

Analisis Pengaruh Perlakuan Microwave Plasma dalam Cairan Terhadap Kadar Glukosa dan Produk Nano Material Pada Ampas Tebu

Muh. Firdan Nurdin^{1*}, Andi Erwin Eka Putra², Novriany Amaliyah², Mukhtar Rahman², Andi Mangkau²

¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Borneo Tarakan, Tarakan 77115, Indonesia

²Jurusan Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin, Makassar 90245, Indonesia

*firdan@borneo.ac.id

Abstract: *Sugarcane (Saccharum officinarum L.) is a raw material that is processed to produce crystal sugar and bioethanol. The process produces sugarcane bagasse. In this study, The liquid-plasma treatment based on microwave plasma in the liquid was used to treat sugarcane bagasse to observe the effect on glucose concentration and gain byproducts. The energy input parameters were varied by 340, 360, and 400 W with irradiation time variations of 1, 3, and 5 minutes. Nelson Somogyi's method was used to determine the percentage of glucose as well as Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), Scanning Electron Microscope (SEM), and Image-J software to characterize the side-product of the samples. The results showed that the glucose concentration reduced around 27.6% - 99.2 % after microwave plasma in-liquid treatment at the energy input of 340 Watt and 360 Watt, respectively, with an irradiation time of 5 minutes. The side-product is cellulose nanoparticles which have an average diameter of 92, 106, and 169 nm*

Keywords: *Glucose Level; Microwave Plasma; Nano-Material; Plasma in-Liquid; Sugarcane Bagasse*

Abstrak: *Tebu (Saccharum officinarum L.) merupakan bahan baku yang diolah untuk menghasilkan gula kristal dan bioetanol. Proses tersebut menghasilkan ampas tebu. Dalam penelitian ini, Perlakuan microwave plasma dalam cairan digunakan untuk mengolah ampas tebu dan kemudian mengamati pengaruhnya terhadap konsentrasi glukosa dan produk samping yang diperoleh. Parameter input energi divariasikan sebesar 340, 360, dan 400 W dengan variasi waktu iradiasi 1, 3, dan 5 menit. Metode Nelson Somogyi digunakan untuk menentukan persentase glukosa serta Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), Scanning Electron Microscope (SEM), dan perangkat lunak Image-J untuk mengkarakterisasi sampel produk samping. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi glukosa berkurang sekitar 27,6% - 99,2% setelah perlakuan microwave plasma dalam cairan pada input energi masing-masing 340 Watt dan 360 Watt dengan waktu iradiasi sekitar 5 menit. Produk samping berupa nanopartikel selulosa yang memiliki diameter rata-rata 92, 106, dan 169 nm.*

Kata kunci : Ampas Tebu, Kadar Glukosa; Material Nano; Microwave Plasma; Plasma dalam Cairan

I. PENDAHULUAN

Biofuel merupakan bahan bakar yang dihasilkan dari biomassa tanaman yang salah satu produknya adalah bioetanol. Bioetanol dapat dihasilkan dari tanaman gula (seperti tebu dan jagung), dan tanaman yang mengandung pati [1]. Namun, ada masalah dalam mempertimbangkan masalah kebutuhan pangan dan energi. Oleh karena itu, limbah dari pengolahan tanaman pangan tersebut dimanfaatkan dan diolah untuk menghasilkan bioetanol. Salah satu limbah yang digunakan adalah ampas tebu (*sugarcane bagasse*) [2].

Ampas tebu mengandung selulosa sekitar 39,5% - 45,7%, hemiselulosa sekitar 25,6% - 29,6%, dan lignin sekitar 2,3% - 10,5% [3]. Selulosa terdiri dari molekul glukosa terkait ekuatif yang terkait melalui ikatan hidrogen yang kuat [4]. Molekul glukosa merupakan bahan dasar untuk proses fermentasi dalam pembuatan bioetanol. Molekul glukosa dapat diproduksi dengan cara memutuskan ikatan selulosa melalui proses pre-treatment [5]. Proses tersebut banyak dilakukan oleh proses fisikokimia seperti hidrolisis asam atau basa, kimia ultrasonik, dan kimia gelombang mikro [5], [6]. Proses pretreatment kimia gelombang mikro menggunakan bahan kimia seperti H₂SO₄ dan NaOH

yang diintegrasikan dengan gelombang mikro menghasilkan glukosa masing-masing sekitar 64% dan 86% [7].

Saat ini, metode plasma dapat dikembangkan untuk memecah ikatan selulosa menjadi glukosa. Hal ini dikarenakan plasma memiliki suhu yang sangat tinggi sekitar 103 – 104 K sehingga dapat menghasilkan spesies reaktif seperti elektron, ion, spesies radikal, yang dapat digunakan untuk proses reaksi kimia [8]. Reaksi kimia tersebut diharapkan mampu memutuskan ikatan kimia selulosa dari ampas tebu secara efektif dan efisien. Metode plasma yang telah dikembangkan untuk degradasi selulosa adalah metode plasma dalam cairan. Prasertung dkk. Telah dilaporkan degradasi selulosa menggunakan metode plasma dalam pelarut cair H_2SO_4 mampu menghasilkan glukosa sekitar 25 - 42% [9]. Sehingga diharapkan dengan metode plasma in liquid konsentrasi glukosa dari ampas tebu dapat ditingkatkan untuk proses produksi bioetanol.

Pada penelitian ini, metode plasma microwave dalam cairan digunakan dalam proses pengolahan ampas tebu untuk melihat pengaruhnya terhadap konsentrasi glukosa yang dihasilkan. Dalam proses pengolahan ini, media air digunakan untuk mengekspos serat ampas tebu di dalam reaktor. Perlakuan metode microwave plasma dalam cairan belum pernah dilakukan pada pengolahan ampas tebu untuk melihat pengaruhnya terhadap konsentrasi glukosa. Konsentrasi glukosa sebelum dan sesudah perlakuan diselidiki menggunakan metode Nelson-Somogyi. Gugus fungsi dan morfologi permukaan dikarakterisasi masing-masing menggunakan FTIR dan SEM.

II. METODE PENELITIAN

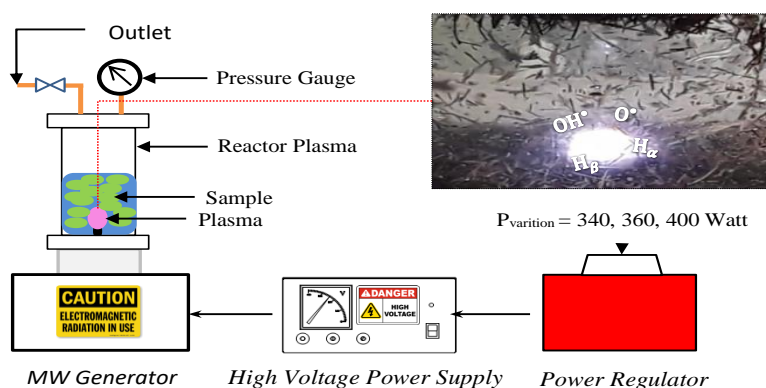
A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari – November 2020 di Laboratorium Konversi Energi Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan.

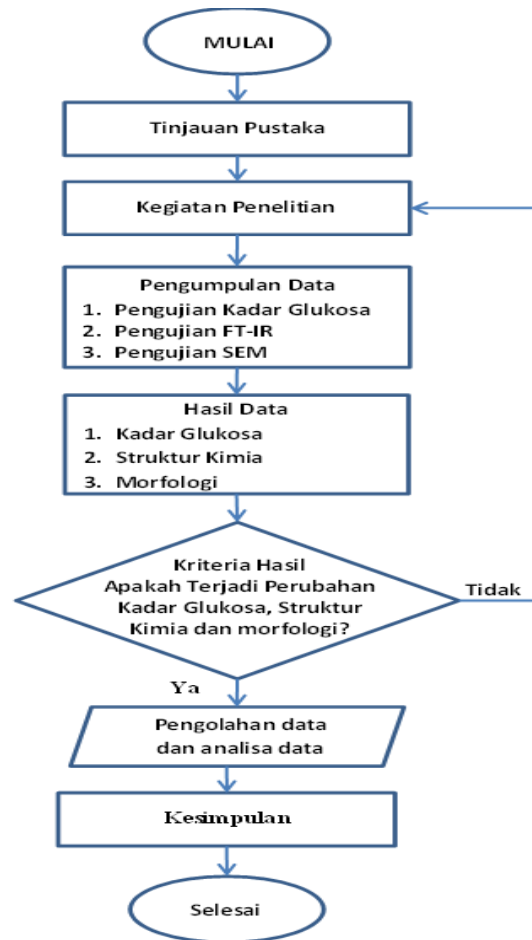
B. Metode Penelitian

Bahan ampas tebu yang dijadikan sebagai sampel diperoleh dari Pabrik Gula Takalar. Setelah itu, ampas tebu dibersihkan terlebih dahulu dengan air dan dikeringkan dibawah sinar matahari selama 3 hari. Ampas tebu sebanyak 0.2 % w/w (berat ampas tebu/berat larutan NaOH) dihidrolisis asam menggunakan larutan NaOH 3 % selama 2 jam dengan suhu 70 °C. Hidrolisis asam bertujuan untuk meningkatkan kadar glukosa. Sampel yang telah dihidrolisis asam digunakan sebagai pembanding terhadap metode plasma dalam cairan.

Sampel yang telah dihidrolisis asam sebanyak 10% w/w (berat ampas tebu/berat aquades) ditreatment menggunakan microwave plasma dalam cairan dengan variasi input energi (340, 360 dan 400 W) dan waktu iradiasi (1, 2,5 dan 5 menit). Kemudian dilakukan pengukuran kadar glukosa pada 1 gr sampel sebelum dan sesudah treatment dengan metode Nelson-Somogyi. Karakterisasi sampel dan produk samping yang dihasilkan dengan menggunakan FTIR dan SEM. Skema Microwave Plasma dalam Cairan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema penelitian microwave plasma dalam cairan



Gambar 2. Diagram Alur Metode Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, penetapan kandungan glukosa dilakukan dengan metode Nelson Somogyi. Analisa yang dilakukan pada metode ini adalah Analisa kualitatif dan kuantitatif. Analisa kualitatif yaitu pada penentuan karbohidrat dengan menggunakan reagen nelson karena terbentuknya endapan merah bata jika mengandung glukosa, sedangkan analisa kuantitatif yaitu pada pengukuran serapan menggunakan spektrofotometer untuk menentukan konsentrasi gula pereduksi. Reagen Nelson merupakan reagen yang akan mengalami reduksi oleh glukosa, reagen ini berperan sebagai oksidator. Reagen Nelson yang digunakan merupakan gabungan dari reagen Nelson A dan reagen Nelson B dengan perbandingan volume 25 : 1 (mL). Warna dari reagen Nelson ini adalah biru. Kemudian glukosa akan mereduksi senyawa pengoksidasi yakni $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ menjadi endapan Cu_2O dengan melalui proses pemanasan. Setelah endapan tersebut dihasilkan, kemudian ditambahkan reagen arsenomolibdat yang bertujuan agar bisa bereaksi dengan endapan Cu_2O . Endapan Cu_2O mereduksi kembali arsenomolibdat menjadi molibdene blue yang berwarna biru.

Kemudian dilakukan penambahan arsenmolibdat untuk memperjelas intensitas warna biru dari larutan, agar dapat diukur absorbansinya menggunakan alat spektrofotometer (jika warna biru larutan kurang pekat). Proses absorbansi tersebut, dilakukan dengan panjang gelombang 540 nm, ini

merupakan panjang gelombang maksimum dari glukosa. Setelah mendapatkan nilai absorbansi sampel, nilai tersebut digunakan ke persamaan hasil ukur glukosa murni untuk mengetahui kadar kandungan glukosa dalam sampel (pers. 1 dan 2).

$$y=29,01x+0,069 \quad (1)$$

$$x=(y-0,069)/29,01 \quad (2)$$

Dimana : y = nilai absorbansi, x = kadar glukosa (mg/mL)

Sebagai contoh perhitungan, yakni menghitung kadar glukosa pada bahan baku ampas tebu tanpa perlakuan dengan nilai y = 0,150, sebagai berikut:

$$y=29,01x+0,069$$

$$x=(0,150-0,069)/29,01$$

$$x=0,0028$$

Maka kadar glukosa sampel sebesar 0.0028 mg/mL. Kadar glukosa dikonversi ke dalam persentase terhadap massa jenis sampel (10 mg/mL) dalam pengujian metode Nelson Somogyi.

$$\% \text{Glukosa} = (\text{Kadar Glukosa Sampel}) / (\text{Massa Jenis Sampel}) \times 100\% \quad (3)$$

$$\% \text{Glukosa} = 0,0028 / 10 \times 100\%$$

$$\% \text{Glukosa} = 0,028 \%$$

Hasil perhitungan persentase glukosa tersebut kemudian digunakan untuk menghitung total glukosa (%) pada sampel (pers. 3).

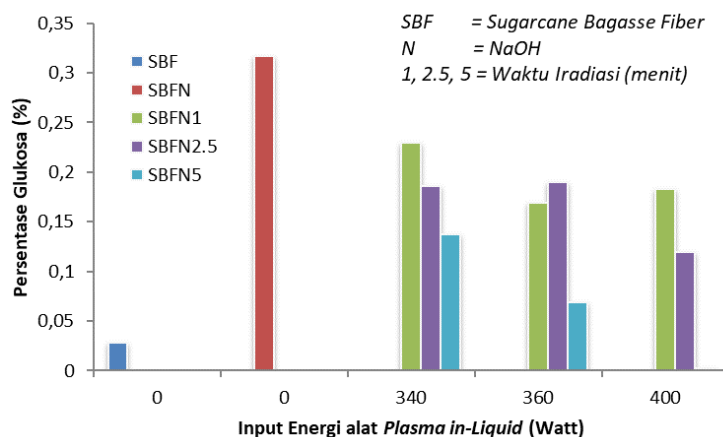
$$\% \text{ Total Glukosa} = \% \text{Glukosa} \times \text{Total Massa Sampel}(\text{gr}) \quad (4)$$

$$\% \text{ Total Glukosa} = 0,028 \% \times 3 \text{ gr}$$

$$\% \text{ Total Glukosa} = 0,084 \text{ gr}$$

Hasil perhitungan kemudian disajikan dalam gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan persentase glukosa sebelum dan sesudah treatment. Jika dibandingkan dengan persentase glukosa pada ampas tebu sebelum perlakuan, persentase glukosa setelah perlakuan mengalami penurunan.



Gambar 3. Persentase glukosa dalam ampas tebu pada variasi input energi

Dapat dilihat pada gambar 3, persentase glukosa ampas tebu sebelum treatment sekitar 0,028% dan setelah treatment NaOH sekitar 0,317%. Dari seluruh sampel yang telah diplasma, sampel SBF1 dengan energi input 340 Watt mengalami penurunan glukosa terendah sekitar 27,62% dari SBF NaOH. Sementara sampel SBF5 dengan energi input 400 Watt mengalami penurunan persentase glukosa tertinggi sekitar 99,18% dari SBF NaOH.

Plasma memiliki suhu elektron yang sangat tinggi sekitar $10^3 \sim 10^4$ K sehingga mampu menghasilkan spesies aktif [10], [11]. Spesies aktif yang dihasilkan teknologi plasma in-liquid atau Solution Plasma Process (SPP) yakni OH^{\cdot} [12]–[14]. S.Nomura, dkk telah melaporkan bahwa intensitas spesies aktif tertinggi yang dihasilkan selama proses plasma in-Liquid adalah H_α dan OH^{\cdot}

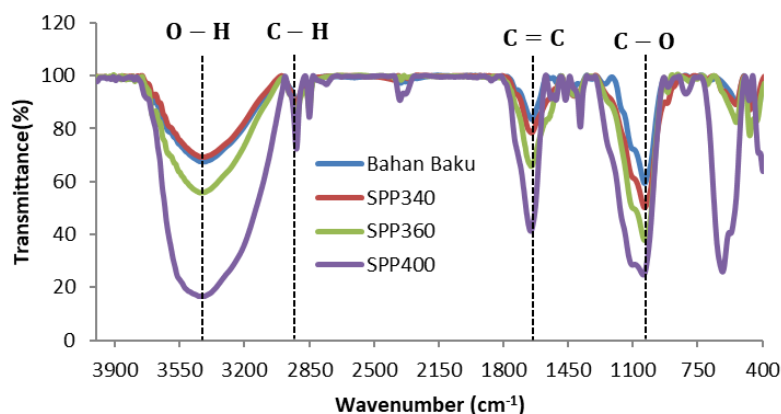
[14]. Baroch, dkk telah juga menjelaskan bahwa produksi hidroksil radikal dapat terjadi dalam proses plasma in-liquid melalui reaksi oksigen radikal dengan air dalam sistem [9]. Mekanisme pembentukan radikal hidroksil aktif dapat dilihat pada persamaan (5) – (8) [12].



Penurunan kadar glukosa pada proses microwave plasma dalam cairan, dapat diakibatkan oleh reaksi spesies aktif yang dihasilkan oleh plasma. Spesies aktif radikal hidroksil (OH^\bullet) secara efektif dapat mengabtraksi ikatan hidrogen [15], [16]. Oleh karena itu, Radikal hidroksil OH^\bullet dapat mengabtraksi ikatan O-H dan C-O dalam glukosa melalui proses transfer hidrogen dari OH^\bullet ke atom oksigen glukosa [64]. Y. Xiong dkk menjelaskan bahwa suhu reaksi yang tinggi menyebabkan degradasi glukosa menjadi produk sampingan lainnya [17], [18]. Fadhli Syahrial dkk. telah melaporkan bahwa gas hidrogen diproduksi dari proses dekomposisi glukosa sekitar 0,2 – 0,45 mL/s dengan menggunakan teknologi *plasma in-liquid* [19].

Terdapat produk samping dari proses perlakuan microwave plasma dalam cairan pada sampel. Produk samping tersebut kemudian dikarakterisasi menggunakan FT-IR dan SEM. Produk samping tersebut berupa zat padat yang dihasilkan dari proses pengeringan sisa air destilasi dalam proses perlakuan Microwave Plasma dalam Cairan. Kemudian zat padat tersebut dikarakterisasi menggunakan FT-IR SHIMADZU untuk mengidentifikasi kelompok fungsional suatu senyawa yang terdapat di dalamnya. Hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan hasil pengujian FT-IR bahan baku ampas tebu sebelum perlakuan Bahan Baku (Garis Biru) terhadap produk samping (Solid Produk Plasma/SPP) setelah perlakuan dengan variasi input energi 340, 360, dan 400 Watt (SPP340, SPP360, SPP400).



Gambar 4. FT-IR Solid Produk Plasma (SPP)

Pada SPP340 (Garis Merah), SPP360 (Garis Hijau), dan SPP400 (Garis Ungu) memiliki peaks 3437,15, 3437,15, dan 3444,87 cm^{-1} yang mana masing-masing diidentifikasi sebagai kelompok fungsional O-H stretching. Dalam selulosa, vibrasi ikatan hidrogen intramolekul muncul sekitar 3432 cm^{-1} sampai 3400 cm^{-1} [20], [21]. Kemudian SPP340, SPP360, dan SPP400 memiliki peaks 2920,23 cm^{-1} dan 2850,79 cm^{-1} , yang diidentifikasi sebagai gugus fungsi metil dan metilen asimetris dan simetris. Peaks di sekitar 2920 dan 2850 cm^{-1} , terkait dengan kelompok metil dan metilen asimetris dan simetris yang terdapat dalam spektrum dari semua komponen serat, terutama dalam spektrum selulosa [21]. Bahan Baku memiliki peaks 1730,15 yang diindikasikan merupakan daerah gugus C=C dari vibrasi lignin dan hemiselulosa, namun SPP340, SPP360 dan SPP400 tidak ditemukan peaks pada

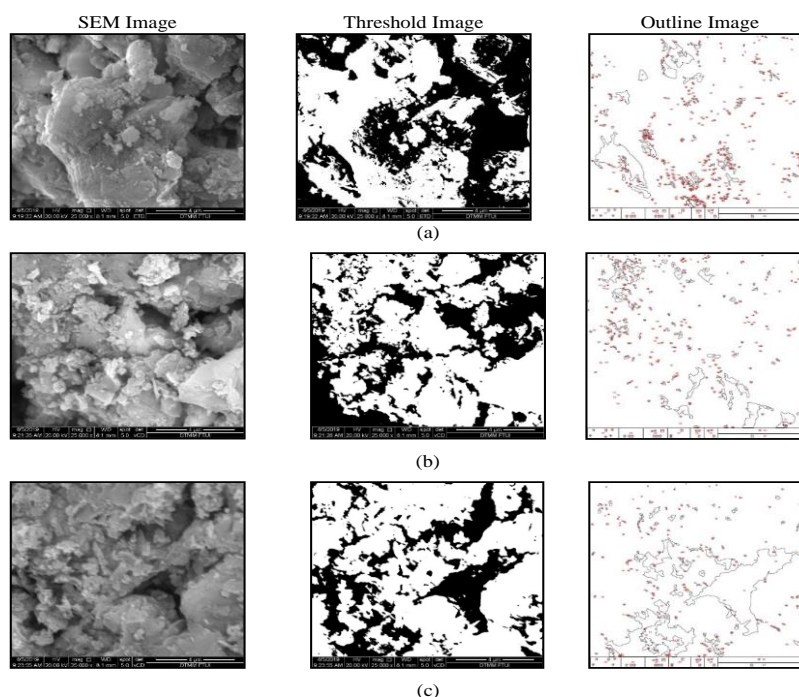
daerah tersebut [22], [23]. SPP340, SPP360, dan SPP400 memiliki peaks, 1647,21, 1643,45, dan 1653,00 cm^{-1} merupakan gugus fungsi C=C (Alkena) yang diidentifikasi sebagai deformasi atau stretching vibrations dari kelompok selulosa O-H selulosa, masing-masing [24]. Di daerah fingerprint, peaks pada bahan baku, SPP 360, SPP 400 yakni 1512,19, 1558,48 dan 1541,12 cm^{-1} merupakan indikasi dari C=C, C-O stretching or bending vibrations dari berbagai kelompok yang terdapat dalam lignin [25]. SPP360, dan SPP400 memiliki peaks 873,75, dan 812,03 cm^{-1} yang diindikasikan ke daerah amorf dalam selulosa [26]. Peaks FT-IR bahan lignoselulosa dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Peaks FT-IR bahan lignoselulosa [23].

Wavenumbers (cm^{-1})	Kelompok Kimia dan Bentuk Vibrasi
3300	ν (O – H) kelompok hidroksil (selulosa)
2880	ν (C – H) kelompok metil dan metilen (selulosa)
1725	ν (C = O) lignin dan hemiselulosa
1610 – 1595	ν (C = C) daerah aromatik (lignin)
1470	δ_a (CH ₃) lignin
1360	δ (O – H) Selulosa
1230	ν (C – O – C) ikatan penol-eter dalam lignin
1160	ν (C = O) kelompok alifatik
1030	C – O bentuk alkohol dan alifatik-eter

ν : stretching, δ : bending, a : asymmetric mode

Setelah melalui proses pengujian FT-IR, dilanjutkan dengan pengujian SEM untuk menentukan morfologi produk samping dan menggunakan perangkat lunak Image-J untuk mendapatkan diameter rata-rata partikel. Keakuratan analisis partikel menggunakan Image-J cukup baik dengan tingkat akurasi rata-rata 88% dalam sampel. Ini menunjukkan bahwa analisis partikel menggunakan Image-J cukup akurat untuk diterapkan pada hasil pencitraan SEM [27]. Hasil uji SEM dan aplikasi Image-J ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil SEM Pada Pembesaran 25000x
(a) SPP340, (b) SPP360, dan (c) SPP400

Gambar 5, menunjukkan hasil pengujian SEM untuk produk samping dalam proses microwave plasma dalam cairan pada ampas tebu. Gambar menunjukkan hasil perbesaran 25000x dengan ukuran referensi adalah 4 μm . Setelah menggunakan ImageJ, area rata-rata dan diameter rata-rata dari masing-masing sampel diperoleh. Hasil tersebut dapat dilihat pada table 2.

Tabel 2. Hasil rata – rata ukuran partikel dari sampel pada pembesaran 25000x

No.	Samples	Luas Rata-rata (nm ²)	Diameter Rata-rata (nm)
1	SPP340	26714,46	92,24
2	SPP360	35132,82	105,78
3	SPP400	89546,48	168,87

Pada tabel 2, diameter rata-rata setiap sampel memenuhi kriteria ukuran nano. Diameter rata-rata SPP340, SPP360, dan SPP400 masing-masing adalah 92,24, 105,78, 168,87 nm. Dari hasil SEM dalam sampel pada perbesaran 5000, 10000, dan 25000x, maka diperoleh diameter partikel rata-rata berkisar antara 194,23, 206,50 dan 217,08 nm pada sampel produk samping, masing-masing. Nanopartikel dengan diameter partikel rata-rata berkisar 70 hingga 365 nm diperoleh dari kapas [28].

Komposisi dan ukuran partikel suatu material dipengaruhi oleh kondisi teknologi plasma seperti bentuk elektroda, tegangan, tekanan, material dan suhu eksitasi. Hatori, dkk telah menjelaskan bahwa suhu eksitasi yang dihasilkan oleh microwave plasma sekitar 3000 – 5000 K [29]. Suhu eksitasi tersebut dapat digunakan untuk menghasilkan nanopartikel [30].

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian sebagai berikut :

- Proses Microwave Plasma dalam Cairan menghasilkan penurunan kandungan glukosa pada ampas tebu sebesar 27,62 - 99,18 %. Hal ini disebabkan proses reaksi glukosa dengan hidroksil radikal yang dihasilkan selama proses plasma.
- Karakteristik pada hasil produk menunjukkan interaksi O-H yang berubah setelah perlakuan yang diindikasikan oleh persen transmittance FT-IR. Sementara karakteristik SEM by-product menunjukkan nano material yang tergolong nano partikel dengan ukuran diameter rata-rata berkisar 194,23, 206,50, dan 217,08 nm. Selama proses treatment, gas diproduksi dengan laju aliran gas sekitar 0,27, 0,55 dan 0,62 mL/s terhadap input energi Microwave Plasma dalam Cairan, masing-masing.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Moodley and E. B. Gueguim Kana, "Development of a steam or microwave-assisted sequential salt-alkali pretreatment for lignocellulosic waste: Effect on delignification and enzymatic hydrolysis," *Energy Convers. Manag.*, vol. 148, pp. 801–808, 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2017.06.056.
- [2] M. Nijnik, B. Slee, G. Pajot, Y. Xu, and D. M. The, "Forestry and Climate Change : a Socio-Economic Perspective . 1," no. June 2009, 2017.
- [3] K. Saha, A. Maharana, J. Sikder, S. Chakraborty, S. Curcio, and E. Drioli, "Continuous production of bioethanol from sugarcane bagasse and downstream purification using membrane integrated bioreactor," *Catalysis Today*, Elsevier B.V., 2018.
- [4] L. J. Gibson, "The hierarchical structure and mechanics of plant materials," no. August, pp. 2749–2766, 2012.
- [5] S. M. R. Khatib and T. Watanabe, *Policía Nacional Revolucionaria Objetivos del curso – taller*. Elsevier Inc., 2019.

- [6] G. J. de M. Rocha, V. M. Nascimento, A. R. Gonçalves, V. F. N. Silva, and C. Martín, "Influence of mixed sugarcane bagasse samples evaluated by elemental and physical-chemical composition," *Ind. Crops Prod.*, vol. 64, pp. 52–58, 2015, doi: 10.1016/j.indcrop.2014.11.003.
- [7] C. Alves, J. Simon, J. Duncan, and D. Leonardo, "CO," 2016.
- [8] P. Jamróz, W. Kordylewski, and M. Wnukowski, "Microwave plasma application in decomposition and steam reforming of model tar compounds," *Fuel Process. Technol.*, vol. 169, no. July 2017, pp. 1–14, 2018, doi: 10.1016/j.fuproc.2017.09.009.
- [9] I. Prasertsung, P. Chutinate, A. Watthanaphanit, N. Saito, and S. Damrongsakkul, "Conversion of cellulose into reducing sugar by solution plasma process (SPP)," *Carbohydr. Polym.*, vol. 172, pp. 230–236, 2017, doi: 10.1016/j.carbpol.2017.05.025.
- [10] X. Chen, Y. Cheng, T. Li, and Y. Cheng, "Characteristics and applications of plasma assisted chemical processes and reactors," *Current Opinion in Chemical Engineering*, vol. 17. Elsevier Ltd, pp. 68–77, 2017, doi: 10.1016/j.coche.2017.07.001.
- [11] R. J. Dumont, M. Goniche, A. Ekedahl, B. Saoutic, and J. Artaud, "Multi-megawatt , gigajoule plasma operation in Tore Supra," vol. 075020, doi: 10.1088/0741-3335/56/7/075020.
- [12] S. Horikoshi and N. Serpone, "In-liquid plasma: A novel tool in the fabrication of nanomaterials and in the treatment of wastewaters," *RSC Adv.*, vol. 7, no. 75, pp. 47196–47218, 2017, doi: 10.1039/c7ra09600c.
- [13] P. Baroch, V. Anita, N. Saito, and O. Takai, "Bipolar pulsed electrical discharge for decomposition of organic compounds in water," vol. 66, pp. 294–299, 2008, doi: 10.1016/j.elstat.2008.01.010.
- [14] S. Nomura *et al.*, "Discharge characteristics of microwave and high-frequency in-liquid plasma in water," *Appl. Phys. Express*, vol. 1, no. 4, pp. 0460021–0460023, 2008, doi: 10.1143/APEX.1.046002.
- [15] O. Takai, "Solution plasma processing (SPP)," *Pure Appl. Chem.*, vol. 80, no. 9, pp. 2003–2011, 2008, doi: 10.1351/pac200880092003.
- [16] L. Gao *et al.*, "Hydroxyl radical-aided thermal pretreatment of algal biomass for enhanced biodegradability," *Biotechnol. Biofuels*, vol. 8, no. 1, pp. 1–11, 2015, doi: 10.1186/s13068-015-0372-2.
- [17] Y. Xiong, Z. Zhang, X. Wang, B. Liu, and J. Lin, "Hydrolysis of cellulose in ionic liquids catalyzed by a magnetically-recoverable solid acid catalyst," *Chem. Eng. J.*, vol. 235, pp. 349–355, 2014, doi: 10.1016/j.cej.2013.09.031.
- [18] B. Cinlar, T. Wang, and B. H. Shanks, "Kinetics of monosaccharide conversion in the presence of homogeneous Bronsted acids," *Applied Catal. A, Gen.*, pp. 1–6, 2012, doi: 10.1016/j.apcata.2012.10.013.
- [19] F. SYAHRIAL, S. MUKASA, H. TOYOTA, K. OKAMOTO, and S. NOMURA, "Hydrogen Production from Glucose and Cellulose Using Radio Frequency In-Liquid Plasma and Ultrasonic Irradiation," *J. Japan Inst. Energy*, vol. 93, no. 11, pp. 1207–1212, 2014, doi: 10.3775/jie.93.1207.
- [20] M. Poletto, H. L. Ornaghi Júnior, and A. J. Zattera, "Native cellulose: Structure, characterization and thermal properties," *Materials (Basel)*, vol. 7, no. 9, pp. 6105–6119, 2014, doi: 10.3390/ma7096105.
- [21] M. Poletto, A. J. Zattera, and R. M. C. Santana, "Structural Differences Between Wood Species : Evidence from Chemical Composition , FTIR Spectroscopy , and Thermogravimetric Analysis," 2012, doi: 10.1002/app.
- [22] K. Plermjai, K. Boonyarattanakalin, W. Mekprasart, S. Pavasupree, W. Phoohinkong, and W. Pecharapa, "Extraction and characterization of nanocellulose from sugarcane bagasse by ball-milling-assisted acid hydrolysis," in *AIP Conference Proceedings*, 2018, vol. 2010, doi: 10.1063/1.5053181.
- [23] M. Bigan and B. Mutel, "Cold remote plasma modification of wood: Optimization process

- using experimental design,” *Appl. Surf. Sci.*, vol. 453, pp. 423–435, 2018, doi: 10.1016/j.apsusc.2018.04.252.
- [24] H. Kargarzadeh, I. Ahmad, I. Abdullah, A. Dufresne, S. Y. Zainudin, and R. M. Sheltami, “Effects of hydrolysis conditions on the morphology, crystallinity, and thermal stability of cellulose nanocrystals extracted from kenaf bast fibers,” *Cellulose*, vol. 19, no. 3, pp. 855–866, 2012, doi: 10.1007/s10570-012-9684-6.
- [25] C. M. Popescu, G. Singurel, M. C. Popescu, C. Vasile, D. S. Argyropoulos, and S. Willför, “Vibrational spectroscopy and X-ray diffraction methods to establish the differences between hardwood and softwood,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 77, no. 4, pp. 851–857, 2009, doi: 10.1016/j.carbpol.2009.03.011.
- [26] M. Åkerholm, B. Hinterstoisser, and L. Salmén, “Characterization of the crystalline structure of cellulose using static and dynamic FT-IR spectroscopy,” *Carbohydr. Res.*, vol. 339, no. 3, pp. 569–578, 2004, doi: 10.1016/j.carres.2003.11.012.
- [27] G. Wood, “Energy Basics,” pp. 189–191, 2007.
- [28] S. F. Chin, F. B. Jimmy, and S. C. Pang, “Size controlled fabrication of cellulose nanoparticles for drug delivery applications,” *J. Drug Deliv. Sci. Technol.*, vol. 43, pp. 262–266, 2018, doi: 10.1016/j.jddst.2017.10.021.
- [29] Y. Hattori, S. Mukasa, H. Toyota, T. Inoue, and S. Nomura, “Continuous synthesis of magnesium-hydroxide, zinc-oxide, and silver nanoparticles by microwave plasma in water,” *Mater. Chem. Phys.*, vol. 131, no. 1–2, pp. 425–430, 2011, doi: 10.1016/j.matchemphys.2011.09.068.
- [30] G. Saito, Y. Nakasugi, and T. Akiyama, “Excitation temperature of a solution plasma during nanoparticle synthesis,” *J. Appl. Phys.*, vol. 116, no. 8, 2014, doi: 10.1063/1.4894156.