

PENGARUH PRETREATMENT MICROWAVE TERHADAP DELIGNIFIKASI LIMBAH NANAS SEBAGAI RUJUKAN BAHAN BAKU BIOETHANOL

Safaah Nurfaizin*, Indah Hartati

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim
Jl. Menoreh Tengah X/22, Sampangan, Semarang 50236.

*Email: nurfaizin@unwahas.ac.id

Abstrak

Bioethanol merupakan salah satu sumber energi alternatif yang ramah lingkungan untuk mewujudkan global zero emission. Proses produksi bioethanol juga tergolong sangat sederhana melalui proses fermentasi anaerob dari biomassa yang sangat melimpah. Pemanfaatan bahan baku yang terintegrasi mampu mengatasi permasalahan limbah dan meningkatkan nilai ekonomis dari limbah tersebut. Limbah nanas yang berpotensi sebagai rujukan bahan baku bioethanol memiliki kandungan lignin yang akan menghambat hidrolisis bahan organik menjadi bioethanol. Maka dari itu perlu dilakukan suatu usaha untuk menghilangkan kandungan lignin dalam limbah nanas melalui pretreatment gelombang mikro (microwave). Dalam penelitian ini digunakan beberapa variabel proses yaitu: rasio 1:20 (b/v), waktu kontak 10 menit, dan variabel suhu 70, 80 dan 90°C. Dari hasil analisa dengan menggunakan metode Chesson-Data didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa pengaruh pretreatment microwave cukup signifikan dengan kondisi optimum operasi pada suhu 90°C dengan hasil lignin yang terlarutkan sebanyak 9,05%. Hal tersebut juga berimbas positif terhadap selulosa yang terlarut sebanyak 29,42% jauh lebih banyak dibandingkan tanpa pretreatment. Analisa dilanjutkan dengan menggunakan FTIR (Fourier Transformed Infrared Spectroscopy) yang menunjukkan penurunan wave number yang mengidentifikasi pengaruh pretreatment microwave terhadap struktur lignin yang terdapat pada limbah nanas. Daerah tersebut berada pada panjang gelombang yang cukup tinggi antara (2800 - 3500 cm⁻¹) dan panjang gelombang relative cukup rendah yaitu (800 - 1700 cm⁻¹) yang keduanya merupakan daerah serapan selulosa.

Kata Kunci: Bioethanol, Delignifikasi, Limbah Nanas, Microwave,

PENDAHULUAN

Untuk mencapai *zero emission* dan mengatasi masalah ketergantungan energi fosil, diperkirakan tahun 2030 total produksi energi hijau akan meningkat tiga kali lipat (Zhao et al., 2022). Salah satu energi terbarukan juga ramah lingkungan yang dihasilkan dari teknologi tepat guna serta mudah aplikasinya adalah bioethanol (Roy and Abedin, 2022). Bioethanol merupakan hasil fermentasi dari biomassa yang sangat melimpah (Joseph et al., 2023).

Akhir-akhir ini, bioethanol sangat diminati dunia karena selain *sustainable* juga memiliki nilai oktan tinggi (Betiku et al., 2023). Dikuatkan pemanfaatan limbah sebagai bahan baku dalam produksi bioethanol dapat mengurangi permasalahan sampah dan pencemaran lingkungan (Jayakumar et al., 2023). Penanganan masalah yang terintegrasi juga mampu

meningkatkan nilai ekonomis limbah (Kapoor et al., 2020).

Banyak penelitian telah dilakukan untuk mengkaji biomassa sebagai bahan baku bioethanol diantaranya buah pisang (Sathendra Elumalai et al., 2023), jerami padi (Nazar et al., 2022), limbah kentang (Chauhan et al., 2022) dan limbah pertanian lainnya (Rocha-Meneses et al., 2020) serta limbah industri (Suresh et al., 2020).

Melihat hal tersebut, biomassa yang memiliki potensi besar yaitu limbah nanas. Mengingat bahwa nanas mengandung 20-40% (b/b) limbah dalam bentuk inti dan kulit (Sanguanchaipaiwong and Leksawasdi, 2018). Nanas memiliki kandungan air dan serat yang tinggi seperti, *selulosa 38-48%*, *hemiselulosa 67%*, *lignin 17%*, *alpha selulosa 31%* serta *pentose* (Sarangi et al., 2018).

Kendati demikian, kandungan lignin dalam limbah nanas menjadi penghambat dalam proses

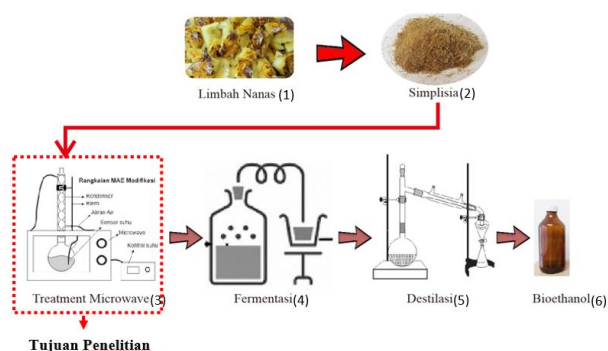
hidrolisis (Nurfaizin and Hartati, 2023). Beberapa upaya dilakukan untuk mengoptimalkan proses hidrolisis bioethanol dari limbah nanas seperti penambahan katalis (Imman et al., 2021), perlakuan biologi (Casabar et al., 2020), getaran ultrasonik (Balaraman et al., 2022) dan perlakuan klasik lainnya.

Dewasa ini pemanfaatan teknologi gelombang mikro/*microwave* terus berkembang pesat dalam berbagai bidang, diantaranya proses degradasi polimer (Li et al., 2023). Teknologi *microwave* mampu mengubah struktur selulosa, menurunkan polimerisasi dan kristalin selulosa, hidrolisis hemi selulosa dan dipolimerisasi lignin (Eskicioglu et al., 2007). Sehingga turunnya konsentrasi lignin dapat meningkatkan yield bioethanol.

Menimbang potensi tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh gelombang mikro untuk dapat meningkatkan produksi bioethanol yang ditinjau dari optimasi delignifikasi limbah nanas yang ditunjukkan dari banyaknya lignin yang terdegradasi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Teknik Kimia Universitas Wahid Hasyim. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi limbah nanas sebagai bahan baku, ragi sebagai starter, HCl dan NaOH untuk mengatur pH melarutkan lignin, sedangkan NPK dan Urea berfungsi untuk mencukupi kebutuhan nutrisi mikroba, kemudian alat yang digunakan selama proses penelitian diantaranya blender, pemanas listrik, gelas beaker, Erlenmeyer, pengaduk, timbangan analitik, pipet, alat destilasi seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Alur penelitian

Fermentasi dilakukan menggunakan botol plastik PE yang telah dimodifikasi dengan pembuangan gas pada kondisi anaerob. Proses

fermentasi dilakukan pada kondisi standar yaitu pada tekanan dan suhu ruang selama 7 hari. Waktu dipilih 7 hari karena sesuai hasil penelitian Wardani, (2018) yang melaporkan bahwa kenaikan hasil fermentasi bioethanol yang cukup signifikan diperoleh pada rentang waktu 6-7 hari meskipun pada perpanjangan waktu fermentasi yang lebih lama masih menghasilkan konversi bioethanol akan tetapi hanya sedikit sekali. Kemudian untuk mendapatkan data optimasi akan digunakan variabel rasio simplisia limbah nanas dan starter.

Destilasi merupakan proses pemisahan zat cair antara bioethanol dan air yang didasarkan pada perbedaan titik didih dari kedua zat. Seperangkat alat destilasi yang digunakan dalam penelitian ini berada di Laboratorium Teknik Kimia yang terdiri dari mantel panas dengan pengatur suhu, kondensor kaca dengan pendingin air dan tempat penampung hasil kondensasi bioethanol. Destilasi dilakukan pada kondisi titik didih bioethanol yaitu pada suhu 78oC, dimana pada kondisi tersebut bioethanol akan berubah fasa dari cair menjadi uap sehingga terpisah dengan air yang memiliki titik didih 100oC. selanjutnya uap bioethanol dikondensasi dalam kondensor berpendingin air untuk merubah kembali fasa uap bioethanol menjadi cair. Proses destilasi minimal dilakukan dua kali untuk mendapatkan hasil bioethanol yang lebih murni (Susilo et al., 2017). Proses destilasi dikatakan selesai apabila sudah tidak terjadi penguapan di dalam sampel hasil fermentasi.

Fermentasi dilakukan menggunakan botol plastik PE yang telah dimodifikasi dengan pembuangan gas pada kondisi anaerob. Proses fermentasi dilakukan pada kondisi standar yaitu pada tekanan dan suhu ruang selama 7 hari. Waktu dipilih 7 hari karena sesuai hasil penelitian Wardani, (2018) yang melaporkan bahwa kenaikan hasil fermentasi bioethanol yang cukup signifikan diperoleh pada rentang waktu 6-7 hari meskipun pada perpanjangan waktu fermentasi yang lebih lama masih menghasilkan konversi bioethanol akan tetapi hanya sedikit sekali. Kemudian untuk mendapatkan data optimasi akan digunakan variabel rasio simplisia limbah nanas dan starter.

Destilasi merupakan proses pemisahan zat cair antara bioethanol dan air yang didasarkan pada perbedaan titik didih dari kedua zat. Seperangkat alat destilasi yang digunakan dalam penelitian ini berada di Laboratorium Teknik Kimia yang terdiri dari mantel panas dengan

pengatur suhu, kondensor kaca dengan pendingin air dan tempat penampung hasil kondensasi bioethanol. Destilasi dilakukan pada kondisi titik didih bioethanol yaitu pada suhu 78°C, dimana pada kondisi tersebut bioethanol akan berubah fasa dari cair menjadi uap sehingga terpisah dengan air yang memiliki titik didih 100°C. selanjutnya uap bioethanol dikondensasi dalam kondensor berpendingin air untuk merubah kembali fasa uap bioethanol menjadi cair. Proses destilasi minimal dilakukan dua kali untuk mendapatkan hasil bioethanol yang lebih murni (Susilo et al., 2017). Proses destilasi dikatakan selesai apabila sudah tidak terjadi penguapan di dalam sampel hasil fermentasi.

Analisa Lignoselulosa dilakukan menggunakan Metode Chesson-Data dengan alur sebagai berikut:

Kulit nenas 1 gram (berat a) ditambah 150mL H₂O di refluks pada suhu 100°C selama 1 jam.

residu dicuci menggunakan air panas sampai netral dan dikeringkan pada suhu 105°C sampai berat konstan.

Residu kedua (b) ditambah 150 mL H₂SO₄ 0,5M direfluks selama 1 jam pada suhu 100°C, hasil residu dicuci hingga netral, dilanjutkan pengeringan sampai berat konstan.

Residu ketiga ditambah 10 mL H₂SO₄ 72% kemudian direndam selama 4 jam pada suhu ruang, selanjutnya ditambahkan 150 mL H₂SO₄ 0,5M dan direfluks pada suhu 100°C selama 2 jam. Residu keempat dicuci hingga netral. Residu pada suhu 105°C sampai konstan (berat d). Residu yang tersisa diabukan dan ditimbang (berat e) dihitung sebagai berikut :

$$\text{Larut dalam air panas (\%)} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \dots(1)$$

$$\text{Hemiselulosa (\%)} = \frac{b-c}{a} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Selulosa (\%)} = \frac{c-d}{a} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Lignin (\%)} = \frac{d-e}{a} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Abu (\%)} = \frac{e}{a} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

Selain itu juga dilakukan analisa untuk mengidentifikasi bahan organik dengan menggunakan alat FTIR (*Fourier Transformed Infrared Spectroscopy*).

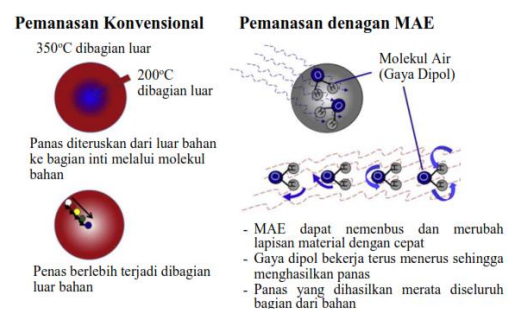
HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah nenas merupakan bahan yang berpotensi sebagai sumber energi karena mengandung selulosa, hemiselulosa dan lignin.

Adanya lignin menjadi penghambat yang merupakan bahan yang susah terdegradasi dan memiliki kestabilan tinggi, sehingga sulit dihidrolisis secara enzimatik ataupun dengan bantuan bakteri. Teknologi *microwave* telah memberikan solusi terhadap permasalahan tersebut.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Xiong et al (2000) menginformasikan bahwa *pretreatment microwave* dapat merubah struktur selulosa, mendegradasi lignin dan hemiselulosa dalam lignoselulosa. Pengaruh dari pancaran gelombang mikro mengakibatkan konduksi atau rotasi dipol dari meningkatnya tumbukan secara langsung antar bahan polar atau pelarut. Pada saat yang berbeda medan elektromagnetik yang beresilasi dengan frekuensi tertentu mempengaruhi molekul polar untuk berusaha mengikuti medan tersebut dan bergabung didalamnya. Akan tetapi adanya gaya intermolekular antar molekul polar menyebabkan molekul polar tidak dapat mengikuti medan. Fenomena tersebut menyebabkan terjadinya gerak acak molekul dan menghasilkan panas. Panas yang dihasilkan dari peningkatan aktivitas antar molekul akan membantu memecah struktur bahan yang kompleks menjadi struktur senyawa penyusunnya yang lebih sederhana (Nurfaizin and Hartati, 2023)

Konsep pemanasan microwave dapat dilihat pada gambar 2 yang menunjukkan perbedaan antara pemanasan dengan memanfaatkan gelombang mikro dan pemanasan konvensional.

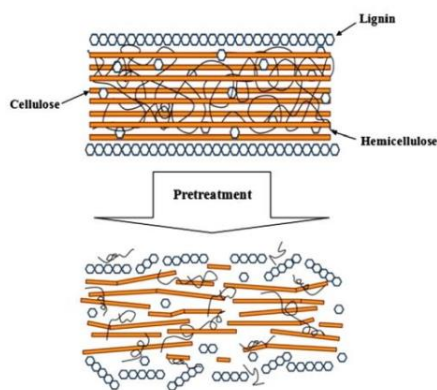


Gambar 2. Perbedaan Pemanasan Konvensional dan Pemanasan menggunakan Microwave

Konsep pemanasan pada gambar 2 menunjukkan bahwa pemanasan secara konvensional hanya meneruskan energi panas dari luar menuju inti bahan melalui konsep radiasi antar molekul bahan sehingga temperatur luar

akan lebih tinggi dibandingkan dengan bagian dalam. Beda halnya dengan pemanasan *microwave* yang secara sengaja meningkatkan pergerakan antar molekul (gaya dipol) sehingga menimbulkan panas yang akibat dari tumbukan molekul polar yang menghasilkan pemanasan yang lebih merata (Tyagi and Lo, 2013).

Secara umum proses degradasi lignin dapat dilihat pada gambar 3 yang menggambarkan proses degradasi dinding sel lignin sehingga selulosa yang terikat diantara jaringan lignin dapat dihidrolisis dengan cepat dan mudah.



Gambar 3. Skema Pretreatment Degradasi Lignoselulosa

Rusaknya jaringan lignin yang terjadi akibat gaya dipol juga akan mengakibatkan *swelling poit* yang mengidentifikasi terjadinya pembesaran pori dari partikel bahan (Haghighi Mood et al., 2013).

Tabel 1. Hasil analisa metode Chesson-Data pada sampel MAE

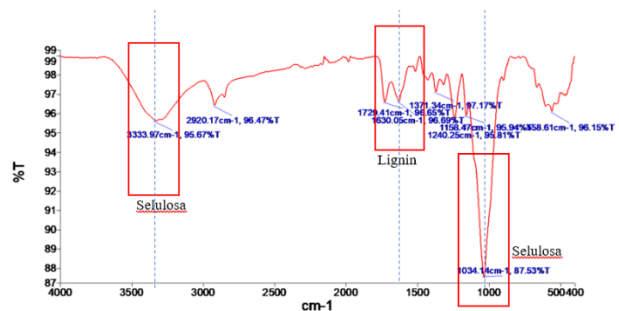
Komposisi	Persentase (%)			
	Kontro l	Suhu 70°C	Suhu 80°C	Suhu 90°C
Hemiselulosa		43.139	48.441	51.988
a	35.1889	1	7	1
Selulosa	17.3956	28.195	28.138	29.423
Lignin	2.6839	7.4248	7.3909	9.0457

Tabel 1 memberikan data bahwa *pretreatment microwave* dapat meningkatkan kelarutan dari berbagai senyawa yang terdapat dalam sampel. Sampel kontrol yang merupakan bahan tanpa perlakuan gelombang mikro menunjukkan hasil kelarutan lignin dalam sampel hanya 2.68% dari berat sampel. Kemudian setelah dilakukan *pretreatment*, terjadi peningkatan kelarutan lignin yang linier dengan kenaikan suhu

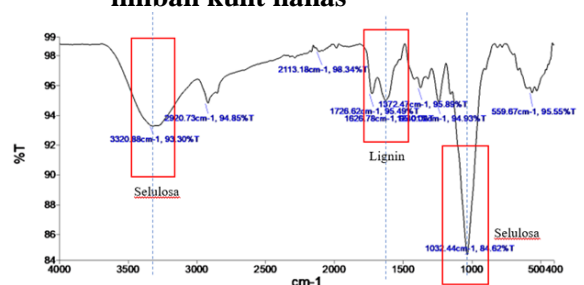
microwave sesuai dengan variable suhu. Persentase kelarutan lignin tertinggi sebesar 9,05% berat diperoleh pada suhu 90°C dari limbah nanas.

Panas yang dihasilkan dari aktivitas elektromagnetik memaksa sebagian besar molekul air untuk bergerak lebih cepat dan meningkatkan tumbukan antar molekul yang lebih kuat. Semakin kuat tumbukan menghasilkan suhu yang semakin tinggi dan juga meningkatkan degradasi ikatan lignin (Dehani et al., 2013). Hal tersebut dapat terjadi mengingat pancaran radiasi gelombang mikro dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses degradasi lignin (Binod et al., 2012).

Merujuk pada kenaikan kelarutan lignin juga terjadi pada kelarutan selulosa yang ikut meningkat pula. Table 1 menunjukkan kenaikan kelarutan selulosa dari 17,39% pada sampel kontrol meningkat sampai dengan 29,42% pada sampel dengan *pretreatment microwave* pada suhu 90°C. Perbedaan hasil yang cukup signifikan didapatkan seiring dengan kenaikan suhu yang juga merupakan kondisi optimum proses.



Gambar 4. Result Spectrum sampel kontrol limbah kulit nanas



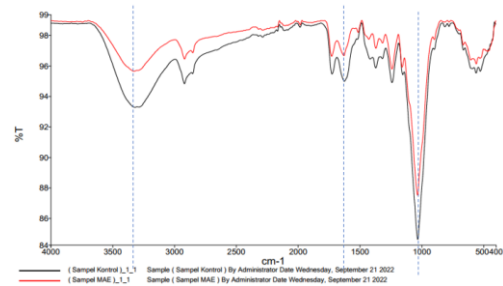
Gambar 5. Result Spectrum sampel limbah kulit nanas perlakuan MAE

Rocha-Meneses et al., (2020) menginformasikan bahwa variabel suhu sangat berpengaruh terhadap kelarutan bahan organik. Penelitian tersebut dilakukan untuk melarutkan lignoselulosa jerami padi pada suhu 150-200°C

dengan pemanas konvensional. Perlu diperhatikan pula hasil penelitian dari Version and Wildt, (2011) yang menyampaikan bahwa pemanasan menggunakan *microwave* melebihi temperatur ambien uap air yaitu 100°C akan mengurangi volume air dan untuk mencapai suhu tersebut dibutuhkan waktu 18 menit. Kedua sampel limbah nanas menunjukkan karakter dua daerah serapan yang menonjol. Daerah tonjolan berada pada panjang gelombang yang cukup tinggi antara (2800 - 3500 cm⁻¹) dan panjang gelombang relative cukup rendah yaitu (800 - 1700 cm⁻¹) yang keduanya merupakan daerah serapan selulosa. Kemudian daerah pada Panjang gelombang antara 3500 - 3200 cm⁻¹ menunjukkan getaran pada gugus OH. Pada lebar peak tersebut dapat mengidentifikasi adanya tiga tipe rantai hidrogen di dalam limbah nanas : O(2)H=O(6) intermolekuler, O(3)H=O(5) intermolekuler, O(6)H=O(3) intermolekuler (Isroi, 2012).

Daerah serapan diantara peak 3320 dan 3333 cm⁻¹ pada grafik *result spectrum pretreatment microwave* dan *result spectrum tanpa pretreatment* mengidentifikasi adanya getaran gugus O-H bebas pada sekelompok gugus hidroksil dari selulosa dalam limbah nanas yang juga merupakan puncak peak dengan perubahan tertinggi. Sedangkan pada wave number 1625 dan 1630 cm⁻¹ grafik *result spectrum pretreatment microwave* menunjukkan getaran rantai aromatik dari lignin pada limbah nanas. Secara garis besar peak serapan semakin menurun, hal tersebut menunjukkan bahwa perlakuan *microwave* pada limbah nanas dapat mendegradasi lignin. Pada gambar 5 terdapat puncak 1032 dan 1034 cm⁻¹ yang merupakan regangan cincin glukosa, hasil

perubahan bentuk dari C-H pada selulosa dan hemiselulosa (Isroi,2012).



Gambar 6. Kombinasi *result spectrum* sampel kontrol dan *pretreatment MAE*

Perbedaan *result spectrum* sampel kontrol dan sampel *pretreatment microwave* dapat dilihat pada gambar 6 dimana terjadi penurunan wave number yang mengidentifikasi pengaruh *pretreatment microwave* terhadap struktur lignin yang terdapat pada limbah nanas

PENUTUP

Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *pretreatment microwave* memiliki efek yang cukup signifikan terhadap degradasi lignin dari limbah nanas sebagai bahan untuk produksi bioethanol. Kondisi optimum proses degradasi lignin didapatkan pada temperatur 90oC dengan total kelarutan lignin sebanyak 9,05% dan juga meningkatkan kelarutan selulosa mencapai 29,42% berat sampel. Hasil tersebut membuktikan bahwa gelombang mikro dapat membantu proses hidrolisis bahan-bahan organik.

DAFTAR PUSTAKA

Balaraman, H.B., Umasekar, S., Rajmohan, K.S., Rathnasamy, S.K., 2022. Sustainable eutectic mixture-based ultrasound assisted multifaceted valorisation of pineapple waste for bromelain and bioethanol production. *Sustain. Chem. Pharm.* 30, 100876. <https://doi.org/10.1016/J.SCP.2022.100876>

Betiku, E., Olatoye, E.O., Latinwo, L.M., 2023. Bioprocessing of underutilized Artocarpus altilis fruit to bioethanol by *Saccharomyces cerevisiae*: A fermentation condition improvement study. *J. Bioresour. Bioprod.* <https://doi.org/10.1016/J.JOBAB.2023.03.002>

Binod, P., Satyanagalakshmi, K., Sindhu, R., Janu, K.U., Sukumaran, R.K., Pandey, A., 2012. Short duration microwave assisted pretreatment enhances the enzymatic saccharification and fermentable sugar yield from sugarcane bagasse. *Renew. Energy* 37, 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.06.007>

Casabar, J.T., Ramaraj, R., Tipnee, S., Unpaprom, Y., 2020. Enhancement of hydrolysis with *Trichoderma harzianum* for bioethanol production of sonicated pineapple fruit peel. *Fuel* 279, 118437. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2020.118437>

Chauhan, M., Dutt, S., Manjul, A.S., Singh, B., Garlapati, V.K., 2022. A- sustainable

- approach of turning potato waste towards bioethanol production using indigenous microbes of Himachal Pradesh, India. *Chemosphere* 299, 134429. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHER.E.2022.134429>
- Dehani, F.R., Argo, B.D., Yulianingsih, R., 2013. Utilization of Microwave Irradiation to Maximaze Pretreatment Process of Lignin Levels Reduction of Paddy Straw (on the production of bioethanol). *J. Bioproses Komod. Trop.* 1, 13–20.
- Eskicioglu, C., Terzian, N., Kennedy, K.J., Droste, R.L., Hamoda, M., 2007. Athermal microwave effects for enhancing digestibility of waste activated sludge. *Water Res.* 41, 2457–2466. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.03.008>
- Gusrita, A., Komalasari, 2020. Pengaruh Waktu Dan Suhu Pretreatment Ampas Tebu Menggunakan Asam Sulfat Encer. *Jom Fteknik* 7, 1–6.
- Haghighi Mood, S., Hossein Golfeshan, A., Tabatabaei, M., Salehi Jouzani, G., Najafi, G.H., Gholami, M., Ardjmand, M., 2013. Lignocellulosic biomass to bioethanol, a comprehensive review with a focus on pretreatment. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 27, 77–93. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.033>
- Imman, S., Kreetachat, T., Khongchamnan, P., Laosiripojana, N., Champreda, V., Suwannahong, K., Sakulthaew, C., Chokejaroenrat, C., Suriyachai, N., 2021. Optimization of sugar recovery from pineapple leaves by acid-catalyzed liquid hot water pretreatment for bioethanol production. *Energy Reports* 7, 6945–6954. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2021.10.076>
- Jayakumar, M., Gindaba, G.T., Gebeyehu, K.B., Periyasamy, S., Jabesa, A., Baskar, G., John, B.I., Pugazhendhi, A., 2023. Bioethanol production from agricultural residues as lignocellulosic biomass feedstock's waste valorization approach: A comprehensive review. *Sci. Total Environ.* 879, 163158. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.163158>
- Joseph, A.M., Tulasi, Y., Shrivastava, D., Kiran, B., 2023. Techno-economic feasibility and exergy analysis of bioethanol production from waste. *Energy Convers. Manag.* X 18, 100358. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100358>
- Kapoor, R., Ghosh, P., Kumar, M., Sengupta, S., Gupta, A., Kumar, S.S., Vijay, V., Kumar, V., Kumar Vijay, V., Pant, D., 2020. Valorization of agricultural waste for biogas based circular economy in India: A research outlook. *Bioresour. Technol.* 304, 123036. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2020.123036>
- Li, M., Li, P., Xu, Y., Zhang, B., Li, J., Zhong, W., Zang, H., Zheng, H., Rong, H., Ma, F., 2023. Degradation of polymeric polyproanthocyanidins from black chokeberry by microwave-assisted nucleophilic technique of sulfite/catechin: Reaction kinetics, antioxidation and structural analysis. *Food Chem.* 408, 135220. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.135220>
- Liu, Z., Fels, M., Dragone, G., Mussatto, S.I., 2021. Effects of inhibitory compounds derived from lignocellulosic biomass on the growth of the wild-type and evolved oleaginous yeast *Rhodospiridium toruloides*. *Ind. Crops Prod.* 170, 113799. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113799>
- Nazar, M., Xu, L., Ullah, M.W., Moradian, J.M., Wang, Y., Sethupathy, S., Iqbal, B., Nawaz, M.Z., Zhu, D., 2022. Biological delignification of rice straw using laccase from *Bacillus ligniniphilus* L1 for bioethanol production: A clean approach for agro-biomass utilization. *J. Clean. Prod.* 360, 132171. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.132171>
- Nurfaizin, S., Hartati, I., 2023. OPTIMASI SELULOSA LIMBAH KULIT NANAS UNTUK PRODUKSI BIOGAS MELALUI METODE DELIGNIFIKASI MAE (MICROWAVE ASSISTED EXTRACTION) DENGAN PELARUT AQUADES 8, 45–50.
- Rocha-Meneses, L., Ferreira, J.A., Mushtaq, M., Karimi, S., Orupöld, K., Kikas, T., 2020. Genetic modification of cereal plants: A strategy to enhance bioethanol yields from agricultural waste. *Ind. Crops Prod.* 150,

112408.
<https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2020.112408>
- Roy, D.K., Abedin, M.Z., 2022. Potentiality of biodiesel and bioethanol production from feedstock in Bangladesh: A review. *Heliyon* 8, e11213. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2022.E11213>
- Sanguanchaipaiwong, V., Leksawasdi, N., 2018. Butanol production by *Clostridium beijerinckii* from pineapple waste juice. *Energy Procedia* 153, 231–236. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.10.006>
- Sarangi, P.K., Nanda, S., Das, R., 2018. Bioconversion of Pineapple Residues for Recovery of Value-Added Compounds. *Int. J. Res. Sci. Eng.* 210–217.
- Sathendra Elumalai, R., Ramanujam, P., Tawfik, M.A., Ravichandran, P., Gurnathan, B., 2023. Optimization and kinetics modelling for enhancing the bioethanol production from banana peduncle using *Trichoderma reesei* and *Kluyveromyces marxianus* by Co-Pre-treatment methods. *Sustain. Energy Technol. Assessments* 56, 103129. <https://doi.org/10.1016/J.SETA.2023.103129>
- Suresh, T., Sivarajasekar, N., Balasubramani, K., Ahamad, T., Alam, M., Naushad, M., 2020. Process intensification and comparison of bioethanol production from food industry waste (potatoes) by ultrasonic assisted acid hydrolysis and enzymatic hydrolysis: Statistical modelling and optimization. *Biomass and Bioenergy* 142, 105752. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2020.105752>
- Susilo, B., Sumarlan, S.H., Nurirenia, D.F., 2017. Pemurnian Bioetanol Menggunakan Proses Distilasi Dan Adsorpsi Dengan Penambahan Asam Sulfat (H₂SO₄) Pada Aktivasi Zeolit Alam Sebagai Adsorben Purification Bioetanol Using A Process The Distillation And Adsorption By The Addition Of Sulphuric Acid (5, 19–26.
- Tyagi, V.K., Lo, S.L., 2013. Microwave irradiation: A sustainable way for sludge treatment and resource recovery. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 18, 288–305. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.032>
- Version, D., Wildt, D., 2011. University of Groningen Biomass pyrolysis for chemicals de Wildt, Paulus.
- Wardani, A.K., 2018. Pengaruh Lama Waktu Fermentasi pada Pembuatan Bioetanol dari *Sargassum* sp Menggunakan Metode Hidrolisis Asam dan Fermentasi Menggunakan Univ. Sanata Dharma. Yogyakarta 6–7.
- Zhao, L., Liu, J., Li, D., Yang, Y., Wang, C., Xue, J., 2022. China's green energy investment risks in countries along the Belt and Road. *J. Clean. Prod.* 380, 134938. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.134938>