

Panas *Pretreatment* Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Sodium Hidroksida dan Asam Fosfat

Jabosar Ronggur Hamonangan Panjaitan *

Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Sumatera, Lampung 35365, Indonesia

*E-mail: jabosar.panjaitan@tse.itera.ac.id

ABSTRAK

Indonesia sebagai negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia memiliki limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang melimpah. TKKS ini dapat dikonversi menjadi berbagai bioproduct yang didahului dengan proses *pretreatment*. Pada penelitian ini akan diteliti perhitungan panas *pretreatment* TKKS dengan sodium hidroksida dan asam fosfat pada kondisi suhu rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panas *pretreatment* dengan menggunakan sodium hidroksida lebih tinggi dibandingkan dengan panas *pretreatment* dengan asam fosfat. Selain itu, berdasarkan variasi konsentrasi asam fosfat yang digunakan, semakin tinggi konsentrasi asam fosfat membuat panas *pretreatment* dengan menggunakan larutan asam fosfat semakin rendah. Perbedaan nilai panas pada *pretreatment* dengan menggunakan sodium hidroksida dan asam fosfat dipengaruhi oleh panas pembentukan dari masing-masing senyawa yang digunakan proses *pretreatment*. Panas *pretreatment* TKKS dengan 5% larutan sodium hidroksida menghasilkan panas sebesar 125 kJ. Sedangkan, panas *pretreatment* dengan menggunakan asam fosfat pada berbagai konsentrasi 70%, 75%, 80% dan 85% adalah 117 kJ, 103 kJ, 88 kJ dan 74 kJ.

Kata kunci: Asam, basa, panas, *pretreatment*, TKKS.

ABSTRACT

Indonesia as the largest palm oil producing country in the world has abundant oil palm empty fruit bunches (OPEFBs). OPEFBs can be converted into various bioproducts which are preceded by pretreatment process. This research investigated the heat calculation of OPEFBs pretreatment with sodium hydroxide and phosphoric acid at low temperature conditions. The results showed that the heat using sodium hydroxide was higher than the heat using phosphoric acid. In addition, based on variation in phosphoric acid concentrations used, it was found that the higher concentration of phosphoric acid made the heat of phosphoric acid pretreatment became lower. The difference of heat value in sodium hydroxide and phosphoric acid pretreatment was influenced by the heat of formation in each compound used in the pretreatment process. Heat pretreatment of OPEFBs with 5% sodium hydroxide solution was 125 kJ. While, heat pretreatment using phosphoric acid at various concentrations of 70%, 75%, 80% and 85% were 117 kJ, 103 kJ, 88 kJ and 74 kJ.

Keywords: Acid, base, heat, pretreatment, OPEFBs.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia. Sesuai laporan dari USDA pada tahun 2020, Indonesia dan Malaysia diketahui berkontribusi dalam menghasilkan minyak kelapa sawit sebesar 43 dan 20 MT [1-3]. Salah satu produk samping yang dihasilkan dalam memproduksi minyak kelapa sawit adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Pada prosesnya, satu metrik ton tandan buah

segar dapat menghasilkan 23% (230 kg) TKKS [4]. Pada umumnya di industri, TKKS diinsinerasi di boiler untuk menghasilkan *steam* [5]. Akan tetapi, TKKS dapat digunakan sebagai bahan baku fermentasi untuk menghasilkan berbagai produk bernilai dikarenakan jumlahnya sangat melimpah dan murah [6]. Salah satu bioproduct yang paling umum yang dapat dikonversi dari TKKS adalah bioetanol [7].

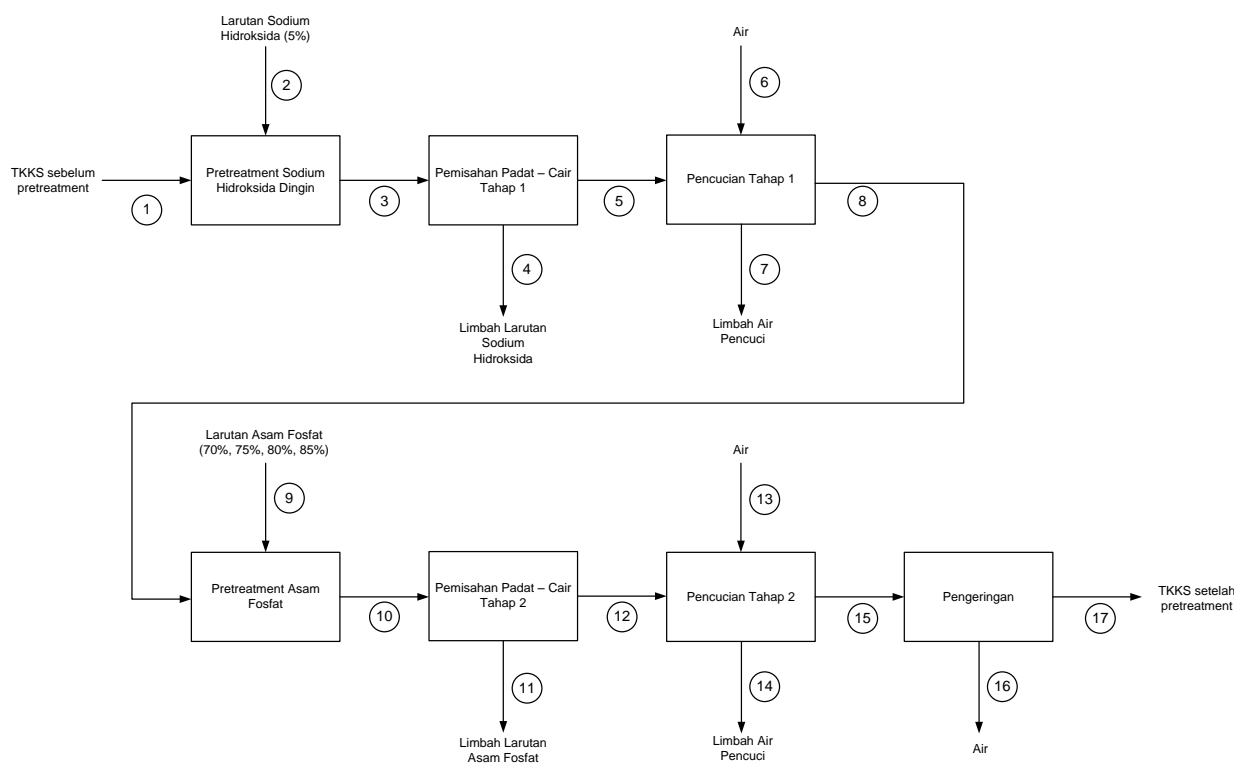
TKKS merupakan biomassa lignoselulosa yang terdiri dari fraksi selulosa, hemiselulosa dan lignin. Proses pemisahan selulosa, hemiselulosa dan lignin dari TKKS menggunakan metode fraksinasi merupakan sebuah potensi untuk menghasilkan polimer yang dapat digunakan pada berbagai aplikasi [8]. Proses *pretreatment* dengan menggunakan bahan kimia dapat dilakukan untuk memisahkan fraksi yang ada pada biomassa lignoselulosa. *Pretreatment* kimia dengan senyawa asam dan basa merupakan metode *pretreatment* yang paling umum digunakan [5]. *Pretreatment* menggunakan senyawa basa umumnya dipakai pada proses delignifikasi biomassa lignoselulosa. Sedangkan, *pretreatment* menggunakan senyawa asam banyak digunakan untuk mendekonstruksi kristalinitas selulosa, pelarutan sebagian fraksi hemiselulosa dan penghilangan lignin [9].

Pretreatment dengan menggunakan basa biasanya dilakukan menggunakan beberapa senyawa basa antara lain ammonium hidroksida, kalsium hidroksida, potassium hidroksida, sodium hidroksida dan sebagainya. Sodium hidroksida merupakan basa yang paling banyak digunakan karena murah dan efektif dalam penggunaannya [10]. Sedangkan, *pretreatment* dengan menggunakan asam biasanya dilakukan menggunakan asam sulfat, asam nitrat, asam asetat, asam fosfat dan sebagainya. Dibandingkan dengan asam lainnya, asam fosfat memiliki banyak keuntungan antara lain bersifat rendah racun dan korosi, menghasilkan produk-produk inhibitor yang minimum dalam proses *pretreatment*, dan dalam penggunaan skala besar, *pretreatment* asam fosfat menghasilkan biaya operasional dan konstruksi yang rendah [11].

Penelitian mengenai *pretreatment* biomassa lignoselulosa dengan basa dan asam yang menggunakan suhu tinggi telah banyak dilakukan. Namun, *pretreatment* biomassa lignoselulosa dengan basa dan asam pada suhu yang cenderung rendah masih sedikit

dilakukan. Syed [12] telah meneliti delignifikasi dingin menggunakan larutan sodium hidroksida pada *spruce sulfite pulp*. Delignifikasi dilakukan pada suhu 3°C hingga 60°C menggunakan larutan sodium hidroksida 5% selama 10 menit reaksi. Dari hasil penelitiannya diperoleh penghilangan fraksi hemiselulosa yang mencapai 97%. Obeng dkk. [13] telah meneliti *pretreatment* kulit durian menggunakan asam fosfat konsentrasi tinggi pada suhu rendah. Penelitian dilakukan menggunakan berbagai variasi larutan asam fosfat yaitu 70% hingga 85% pada suhu 60°C selama 60 menit. Dari hasil penelitiannya dihasilkan penghilangan fraksi hemiselulosa dan lignin yang mencapai 98% dan 14%.

Selulosa, hemiselulosa, dan lignin dalam proses *pretreatment* menggunakan bahan kimia pada suhu tinggi dapat menghasilkan berbagai produk seperti asam levulinat, asam format, furfural, dan sebagainya [14-17]. Produk-produk ini merupakan produk-produk inhibitor fermentasi yang umum dihasilkan dalam proses *pretreatment* menggunakan bahan kimia pada suhu tinggi. Maka, *pretreatment* menggunakan sodium hidroksida dan asam fosfat pada suhu rendah lebih dipilih dibandingkan pada suhu tinggi. Hal ini dikarenakan *pretreatment* pada suhu rendah dapat mencegah terbentuknya senyawa-senyawa inhibitor fermentasi dan menghemat kebutuhan energi yang diperlukan selama proses *pretreatment* berlangsung. Penelitian mengenai perhitungan panas pada proses *pretreatment* biomassa lignoselulosa belum pernah dilakukan. Panas *pretreatment* yang termasuk panas reaksi kimia memiliki pengaruh besar kepada perancangan alat dan kondisi operasi [18]. Oleh sebab itu, pada penelitian ini akan diteliti perhitungan panas *pretreatment* TKKS dengan sodium hidroksida dan asam fosfat pada kondisi suhu rendah.



Gambar 1. Diagram alir *pretreatment* TKKS dengan sodium hidroksida dan asam fosfat.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Diagram Alir *Pretreatment* Tandan Kosong Kelapa Sawit

Diagram alir *pretreatment* TKKS dengan sodium hidroksida dan asam fosfat dapat dilihat pada Gambar 1. Gambar tersebut menyajikan diagram alir *pretreatment* TKKS dengan sodium hidroksida dan asam fosfat. TKKS yang digunakan pada penelitian ini memiliki komposisi sesuai Gozan dkk. [14]. Pada tahap pertama, TKKS dengan basis laju alir yang digunakan pada penelitian ini sebesar 100 gr/jam akan diberi *pretreatment* dengan 5% larutan sodium hidroksida pada suhu 60°C sesuai Syed [12]. Selanjutnya, produk *pretreatment* dengan 5% larutan sodium hidroksida akan masuk ke dalam tahap 1 pemisahan padat-cair. Pada pemisahan padat-cair diasumsikan 90% cairan akan terpisah. Senyawa padat dan cair yang sudah dipisah tersebut kemudian masuk ke dalam pencucian tahap 1 dimana pada tahap ini seluruh sisa sodium hidroksida akan terpisah dari produk padat dan diasumsikan menyisakan 40% air pada

produk padat. Senyawa pencuci yang digunakan pada tahap ini adalah air dengan kapasitas 1000 gr/jam. Produk dari proses pencucian tahap 1 akan masuk ke dalam tahap *pretreatment* asam fosfat dengan berbagai konsentrasi (70%, 75%, 80%, dan 85%) (% V/V) pada suhu 60°C sesuai Obeng dkk. [13]. Variasi konsentrasi asam fosfat merupakan variabel yang divariasikan pada penelitian ini. Setelah dari tahap *pretreatment* asam fosfat, produk akan mengalami proses pemisahan padat-cair tahap 2 dan pencucian tahap 2 yang kondisi operasinya sama dengan pemisahan padat-cair tahap 1 dan pencucian tahap 1. Produk dari pencucian tahap 2 akan masuk ke dalam proses pengeringan yang dimana pada proses ini diasumsikan 100% air akan teruapkan sehingga menyisakan produk padat hasil *pretreatment*.

2.2. Perhitungan Panas *Pretreatment*

Perhitungan panas *pretreatment* TKKS dengan sodium hidroksida dan asam fosfat

dilakukan menggunakan metode panas pembentukan sesuai persamaan [18]:

$$Q = \Delta H = \sum n_{out} \cdot H_{out} - \sum n_{in} \cdot H_{in}$$

Dimana n_{in} dan n_{out} adalah mol senyawa yang masuk dan keluar sistem reaksi. Sedangkan, H_{in} dan H_{out} adalah entalpi senyawa yang masuk dan keluar sistem. Nilai entalpi pada setiap senyawa (H_n) dapat dihitung berdasarkan rumus:

$$H_n = \Delta H_{fn} + \int_{T_1}^{T_2} C_{pn} dT$$

Dimana ΔH_f adalah panas pembentukan dan C_p adalah kapasitas panas. Nilai panas pembentukan selulosa, hemiselulosa, dan lignin dapat dilihat pada Loelovich [19]. Sedangkan, nilai panas pembentukan sodium hidroksida, asam fosfat dan air dapat dilihat pada Felder dkk. [18]. Beberapa data yang dibutuhkan dalam perhitungan panas *pretreatment* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data perhitungan panas *pretreatment*.

Senyawa	Molecular Weight (gr/mol)	Panas Pembentukan (ΔH_f) (kJ/mol)
Selulosa	162	-959
Hemiselulosa	132	-762,9
Lignin	1514	-625,9
Sodium Hidroksida	40	-469,4
Asam Fosfat	98	-1278,6
Air	18	-285,84

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Neraca Massa *Pretreatment* Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Sodium Hidroksida dan Asam Fosfat

Neraca massa *pretreatment* TKKS dengan sodium hidroksida dan asam fosfat dihitung berdasarkan diagram alir sesuai Gambar 1. Perhitungan neraca massa *pretreatment* TKKS dengan sodium hidroksida dan berbagai variasi konsentrasi asam fosfat dapat dilihat pada Tabel 2-5.

Berdasarkan Tabel 2-5 dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi asam fosfat yang digunakan untuk *pretreatment* maka akan semakin tinggi pula selulosa yang diperoleh. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi asam sulfat maka semakin banyak hemiselulosa dan lignin yang dapat dilarutkan [13]. Komposisi TKKS hasil akhir *pretreatment* dengan menggunakan asam fosfat berbagai konsentrasi 70%, 75%, 80% dan 85% dapat dilihat di Tabel 6. Nilai perhitungan panas *Pretreatment* TKKS

dengan sodium hidroksida dan asam fosfat dapat dilihat pada Tabel 7.

Dari perhitungan panas yang diperoleh, nilai panas *pretreatment* TKKS dengan 5% larutan sodium hidroksida menghasilkan panas sebesar 125 kJ. Sedangkan, panas *pretreatment* dengan menggunakan asam fosfat pada berbagai konsentrasi 70%, 75%, 80% dan 85% adalah 117 kJ, 103 kJ, 88 kJ dan 74 kJ. Perbandingan antara panas *pretreatment* sodium hidroksida dan asam fosfat didapat bahwa panas *pretreatment* menggunakan sodium hidroksida lebih besar dibandingkan dengan asam fosfat. Hal ini dapat disebabkan karena panas pembentukan sodium hidroksida yang lebih tinggi dibandingkan dengan panas pembentukan asam fosfat.

Tabel 2. Neraca massa *pretreatment* TKKS dengan 5% larutan sodium hidroksida dan 70% larutan asam fosfat.

Komposisi	Aliran Massa (gr/jam)																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Selulosa	39,3	0	39,3	0	39,3	0	0	39,3	0	39,3	0	39,3	0	0	39,3	0	39,3
Hemiselulosa	29,8	0	29,8	29,2	0,6	0	0	0,6	0	0,6	0,5	0,2	0	0	0,2	0	0,2
Lignin	22,8	0	22,8	0	22,8	0	0	22,8	0	22,8	1,4	21,4	0	0	21,4	0	21,4
Sodium Hidroksida	0	100	100	90	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Asam Fosfat	0	0	0	0	0	0	0	0	3062,2	3062,2	2756	306,2	0	306,2	0	0	0
Air	0	1900	1900	1710	190	1000	714	476	1312,4	1788,4	1609,5	178,8	1000	707,3	471,5	471,5	0

Tabel 3. Neraca massa *pretreatment* TKKS dengan 5% larutan sodium hidroksida dan 75% larutan asam fosfat.

Komposisi	Aliran Massa (gr/jam)																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Selulosa	39,3	0	39,3	0	39,3	0	0	39,3	0	39,3	0	39,3	0	0	39,3	0	39,3
Hemiselulosa	29,8	0	29,8	29,2	0,6	0	0	0,6	0	0,6	0,6	0,1	0	0	0,1	0	0,1
Lignin	22,8	0	22,8	0	22,8	0	0	22,8	0	22,8	2,5	20,3	0	0	20,3	0	20,3
Sodium Hidroksida	0	100	100	90	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Asam Fosfat	0	0	0	0	0	0	0	0	3280,9	3280,9	2952,9	328,1	0	328,1	0	0	0
Air	0	1900	1900	1710	190	1000	714	476	1093,7	1569,7	1412,7	156,9	1000	694,1	462,8	462,8	0

Tabel 4. Neraca massa *pretreatment* TKKS dengan 5% larutan sodium hidroksida dan 80% larutan asam fosfat.

Komposisi	Aliran Massa (gr/jam)																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Selulosa	39,3	0	39,3	0	39,3	0	0	39,3	0	39,3	0	39,3	0	0	39,3	0	39,3
Hemiselulosa	29,8	0	29,8	29,2	0,6	0	0	0,6	0	0,6	0,6	0,01	0	0	0,01	0	0,01
Lignin	22,8	0	22,8	0	22,8	0	0	22,8	0	22,8	2,964	19,8	0	0	19,8	0	19,8
Sodium Hidroksida	0	100	100	90	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Asam Fosfat	0	0	0	0	0	0	0	0	3499,7	3499,7	3149,7	349,9	0	349,9	0	0	0
Air	0	1900	1900	1710	190	1000	714	476	874,9	1350,9	1215,8	135,1	1000	681,1	454	454	0

Tabel 5. Neraca massa *pretreatment* TKKS dengan 5% larutan sodium hidroksida dan 85% larutan asam fosfat.

Komposisi	Aliran Massa (gr/jam)																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Selulosa	39,3	0	39,3	0	39,3	0	0	39,3	0	39,3	0	39,3	0	0	39,3	0	39,3
Hemiselulosa	29,8	0	29,8	29,2	0,6	0	0	0,6	0	0,6	0,6	0	0	0	0	0	0
Lignin	22,8	0	22,8	0	22,8	0	0	22,8	0	22,8	3,2	19,6	0	0	19,6	0	19,6
Sodium Hidroksida	0	100	100	90	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Asam Fosfat	0	0	0	0	0	0	0	0	3718,4	3718,4	3346,6	371,8	0	371,8	0	0	0
Air	0	1900	1900	1710	190	1000	714	476	656,2	1132,2	1018,9	113,2	1000	667,9	445,3	445,3	0

Tabel 6. Komposisi akhir TKKS hasil *pretreatment*.

<i>Pretreatment</i> Asam Fosfat	Komposisi TKKS	Aliran Massa (gr/jam)	Komposisi (%)
70%	Selulosa	39,30	64,53
	Hemiselulosa	0,16	0,26
	Lignin	21,43	35,19
75%	Selulosa	39,30	65,86
	Hemiselulosa	0,07	0,12
	Lignin	20,29	34,00
80%	Selulosa	39,30	66,44
	Hemiselulosa	0,01	0,02
	Lignin	19,83	33,53
85%	Selulosa	39,30	66,71
	Hemiselulosa	0	0
	Lignin	19,60	33,28

Tabel 7. Panas *pretreatment* TKKS dengan sodium hidroksida dan asam fosfat pada suhu 60°C.

	<i>Pretreatment</i> dengan 5% larutan sodium hidroksida	<i>Pretreatment</i> dengan larutan asam fosfat			
		70%	75%	80%	85%
Panas reaksi (kJ)	125	117	103	88	74

Panas *pretreatment* dengan menggunakan variasi konsentrasi larutan asam fosfat menunjukkan kecenderungan yang semakin rendah dengan semakin tingginya konsentrasi asam fosfat. Hal ini dapat disebabkan karena panas pembentukan air lebih tinggi dibandingkan panas pembentukan asam sulfat. Konsentrasi asam sulfat yang digunakan semakin tinggi akan membuat konsentrasi air pada larutan asam sulfat menjadi semakin rendah. Oleh sebab itu, konsentrasi asam sulfat terendah (70%) dengan konsentrasi air (30%) akan menghasilkan panas *pretreatment* yang tinggi yaitu 117 kJ. Sedangkan, konsentrasi asam sulfat tertinggi (85%) dengan konsentrasi air (15%) akan menghasilkan panas *pretreatment* yang rendah yaitu 74 kJ.

4. KESIMPULAN

Perhitungan panas *pretreatment* TKKS dengan sodium hidroksida dan asam fosfat telah dilakukan pada penelitian ini. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa panas *pretreatment* dengan menggunakan sodium hidroksida lebih tinggi dibandingkan dengan

panas *pretreatment* dengan asam fosfat. Selain itu, berdasarkan variasi konsentrasi asam sulfat, semakin tinggi konsentrasi asam fosfat yang digunakan membuat panas *pretreatment* dengan menggunakan larutan asam fosfat semakin rendah. Perbedaan nilai panas pada *pretreatment* dengan menggunakan sodium hidroksida dan asam fosfat dipengaruhi oleh panas pembentukan dari masing-masing senyawa yang digunakan dalam proses *pretreatment*. Panas *pretreatment* TKKS dengan 5% larutan sodium hidroksida menghasilkan panas sebesar 125 kJ. Sedangkan, panas *pretreatment* dengan menggunakan asam fosfat pada berbagai konsentrasi 70%, 75%, 80% dan 85% adalah 117 kJ, 103 kJ, 88 kJ dan 74 kJ. Perhitungan panas *pretreatment* TKKS dengan sodium hidroksida dan asam fosfat pada kondisi suhu dan panas *pretreatment* yang rendah lebih dipilih untuk mengurangi kompleksitas perancangan alat dan kondisi operasi *pretreatment* TKKS pada skala industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] USDA, (2020). Indonesia: Oilseeds and Product Update. URL <https://www.fas.usda.gov/data/indonesia-oilseeds-and-products-update-15>.
- [2] USDA, (2020). Malaysia: Oilseeds and Products Update. URL <https://www.fas.usda.gov/data/malaysia-a-oilseeds-and-products-update-7>.
- [3] USDA, (2020). Oilseeds: World Markets and Trades. URL <https://www.fas.usda.gov/data/oilseeds-world-markets-and-trade>.
- [4] R. Omar, A. Idris, R. Yunus, K. Khalid, M. I. Aida Isma, Characterization of Empty Fruit Bunch for Microwave-Assisted Pyrolysis, *Fuel*, vol. 90, no. 4, hal. 1536–1544, 2011.
- [5] P. L. Tang, W. L. Hong, C. S. Yue, S. Harun, Palm Oil Mill Effluent as the Pretreatment Solvent of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber for Fermentable Sugar Production, *Bioresource Technology*, vol. 314, hal. 123723, 2020.
- [6] R. Masran, E. K. Bahrin, M. F. Ibrahim, L. Y. Phang, S. Abd-Aziz, Simultaneous Pretreatment and Saccharification of Oil Palm Empty Fruit Bunch using Laccase-Cellulase Cocktail, *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, vol. 29, hal. 101824, 2020.
- [7] A. F. P. Harahap, J. R. H. Panjaitan, C. A. Curie, M. Y. A. Ramadhan, P. Srinophakun, M. Gozan, Techno-Economic Evaluation of Hand Sanitiser Production Using Oil Palm Empty Fruit Bunch-Based Bioethanol by Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) Process, *Applied Science*, vol. 10, no. 17, hal. 5987, 2020.
- [8] Z. Rathamat, W. Choorit, Y. Chisti, P. Prasertsan, Two – Step Isolation of Hemicellulose from Oil Palm Empty Fruit Bunch Fibers and Its Use in Production of Xylooligosaccharide Prebiotic, *Industrial Crops and Products*, vol. 160, hal. 113124, 2020.
- [9] N. Sritrakul, S. Nitisinprasert, S. Keawsompong, Evaluation of Dilute Acid Pretreatment for Bioethanol Fermentation from Sugarcane Bagasse Pith, *Agriculture and Natural Resources*, vol. 51, no. 6, hal. 512-519, 2018.
- [10] S. Pant, Ritika, A. Komesu, E. D. Penteado, A. A. R. Diniz, M. A. Rahman, A. Kuila, NaOH Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis of Brassica Juncea using Mixture of Cellulases, *Environmental Technology & Innovation*, vol. 21, hal. 101324, 2020.
- [11] P. Lenihan, A. Orozco, E. O'Neill, M. N. M. Ahmad, W. Rooney, G. M. Walker, Dilute Acid Hydrolysis of Lignocellulosic Biomass, *Chem. Eng. J.*, vol. 156, no. 2, hal. 395-403, 2010.
- [12] H. U. Syed, Cold Caustic Extraction of Spruce Sulfite Dissolving Pulp, M.Sc. thesis, Department of Chemical Engineering, Karlstad University, Karlstad, Swedia, 2012.
- [13] A. K. Obeng, D. Premjet, S. Premjet, Fermentable Sugar Production from the Peels of Two Durian (*Durio zibethinus* Murr.) Cultivars by Phosphoric Acid Pretreatment, *Resources*, vol. 7, no. 4, hal. 60, 2018.
- [14] M. Gozan, J. R. H. Panjaitan, D. Tristantini, R. Alamsyah, Y. J. Yoo, Evaluation of Separate and Simultaneous Kinetic Parameters for

- Levulinic Acid and Furfural Production from Pretreated Palm Oil Empty Fruit Bunches, *International Journal of Chemical Engineering*, vol. 2018, hal. 1920180, 2018.
- [15] J. R. H. Panjaitan, M. Gozan, Formic Acid Production from Palm Oil Empty Fruit Bunches, *International Journal of Applied Engineering Research*, vol 12, no. 14, hal. 4382-4390, 2017.
- [16] J. R. H. Panjaitan, S. Monica, M. Gozan, Production of Furfural from Palm Oil Empty Fruit Bunches: Kinetic Model Comparison, in: International Conference on Biomass: Technology, Application, and Sustainable Development, Bogor, Indonesia, Oktober 2016.
- [17] J. R. H. Panjaitan, G. B. Persada, D. Supriyadi, Kinetic Parameters Evaluation of Furfural Degradation Reaction Using Numerical and Integral Method, *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, vol. 3, no. 2, hal. 71-76, 2019.
- [18] R. M. Felder, R. W. Rousseau, L. G. Bullard, Elementary Principles of Chemical Processes, 4th Edition, New Jersey: John Wiley & Sons, 2016.
- [19] M. Loelovich, Thermodynamics of Biomass-Based Solid Fuels, *Academic Journal of Polymer Science*, vol. 2, no. 1, hal. 3-9, 2018.