

OPTIMASI DELIGNIFIKASI KULIT SINGKONG (*Manihot esculenta*) DENGAN PELARUT BASA NaOH MENGGUNAKAN METODE RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM)

Dini Nur Afifah¹, Adam Mufarij², Tantri Analisisawati Sudarsono³, Ardi Wiranata⁴

^{1,2}Program Studi S1 Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Purwokerto

³Program Studi D4 Teknologi Laboratorium Medik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto

⁴Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah mada

Informasi Makalah

Dikirim, 06 Oktober 2023

Direvisi, 22 April 2024

Diterima, 25 April 2024

Kata Kunci:

Delignifikasi
Kulit Singkong
Alkali
Lignin

Keyword:

Delignificatin
Cassava peel
Alkali
Lignin

INTISARI

Kulit singkong (*Manihot esculenta*) merupakan bagian tubuh tumbuhan singkong yang cenderung menjadi limbah karena mengandung sianida yang hingga 618.2 mg/Kg. Dalam rangka mengurangi potensi pencemaran limbah kulit singkong maka digali potensi yang terkandung di dalamnya. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya diketahui bahwa kulit singkong dapat mengandung selulosa hingga 33%. Adanya kondisi tersebut menyebabkan terbukanya peluang kebermanfaatan kulit singkong sebagai sumber selulosa yang dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi material biopolimer ramah lingkungan. Tantangan pengembangan material berbasis selulosa dari limbah pertanian adalah adanya struktur lignoselulosa yang menghambat penetrasi reagen kimia. Oleh karenanya perlu dilakukan proses delignifikasi untuk memecah struktur lignoselulosa, sehingga menurunkan kadar lignin. Pada penelitian ini proses delignifikasi dilakukan dengan metode alkali dengan basa NaOH. Optimasi proses dengan melibatkan variabel terikat berupa konsentrasi NaOH (%), rasio solid/liquid (S/L), waktu (menit) dan suhu (°C) dilakukan dengan metode *Response Surface Methodology* (RSM) model *Central Composite Design*. Hasil analisis *desirability* mendapatkan kondisi optimum delignifikasi kulit singkong dengan pelarut basa NaOH, yaitu: konsentrasi NaOH 8.14%, rasio S/L 6.6, suhu reaksi sebesar 90°C dan lama reaksi selama 111 menit. Proses delignifikasi dengan kondisi tersebut diprediksi akan menghasilkan serbuk kulit singkong dengan kadar selulosa, hemiselulosa, dan lignin berturut-turut sebesar 68.27%; 6.21%; 0.98%.

ABSTRACT

Cassava peel (*Manihot esculenta*) is the body part of the cassava plant, which tends to become waste because it contains up to 618.2 mg/Kg of cyanide. In order to reduce the potential for pollution from cassava peel waste, the potential contained therein is explored. Based on the analysis carried out in previous research, it is known that cassava skin can contain up to 33% cellulose. These conditions open up opportunities for the usefulness of cassava peel as a source of cellulose, which can be further developed into an environmentally friendly biopolymer material. The challenge in developing cellulose-based materials from agricultural waste is the presence of a lignocellulosic structure, which inhibits the penetration of chemical reagents. Therefore, it is necessary to carry out a delignification process to break down the lignocellulose structure, thereby reducing lignin levels. In this research, the delignification process was carried out using the alkaline method with NaOH base. The optimization process involving dependent variables in the form of NaOH concentration (%), solid/liquid ratio (S/L), time (minutes), and temperature (°C) was carried out using the *Response Surface Methodology* (RSM) *Central Composite Design* model. The desired analysis results obtained optimum conditions for delignification of cassava peel with the basic solvent NaOH: NaOH concentration of 8.14%, S/L ratio of 6.6, reaction temperature of 90C, and reaction under of 111 minutes. The delignification process under these conditions is predicted to produce cassava peel powder with cellulose, hemicellulose, and lignin levels of 68.27%, 6.21%, and 0.98%.

Korespondensi Penulis:

Dini Nur Afifah
Program Studi Teknik Kimia
Universitas Muhammadiyah Purwokerto
JL. Raya Dukuwaluh Purwokerto, 53182
Email: dini.nurafifah@ump.ac.id

1. PENDAHULUAN

Kulit singkong merupakan limbah pertanian yang banyak ditemukan di wilayah Kabupaten Banyumas. Berbeda dengan jenis limbah singkong lainnya, seperti daun dan batang singkong, kulit singkong kurang termanfaatkan karena memiliki kandungan sianida. Penelitian yang dilakukan oleh Sari et al [1] menunjukkan bahwa kadar sianida pada kulit singkong dapat bervariasi antara 357.6-618.2 mg/kg, padahal dosis lethal sianida bagi manusia adalah sekitar 60-90 mg/Kg. Melihat fakta tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa kulit singkong tidak tepat untuk diolah atau digunakan sebagai bahan pangan. Oleh karenanya perlu teknik pengolahan limbah kulit singkong untuk menurunkan potensi pencemaran lingkungan yang diakibatkannya. Penelitian ini dilakukan untuk melihat potensi kulit singkong sebagai sumber selulosa. Pada dasarnya selulosa merupakan biopolymer dengan rumus $(C_6H_{10}O_5)_n$ yang terdiri dari perulangan unit glukosa melalui ikatan β 1,4-glycosidic [2]. Penelitian yang dilakukan oleh Afifah [3] menunjukkan bahwa kulit singkong dapat mengandung selulosa hingga 33.33%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kulit singkong berpotensi sebagai sumber selulosa.

Walaupun kulit singkong mengandung selulosa yang cukup tinggi, perlu dilakukan pemecahan struktur lignoselulosa untuk memisahkan lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Hal tersebut perlu dilakukan karena adanya lignin dan hemiselulosa mencegah penetrasi senyawa kimia, sehingga menghambat reaksi kimia dalam pengembangan material berbasis selulosa dari limbah pertanian [4]. Studi literatur yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pemecahan lignoselulosa melalui delignifikasi dapat dilakukan dengan beberapa metode, seperti: metode asam menggunakan bahan asam organik maupun anorganik [5], metode organosolven dengan pelarut organik [6], metode steam explosion [7], reaksi enzimatik ([8], dan metode alkali [9]. Dari sekian banyak metode yang telah disebutkan, delignifikasi kulit singkong dalam penelitian ini dilakukan dengan metode basa. Metode ini dipilih karena lebih efektif digunakan pada biomassa dengan kadar lignin rendah. Selain itu bahan dengan sifat alkali tidak menyebabkan korosi, dan kebutuhan energi yang relative rendah dibanding metode *steam explosion* [4], [10]. Delignifikasi kulit singkong yang telah dilakukan sebelumnya menggunakan basa yang dimodifikasi dengan penambahan H_2O untuk memecah struktur lignoselulosa. Proses yang dikenal dengan istilah *Alkaline Hydrogen Peroxide* (AHP) tersebut dilaporkan mampu mengurangi kadar lignin hingga 84.05% selama 3 jam reaksi [3]. Walaupun dinilai efektif untuk menurunkan kadar lignin hingga 3%, proses delignifikasi sulit dikendalikan. Hal tersebut karena reaksi oksidasi lignin oleh radikal hidroksil ($\bullet OH$) and superoksida (O_2^-) yang terbentuk pada suasana basa bersifat eksotermis, sehingga menimbulkan busa yang sulit dikendalikan. Akibat yang timbul adalah turunnya nilai *yield* kulit singkong yang terdelignifikasi. Selain itu, proses delignifikasi dengan AHP juga memungkinkan terjadinya kerusakan struktur selulosa melalui pemecahan ikatan glikosidik [11], [12]. Berdasarkan hal tersebut, maka dalam penelitian ini proses delignifikasi dilakukan dengan basa NaOH. Pelarut NaOH dipilih karena mampu merusak struktur lignin, bagian kristalin, dan amorf, sehingga terjadi penggelembungan struktur selulosa [12]. Penelusuran pada penelitian serupa menunjukkan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan proses delignifikasi dengan basa NaOH, yaitu: konsentrasi NaOH [13], [14], rasio solid/liquid (S/L) [14], dan suhu [15]. Walaupun efeknya terhadap keberhasilan delignifikasi limbah pertanian telah banyak dipelajari, optimasi proses delignifikasi kulit singkong dengan metode alkali basa NaOH belum banyak dilakukan. Oleh karenanya dalam penelitian ini dilakukan optimasi proses delignifikasi kulit singkong dengan pelarut NaOH menggunakan metode *Respon Surface Methodology* (RSM). Metode ini dipilih karena memungkinkan untuk mengevaluasi efek dari beberapa faktor dan interaksinya pada satu atau lebih variabel respon.

2. METODE

2.1. Alat dan bahan

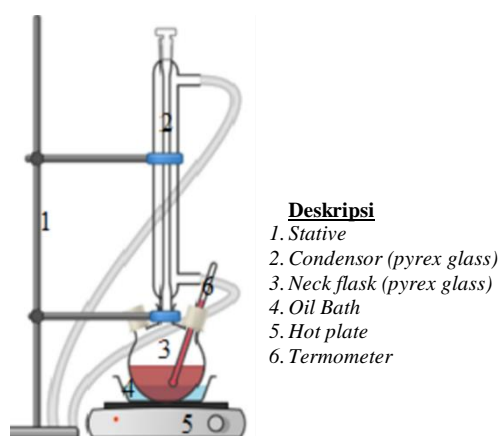
Kulit singkong diperoleh dari Gerai Getuk Goreng di Sokaraja, Banyumas. Penelitian ini hanya menggunakan kulit bagian dalam singkong yang telah dicuci dan dikeringkan pada suhu 80°C hingga beratnya mencapai konstan. Bahan kimia yang digunakan diantaranya adalah hidrogen peroksida (H_2O_2), etanol 96%, natrium hidroksida (NaOH), dan toluene yang dibeli dari Merck (Darmstadt, Jerman).

2.2. Proses Dewaxing

Serat kulit singkong dengan ukuran sekitar 1 mm dipanaskan menggunakan soklet selama 6 jam dengan pelarut etanol dan toluena (2:2).

2.3. Delignifikasi dengan NaOH

Proses delignifikasi dilakukan dengan rangkaian alat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Alat Delignifikasi

Rancangan percobaan dilakukan dengan program Design Expert13 menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM) dan model *Central Composite Design* (CCD). Variabel bebas terdiri dari konsentrasi basa NaOH sebagai faktor 1 (A), waktu ekstraksi sebagai faktor 2 (B), rasio S/L sebagai faktor 3 (C), dan suhu sebagai faktor 4 (D). Adapun variabel bebas yang diamati dalam penelitian ini adalah persentase selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Rangkuman kisaran rentang variabel bebas dan variabel terikat ditampilkan pada **Tabel 3.**

Tabel 1. Kisaran Rentang Variabel Bebas

Factor	Name	Units	Type	SubType	Minimum	Maximum
A	Konsentrasi	%	Numeric	Continuous	7	13
B	Waktu	menit	Numeric	Continuous	60	180
C	S/L	:	Numeric	Continuous	5	10
D	Suhu	°C	Numeric	Continuous	60	90

Gambaran desain percobaan ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kondisi Proses Delignifikasi dengan *Model Composite Design*

Run	A:Konsentrasi %	B:Waktu menit	C:S/L :	D:Suhu deg C
1	7	60	5	60
2	13	60	5	60
3	7	180	5	60
4	13	180	5	60
5	7	60	10	60
6	13	60	10	60
7	7	180	10	60
8	13	180	10	60
9	7	60	5	90
10	13	60	5	90
11	7	180	5	90
12	13	180	5	90

13	7	60	10	90
14	13	60	10	90
15	7	180	10	90
16	13	180	10	90
17	4	120	7.5	75
18	16	120	7.5	75
19	10	0	7.5	75
20	10	240	7.5	75
21	10	120	2.5	75
22	10	120	12.5	75
23	10	120	7.5	45
24	10	120	7.5	105
25	10	120	7.5	75
26	10	120	7.5	75
27	10	120	7.5	75
28	10	120	7.5	75
29	10	120	7.5	75
30	10	120	7.5	75

2.4. Analisis Hemiselulosa, Selulosa, dan Lignin

Analisis hemiselulosa, selulosa, dan lignin dilakukan berdasarkan Chesson Datta [16]. Satu gram sampel kering (berat a) diencerkan dengan 150 mL H₂O dan direfluks pada suhu 100°C selama satu jam. Hasilnya disaring, dan residunya dicuci dengan 300 mL air panas. Residu selanjutnya dikeringkan hingga mencapai berat konstan (berat b). Residunya ditambahkan 150 mL H₂SO₄ 1 N, kemudian direfluks selama satu jam pada suhu 100°C. Hasilnya disaring dan dicuci sampai netral, dan residu dikeringkan sampai berat konstan (berat c). Residu kering ditambahkan 100 mL H₂SO₄ 72% dan direndam pada suhu kamar selama 4 jam, kemudian ditambahkan 150 mL H₂SO₄ 1 N dan direfluks pada suhu 100°C selama satu jam. Residu disaring dan dicuci dengan H₂O sampai netral. Residu kemudian dipanaskan kembali dalam oven pada suhu 105°C hingga berat konstan (berat d). Selanjutnya residu dibakar pada suhu 750°C dan ditimbang (berat e). Persentase selulosa, lignin, dan hemiselulosa dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$\text{Lignin(\%)} = \frac{d-e}{a} \times 100\% \quad (1)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Preparasi dan Pengujian Kadar Awal Hemiselulosa, Selulosa, dan Lignin dalam Limbah Kulit Singkong

Tahap preparasi kulit singkong dilakukan untuk memisahkan kulit luar dengan kulit bagian dalam. Setelah melalui tahapan pencucian, kulit bagian dalam selanjutnya dikeringkan dengan oven hingga kering. Proses berikutnya adalah menghaluskan kulit singkong dengan alat penepung sehingga diperoleh serbuk kulit singkong seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Preparasi Kulit Singkong

Serbuk kulit singkong kemudian dilakukan proses *dewaxing* dengan proses *reflux* selama 6 jam untuk menghilangkan zat-zat pewarna, lemak, tannin dan zat-zat organik lainnya [17]. Pemilihan pelarut yang digunakan dalam penelitian ini adalah etanol:toluena dengan komposisi 2:1. Penggunaan jenis larutan dan komposisi tersebut dimaksudkan agar senyawa ekstra aktif pada kulit singkong yang bersifat polar, semi polar, dan non polar dapat ditarik dan ikut masuk ke dalam pelarut [18]. Serbuk kulit singkong yang telah *dipre-treatment* selanjutnya dianalisis kandungan hemiselulosa, selulosa, dan ligninnya. Data analisis ditampilkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Kadar Hemiselulosa, Selulosa, Lignin Pada Limbah Kulit Singkong Sebelum dan Sesudah *Pre-Treatment* dengan Proses *Dewaxing*

Senyawa	Presentase (%)	
	Kulit singkong <i>pra dewaxing</i>	Kulit singkong <i>pasca dewaxing</i>
Hemiselulosa	35	24.4
Selulosa	63.47	65.89
Lignin	8.32	4.27

Data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa proses *dewaxing* berkontribusi pada penurunan kadar lignin hingga hampir 50%. Data ini menunjukkan bahwa lignin mampu larut dalam pelarut semi polar bersama pengotor berupa lemak, tanin, dan sebagainya.

3.2. Delignifikasi Kulit Singkong dengan Pelarut NaOH

Data hasil percobaan delignifikasi kulit singkong dengan pelarut NaOH ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Percobaan Delignifikasi Kulit Singkong dengan Pelarut NaOH

Run	A:Konsentrasi	B:Waktu	C:S/L	D:Suhu	Lignin
	%	menit	:	deg C	%
1	7	60	5	60	4.04
2	13	60	5	60	6.38
3	7	180	5	60	7.63
4	13	180	5	60	3.07
5	7	60	10	60	3.74
6	13	60	10	60	3.35
7	7	180	10	60	2
8	13	180	10	60	4.38
9	7	60	5	90	1.85
10	13	60	5	90	5.69
11	7	180	5	90	2
12	13	180	5	90	7.18
13	7	60	10	90	1.78
14	13	60	10	90	6.09
15	7	180	10	90	4.89
16	13	180	10	90	10.51
17	4	120	7.5	75	4.25
18	16	120	7.5	75	2.61
19	10	0	7.5	75	8.39
20	10	240	7.5	75	4.31
21	10	120	2.5	75	1.6
22	10	120	12.5	75	7.11
23	10	120	7.5	45	0.79
24	10	120	7.5	105	0.65
25	10	120	7.5	75	0.65

26	10	120	7.5	75	0.78
27	10	120	7.5	75	0.79
28	10	120	7.5	75	0.79
29	10	120	7.5	75	0.79
30	10	120	7.5	75	3.21

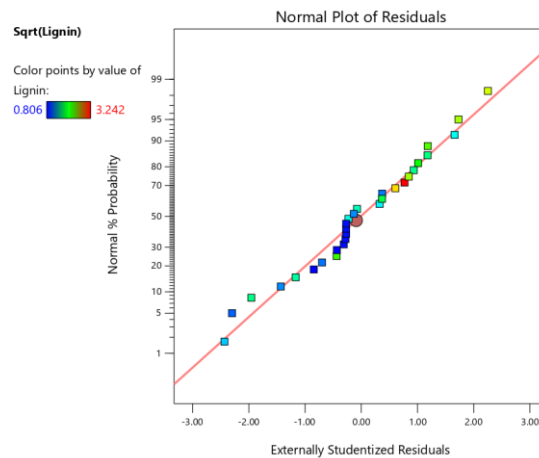
Data Tabel 4 menunjukkan bahwa kisaran nilai perubahan kadar lignin setelah delignifikasi beragam pada 0.65-10.51%. Untuk menjelaskan korelasi antara variabel bebas dengan kadar lignin, maka dilakukan pemilihan model matematika dengan melakukan fitting data dengan Design Expert13. Dasar penentuan model matematika yang digunakan adalah nilai P_{value} , *lack of fit*, dan koefisien determinasi (R^2). Model matematika bernilai signifikan terhadap kadar lignin jika memenuhi syarat $p\ value < 0.05$, *lack of fit* > 0.05 dan R^2 mendekati satu. Berdasarkan ketiga kriteria tersebut, maka dipilih persamaan dalam bentuk kuadrat natural log seperti yang tertuang dalam Tabel 5.

Tabel 5. Analisis Ragam Terhadap Respon Kadar Lignin

Persamaan matematika	Signifikansi ($P < 0.05$)	Lack of fit ($P > 0.05$)	R^2
$\ln \text{Lignin} = -0.04 + 0.15A + 0.01B + 0.10C - 0.01D - 0.04AB + 0.05AC + 0.27AD + 0.06BC + 0.14BD + 0.19CD + 0.38A^2 + 0.52B^2 + 0.38C^2 - 0.01D^2$	0.02	0.46	0.73

Keterangan: A=konsentrasi NaOH, B=waktu, C=rasio S/L, D=suhu

Untuk menguji probabilitas ketepatan data aktual dan prediksi serta kesesuaian model matematika dengan data percobaan, maka dilakukan uji asumsi residu dengan mengamati pola sebaran data pada grafik uji normal % probability. Data uji probabilitas ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Nilai Residual Terhadap Normal Probability untuk Respon Lignin: (a). Percobaan dengan NaOH

Sebaran data pada Gambar 3 menunjukkan bahwa titik respon yang mewakili kadar lignin menyebar di sepanjang garis tengah diantara peluang kenormalan dan residual. Pola penyebaran demikian menunjukkan bahwa hasil prediksi mendekati nilai aktual. Dengan kata lain probabilitas ini memperkuat nilai koefisien determinasi (R^2) yang telah dijelaskan sebelumnya.

Pengujian untuk mengukur signifikansi pengaruh variabel terikat dan interaksi diantaranya terhadap kadar lignin dilakukan dengan dua kali pengujian. Pengujian pertama dilakukan dengan pengujian regresi dengan membandingkan nilai F_o dan F_{tabel} . Pengujian ini dilakukan untuk melihat signifikansi model matematika secara menyeluruh terhadap kadar lignin. Suatu model dikatakan memiliki pengaruh signifikan terhadap kadar lignin jika memenuhi persyaratan $F_o > F_{tabel}$. Adapun data pengujian regresi untuk model matematika pengaruh variabel konsentrasi, waktu, rasio S/L, dan suhu terhadap kadar lignin ditampilkan pada Tabel 6. Hasil perbandingan F_o dan F_{tabel} pada tabel tersebut menunjukkan bahwa model matematika yang disusun berpengaruh signifikan terhadap kadar lignin pada percobaan ekstraksi dengan basa NaOH.

Tabel 6.Perbandingan Nilai F_o dan F_{Tabel} Percobaan dengan Basa NaOH

Respon	Sumber	SS	Df	MS	F_o	F_{tabel}
Lignin (%)	Regresi	15.99	14	1.14	2.93	2.78
	Residual	4.09	15	0.41		
	Total	14.67	29	1.02		

Pengujian kedua dengan uji parsial dilakukan untuk melihat signifikansi setiap varian terhadap respon kadar lignin. Pengujian parsial dilakukan dengan membandingkan nilai nilai p_{value} dan alfa (α) sebesar 0.05. Variabel dengan nilai $p_{value} < 0.05$ disimpulkan mempengaruhi model, sedangkan varian yang memiliki nilai $p_{value} > 0.05$ tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap model. Data pengujian tersebut ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Uji Parsial Signifikansi Varian Terhadap Kadar Lignin

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	15.99	14	1.14	2.93	0.023	sig
A-Konsentrasi	0.5527	1	0.5527	1.42	0.2525	Not sig.
B-Waktu	0.0003	1	0.0003	0.0007	0.9792	Not sig.
C-S/L	0.2779	1	0.2779	0.712	0.412	Not sig.
D-Suhu	0.0009	1	0.0009	0.0024	0.9614	Not sig.
AB	0.0384	1	0.0384	0.0983	0.7582	Not sig.
AC	0.0325	1	0.0325	0.0832	0.777	Not sig.
AD	1.09	1	1.09	2.79	0.1154	Not sig.
BC	0.0605	1	0.0605	0.1549	0.6994	Not sig.
BD	0.3365	1	0.3365	0.8622	0.3678	Not sig.
CD	0.566	1	0.566	1.45	0.2471	Not sig.
A ²	4	1	4	10.26	0.0059	sig
B ²	7.7	1	7.7	19.73	0.0005	sig
C ²	4.07	1	4.07	10.43	0.0056	sig
D ²	0.0001	1	0.0001	0.0003	0.9867	Not sig.
Residual	5.85	15	0.3903			
Lack of Fit	4.09	10	0.4088	1.16	0.4629	not sig
Pure Error	1.77	5	0.3532			
Cor Total	21.85	29				

Data pada Tabel 7 menunjukkan bahwa varian yang berpengaruh secara signifikan terhadap kadar lignin sesuai persamaan model matematika percobaan ekstraksi dengan NaOH adalah kuadrat konsentrasi, kuadrat waktu, dan kuadrat S/L.

Optimasi penghilangan lignin menggunakan model matematika sesuai Tabel 5 dilakukan dengan fungsi *desirability* yang melibatkan variabel konsentrasi basa, suhu, waktu, dan rasio S/L. Variabel bebas yang dipertimbangkan yaitu: kadar selulosa, kadar hemiselulosa, dan kadar lignin. Rangkuman variabel yang dioptimasi, limit atas dan bawah, serta derajat kepentingan ditampilkan untuk percobaan dengan basa NaOH ditampilkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Rangkuman Kondisi Variabel yang Dioptimasi dalam Delignifikasi dengan Basa NaOH

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
A:Konsentrasi	is in range	7	13	1	1	3

B:Waktu	is in range	60	180	1	1	3
C:S/L	is in range	5	10	1	1	3
D:Suhu	is in range	60	90	1	1	3
Selulosa	none	62.843	79.761	1.14815	1	5
Hemiselulosa	none	1	3	1	1	5
Lignin	minimize	0.65	4	1	0.380189	5

Hasil analisis *desirability* sesuai kondisi Tabel 8 mendapatkan kondisi optimum delignifikasi kulit singkong dengan pelarut basa NaOH, yaitu: konsentrasi NaOH 8.14%, rasio S/L 6.6, suhu reaksi sebesar 90°C dan lama reaksi selama 111 menit. Proses delignifikasi dengan kondisi tersebut diprediksi akan menghasilkan serbuk kulit singkong dengan kadar selulosa, hemiselulosa, dan lignin berturut-turut sebesar 68.27%; 6.21%; 0.98%. Taraf *desirability* untuk nilai tersebut adalah 0.953.

4. KESIMPULAN

Basa NaOH dapat digunakan sebagai alternatif metode untuk proses delignifikasi kulit singkong. Hasil optimasi dengan metode RSM menunjukkan bahwa varian yang berpengaruh pada kadar lignin adalah konsentrasi NaOH, rasio S/L, dan juga waktu reaksi. Ketiga faktor tersebut mempengaruhi kadar lignin secara kuadratik. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kondisi optimum ekstraksi selulosa dengan basa NaOH adalah konsentrasi NaOH 8.14%, rasio S/L 6.6, suhu reaksi sebesar 90°C selama 111 menit. Prediksi kadar lignin akhir yang diperoleh adalah sebesar 0.98%. Dengan kata lain penurunan kadar lignin dengan kondisi tersebut dapat mencapai 77.05%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti menyampaikan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) yang telah mendanai penelitian ini sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian pemula Nomor: Nomor: A.11-III/778-S/Pj./LPPM/XII/2022, tanggal 27 Desember 2022

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. D. N. Sari, "Kadar Asam Sianida Dan Kandungan Gizi Pada Dendeng Dari Limbah Kulit Singkong" dalam *Prosiding Seminar Nasional Multidisiplin Ilmu*, Universitas Asahan, pp.1113-1117, 2017.
- [2] L. Lismeri and A. Parlindungan, "Memanfaatkan Singkong Menjadi Tepung Mocaf untuk Pemberdayaan Masyarakat Sumberejo," *Teknologi Kimia Dan Industri*, vol. 10, pp. 1–4, 2011.
- [3] D. N. Afifah, N. Damajanti, and M. Mustholidah, "Delignification of Cassava Peel by Using Alkaline Hydrogen Peroxide Method : Study of Peroxide Concentration, Solid / Liquid Ratio, and pH," vol. 6, no. 2, pp. 128–137, 2022.
- [4] G. Rojith and I. S. Bright Singh, "Hydrogen Peroxide Pretreatment Efficiency Comparison and Characterization of Lignin Recovered from Coir Pith Black Liquor," *Journal of Environmental Research and Development*, vol. 7, no. 4, pp. 1333–1339, 2013.
- [5] P. Li *et al.*, "Insights into Delignification Behavior using Aqueous p-toluenesulfonic Acid Treatment: Comparison with Different Biomass Species," *Cellulose*, vol. 27, pp. 10345–10358, 2020.
- [6] K. M. D. Puspitasari, S. Suwandi, and H. A. Bharata, "Proses Pembuatan Bioetanol dari Jerami Padi dengan Metode SSF Delignifikasi Asam dan Metode SHF," *eProceedings of Engineering*, vol. 5, no. 1, 2018.
- [7] F. P. Marques *et al.*, "Steam Explosion Pretreatment Improves Acetic Acid Organosolv Delignification of Oil Palm Mesocarp Fibers and Sugarcane Bagasse," *Int J Biol Macromol*, vol. 175, pp. 304–312, 2021.
- [8] M. Bilal, M. Asgher, H. M. N. Iqbal, and M. Ramzan, "Enhanced Bio-Ethanol Production From Old Newspapers Waste Through Alkali and Enzymatic Delignification," *Waste Biomass Valorization*, vol. 8, pp. 2271–2281, 2017.
- [9] D. Tsalagkas, Z. Börcsök, Z. Pásztor, P. Gogate, and L. Csóka, "Assessment of The Papermaking Potential of Processed Miscanthus×Giganteus Stalks Using Alkaline Pre-Treatment and Hydrodynamic Cavitation for Delignification," *Ultrason Sonochem*, vol. 72, p. 105462, 2021.
- [10] M. Li, S. Pattathil, M. G. Hahn, and D. B. Hodge, "Identification of Features Associated with Plant Cell Wall Recalcitrance to Pretreatment by Alkaline Hydrogen Peroxide in Diverse Bioenergy Feedstocks using Glycome Profiling," *RSC Adv*, vol. 4, no. 33, pp. 17282–17292, 2014.

- [11] E. Oktarina Sari, R. Wulandari Putri, U. Waluyo, and D. Tedi Andrianto, "Pengaruh Konsentrasi NaOH Terhadap Kadar Selulosa pada Proses Delignifikasi dari Serat Kapuk sebagai Bahan Baku Biodegradable Plastic Berbasis Selulosa Asetat," *Seminar Nasional AVoER XII*, December, 2020.
- [12] E. Dwi Veptiyan, M. Apriani, and N. Eka Mayangsari, "Pengaruh Waktu Delignifikasi terhadap Karakteristik Selulosa dari Daun Nanas dan Jerami," *National Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*, , 2019.
- [13] T. Sriana, T. Dianpalupidewi, S. M. P. Ukhrawi, and I. F. Nata, "Pengaruh Konsentrasi Sodium Hydroxide (NaOH) pada Proses Delignifikasi Kandungan Lignoselulosa Serat (Fiber) Siwalan (*Borassus flabellifer*) sebagai Bahan Dasar Pembuatan Bioethanol," *Buletin Profesi Insinyur*, vol. 4, no. 2, pp. 49–52, Oct. 2021.
- [14] W. Jung, D. Savithri, R. Sharma-Shivappa, and P. Kolar, "Changes in Lignin Chemistry of Switchgrass due to Delignification by Sodium Hydroxide Pretreatment," *Energies (Basel)*, vol. 11, no. 2, p. 376, 2018.
- [15] Y.-S. Cheng, Y. Zheng, C. W. Yu, T. M. Dooley, B. M. Jenkins, and J. S. VanderGheynst, "Evaluation of High Solids Alkaline Pretreatment of Rice Straw," *Appl Biochem Biotechnol*, vol. 162, pp. 1768–1784, 2010.
- [16] R. Datta, "Acidogenic Fermentation of Lignocellulose-Acid Yield and Conversion of Components," *Biotechnol Bioeng*, vol. 23, no. 9, pp. 2167–2170, 1981.
- [17] W. Rewini and K. J. Kimia, "Kajian Tentang Isolasi Selulosa Mikrokrystalin (SM) dari Limbah Tongkol Jagung," *Jurnal Entropi*, vol. 12, no. 1, pp. 105–108, 2017.
- [18] N. I. Ischak, D. Fazriani, and D. N. Botutihe, "Ekstraksi dan Karakterisasi Selulosa dari Limbah Kulit Kacang Tanah (*Arachys hypogaea* L.) Sebagai Adsorben Ion Logam Besi," *Jambura Journal of Chemistry*, vol. 3, no. 1, pp. 27–36, 2021.

