



Optimalisasi Hidrolisis Air Subkritis Biomassa Ampas Tebu Berbantuan Surfaktan untuk Produksi Gula Reduksi

Maktum Muharja^{1*}, Arief Widjaja², Nur Fadhilah³, Rizki Fitria Darmayanti⁴, Siska Nuri Fadilah⁵ 

^{1,4,5} Program Studi Teknik Kimia, Universitas Jember, Jember, Indonesia

² Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

³ Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received October 24, 2022

Accepted July 20, 2023

Available online October 25, 2023

Kata Kunci:

Air Subkritis, Ampas Tebu, Gula Reduksi, Hidrolisis, Surfaktan

Keywords:

Subcritical Water, Bagasse, Reduced Sugar, Hydrolysis, Surfactant



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2023 by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.

ABSTRAK

Penggunaan bahan bakar fosil yang menimbulkan banyak masalah mendorong peneliti untuk mengembangkan energi terbarukan. Ampas tebu sebagai limbah pertanian yang melimpah di Indonesia berpotensi untuk dimanfaatkan dalam produksi gula reduksi yang merupakan produk antara dari *biofuel*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hidrolisis air subkritis ampas tebu menggunakan surfaktan Tween 80 untuk mengoptimalkan total perolehan gula reduksi. Desain penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental kuantitatif. Analisa data yang digunakan yaitu analisis kuantitatif dan kualitatif. Proses air subkritis dioptimalkan dengan memvariasikan kondisi operasi suhu 130-170°C, waktu 30-60 menit, dan konsentrasi aditif 1-3%. Optimasi dilakukan dengan menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) untuk memahami perilaku faktor-faktor signifikan yang mempengaruhi konsentrasi gula reduksi. RSM ditentukan dengan menggunakan *software* Design-Expert V11. Hasil penelitian menunjukkan total gula reduksi tertinggi yaitu sebesar 470.6444 didapatkan pada variasi suhu 170°C, selama 30 menit, dan konsentrasi surfaktan 2%. Dari penelitian ini menunjukkan bahwa metode air subkritis dengan penambahan aditif dapat dipertimbangkan untuk produksi biofuel dari limbah ampas tebu dalam mendukung pengembangan energi terbarukan.

ABSTRACT

The use of fossil fuels that cause many problems encourages researchers to develop renewable energy. Bagasse as an abundant agricultural waste in Indonesia has the potential to be utilized in the production of reducing sugar which is an intermediate product of biofuel. This study aims to analyze the subcritical water hydrolysis of bagasse using Tween 80 surfactant to optimize the total reduction sugar yield. The research design used was quantitative experimental research. The data analysis used was quantitative and qualitative analysis. The subcritical water process was optimized by varying the operating conditions of temperature 130-170°C, time 30-60 minutes, and additive concentration 1-3%. Optimization was carried out using *Response Surface Methodology* (RSM) to understand the behavior of significant factors affecting reducing sugar concentration. RSM was determined using Design-Expert V11 software. The results showed that the highest total reduction sugar of 470.6444 was obtained at a temperature variation of 170°C, for 30 minutes, and 2% surfactant concentration. This study shows that the subcritical water method with the addition of additives can be considered for biofuel production from bagasse waste in supporting the development of renewable energy.

1. PENDAHULUAN

Bahan bakar fosil adalah sumber energi terpenting di seluruh dunia, namun penggunaannya menimbulkan masalah karena konsumsi sumber daya fosil menghasilkan gas rumah kaca yang berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan, pemanasan global dan perubahan iklim (Londono-Pulgarin et al., 2021; Oliveira et al., 2020). Pertumbuhan populasi manusia menyebabkan peningkatan permintaan bahan bakar fosil, hal ini tidak sejalan dengan ketersediaannya yang semakin lama semakin menipis (Fawzy et al., 2020; Nanda & Berruti, 2021). Beberapa alasan tersebut yang mendorong para peneliti untuk mengembangkan sumber energi alternatif, yaitu energi baru terbarukan. Salah satu alternatif yaitu penggunaan residu pertanian dari sumber tanaman yang memiliki fraksi liginoselulosa dan mampu dikonversi menjadi gula yang dapat difermentasi dan menghasilkan bahan bakar hayati (Maktum et al., 2017; Rahardjo et al., 2021). Biomassa liginoselulosa dianggap sebagai sumber energi terbarukan dan alternatif dalam bentuk bahan bakar nabati padat, cair dan gas (Okolie et al., 2021; Sarker et al., 2021). Biomassa berbasis liginoselulosa seperti limbah pertanian dianggap sebagai sumber daya terbarukan yang dapat dipromosikan untuk energi melalui *biorefinery* (Djali et al., 2021; Manzanares, 2020).

*Corresponding author.

E-mail addresses: maktum@unej.ac.id (Maktum Muharja)

Sumber biomassa terbesar di dunia adalah lignoselulosa yang diperkirakan diproduksi sekitar 100 miliar ton per tahun (Forsberg et al., 2021; Magalhães Jr. et al., 2019). Ampas tebu merupakan salah satu sumber lignoselulosa yang cukup menjanjikan. Ampas tebu yang termasuk limbah industri merupakan hasil samping dari proses ekstraksi tebu di pabrik gula. Setiap tahunnya, Indonesia mengalami defisit kebutuhan gula sekitar 500 ribu hingga 1,5 juta ton permintaan gula. Pada tahun 2019, Indonesia memiliki luas perkebunan tebu sekitar 453.238 Ha dengan produksinya mencapai 2,45 juta ton dan Jawa Timur sendiri memiliki luas produksi sekitar 194.571 Ha (Sudarto et al., 2020; Syahfitri et al., 2022). Tingginya produksi untuk memenuhi permintaan pasar berbanding lurus dengan limbah yang dihasilkan. Setiap tebu yang digunakan untuk produksi gula, 35 – 40% merupakan ampas tebu (*bagasse*) (Angelo et al., 2019; Nugroho et al., 2021). Limbah tebu seringkali hanya dimanfaatkan sebagai pakan ternak, bahan bakar produksi, atau langsung dibuang. Limbah ampas tebu memiliki kandungan selulosa 35,01%, hemiselulosa 25,24%, lignin 6,4%, dan silika 9,35% (Darmayanti et al., 2019). Kandungan selulosa yang tinggi ini berpotensi untuk dikonversi menjadi bioenergi melalui produksi gula reduksi yang didapat dari proses hidrolisis. Beberapa teknologi sudah banyak dikembangkan untuk mengkonversi selulosa menjadi gula reduksi, salah satu yang sangat potensial adalah metode air subkritis (Abaide, Mortari, et al., 2019; Ampese et al., 2021; Maktum Muharja et al., 2019).

Teknologi air subkritis telah menarik perhatian karena telah terbukti dapat menghancurkan lignin secara efisien sekaligus melindungi selulosa, serta prosesnya yang tidak beracun dan aman dalam pengerjaannya (Maktum Muharja et al., 2019; Maktum Muharja, Fadhilah, Nurtono, et al., 2020). Air subkritis merupakan pelarut, katalis, dan reaktan untuk konversi hidrolisis dan ekstraksi. Sifat fisik dari air subkritis ketika terjadi penurunan viskositas dan peningkatan sifat pelarutnya dapat membantu difusi ke dalam padatan dan pelepasan beberapa zat dari fase padat ke fase cair (Abaide, Mortari, et al., 2019; Maravić et al., 2018). Karena sifat-sifat diatas, penerapan metode hidrolisis air subkritis sangat menjanjikan untuk digunakan dalam produksi gula reduksi (Mayanga-Torres et al., 2017). Proses hidrolisis air subkritis juga masih memiliki kekurangan karena menghasilkan produk turunan seperti furfural, HMF, dan senyawa asetil lainnya pada kondisi *severity factor* tinggi yang dapat menghambat proses lebih lanjut (Batista et al., 2019; Maktum Muharja, Fadhilah, Darmayanti, et al., 2020). Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengatasi hal ini adalah penambahan aditif pada proses hidrolisis air subkritis. Penambahan aditif merupakan metode yang berpotensi dalam meningkatkan laju konversi gula serta mengurangi produk degradasi (Maktum Muharja et al., 2019). Aditif yang dimaksud adalah asam (Sirohi et al., 2020), alkali/basa (Kamalini et al., 2018), cairan ionik (Kassaye et al., 2017), pelarut organik (Sewsynker-Sukai et al., 2018), dan surfaktan (da Costa Nogueira et al., 2018).

Surfaktan memiliki sifat yang unik, yaitu gugus hidrofilik dan hidrofobik yang dapat menurunkan tegangan permukaan antara dua fase cair selama proses berlangsung sehingga surfaktan dapat berikatan dengan komponen lignin dan produk degradasinya, yang menyebabkan peningkatan konversi polisakarida menjadi gula (Maktum Muharja et al., 2019; Rachmah et al., 2022). Dengan sifat-sifat tersebut, penambahan surfaktan (non-ionik, anionik, dan kationik) dalam proses air subkritis diharapkan dapat membantu mengurangi lignin dan produk degradasinya selama proses air subkritis dan membantu pelarutan hemiselulosa dalam air menjadi gula monomer (Chang et al., 2017; Zheng et al., 2021). Beberapa peneliti telah melakukan penelitian dan menunjukkan efek positif dari penambahan surfaktan. Penambahan *Polysorbate 80* (Tween 80), *sodium dodecyl sulfate* (SDS), dan *hexadecyltrimethylammonium bromide* (CTAB) masing-masing meningkatkan *yield* gula (Abdelwahab et al., 2021; Snehya et al., 2021; Zhang et al., 2019). Meskipun penelitian tentang pengaruh penambahan surfaktan pada proses produksi gula reduksi telah banyak dilakukan, namun penambahan surfaktan non-ionik (Tween 80) pada proses air subkritis yang melibatkan limbah ampas tebu belum pernah diteliti dan dibahas secara rinci. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hidrolisis air subkritis ampas tebu menggunakan surfaktan Tween 80 untuk mengoptimalkan total perolehan gula reduksi.

2. METODE

Desain penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental kuantitatif. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Biokimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Dalam penelitian ini dilakukan 15 kali percobaan dengan 3 variabel yaitu suhu, lama hidrolisis, dan persen aditif (surfaktan). Variasi konsentrasi surfaktan Tween 80 yaitu 1, 2 dan 3%, variasi suhu dan waktu yaitu 130°C, 150°C, 170°C selama 30, 45, 60 menit. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah ampas tebu dari penjual es tebu, akuades, Tween 80, gas karbon dioksida (CO₂), asam sitrat (HOC(CH₂CO₂H)₂), sodium sitrat (Na₃C₆H₅O₇), sodium hidroksida (NaOH), *sodium potassium tartrate* (KNaC₄H₄O₆·4H₂O), sodium metabisulfat (Na₂S₂O₅), asam 2,3-dinitro salisilat (DNS), dan kertas saring. Alat yang digunakan yaitu mesin penggilingan, pengayak ukuran 100 *mesh*, *hot plate* dan *stirrer*, neraca analitik, termometer, reaktor

subkritis, lemari asam, kaca arloji, labu ukur, *beaker glass*, tabung reaksi, rak tabung raksi, desikator, magnet, gelas ukur, corong kaca, pipet mikro, pipet ukur, pipet tetes, batang pengaduk, spatula, inkubator, dan oven.

Prosedur penelitian dimulai dari *pretreatment* ampas tebu. *Pretreatment* menggunakan beberapa bahan yaitu *buffer* sitrat dan larutan DNS. *Buffer* sitrat dibuat dengan mencampurkan asam sitrat sebanyak 5,7 gram dengan sodium sitrat 20,67 gram. Kemudian campuran diencerkan menggunakan akuades di dalam labu ukur hingga 1000 mL. Larutan DNS dibuat dengan cara mencampurkan NaOH 16 gram dengan akuades hingga 200 mL. Kemudian, *Sodium potassium tartrate* sebanyak 30 gram dicampurkan dengan 8 gram sodium metabisulfit yang selanjutnya dilarutkan dengan akuades hingga 500 mL. 10 gram DNS dilarutkan menggunakan larutan NaOH 200 mL. Seluruh larutan dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL dan kemudian ditambahkan dengan akuades hingga 1000 mL. Ampas tebu dicuci dan dikeringkan kemudian dicacah dan digiling sampai menjadi serbuk. Selanjutnya ampas tebu diayak menggunakan ayakan berukuran 100 *mesh*. Proses hidrolisis menggunakan rangkaian reaktor hidrolisis air subkritis. Hidrolisis dilakukan dengan melarutkan ampas tebu ke dalam larutan akuades dengan perbandingan volume 20 mL per gram ampas tebu. Campuran kemudian ditambahkan surfaktan Tween 80 dengan variasi konsentrasi 1, 2 dan 3%. Selanjutnya larutan dipanaskan pada suhu 130°C, 150°C, 170°C selama 30, 45, 60 menit. *Pulp* kemudian disaring dan diambil filtratnya. Filtrat tersebut kemudian dilarutkan sebanyak 0,2 mL dengan 1,8 mL akuades di dalam tabung reaksi. Larutan kemudian di inkubasi selama 10 menit pada suhu 35°C. Setelah di inkubasi, larutan dipanaskan dan didinginkan masing-masing selama 10 menit. Larutan yang sudah dingin kemudian di uji menggunakan spektrofotometer untuk dilihat absorbansinya.

Analisa data yang digunakan yaitu analisis kuantitatif dan kualitatif. Analisis kuantitatif dengan analisis anova. ANOVA digunakan untuk mengetahui signifikansi dari beberapa variabel yang digunakan. Penentuan variabel penelitian menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM) Box-Behnken. Hasil absorbansi dikonversi menggunakan kurva standar glukosa dan didapatkan hasil total gula reduksi (TGR) dalam ppm. Hasil TGR dianalisa di dalam Design-Expert® V-11 (Demo version, Stat-Ease Inc., Minneapolis, MN, USA) yang menghasilkan tabel Anova Box-Behnken. Desain Box-Behnken digunakan untuk menghasilkan *Response Surface* berpangkat tinggi dengan percobaan yang lebih sedikit dibandingkan teknik faktorial lainnya (Rao & Kumar, 2012). Desain Box-Behnken mempermudah pencarian interaksi antar variabel yang memiliki potensi dalam peningkatan hasil dan dapat menghemat waktu dengan mengurangi jumlah percobaan (Yu & He, 2017).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

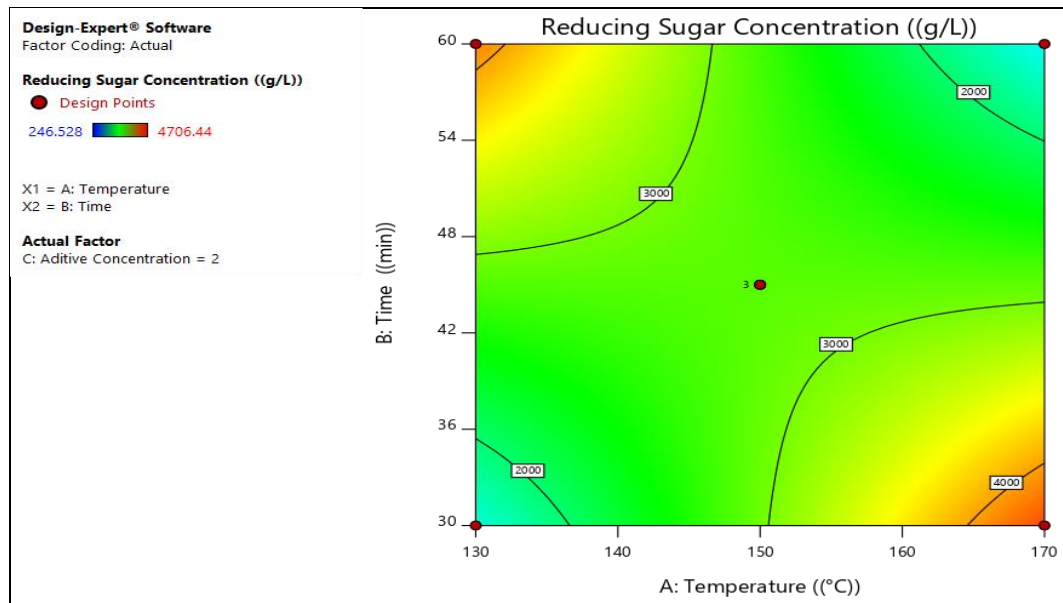
Perhitungan *Analysis of variance* (ANOVA) dilakukan untuk menentukan kesesuaian model serta variabel yang berpengaruh secara signifikan pada proses *pretreatment*. Respon yang didapat dari penelitian ini berupa persentase gula reduksi. Nilai R^2 (koefisien determinasi) sebesar 0.9988 menunjukkan data yang mendukung model sebesar 99.88%. Hasil ANOVA ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. ANOVA dari Desain Box-Behnken

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-Value	p-Value	
Model	1,047	6	1,745	1,85	0,2060	not Significant
A-Temperature	6304,19	1	6304,19	0,0067	0,9368	
B-Time	71106,16	1	71106,16	0,0754	0,7905	
C-Aditive Concentration	1,407	1	1,407	0,1493	0,7093	
AB	7,862	1	7,862	8,34	0,0203	
AC	3,617	1	3,617	0,3838	0,5528	
BC	2,030	1	2,030	2,15	0,1804	
Residual	7,541	8	9,426			
Lack of Fit	7,538	6	1,256	786,73	0,0013	Significant
Pure Error	3193,77	2	1596,88			
Cor Total	1,801	14				

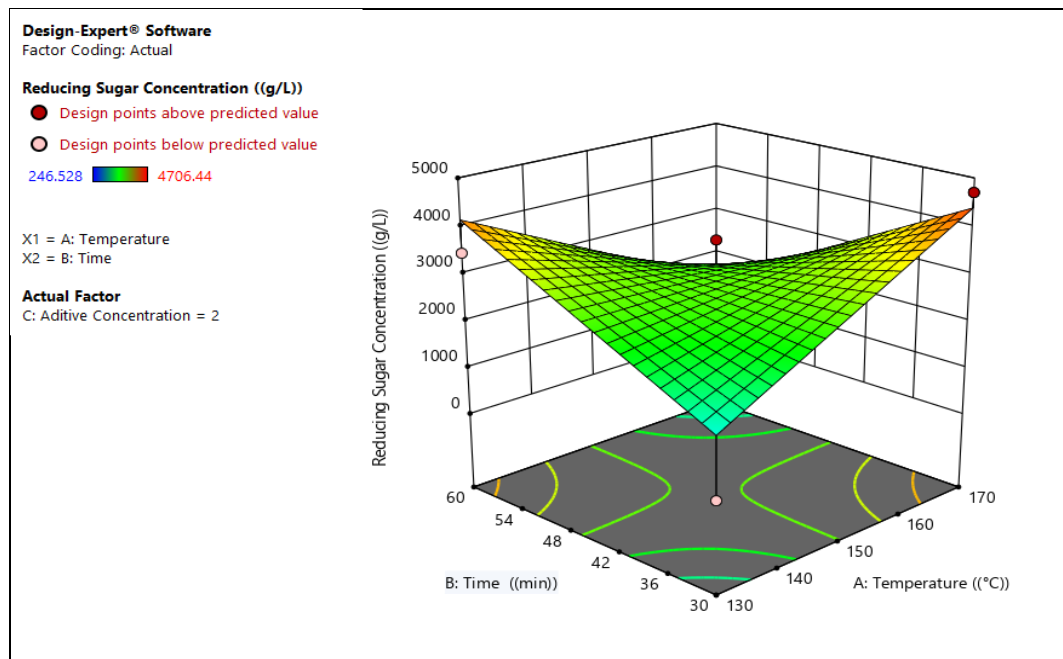
Hasil analisis varians (ANOVA) menghasilkan model persamaan matematika untuk memprediksi variabel signifikan dengan P-value kurang dari 0,05. P-value adalah parameter untuk menentukan faktor signifikan dari suatu percobaan. P-value kurang dari 0,05 menunjukkan faktor yang signifikan pada tingkat probabilitas 95%. Tabel 1 merupakan hasil analisis varians (ANOVA), berdasarkan Tabel 1, P-value suhu, waktu reaksi, dan penambahan surfaktan berturut-turut adalah 0,9368; 0,7905; dan 0,7093 yang berarti

ketiga variabel tidak signifikan. Dalam penelitian ini juga mengamati interaksi antar variabel, dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa interaksi antara suhu dan konsentrasi aditif mempengaruhi respon secara signifikan dengan nilai *P-value* sebesar 0,0203. Grafik *contour plot* yang membandingkan efek gabungan suhu dan waktu ditunjukkan pada Gambar 1.

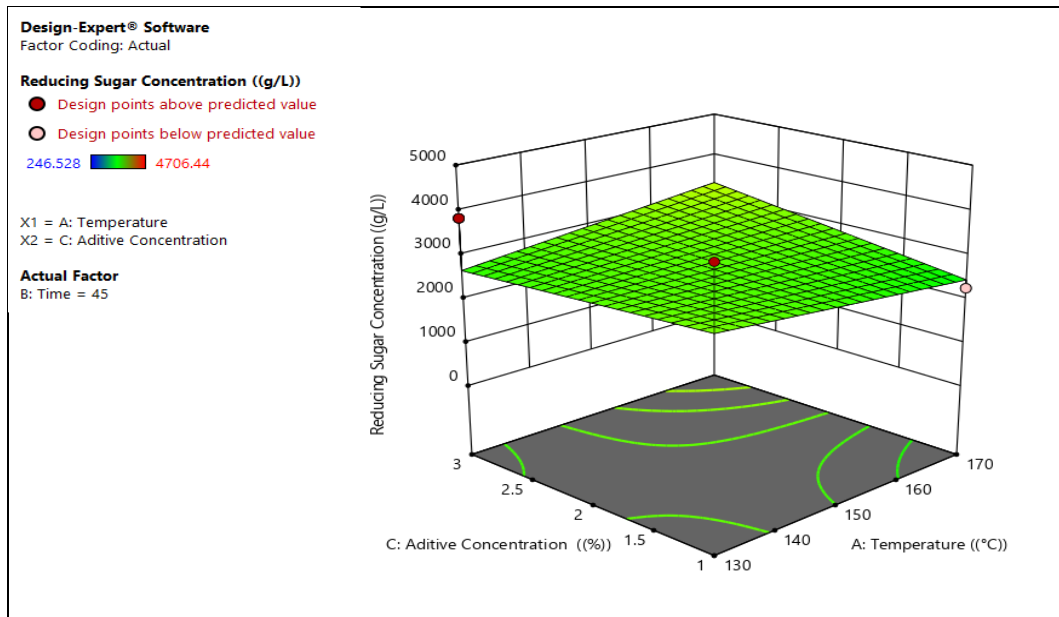


Gambar 1. Contour Plot Pengaruh Suhu dan Waktu terhadap Konsentrasi Gula Reduksi

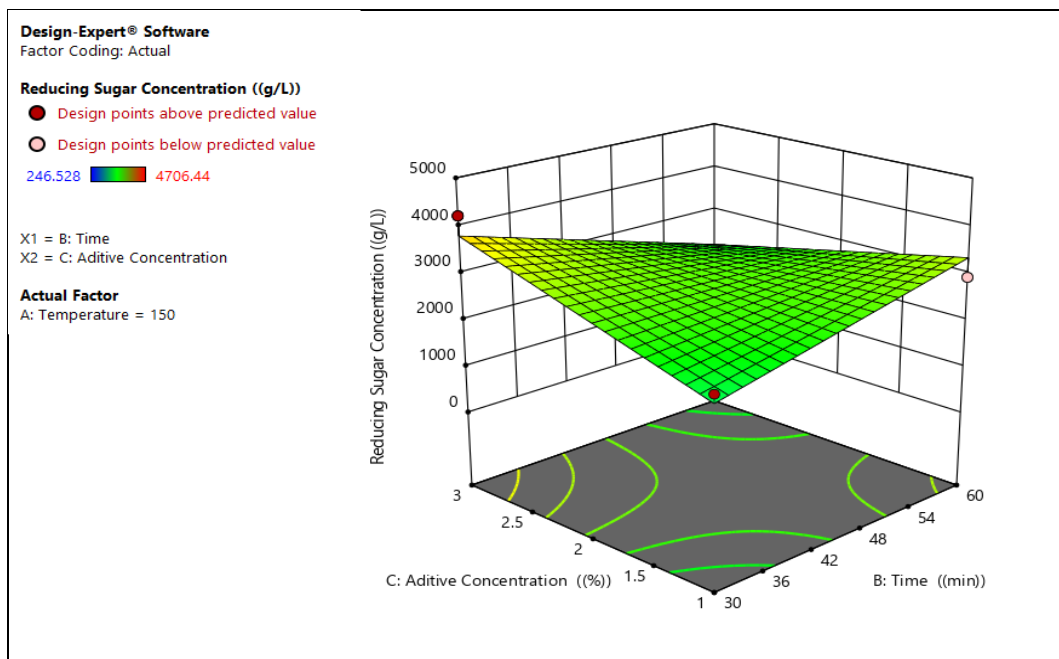
Perbandingan efek gabungan suhu dan waktu ditunjukkan dalam *contour plot* pada Gambar 1. Dalam gambar tersebut, area rendah berwarna biru menunjukkan nilai konsentrasi gula reduksi paling rendah, sedangkan area tinggi berwarna merah menunjukkan nilai konsentrasi gula reduksi yang paling tinggi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, dengan meningkatkan suhu, produksi gula reduksi meningkat. *Response* gula reduksi dengan variabel suhu, waktu dan konsentrasi surfaktan digambarkan dengan *surface plot* pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.



Gambar 2. Surface Plot antara Gula Reduksi dengan Variabel Suhu dan Waktu



Gambar 3. Surface Plot antara Gula Reduksi dengan Variabel Suhu dan Persen Aditif



Gambar 4. Surface Plot antara Gula Reduksi dengan Variabel Waktu dan Persen Aditif

Pengaruh variabel penelitian terhadap perolehan gula reduksi juga disajikan dalam *surface plot* pada Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4. Dari tiga gambar tersebut dapat dilihat bahwa konsentrasi gula optimum didapatkan saat waktu tercepat dengan suhu paling tinggi. Gambar 1 menunjukkan interaksi antara 2 variabel yaitu suhu dan waktu serta pengaruhnya terhadap variabel respon (hasil gula reduksi). Dari Gambar 2 menunjukkan bahwa waktu dan suhu air subkritis ditemukan berpengaruh terhadap hasil gula pereduksi dimana hasil gula pereduksi meningkat dengan peningkatan lebih lanjut pada kedua variabel ini. Gambar 3 menunjukkan pengaruh suhu dan konsentrasi surfaktan terhadap rendemen gula pereduksi dimana pada suhu sedang dan kondisi operasi surfaktan rendah maka rendemen gula yang dihasilkan tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa variabel kondisi operasi berpengaruh terbalik terhadap rendemen gula. Berdasarkan Gambar 4 yang menunjukkan pengaruh interaksi waktu dan konsentrasi surfaktan terhadap gula reduksi, dapat dilihat bahwa pada waktu terendah dan konsentrasi surfaktan tertinggi menghasilkan gula reduksi optimum.

Pembahasan

Hasil analisis varians (ANOVA) menghasilkan model persamaan matematika untuk memprediksi variabel signifikan dengan *P-value* kurang dari 0,05. *P-value* adalah parameter untuk menentukan faktor signifikan dari suatu percobaan (Maktum Muharja et al., 2022). Dalam penelitian ini juga mengamati interaksi antar variabel, dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa interaksi antara suhu dan konsentrasi aditif mempengaruhi respon secara signifikan dengan nilai *P-value* sebesar 0,0203. Hasil ini menunjukkan kesesuaian dengan penelitian kami sebelumnya yaitu hidrolisis air subkritis menggunakan biomassa sabut kelapa (Maktum Muharja et al., 2019). Dalam penelitian sebelumnya, suhu, waktu dan konsentrasi aditif (surfaktan) berpengaruh signifikan terhadap perolehan gula reduksi. Perbandingan efek gabungan suhu dan waktu, area rendah berwarna biru menunjukkan nilai konsentrasi gula reduksi paling rendah, sedangkan area tinggi berwarna merah menunjukkan nilai konsentrasi gula reduksi yang paling tinggi. Dengan meningkatkan suhu, produksi gula reduksi meningkat. Fenomena ini disebabkan oleh efek autokatalitik air seiring dengan peningkatan *severity factor* yang linier dengan penelitian sebelumnya (Maktum Muharja et al., 2018). Degradasi hemiselulosa dan selulosa terjadi pada temperatur tinggi karena air lebih reaktif untuk memecah molekul karbohidrat kompleks. Pada kondisi tersebut hemiselulosa diproduksi menjadi produk gula C5 (*xylose* dan *arabinose*) dan C6 (galaktosa, glukosa, dan *mannose*). Hidrolisis biomassa berjalan lambat pada suhu di bawah 130°C. Peningkatan perolehan gula reduksi seiring dengan peningkatan suhu terjadi hingga titik optimum, dan akan menurun setelahnya. Penggunaan suhu hidrolisis yang terlalu tinggi dapat menyebabkan terbentuknya senyawa atau produk samping yang tidak diinginkan. Vedovatto et al., (2021) menyebutkan bahwa hidrolisis pada suhu 180°C meningkatkan kadar gula, namun ketika dinaikkan menjadi 200°C akan terjadi penguraian gula dan terbentuk produk sampingan seperti furfural, HMF dan produk asetil lainnya. Abaide et al., (2019) mengungkapkan bahwa gula bebas dan sebagian besar hemiselulosa bereaksi di atas 170°C. Muharja et al., (2017) menunjukkan hasil yang sama bahwa ekstrak hemiselulosa dari sabut kelapa meningkat dari 67,8% menjadi 73,94% dengan peningkatan suhu dari 150 menjadi 160°C.

Pengaruh variabel penelitian terhadap perolehan gula reduksi juga disajikan dalam *surface plot* pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4. Dari tiga gambar tersebut dapat dilihat bahwa konsentrasi gula optimum didapatkan saat waktu tercepat dengan suhu paling tinggi. Gambar 1 menunjukkan interaksi antara 2 variabel yaitu suhu dan waktu serta pengaruhnya terhadap variabel respon (hasil gula reduksi). Dari Gambar 2 menunjukkan bahwa waktu dan suhu air subkritis ditemukan berpengaruh terhadap hasil gula pereduksi dimana hasil gula pereduksi meningkat dengan peningkatan lebih lanjut pada kedua variabel ini. Gambar 3 menunjukkan pengaruh suhu dan konsentrasi surfaktan terhadap rendemen gula pereduksi dimana pada suhu sedang dan kondisi operasi surfaktan rendah maka rendemen gula yang dihasilkan tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa variabel kondisi operasi berpengaruh terbalik terhadap rendemen gula. Berdasarkan Gambar 4 yang menunjukkan pengaruh interaksi waktu dan konsentrasi surfaktan terhadap gula reduksi, dapat dilihat bahwa pada waktu terendah dan konsentrasi surfaktan tertinggi menghasilkan gula reduksi optimum. Dalam penelitian ini, variabel waktu tidak berpengaruh signifikan. Hal ini dapat disebabkan oleh fenomena hidrolisis air subkritis yang terlalu lama dapat berpotensi terjadi degradasi produk hingga menghasilkan senyawa yang kompleks dan membentuk produk sampingan. Karena berdasarkan teorinya, air subkritis menghadirkan karakteristik pelarut non-polar, meningkatkan kelarutan senyawa organik, dan menghadirkan proses yang cepat untuk mengubah selulosa dan hemiselulosa menjadi gula dalam waktu reaksi yang singkat (Cocero et al., 2018; Lachos-Perez et al., 2017; Vedovatto et al., 2021).

Secara konsep, bahan aditif seperti surfaktan bertindak sebagai bahan serupa katalis yang membantu proses pelarutan gula dan penghilangan lignin (Weerasai et al., 2018; Yang et al., 2018). Penambahan surfaktan (nonionik, anionik, dan kationik) dilakukan pada proses *pretreatment* subkritis untuk membantu meningkatkan penghilangan lignin. Konsentrasi gula meningkat dengan peningkatan konsentrasi Tween 80, kemudian menurun dengan meningkatnya suhu di atas 130°C. Fenomena ini terjadi karena peningkatan suhu di atas 130°C menyebabkan molekul surfaktan terdegradasi menjadi tidak aktif (Rachmah et al., 2022). Kelarutan surfaktan nonionik bergantung pada keseimbangan antara kapasitas gugus hidrofilik untuk menarik air. Surfaktan nonionik cenderung keruh saat suhu naik. Kelarutan surfaktan tipe eter (Tween) bergantung pada pembentukan ikatan hidrogen antara air dan atom-O eter. Kelarutan Tween menurun ketika ikatan hidrogen dihancurkan oleh pemanasan berlebihan yang menyebabkan pembentukan busa yang merugikan (Deodhar et al., 2020; Jantanaprasartporn et al., 2021). Pada kondisi tersebut, dapat diperkirakan *cloud point* Tween terlampaui. Kelarutan Tween menurun drastis di atas suhu *cloud point* (Belhaj et al., 2020; Negin et al., 2017). Kontribusi positif penambahan Tween yang terjadi karena penghilangan lignin dan pembengkakan selulosa memfasilitasi air untuk menghidrolisis selulosa (Nargotra et al., 2019; Sharma et al., 2019). Tween-80 memberikan dampak pada *pretreatment* berupa proses delignifikasi dan modifikasi lignin yang dapat mengurangi pelindung lignin dan

meningkatkan yield gula reduksi (Zhang et al., 2021). Namun dalam penelitian ini, durasi yang lama dan penambahan persentase Tween-80 tidak berdampak signifikan (P -value > 0,05) pada peningkatan total gula reduksi (TGR). Hal ini dapat disebabkan oleh peningkatan dari produk sampingan degradasi gula yaitu furfural dan HMF serta kelompok asetil yang tidak diuji dalam penelitian ini (Maktum Muharja et al., 2018). Produk tersebut terbentuk apabila percobaan dilakukan dengan durasi yang lama dan suhu yang cukup tinggi.

4. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penambahan aditif berupa surfaktan Tween-80 dalam hidrolisis air subkritis ampas tebu dapat meningkatkan yield gula reduksi. Hasil analisa menunjukkan interaksi dua variabel yang berpengaruh signifikan terhadap peningkatan gula reduksi adalah suhu dan konsentrasi surfaktan. Dari penelitian ini terbukti bahwa hidrolisis air subkritis dengan penambahan surfaktan mampu memproduksi gula dalam waktu yang relatif singkat. Gula reduksi paling optimal didapatkan saat proses dilakukan pada suhu tinggi, konsentrasi aditif tinggi dan dalam waktu yang cepat.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Abaide, E. R., Mortari, S. R., Ugalde, G., Valério, A., Amorim, S. M., Di Luccio, M., de FPM Moreira, R., Kuhn, R. C., Priamo, W. L., & Tres, M. V. (2019). Subcritical water hydrolysis of rice straw in a semi-continuous mode. *Journal of Cleaner Production*, 209, 386–397. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.259>.
- Abaide, E. R., Ugalde, G., Di Luccio, M., Moreira, R. de F. P. M., Tres, M. V., Zobot, G. L., & Mazutti, M. A. (2019). Obtaining fermentable sugars and bioproducts from rice husks by subcritical water hydrolysis in a semi-continuous mode. *Bioresource Technology*, 272, 510–520. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.10.075>.
- Abdelwahab, N. A., Shukry, N., & El-kalyoubi, S. F. (2021). Separation of emulsified oil from wastewater using polystyrene and surfactant modified sugarcane bagasse wastes blend. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(1), 235–249. <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01973-1>.
- Ampese, L. C., Buller, L. S., Myers, J., Timko, M. T., Martins, G., & Forster-Carneiro, T. (2021). Valorization of Macaúba husks from biodiesel production using subcritical water hydrolysis pretreatment followed by anaerobic digestion. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105656>.
- Angelo, C., Setiawan, A. P., & Poilot, J. F. (2019). Penelitian Ampas Tebu Sebagai Material Pembuatan Papan Unting. *Jurnal Intra*, 7(2), 511–514.
- Batista, G., Souza, R. B. A., Pratto, B., dos Santos-Rocha, M. S. R., & Cruz, A. J. G. (2019). Effect of severity factor on the hydrothermal pretreatment of sugarcane straw. *Bioresource Technology*, 275, 321–327. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.073>.
- Belhaj, A. F., Elraies, K. A., Mahmood, S. M., Zulkifli, N. N., Akbari, S., & Hussien, O. S. (2020). The effect of surfactant concentration, salinity, temperature, and pH on surfactant adsorption for chemical enhanced oil recovery: a review. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 10(1), 125–137. <https://doi.org/10.1007/s13202-019-0685-y>.
- Chang, K. L., Chen, X. M., Wang, X. Q., Han, Y. J., Potprommanee, L., Liu, J. yong, Liao, Y. L., Ning, X. an, Sun, S. yu, & Huang, Q. (2017). Impact of surfactant type for ionic liquid pretreatment on enhancing delignification of rice straw. *Bioresource Technology*, 227, 388–392. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.11.085>.
- Cocero, M. J., Cabeza, Á., Abad, N., Adamovic, T., Vaquerizo, L., Martínez, C. M., & Pazo-Cepeda, M. V. (2018). Understanding biomass fractionation in subcritical & supercritical water. *The Journal of Supercritical Fluids*, 133, 550–565. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.08.012>.
- da Costa Nogueira, C., de Araújo Padilha, C. E., de Sá Leitão, A. L., Rocha, P. M., de Macedo, G. R., & dos Santos, E. S. (2018). Enhancing enzymatic hydrolysis of green coconut fiber—Pretreatment assisted by tween 80 and water effect on the post-washing. *Industrial Crops and Products*, 112, 734–740. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.047>.
- Darmayanti, R., Amini, H. W., Rizkiana, M. F., Setiawan, F. A., Palupi, B., Rahmawati, I., Susanti, A., & Fachri, B. A. (2019). Lignocellulosic material from main Indonesian plantation commodity as the feedstock for fermentable sugar in biofuel production. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14(20), 3524–3534.
- Deodhar, S., Rohilla, P., Manivannan, M., Thampi, S. P., & Basavaraj, M. G. (2020). Robust Method to

- Determine Critical Micelle Concentration via Spreading Oil Drops on Surfactant Solutions. *Langmuir*, 36(28), 8100–8110. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.0c00908>.
- Djali, M., Kayaputri, I. L., Kurniati, D., Sukarminah, E., Mudjenan, I. M. H., & Utama, G. L. (2021). Degradation of Lignocelluloses Cocoa Shell (*Theobroma cacao* L.) by Various Types of Mould Treatments. *Journal of Food Quality*, 2021, 6127029. <https://doi.org/10.1155/2021/6127029>.
- Fawzy, S., Osman, A. I., Doran, J., & Rooney, D. W. (2020). Strategies for mitigation of climate change: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(6), 2069–2094. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01059-w>.
- Forsberg, C. W., Dale, B. E., Jones, D. S., Hossain, T., Morais, A. R. C., & Wendt, L. M. (2021). Replacing liquid fossil fuels and hydrocarbon chemical feedstocks with liquid biofuels from large-scale nuclear biorefineries. *Applied Energy*, 298, 117225. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117225>.
- Jantanaprasartporn, A., Tongcumpou, C., & Tuntiwiwattanapun, N. (2021). Influence of Quartz, Kaolin, and Organic Matter on the Critical Micelle Concentration of Tween Surfactants and their Application in Diesel-Contaminated Soil Washing. *Journal of Surfactants and Detergents*, 24(1), 75–83. <https://doi.org/10.1002/jsde.12466>.
- Kamalini, A., Muthusamy, S., Ramapriya, R., Muthusamy, B., & Pugazhendhi, A. (2018). Optimization of sugar recovery efficiency using microwave assisted alkaline pretreatment of cassava stem using response surface methodology and its structural characterization. *Journal of Molecular Liquids*, 254, 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.01.091>.
- Kassaye, S., Pant, K. K., & Jain, S. (2017). Hydrolysis of cellulosic bamboo biomass into reducing sugars via a combined alkaline solution and ionic liquid pretreatment steps. *Renewable Energy*, 104, 177–184. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.033>.
- Lachos-Perez, D., Tompsett, G. A., Guerra, P., Timko, M. T., Rostagno, M. A., Martínez, J., & Forster-Carneiro, T. (2017). Sugars and char formation on subcritical water hydrolysis of sugarcane straw. *Bioresource Technology*, 243, 1069–1077. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.080>.
- Londono-Pulgarin, D., Cardona-Montoya, G., Restrepo, J. C., & Munoz-Leiva, F. (2021). Fossil or bioenergy? Global fuel market trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143, 110905. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110905>.
- Magalhães Jr., A. I., de Carvalho, J. C., de Melo Pereira, G. V., Karp, S. G., Câmara, M. C., Medina, J. D. C., & Soccol, C. R. (2019). Lignocellulosic biomass from agro-industrial residues in South America: current developments and perspectives. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 13(6), 1505–1519. <https://doi.org/10.1002/bbb.2048>.
- Maktum, M., Junianti, F., Nurtono, T., & Widjaja, A. (2017). Combined subcritical water and enzymatic hydrolysis for reducing sugar production from coconut husk. *AIP Conference Proceedings*, 1840(1), 30004. <https://doi.org/10.1063/1.4982264>.
- Manzanares, P. (2020). The role of biorefining research in the development of a modern bioeconomy. *Acta Innovations*, 37, 47–56. <https://doi.org/10.32933/ActaInnovations.37.4>.
- Maravić, N., Šereš, Z., Vidović, S., Mišan, A., Milovanović, I., Radosavljević, R., & Pavlić, B. (2018). Subcritical water hydrolysis of sugar beet pulp towards production of monosaccharide fraction. *Industrial Crops and Products*, 115, 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.014>.
- Mayanga-Torres, P. C., Lachos-Perez, D., Rezende, C. A., Prado, J. M., Ma, Z., Tompsett, G. T., Timko, M. T., & Forster-Carneiro, T. (2017). Valorization of coffee industry residues by subcritical water hydrolysis: recovery of sugars and phenolic compounds. *The Journal of Supercritical Fluids*, 120, 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.10.015>.
- Muharja, M., Junianti, F., Nurtono, T., & Widjaja, A. (2017). Combined subcritical water and enzymatic hydrolysis for reducing sugar production from coconut husk. *AIP Conference Proceedings*, 1840. <https://doi.org/10.1063/1.4982264>.
- Muharja, Maktum, Darmayanti, R. F., Widjaja, A., Manurung, Y. H., Alamsyah, I., & Fadilah, S. N. (2022). Optimization of Sugarcane Bagasse Ash Utilization for Concrete Bricks Production Using Plackett-Burman and Central Composite Design. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 6(1), 62. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v6i1.282>.
- Muharja, Maktum, Fadhillah, N., Darmayanti, R. F., Sangian, H. F., Nurtono, T., & Widjaja, A. (2020). Effect of severity factor on the subcritical water and enzymatic hydrolysis of coconut husk for reducing sugar production. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 15(3), 786–797. <https://doi.org/10.9767/BCREC.15.3.8870.786-797>.
- Muharja, Maktum, Fadhillah, N., Nurtono, T., & Widjaja, A. (2020). Enhancing enzymatic digestibility of coconut husk using nitrogen assisted-subcritical water for sugar production. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 15(1), 84–95. <https://doi.org/10.9767/bcrec.15.1.5337.84-95>.
- Muharja, Maktum, Junianti, F., Ranggina, D., Nurtono, T., & Widjaja, A. (2018). An integrated green process:

- Subcritical water, enzymatic hydrolysis, and fermentation, for biohydrogen production from coconut husk. *Bioresource Technology*, 249(July 2017), 268–275. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.10.024>.
- Muharja, Maktum, Umam, D. K., Pertiwi, D., Zuhdan, J., Nurtono, T., & Widjaja, A. (2019). Enhancement of sugar production from coconut husk based on the impact of the combination of surfactant-assisted subcritical water and enzymatic hydrolysis. *Bioresource Technology*, 274, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.11.074>.
- Nanda, S., & Berruti, F. (2021). Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(2), 1433–1456. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01100-y>.
- Nargotra, P., Sharma, V., & Bajaj, B. K. (2019). Consolidated bioprocessing of surfactant-assisted ionic liquid-pretreated *Parthenium hysterophorus* L. biomass for bioethanol production. *Bioresource Technology*, 289, 121611. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121611>.
- Negin, C., Ali, S., & Xie, Q. (2017). Most common surfactants employed in chemical enhanced oil recovery. *Petroleum*, 3(2), 197–211. <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2016.11.007>.
- Nugroho, G., Fuchoiroh, I., -, M., Subiyanti, H., & Wardhani, R. (2021). Analisa Ampas Tebu sebagai Bahan Bakar Boiler pada Produksi Gula Tahun 2018 di PG Krebbe Baru II Malang. *Jurnal Nasional Aplikasi Mekatronika, Otomasi Dan Robot Industri (AMORI)*, 2(1). <https://doi.org/10.12962/j27213560.v2i1.9131>.
- Okolie, J. A., Mukherjee, A., Nanda, S., Dalai, A. K., & Kozinski, J. A. (2021). Next-generation biofuels and platform biochemicals from lignocellulosic biomass. *International Journal of Energy Research*, 45(10), 14145–14169. <https://doi.org/10.1002/er.6697>.
- Oliveira, T. C. G., Hanlon, K. E., Interlandi, M. A., Torres-Mayanga, P. C., Silvello, M. A. C., Lachos-Perez, D., Timko, M. T., Rostagno, M. A., Goldbeck, R., & Forster-Carneiro, T. (2020). Subcritical water hydrolysis pretreatment of sugarcane bagasse to produce second generation ethanol. *The Journal of Supercritical Fluids*, 164, 104916. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.104916>.
- Rachmah, A. N. L., Fatmawati, A., & Widjaja, A. (2022). Impact of surfactant-aided subcritical water pretreatment process conditions on the reducing sugar production from oil palm empty fruit bunch. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 963(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/963/1/012005>.
- Rahardjo, A. H., Azmi, R. M., Muharja, M., Aparamarta, H. W., & Widjaja, A. (2021). Pretreatment of Tropical Lignocellulosic Biomass for Industrial Biofuel Production : A Review Pretreatment of Tropical Lignocellulosic Biomass for Industrial Biofuel Production : A Review. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1053(2021), 012097. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1053/1/012097>.
- Rao, J. S., & Kumar, B. (2012). 3D Blade root shape optimization. *10th International Conference on Vibrations in Rotating Machinery*, 173–188.
- Sarker, T. R., Pattnaik, F., Nanda, S., Dalai, A. K., Meda, V., & Naik, S. (2021). Hydrothermal pretreatment technologies for lignocellulosic biomass: A review of steam explosion and subcritical water hydrolysis. *Chemosphere*, 284(March), 131372. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131372>.
- Sewsynker-Sukai, Y., Suinyuy, T. N., & Kana, E. B. G. (2018). Development of a sequential alkalic salt and dilute acid pretreatment for enhanced sugar recovery from corn cobs. *Energy Conversion and Management*, 160, 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.01.024>.
- Sharma, V., Nargotra, P., & Bajaj, B. K. (2019). Ultrasound and surfactant assisted ionic liquid pretreatment of sugarcane bagasse for enhancing saccharification using enzymes from an ionic liquid tolerant *Aspergillus assiutensis* VS34. *Bioresource Technology*, 285, 121319. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121319>.
- Sirohi, R., Pandey, J. P., Singh, A., Sindhu, R., Lohani, U. C., Goel, R., & Kumar, A. (2020). Acid hydrolysis of damaged wheat grains: Modeling the formation of reducing sugars by a neural network approach. *Industrial Crops and Products*, 149, 112351. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112351>.
- Snehya, A. V., Sundaramahalingam, M. A., Rajeshbanu, J., Anandan, S., & Sivashanmugam, P. (2021). Studies on evaluation of surfactant coupled sonication pretreatment on *Ulva fasciata* (marine macroalgae) for enhanced biohydrogen production. *Ultrasonics Sonochemistry*, 81, 105853. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105853>.
- Sudarto, R., Lukmana, L., Sari, S. F., Silitonga, E. M., Asmeni, F., Aryani, D., & Daniati, C. (2020). *Pembangunan Perkebunan 2020* (D. Gartina, Iswanto, M. U. Ametung, A. Hartono, G. Widayanto, & K. A. Sukanadi (eds.)). Direktorat Jendral Perkebunan.
- Syahfitri, D., Nurhadi, E., & Amir, I. T. (2022). Bisnis Model Kanvas Pada PT. Pabrik Gula Candi Baru Sidoarjo

- Jawa Timur. *Jurnal Agribisnis Indonesia*, 10(1), 63–75. <https://doi.org/10.29244/jai.2022.10.1.63-75>.
- Vedovatto, F., Ugalde, G., Bonatto, C., Bazoti, S. F., Treichel, H., Mazutti, M. A., Zabot, G. L., & Tres, M. V. (2021). Subcritical water hydrolysis of soybean residues for obtaining fermentable sugars. *The Journal of Supercritical Fluids*, 167, 105043. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.105043>.
- Weerasai, K., Champreda, V., Sakdaronnarong, C., Shotipruk, A., & Laosiripojana, N. (2018). Hydrolysis of eucalyptus wood chips under hot compressed water in the presence of sulfonated carbon-based catalysts. *Food and Bioprocess Processing*, 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.05.005>.
- Yang, H., Shi, Z., Xu, G., Qin, Y., Deng, J., & Yang, J. (2018). Bioethanol production from bamboo with alkali-catalyzed liquid hot water pretreatment. *Bioresource Technology*, 1–27. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.11.088>.
- Yu, X.-L., & He, Y. (2017). Application of Box-Behnken designs in parameters optimization of differential pulse anodic stripping voltammetry for lead(II) determination in two electrolytes. *Scientific Reports*, 7(1), 2789. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03030-2>.
- Zhang, H., Chen, W., Han, X., Zeng, Y., Zhang, J., Gao, Z., & Xie, J. (2021). Intensification of sugar production by using Tween 80 to enhance metal-salt catalyzed pretreatment and enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*, 339, 125522. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125522>.
- Zhang, H., Huang, S., Wei, W., Zhang, J., & Xie, J. (2019). Investigation of alkaline hydrogen peroxide pretreatment and Tween 80 to enhance enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse. *Biotechnology for Biofuels*, 12(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1454-3>.
- Zheng, T., Jiang, J., & Yao, J. (2021). Surfactant-promoted hydrolysis of lignocellulose for ethanol production. *Fuel Processing Technology*, 213, 106660. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106660>.