentrasi NaOH yang terdiri dari 10, 20, 30%, kemudian waktu pemanasan pada waktu 30 menit dan 60 menit. Tahap kedua Pengamatan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi tiga parameter, yaitu rendemen lignin, total padatan (TSS), dan konsentrasi surfaktan natrium lignosulfonat. Pengukuran ketiga parameter tersebut dilakukan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis, dan pengujian pH. Data yang diperoleh kemudian dianalisis secara **Deskriptif**. Berikut gambar TKKS yang diambil dari PTPN7 Unit Bekri.



Gambar 1. Pengecilan Ukuran TKKS

Dalam proses pembuatan surfaktan natrium lignosulfonat, langkah-langkah berikut dilakukan secara langsung. Filtrat cair sebanyak 5 ml dihomogenkan dengan 150 ml air atau dengan perbandingan (1:30 w-w) untuk lignin : air dalam labu leher tiga berukuran 500 ml. Pengadukan dilakukan menggunakan magnetic stirrer. Selanjutnya, dalam larutan ini ditambahkan bahan pensulfonasi, yaitu natrium bisulfit (NaHSO₃), sebanyak 60% berdasarkan berat (b/b). Untuk mencapai pH 6,03, ditambahkan katalis basa NaOH. Proses ini dilakukan pada suhu 90°C (Ismiyati *et al.*, 2009). Hasil langsung dianalisis dengan Spektrofotometer UV-Vis.

Untuk melakukan analisis spektrofotometer, langkah-langkah berikut dilakukan: Sampel sebanyak 50 mL diambil secara triplo dan dimasukkan ke dalam corong pemisah. Selanjutnya, ditambahkan 3-5 tetes indikator fenoltalin dan larutan NaOH 1N ke dalam sampel hingga muncul warna merah muda. Setelah itu, ditambahkan larutan H₂SO₄ 1N dan larutan metilen biru sebanyak 12,5 mL ke dalam sampel. Kemudian, kloroform sebanyak 10 mL ditambahkan dan dihomogenkan. Pada proses ini, corong pemisah sesekali dibuka untuk melepaskan gas. Sampel dibiarkan hingga terjadi pemisahan fasa, lalu corong pemisah digoyangkan perlahan. Jika terbentuk emulsi, sejumlah kecil isopropil alkohol ditambahkan untuk menghilangkan emulsi tersebut. Lapisan bawah (fasa kloroform) dipisahkan dan dikumpulkan dalam corong pemisah yang baru. Proses ini diulang dua kali. Fasa kloroform dari kedua corong pemisah digabungkan menjadi satu. Larutan pencuci sebanyak 25 mL diinkorporasikan ke dalam fase kloroform dan dihomogenkan. Setelah terjadi pemisahan fasa, lapisan bawah (kloroform) dipisahkan dan ditampung dalam labu ukur. Volume kloroform diukur hingga tanda batas. Selanjutnya, sampel dianalisis oleh alat spektrofotometer dengan panjang gelombang 652 nm (Aji, 2020).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada proses delignifikasi Bioethanol, TKKS dilakukan pengecilan ukuran terlebih dahulu, sampai menjadi bubuk TKKS. Kemudian dilakukan penambahan NaOH dengan konsentrasi 10, 20 dan 30%. Tandan Kosong Kelapa Sawit yang telah dicampurkan dengan NaOH sesuai konsentrasi, kemudian di panaskan pada suhu 120 °C dengan waktu 30 menit dan 60 menit. Pada Tabel 1, dapat dilihat hasil lindi hitam yang dipisahkan dari holoselulosa volume 250 ml.

Tabel 1. Jumlah Lindi Hitam (*Black Liquor*) (mL)

NaOH	30' 120 °C				60' 120 °C			
	U 1	U 2	U 3	Total	U 1	U 2	U 3	Total
10%	205	200	200	217	210	205	205	207
20%	200	180	200	193	220	210	215	215
30%	190	200	200	197	200	210	200	203
				607				625
Total keseluruhan 1.232								

Penampakan lindi hitam sangat pekat, karena berasal dari penyaringan pertama larutan TKKS yang ditambahkan NaOH sesuai konsentrasi. Kandungan Lindi hitam sebagian besar adalah lignin, atau lignin yang larut bersamaan dengan katalisator (NaOH). Lignin ($C_9H_{10}O_2(OCH_3)$) merupakan penyusun lignoselulosa pada TKKS hingga 10- 25%, bersamaan dengan hemiselulosa, dan selulosa membentuk bagian TKKS. Lignin berfungsi sebagai perekat yang merekatkan selulosa dan hemi-selulosa, lignin juga tidak larut dalam air dan memiliki kestabilan alami. Dalam Tabel 2, terdapat data mengenai proses delignifikasi

Tabel 2. Jumlah Padatan Hasil Delignifikasi TKKS (gram)

NaOH	30' 120 °C				60' 120 °C			
	U 1	U 2	U 3	Total	U 1	U 2	U 3	Total
10%	21,0	17,6	18,5	19,0	16,3	15,5	15,8	15,9
20%	18,7	19,6	18,0	18,8	15,9	15,5	15,4	15,6
30%	26,1	25,3	25,1	25,5	15,4	15,6	15,5	15,5
				63,3				47
Total keseluruhan 110,3								

Padatan yang diperoleh dari penyaringan sebagian besar mengandung selulosa, selulosa ($(C_6H_{10}O_5)_n$) merupakan homopolisakarida yang memiliki struktur molekul yang berbentuk lurus. Selulosa memiliki struktur yang lurus, sehingga tidak mudah larut dan memiliki sifat kristalin. Selulosa berbentuk serat yang tidak mudah dihancurkan baik secara mekanis maupun kimia (Pradana *et al.*, 2017). Berikut pH lindi hitam dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. pH Lindi Hitam Hasil Delignifikasi

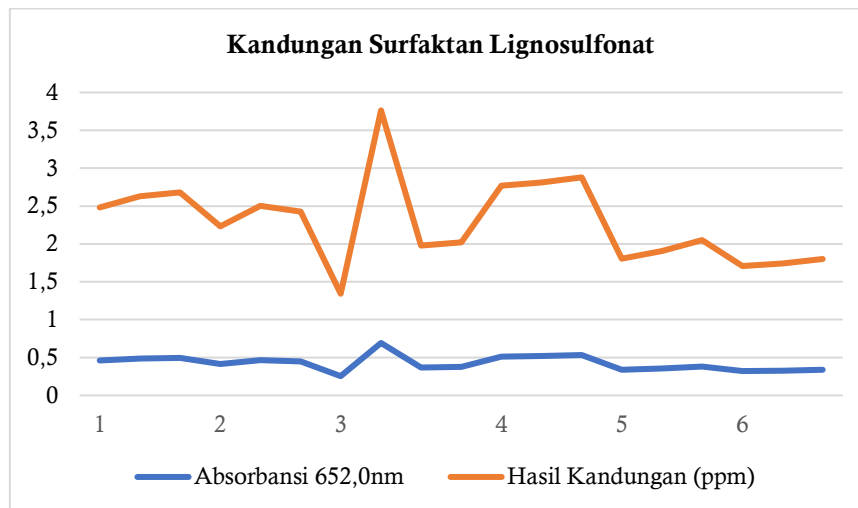
NaOH	30' 120 °C				60' 120 °C			
	U 1	U 2	U 3	Total	U 1	U 2	U 3	Total
10%	10,32	10,32	10,30	10,31	9,25	9,22	9,25	9,24
20%	10,25	10,30	10,25	10,27	10,30	10,36	10,35	10,34
30%	10,05	10,7	10,05	10,3	10,10	10,41	10,42	10,31

pH yang dihasilkan bersifat basa dikarenakan menggunakan NaOH sebagai bahan delignifikasi untuk memisahkan lignin dan selulosa. Penggunaan basa seperti NaOH juga menyebabkan solvasi parsial hemiselulosa, dekrystalisasi parsial selulosa, sehingga selulosa membesar, dan NaOH dapat meningkatkan degradasi kayu yang keras dari 14% menjadi 55%, hal ini dikarenakan kadar ligninnya berkurang dari 55% menjadi 20% (Samanta & Agarwal, 2009).

Setelah dilakukan perhitungan Lindi hitam, padatan, dan pH lindi hitam, kemudian dilakukan pengujian surfaktan natrium lignosulfonat dari sulfonasi langsung yang dilakukan.

Surfaktan Natrium Lignosulfonat merupakan surfaktan yang bagian aklilnya terikat pada suatu anion, surfaktan ini memiliki karakter hidrofilik dikarenakan adanya gugus anionic cukup besar, contohnya gugus sulfonate atau sulfat (Riyadi, 2020). Kandungan surfaktan lignosulfonat lebih banyak pada konsentrasi NaOH 10% baik itu pada 30 menit dan 60 menit, dibandingkan dengan konsentrasi lain. Hal ini dikarenakan semakin banyak kandungan NaOH semakin sulit untuk diubah atau sulfonasi menjadi surfaktan lignosulfonat oleh bahan sulfonasi yaitu natrium bisulfit. Natrium Bisulfit (NaHSO_3) adalah bahan sulfonasi untuk meningkatkan sifat hidrofilitas surfaktan dan efisiensi bahan pensulfonasi (Riyadi, 2020).

Berikut gambar pada Gambar 2, terlihat bahwa kandungan surfaktan yang stabil pada konsentrasi NaOH 10 %.



Gambar 2. Hasil Surfaktan Natrium Lignosulfonat

Semakin banyak kandungan surfaktan lignosulfonat, maka semakin berpotensi menjadi penghasil surfaktan lignosulfonat. Berdasarkan penelitian sebelumnya Putri (2010) menghasilkan surfaktan natrium lignosulfonat dengan menggunakan suhu 90°C dengan absorbansi 0,556 pada waktu lama pemanasan 75 menit. Pada penelitian Xu *et al.*, (2015) dengan menggunakan kulit jagung sebagai sodium lignosulfonat memiliki kondisi optimum suhu 95°C selama 3 jam, dan pada proses pembuatan sodium lignosulfonat dari ampas tebu memiliki suhu optimum 150°C selama 2 jam (Abdulkhani *et al.*, 2019). Sedangkan pada penelitian yang dilakukan menggunakan suhu yang cukup tinggi 120°C menghasilkan nilai absorbansi yang tinggi dan stabil pada konsentrasi NaOH 10% dan lama waktu pemanasan 60 menit yaitu 0,512 pada ulangan 1; 0,520 ulangan 2; dan 0,532 ulangan 3. Suhu yang semakin meningkat akan membuat partikel reaktan semakin reaktif, dan dapat mempercepat reaksi sehingga menghasilkan serbuk sodium lignosulfonat (SLS) yang lebih banyak (Sirait *et al.*, 2013). Pada penelitian yang dilakukan menghemat waktu sulfonasi dengan hasil yang hampir sama dengan penelitian sebelumnya, sehingga dapat lebih menghemat waktu dan energy. pH surfaktan natrium lignosulfonat yang dihasilkan basa, karena natrium bisulfit yang ditambahkan bereaksi pada lignin dan proses sulfonate yang dihasilkan maksimal membentuk sulfonasi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan Hasil surfaktan dengan pengujian Spektrofotometer UV-Vis adalah kandungan surfaktan yang tinggi dan stabil adalah pada konsentrasi NaOH 10% baik dalam waktu 30 menit yaitu 2,480; 2,360; 2,679 dan 60 menit yaitu 2,768; 2,812; 2,878.

Saran

Penelitian akan dilanjutkan dengan pengujian surfaktan yang sudah dijadikan produk.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Lampung yang telah memberikan kontribusi yang berharga dalam bantuan dana penelitian melalui DIPA, serta kami ingin menyampaikan apresiasi kepada semua pihak yang telah berperan aktif dalam menyelesaikan penelitian ini.

REFERENSI

- Abdulkhani, A., Amiri, E., Sharifzadeh, A., Hedjazi, S., & Alizadeh, P. 2019. Concurrent production of sodium lignosulfonate and ethanol from bagasse spent liquor. *Journal of Environmental Management*, 231, 819–824. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.032>
- Aji, A. W. 2020. Analisis Surfaktan Anionik Dengan Metode Spektrofotometri Menggunakan Metilen Biru Pada Sampel Limbah Inlet Dan Outlet Di Laboratorium Kesehatan Daerah Dki Jakarta. (Skripsi) Universitas Islam Indonesia.
- Ardinal, A., & Rif'at, M. 2017. Sintesis Asam Etoksi Lignosulfonat sebagai Surfaktan dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Litbang Industri*, 7(2), 81. <https://doi.org/10.24960/jli.v7i2.3369.81-91>
- Ditjen Perkebunan. 2017. Prospek Perkebunan dan Industri Minyak Kelapa Sawit di Indonesia. PT. Bisinfocus Kelapa Sawit.
- Haryanti, A., Norsamsi, N., Fanny Sholiha, P. S., & Putri, N. P. 2014. Studi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit. *Konversi*, 3(2), 20. <https://doi.org/10.20527/k.v3i2.161>
- Ismiyati, Suryani, A., Mangunwidjaya, D., Machfud, & Hambali, E. 2009. Pembuatan Natrium Lignosulfonat Berbahan Dasar Lignin Isolat Tandan Kosong Kelapa Sawit : Identifikasi, Dan Uji Kinerjanya Sebagai Bahan Pendispersi. *J. Tek. Ind. Pert.*, 19(1), 25–29.
- Jhon Peri Rinaldo Sirait, Nico Sihombing, & Zuhriana Masyithah. 2013. Pengaruh Suhu Dan Kecepatan Pengadukan Pada Proses Pembuatan Surfaktan Natrium Lignosulfonat Dari Tempurung Kelapa. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 2(1), 21–25. <https://doi.org/10.32734/jtk.v2i1.1422>
- Pradana, M. A., Ardhyananta, H., & Farid, M. 2017. Pemisahan Selulosa dari Lignin Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Proses Alkalisasi untuk Penguat Bahan Komposit Penyerap Suara. *Jurnal Teknik ITS*. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.24559>
- Putri. 2010. Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Lama Perendaman TKKS (*Elaeis guinensis* Jacq) Terhadap Kadar Hemiselulosa, Selulosa dan Lignin Untuk Produksi Biobutanol. Universitas Lampung.
- Rachim, P. 2012. Pembuatan Surfaktan Natrium Lignosulfonat Dari Tandan Kosong kelapa Sawit Dengan Sulfonasi Langsung. *Jurnal Teknik Kimia*, 18(1), 41–46.
- Riyadi, R. 2020. Pembuatan Surfaktan Sodium Lignosulfonate Dari Alang-Alang (*Imperata Cylindrica*) Menggunakan NaHSO₃. (Skripsi) Universitas Sumatera Utara.
- Samanta, A. K., & Agarwal, P. 2009. Application of natural dyes on textiles. In *Indian Journal of Fibre and Textile Research* (Vol. 34, Issue 4, pp. 384–399).
- Wang, F., Yang, X., & Zou, Y. 2015. The Esterification of Sodium Lignosulfonate with Maleic Anhydride in Water Solution. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 20(1), 69–81. <https://doi.org/10.1080/1023666X.2014.961117>
- Wibi Sana, A., & Kailani, Z. 2017. Aplikasi Surfaktan Minyak Sawit Untuk Proses Pemasakan-Pengelantangan Dan Pencelupan Tekstil. *Arena Tekstil*, 32(1). <https://doi.org/10.31266/at.v32i1.2708>
- Xu, H., Yu, G., Mu, X., Zhang, C., DeRoussel, P., Liu, C., Li, B., & Wang, H. (2015). Effect and

characterization of sodium lignosulfonate on alkali pretreatment for enhancing enzymatic saccharification of corn stover. *Industrial Crops and Products*, 76, 638–646. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.057>

Yoricya, Shinta Aisyah Putri Dalimunthe, Renita Manurung, & Nimpan Bangun. 2016. Hidrolisis Hasil Delignifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit Dalam Sistem Cairan Ionik Choline Chloride. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 5(1), 27–33. <https://doi.org/10.32734/jtk.v5i1.1521>