

Analisis Hidrolisis Limbah Kertas dengan Katalis Asam Sulfat Menggunakan Metode Response Surface Methodology

Analisis Hidrolisis Limbah Kertas dengan Katalis Asam Sulfat Menggunakan Metode Response Surface Methodology

Jabosar Ronggur Hamonangan Panjaitan^{1*)}, Conny Octaviani²⁾, Renata Margaretta Sinabutar³⁾

^{1,2,3}Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia

Article info

Keywords

Acid hydrolysis,
Paper waste, Response surface
methodology

Article history

Received 26-12-2024
Accepted 19-08-2025

^{*)Corresponding author}

jabosar.panjaitan@tk.itera.ac.id

ABSTRACT

Paper waste can cause environmental damage, so paper waste processing must be carried out. Paper waste which is a lignocellulosic compound can be processed with acid hydrolysis process to produce cellulose degradation products. In this research, waste paper hydrolysis was carried out using sulfuric acid with response surface methodology (RSM) optimization which the variables studied were mixing speed, time and S/L ratio. Based on the results of ANOVA test, it was known that mixing speed, time and solid liquid (S/L) ratio did not have a significant influence on %conversion. From the comparison of the independent variables, the mixing speed and time showed significantly influence %conversion compared to the S/L ratio. Higher %conversion was obtained from lower value of mixing speed, time and S/L ratio. In this study, 65% conversion was produced under operating conditions of 175 rpm stirring speed, 30 minutes reaction time, and 1:15 S/L ratio.

Article info

Kata kunci

Hidrolisis asam, limbah kertas,
response surface methodology

Riwayat Artikel

Received 26-12-2024
Accepted 19-08-2025

^{*)Corresponding author}

jabosar.panjaitan@tk.itera.ac.id

ABSTRAK

Peningkatan limbah kertas dapat menyebabkan kerusakan lingkungan sehingga pengolahan limbah kertas harus dilakukan. Limbah kertas yang merupakan senyawa lignoselulosa dapat diolah melalui proses hidrolisis asam untuk memproduksi produk degradasi selulosa. Pada penelitian ini dilakukan hidrolisis limbah kertas menggunakan asam sulfat dengan optimasi *response surface methodology* (RSM) dimana variabel yang diteliti adalah kecepatan adukan, waktu dan ratio S/L. Berdasarkan hasil uji ANOVA diketahui bahwa variabel kecepatan adukan, waktu dan ratio solid liquid (S/L) pada penelitian ini tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap %konversi yang dihasilkan. Dari perbandingan variabel bebas yang diteliti, variabel kecepatan adukan dan waktu cukup

mempengaruhi %konversi dibandingkan dengan ratio S/L. Nilai %konversi yang semakin besar diperoleh dari nilai kecepatan adukan, waktu dan ratio S/L yang semakin rendah. Pada penelitian ini 65% konversi diperoleh pada kondisi operasi kecepatan pengadukan sebesar 175 rpm, waktu reaksi 30 menit, dan ratio S/L 1:15.

PENDAHULUAN

Perkembangan suatu wilayah seperti daerah urbanisasi yang mengalami peningkatan kemampuan literasi dan daerah sekitar industri umumnya menghasilkan limbah kertas yang meningkat setiap tahunnya (Xu et al., 2021). Limbah kertas merupakan material yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa lignin atau disebut juga biomassa lignoselulosa (Zhang et al., 2020). Selain itu, limbah kertas juga mengandung senyawa – senyawa kimia dari hasil proses produksinya seperti bahan pengisi, *retention aids*, *adhesives*, *coatings*, *biocides*, dan perekat sintetis (Wibowo et al., 2020).

Salah satu cara mengatasi limbah kertas adalah dengan memakai kembali limbah kertas sebagai kertas daur ulang (Ma et al., 2021; Pivnenko et al., 2014) meskipun pada proses daur ulang hanya dapat dilakukan dua hingga empat kali *recycle* dan setelah itu limbah kertas tetap harus dibuang (Kolajo & Onovae, 2023; Kulkarni, 2017; Ozola et al., 2019). Di sisi lain, produk kertas dari proses *recycle* secara umum berkualitas rendah. Hal ini dapat disebabkan karena pemendekan fiber kertas yang menyebabkan kertas mudah rusak atau robek (Kolajo & Onovae, 2023).

Beberapa penelitian telah dilakukan dalam mengaplikasikan limbah kertas seperti *plasterboard*, *cellulose fiber insulation*, dan *bricks* untuk pencampuran semen pada aplikasi konstruksi (Rahman et al., 2020). Selulosa yang tinggi pada limbah kertas dapat digunakan untuk pembuatan material berbahan baku selulosa, akan tetapi memerlukan proses yang cukup kompleks dalam produksinya. Cara yang paling sederhana untuk pemanfaatan limbah kertas adalah menggunakan proses hidrolisis untuk menghasilkan senyawa turunan dari limbah kertas yang bernilai ekonomis seperti glukosa.

Produk degradasi selulosa dapat dihasilkan dari proses hidrolisis selulosa. Selulosa yang merupakan komponen utama dari serat tanaman mengandung monomer glukosa yang berikatan β -D-glucose. Selulosa banyak berasal dari tanaman yang merupakan material karbon yang dihasilkan dari proses fotosintesis (Gautam et al., 2010). Proses hidrolisis terutama hidrolisis asam dapat digunakan untuk memutus ikatan pada selulosa dalam menghasilkan produk degradasi selulosa salah satunya adalah glukosa.

Hidrolisis selulosa dapat menggunakan katalis asam seperti asam klorida, asam sulfat, asam nitrat dan asam fosfat (Agustini et al., 2019; Zhang et al., 2020). Asam sulfat adalah asam yang umum digunakan dalam proses hidrolisis biomassa (Xing et al., 2018). Selain itu, *dilute acid pretreatment* atau hidrolisis dengan konsentrasi asam yang rendah merupakan metode yang banyak diaplikasikan di industri karena dapat meningkatkan aksesibilitas selulosa dalam proses hidrolisis (Tang et al., 2021).

Proses hidrolisis asam perlu dioptimasi untuk memperoleh hasil yield hidrolisis yang maksimal. Salah satu metode yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan optimasi *response surface methodology* (RSM). Optimasi RSM adalah metode yang umum dilakukan untuk melihat hasil respon dari berbagai faktor pengaruh yang diteliti. Beberapa penelitian hidrolisis limbah kertas menggunakan katalis asam sulfat dengan optimasi RSM telah dilakukan. Ngo et al (2023) meneliti optimasi parameter ratio S/L, konsentrasi asam, suhu, dan waktu reaksi hidrolisis limbah kertas untuk menghasilkan selulosa bakteri (Ngo et al., 2023). Jung et al (2013) meneliti optimasi konsentrasi asam dan waktu reaksi hidrolisis limbah kertas untuk memproduksi gula (Jung et al., 2013). Tadmourt et al (2020) meneliti optimasi parameter suhu, waktu, dan konsentrasi asam untuk reaksi hidrolisis limbah kertas untuk menghasilkan bioethanol (Tadmourt et al., 2020). Amenaghawon et al (2015) meneliti optimasi parameter konsentrasi asam, waktu, suhu, dan ratio S/L untuk reaksi hidrolisis limbah kertas koran untuk memproduksi gula (Amenaghawon et al., 2015).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, pengaruh konsentrasi asam dan suhu merupakan variabel yang sangat berpengaruh dalam proses hidrolisis asam biomassa (Ngo et al., 2023). Sedangkan pengaruh kecepatan adukan, waktu dan ratio S/L dinyatakan tidak terlalu berpengaruh sehingga penelitian mengenai hidrolisis asam dengan batasan tiga variabel bebas yaitu kecepatan adukan, waktu dan ratio S/L belum pernah dilakukan. Oleh sebab itu, pada penelitian ini akan diteliti pengaruh dari kecepatan adukan, waktu dan ratio S/L terhadap hidrolisis asam sulfat limbah kertas menggunakan optimasi *response surface methodology* (RSM).

METODE

Alat dan bahan yang digunakan

Alat pada penelitian ini antara lain *hot plate* dengan *magnetic stirrer* (IKA C-MAG HS 7), *water bath* (Edibon), labu leher tiga, termometer, kondensor, klem dan statif. Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah kertas HVS ukuran A4, asam sulfat (Merck) dan sodium hidroksida (Merck).

Prosedur penelitian

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini antara lain

Preparasi limbah kertas

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu limbah kertas HVS yang ada di Institut Teknologi Sumatera dengan ukuran A4 (70 gsm) dengan massa 250 gr. Pada tahap awal dilakukan pengecilan ukuran kertas dengan memotong limbah kertas HVS A4 menjadi ukuran 2x2 cm.

Deinking limbah kertas

Proses deinking dilakukan dengan mencampurkan sejumlah limbah kertas dan larutan NaOH 1% (v/v) pada suhu ruang 25°C selama 1 jam dan diaduk dengan pengaduk mekanik pada kecepatan 100 rpm. Limbah kertas kemudian dicuci dengan akuades sampai pH netral yang diukur dengan indikator pH (Kumar et al., 2016).

Optimasi kondisi operasi hidrolisis dengan *Response Surface Method* (RSM)

Pada penelitian ini aplikasi optimasi RSM yang digunakan adalah Minitab 19. Desain *Box-Behnken* digunakan pada metode RSM karena pada penelitian ini melibatkan tiga faktor berbeda yang divariasikan yaitu waktu reaksi, kecepatan pengadukan, dan ratio S/L. Secara garis besar penentuan desain eksperimen pada RSM terdiri atas identifikasi faktor-faktor yang berpengaruh pada proses, penentuan variabel faktor pada proses, penetapan level-level factor dan perencanaan eksperimen. Pada penelitian ini level percobaan *Box-Behnken Design* terdiri dari 15 kali percobaan yang terdiri dari 12 kali percobaan yang dilakukan pada level atas (+1), level tengah (0), dan level bawah (-1) serta ditambah 3 kali percobaan yang dilakukan pada level tengah. Pada penelitian ini variabel respon yang digunakan dan matrik BBD untuk 3 variabel ditunjukkan pada Tabel 1. Matriks *box-behnken design* untuk kondisi operasi tiga variabel dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Variabel Bebas Penelitian

Level	Waktu reaksi (menit) (X1)	Kecepatan pengadukan (rpm) (X2)	Ratio S/L (v/v) (X3)
-1	30	100	1:10
0	75	175	1:25
+1	120	250	1:40

Tabel 2. Matriks *box-behnken design* untuk kondisi operasi tiga variabel

Std order	Run order	Pt type	Blocks	Waktu reaksi (menit)	Kecepatan pengadukan (rpm)	Ratio S/L (v/v)
1	1	2	1	30	100	25
2	2	2	1	120	100	25
3	3	2	1	30	250	25
4	4	2	1	120	250	25
5	5	2	1	30	175	10
6	6	2	1	120	175	10
7	7	2	1	30	175	40
8	8	2	1	120	175	40
9	9	2	1	75	100	10
10	10	2	1	75	250	10
11	11	2	1	75	100	40
12	12	2	1	75	250	40
13	13	0	1	75	175	25
14	14	0	1	75	175	25
15	15	0	1	75	175	25

Setelah mengolah data eksperimen menggunakan software statistika maka akan mendapatkan nilai koefisien. Kemudian nilai koefisien dimasukkan kedalam persamaan berikut:

$$y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \beta_{11}X_1^2 + \beta_{22}X_2^2 + \beta_{33}X_3^2 + \beta_{12}X_1X_2 + \beta_{13}X_1X_3 + \beta_{23}X_2X_3 \quad (1)$$

Dimana y adalah Respons yang diprediksi, β_0 adalah koefisien konstanta, β_i adalah koefisien linier, β_{ij} adalah koefisien interaksi, β_{ii} adalah koefisien kuadrat, x_i dan x_j adalah nilai kode variabel.

Hidrolisis limbah kertas dengan penambahan katalis asam sulfat

Setelah kondisi operasi dioptimasi menggunakan minitab, selanjutnya dilakukan hidrolisis limbah kertas. Pada tahap pertama hidrolisis, rangkai alat hidrolisis yang terdiri dari labu leher tiga, statif, kondensor, *magnetic stirrer* dan *hot plate*. Selanjutnya aquadest dimasukkan ke dalam labu leher tiga pada volume yang telah ditetapkan sesuai dengan konsentrasi asam sulfat yang digunakan. *Heater* dihidupkan dan suhu diatur hingga konstan mencapai 100°C. Kemudian dilakukan penimbangan limbah kertas yang telah di deinking sebanyak 10-gram dan dimasukkan ke dalam labu leher tiga.

Selanjutnya masukkan asam sulfat sehingga larutan didalam labu leher tiga menjadi larutan asam sulfat dengan konsentrasi 1%. Waktu reaksi hidrolisis dimulai setelah katalis asam sulfat dimasukkan. Proses hidrolisis dilakukan berulang sesuai dengan kondisi operasi pada Tabel 2. Setelah dilakukan proses hidrolisis, *heater* kemudian dimatikan dan rangkaian alat hidrolisis dilepas. Produk hasil hidrolisis kemudian didinginkan dan disaring menggunakan kertas saring. Setelah itu, hitung %konversi kertas yang terhidrolisis sesuai rumus:

$$\%konversi = \frac{ma - mp}{ma} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana %konversi adalah konversi yang dihasilkan dari proses hidrolisis, mp adalah massa produk (g), dan ma adalah massa sampel awal (g).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hidrolisis Limbah Kertas

Berdasarkan Tabel 3, dapat dilihat bahwa belum ada pengaruh signifikan dari variabel waktu reaksi, kecepatan pengadukan dan ratio S/L terhadap %konversi yang dihasilkan. %konversi menunjukkan hasil yang bervariasi untuk semua variabel. %Konversi tertinggi yaitu 60% dari penelitian ini dihasilkan pada run-15 dengan kondisi operasi waktu reaksi selama 75 menit, kecepatan pengadukan sebesar 175 rpm dan ratio S/L sebesar 25. Sedangkan %konversi terendah yaitu 32% dari penelitian ini dihasilkan pada run-3 dengan

kondisi operasi waktu reaksi selama 30 menit, kecepatan pengadukan sebesar 250 rpm dan ratio S/L sebesar 25.

Analisis Hidrolisis Limbah Kertas Menggunakan Metode Response Surface Methodology (RSM)

RSM berdasarkan desain Box-Behnken (BBD) mengoptimalkan parameter operasi dalam proses hidrolisis limbah kertas yang dikatalisis asam sulfat dan memperkirakan interaksi antar parameter operasi. Nilai persamaan regresi yang diperoleh dari simulasi yaitu:

$$Y = 1,204 - 0,00437X_1 - 0,00302X_2 - 0,01956X_3 - 0,000015X_1^2 + 0,000004X_2^2 + 0,000172X_3^2 + 0,000013X_1X_2 + 0,000137X_1X_3 - 0,000007X_2X_3 \quad (3)$$

Respon untuk nilai prediksi ditentukan oleh persamaan 3. X_1 merupakan orde linier dari variabel bebas untuk waktu reaksi, X_2 merupakan orde linier dari variabel bebas untuk kecepatan pengadukan, dan X_3 merupakan orde linier dari ratio S/L. Kemudian, untuk X_1^2 , X_2^2 , dan X_3^2 merupakan orde kuadrat dari variabel bebas untuk waktu reaksi, kecepatan pengadukan, dan ratio S/L. Sedangkan X_1X_2 , X_1X_3 , X_2X_3 merupakan interaksi antara variabel-variabel bebas (Oramahi, 2016).

Analysis Of Variance (ANOVA)

Metode statistik yang umum digunakan untuk menganalisis data dari eksperimen yang dirancang sering disebut sebagai teknik analisis varians atau ANOVA. Analisis varians merupakan metode untuk menguji hubungan antara dua atau lebih kumpulan data. Dengan kata lain, melakukan analisis varians dapat mengetahui adanya hubungan antar kumpulan data (Das & Mishra, 2017). Setelah dilakukannya percobaan sesuai dengan matriks *box-behnken design* dan didapatkan hasil %yield secara eksperimen, kemudian menggunakan Minitab 19 untuk mengetahui hasil prediksi %yield pada masing-masing variabel yang sudah ditentukan menggunakan matriks *box-behnken design*. Untuk hasil analisa menggunakan Minitab 19 dapat dilihat pada Tabel 4 dengan nilai R yang diperoleh sebesar 83,25%.

Pada uji ANOVA perlu dibuat hipotesis yang akan diuji yaitu tidak terdapat pengaruh antar variabel input terhadap respon (H_0) dan paling sedikit ada satu variabel input yang berpengaruh (H_1). Pada Tabel 4, menunjukkan hampir semua *P-Value* yang diperoleh lebih dari angka signifikansi ($>0,05$) yaitu sebesar 0,138. Hal tersebut menandakan bahwa H_0 diterima yang berarti variabel input yang digunakan tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon.

Tabel 3. Hasil hidrolisis limbah kertas

Run Order	Waktu reaksi (menit)	Kecepatan pengadukan (rpm)	Ratio S/L (v/v)	%Konversi (%)
1	30	100	25	58
2	120	100	25	57
3	30	250	25	32
4	120	250	25	55
5	30	175	10	43
6	120	175	10	50
7	30	175	40	37
8	120	175	40	45
9	75	100	10	39
10	75	250	10	51
11	75	100	40	40
12	75	250	40	48
13	75	175	25	53
14	75	175	25	47
15	75	175	25	60

Tabel 4. Analysis of variants

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	0,080533	0,008948	2,76	0,138
Linear	3	0,026950	0,008983	2,77	0,150
X ₁	1	0,018050	0,018050	5,57	0,065
X ₂	1	0,008450	0,008450	2,61	0,167
X ₃	1	0,000450	0,000450	0,14	0,725
Square	3	0,011908	0,003969	1,23	0,392
X ₁ *X ₁	1	0,003606	0,003606	1,11	0,340
X ₂ *X ₂	1	0,002083	0,002083	0,64	0,459
X ₃ *X ₃	1	0,005544	0,005544	1,71	0,248
2-Way Interaction	3	0,041675	0,013892	4,29	0,075
X ₁ *X ₂	1	0,007225	0,007225	2,23	0,196
X ₁ *X ₃	1	0,034225	0,034225	10,56	0,023
X ₂ *X ₃	1	0,000225	0,000225	0,07	0,803
Error	5	0,016200	0,003240		
Lack-of-Fit	3	0,010000	0,003333	1,08	0,515
Pure Error	2	0,006200	0,003100		
Total	14	0,096733			

Keterangan: X₁ adalah waktu reaksi, X₂ adalah kecepatan pengadukan, dan X₃ adalah Ratio S/L

Uji Kesesuaian Model (*Lack Of-Fit*)

Lack-of-fit adalah ketidaksesuaian yang ditemukan dalam model regresi. Uji ketidakcocokan dilakukan untuk mengetahui apakah model regresi memadai untuk menjelaskan penelitian yang diperoleh. Jika *lack-of-fit* tidak signifikan, maka model tersebut benar. Sebaliknya, jika ketidaksesuaiannya signifikan maka model regresi tidak tepat (Ratnawati et al., 2018).

Pengujian *lack-of-fit* berdasarkan kepada analisis varian dengan hipotesis sebagai berikut tidak ada *lack of-fit* atau model regresi sesuai (H_0) dan ada *lack of-fit* atau model regresi tidak sesuai (H_1). Berdasarkan hasil ANOVA pada Tabel 4, diperoleh nilai *P-Value* >0,05 atau 0,138 maka H_0 diterima artinya model tersebut cocok. Uji ANOVA juga menentukan nilai R^2 yang menunjukkan nilai Keputusan (determinasi). Nilai determinasi digunakan untuk memudahkan dalam menilai besarnya pengaruh variabel (Putra et al., 2023). Nilai R^2 menunjukkan pengaruh waktu reaksi, kecepatan pengadukan, dan ratio S/L terhadap rendemen reaksi (%) adalah sebesar 83,25%. Sedangkan sisanya sebesar 16,75% dipengaruhi dari variabel lain yang tidak dimasukkan ke dalam model.

Pengaruh antar variabel bebas

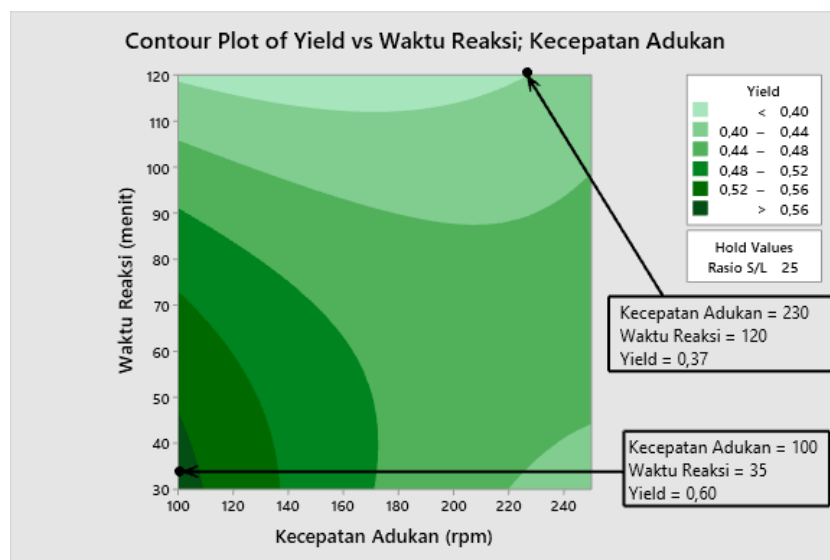
Gambar 1 menunjukkan pengaruh waktu reaksi dan kecepatan pengadukan berdasarkan besaran *range* respon yang dihasilkan. *Range* tertinggi pada gambar tersebut berada di sudut kiri yang berwarna hijau tua dengan hasil %konversi sebesar 60% pada kondisi operasi kecepatan pengadukan sebesar 100 rpm, waktu reaksi 35 menit, dan ratio S/L 1:25. Sedangkan, untuk warna hijau muda menunjukkan nilai %konversi sebesar 37% pada kondisi operasi kecepatan pengadukan sebesar 230 rpm, waktu reaksi 120 menit, dan ratio S/L 1:25. Nilai %konversi yang rendah pada pengadukan 230 rpm dan waktu 120 menit dapat disebabkan kecepatan pengadukan yang besar pada ratio S/L yang besar. Peningkatan kecepatan adukan dapat meningkatkan transfer massa diantara bahan agar dapat bereaksi (Ma et al., 2019). Namun, Jin et al (2021) menyatakan bahwa peningkatan kecepatan adukan tidak berpengaruh signifikan pada hidrolisis selulosa (Jiang et al., 2021). Hasil penelitian nya menunjukkan bahwa pada ratio S/L yang tinggi membutuhkan kecepatan adukan rendah untuk mendapatkan konversi yang tinggi. Oleh sebab itu, pada penelitian ini kondisi operasi pada 100 rpm dan waktu reaksi 35 menit menghasilkan %konversi yang lebih tinggi sebesar 60%.

Gambar 2 menunjukkan pengaruh ratio S/L dan kecepatan pengadukan berdasarkan besaran *range* respon yang dihasilkan. *Range* tertinggi pada gambar 2 berada di atas warna hijau tua dengan hasil %konversi sebesar 58% pada kondisi operasi kecepatan pengadukan sebesar 100 rpm, waktu reaksi selama 75 menit, dan ratio S/L 1:17. Sedangkan, untuk warna hijau muda menunjukkan nilai %konversi sebesar 43% pada kondisi operasi kecepatan pengadukan sebesar 230 rpm, waktu reaksi selama 75 menit, dan ratio S/L 1:23. Rendahnya nilai %konversi dapat disebabkan besarnya ratio S/L. Hal ini dapat disebabkan karena pelarut dalam jumlah besar mengurangi efisiensi transfer

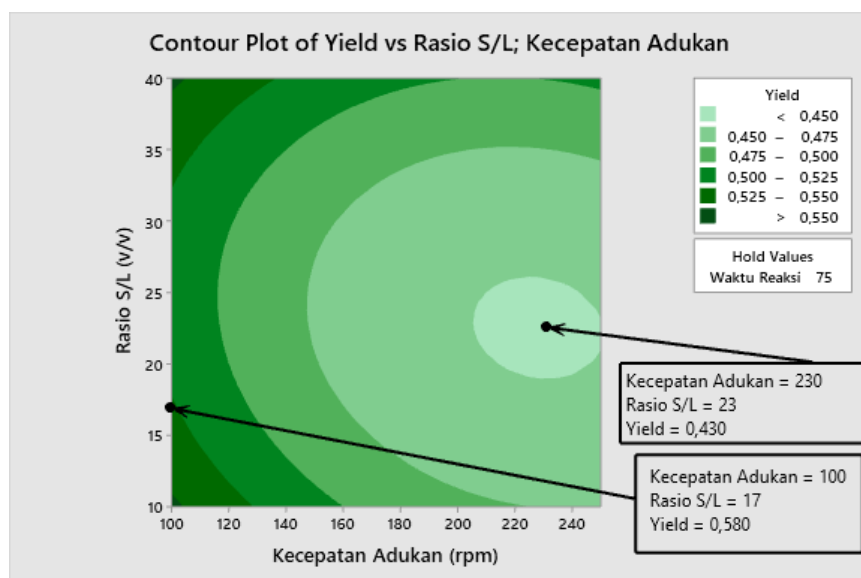
massa antara bahan baku (Ngo et al., 2023). Oleh sebab itu, nilai %konversi semakin kecil dengan bertambah besarnya ratio S/L.

Gambar 3 menunjukkan pengaruh ratio S/L dan waktu reaksi terhadap besaran *range* respon yang dihasilkan. *Range* tertinggi pada gambar 3 ditunjukkan dengan warna hijau tua dengan hasil %konversi sebesar 65% pada kondisi operasi kecepatan pengadukan sebesar 175 rpm, waktu reaksi 30 menit, dan ratio S/L 1:15. Sedangkan, untuk warna biru tua menunjukkan nilai %konversi sebesar 32% pada kondisi operasi kecepatan pengadukan sebesar 175 rpm, waktu reaksi 120 menit, dan ratio S/L 1:18. Berdasarkan perbandingan kedua %konversi diatas dapat diketahui bahwa semakin lama waktu reaksi maka akan semakin rendah %konversi yang dihasilkan.

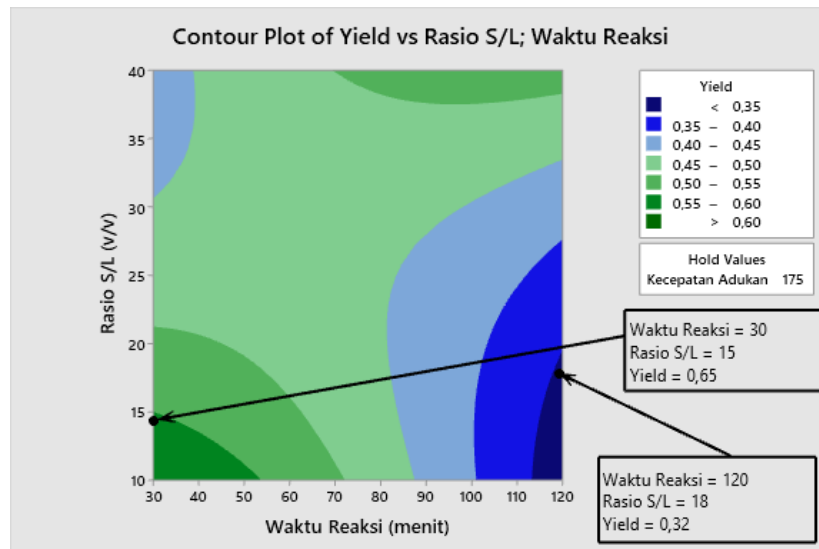
Semakin lama waktu pada proses hidrolisis umumnya menghasilkan %konversi selulosa yang tinggi, Akan tetapi pada penelitian ini menunjukkan hal yang sebaliknya. Hal ini dapat disebabkan karena karakteristik bahan yang digunakan yaitu limbah kertas. Hasil pada penelitian ini sejalan dengan Ngo et al (2023). Penelitian Ngo et al (2023) melakukan optimasi hidrolisis limbah kertas pada rentang kondisi waktu 6 hingga 12 jam. Dari hasil penelitiannya dihasilkan %konversi yang semakin rendah pada waktu reaksi hidrolisis yang semakin lama (Ngo et al., 2023).



Gambar 1. *Contour plot* %konversi terhadap waktu reaksi dan kecepatan pengadukan



Gambar 2. *Contour plot* %konversi terhadap ratio S/L dan kecepatan pengadukan



Gambar 3. *Contour plot* %konversi terhadap ratio S/L dan waktu reaksi

KESIMPULAN

Pada penelitian ini diteliti pengaruh kecepatan adukan, waktu dan ratio S/L terhadap hidrolisis limbah kertas menggunakan asam sulfat dengan optimasi *response surface methodology* (RSM). Pada uji ANOVA yang telah dilakukan menunjukkan bahwa variabel kecepatan adukan, waktu dan ratio S/L pada penelitian ini tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap %konversi yang dihasilkan. Diantara ketiga variabel yang diteliti, variabel kecepatan adukan dan waktu cukup mempengaruhi %konversi dibandingkan dengan ratio S/L. Hasil penelitian menunjukkan semakin rendah kecepatan adukan, waktu dan ratio S/L menghasilkan %konversi yang semakin besar. Nilai %konversi tertinggi diperoleh sebesar 65% pada kondisi operasi kecepatan pengadukan sebesar 175 rpm, waktu reaksi 30 menit, dan ratio S/L 1:15.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustini, N. W. S., Hidayati, N., & Wibisono, S. A. (2019). Effect of hydrolysis time and acid concentration on bioethanol production of microalga *Scenedesmus* sp. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 308(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/308/1/012029>.
- Amenaghawon, N. A., Ogbide, S. E., & Okieimen, C. O. (2015). Optimisation of Dilute Sulphuric Acid Hydrolysis of Waste Newspaper for High Yields of Fermentable Sugars. *Nigerian Journal of Technology Research*, 10(1).
- Das, S., & Mishra, S. (2017). Box-Behnken statistical design to optimize preparation of activated carbon from *Limonium acidissima* shell with desirability approach. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(1), 588–600. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.12.034>.
- Gautam, S. P., Bundela, P. S., Pandey, A. K., Jamaluddin, J., Awasthi, M. K., & Sarsaiya, S. (2010). A review on systematic study of cellulose. *Journal of Applied and Natural Science*, 2(2), 330–343. <https://doi.org/10.31018/jans.v2i2.143>.
- Jiang, X., Zhai, R., & Jin, M. (2021). Increased mixing intensity is not necessary for more efficient cellulose hydrolysis at high solid loading. *Bioresource Technology*, 329(January), 124911. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124911>.
- Jung, J. Y., Choi, M. S., & Yang, J. K. (2013). Optimization of concentrated acid hydrolysis of waste paper using response surface methodology. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 41(2), 87–99. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2013.41.2.87>.
- Kolajo, T. E., & Onovae, J. E. (2023). Biochemical conversion of waste paper slurries into bioethanol. *Scientific African*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01703>.

- Kulkarni, S. J. (2017). Paper Waste Recycle and Its Sludge Reduction - Towards Waste and Cost Minimization. *International Journal of Research & Review (Www.Gkpublication.In)*, 4(October), 19–24. www.ijrrjournal.com.
- Kumar, A., Gamana, S., Pai, & Rebello, M. R. (2016). Conversion of Waste Paper into Useful Bio-Products. *Research Journal Chemical Environmental Science*, 4, 40–42.
- Ma, S., Ma, H. jun, Hu, H. dong, & Ren, H. qiang. (2019). Effect of mixing intensity on hydrolysis and acidification of sewage sludge in two-stage anaerobic digestion: Characteristics of dissolved organic matter and the key microorganisms. *Water Research*, 148, 359–367. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.10.058>.
- Ma, Z., Yang, Y., Chen, W. Q., Wang, P., Wang, C., Zhang, C., & Gan, J. (2021). Material Flow Patterns of the Global Waste Paper Trade and Potential Impacts of China's Import Ban. *Environmental Science and Technology*, 55(13), 8492–8501. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c00642>.
- Ngo, T. T. N., Le Tan, N. T., Nguyen, T. T. N., Vo, T. T. H., Tran, K. G. H., Le, N. P. T., Vo, T. P., Huynh, Q., & Nguyen, D. Q. (2023). Optimisation on the Hydrolysis Process of Paper Waste Sludge to Produce Bacterial Cellulose through Fermentation. *Chemical Engineering Transactions*, 106(August), 271–276. <https://doi.org/10.3303/CET23106046>.
- Oramahi, H. A. (2016). Optimasi dengan RSM dan Rancangan Percobaan (Aplikasi dengan SPSS dan SAS). *Gava Media*, 1–5.
- Ozola, Z. U., Vesere, R., Kalnins, S. N., & Blumberga, D. (2019). Paper Waste Recycling. Circular Economy Aspects. *Environmental and Climate Technologies*, 23(3), 260–273. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2019-0094>.
- Pivnenko, K., Eriksson, E., & Astrup, T. F. (2014). Waste paper for recycling: Overview and identification of potentially critical substances. *Waste Management*, 45, 134–142. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.028>.
- Putra, M. I. D., Kaco, R., & Rasyid, R. A. (2023). The Effect of Organizational Culture and Work Discipline on Performance. *Journal La Bisecoman*, 4(6), 119–124. <https://doi.org/10.37899/journallabisecoman.v4i6.835>.
- Rahman, M. H. A., Maidin, N. A., Wahid, M. K., Hussin, M. S. F., Ahmad, M. N., Ahmad, U. H., Osman, M. H., & Subramaniam, A. V. (2020). Product Design and Development of Waste Paper Plastering Mortars Machine. *Journal of Physics: Conference Series*, 1529(4), 2–10. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1529/4/042036>.
- Ratnawati, S. E., Ekantari, N., Pradipta, R. W., & Paramita, B. L. (2018). The Application of Response Surface Methodology (RSM) on the Optimization of Catfish Bone Calcium Extraction. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 20(1), 41. <https://doi.org/10.22146/jfs.35663>.
- Tadmourt, W., Khiari, K., Boulal, A., & Tarabet, L. (2020). Waste paper valorization for bioethanol production: Pretreatment and acid hydrolysis optimization. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1815908>.
- Tang, W., Wu, X., Huang, C., Ling, Z., Lai, C., & Yong, Q. (2021). Natural surfactant-aided dilute sulfuric acid pretreatment of waste wheat straw to enhance enzymatic hydrolysis efficiency. *Bioresource Technology*, 324(December 2020), 124651. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124651>.
- Wibowo, I. D., Purwanto, P., & Suherman, S. (2020). Solid waste management in the paper industry. *E3S Web of Conferences*, 202, 1–7. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020206026>.
- Xing, L., Gu, J., Zhang, W., Tu, D., & Hu, C. (2018). Cellulose I and II nanocrystals produced by sulfuric acid hydrolysis of Tetra pak cellulose I. *Carbohydrate Polymers*, 192, 184–192. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.03.042>.
- Xu, H., Feng, L., Wu, G., & Zhang, Q. (2021). Evolution of structural properties and its determinants of global waste paper trade network based on temporal exponential random graph models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149(June), 111402. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111402>.
- Zhang, H., Chen, Y., Wang, S., Ma, L., Yu, Y., Dai, H., & Zhang, Y. (2020). Extraction and comparison of cellulose nanocrystals from lemon (Citrus limon) seeds using sulfuric acid hydrolysis and oxidation methods. *Carbohydrate Polymers*, 238(2), 116180. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116180>.