

## Development of a Delignification for Oil Palm Empty Fruit Bunches Using Microwave Assistance for Lignin Removal Efficiency

### *Pengembangan Delignifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Bantuan Microwave Terhadap Hasil Lignin Removal*

Syam Suryanto Nusbah <sup>a,1,\*</sup>, Muhammad Muhajirin Amir <sup>a,2</sup>, Ummu Kalsum <sup>a,3</sup>, Syamsul Bakhri <sup>a,4</sup>

<sup>a</sup> Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia, Jl. Urip Sumoharjo No.Km5 Panaikang, Panakukang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90231, Indonesia

<sup>1</sup> syamnusbah@gmail.com\*; <sup>2</sup> muhajirinamir@gmail.com; <sup>3</sup> ummukalsum@umi.ac.id; <sup>4</sup> syamsulbakhri@umi.ac.id

\* corresponding author

#### ARTICLE INFO

##### Article history

Received : October 25, 2024

Revised : November 10, 2024

Accepted : January 25, 2025

Published : February, 2025

Kata Kunci: Tandan Kosong Kelapa Sawit; Microwave; Lignin; Selulosa; Hemiselulosa.

Keywords: Oil Palm Empty Fruit Bunches; Microwave; Lignin; Cellulose; Hemicellulose.

#### ABSTRAK/ABSTRACT (10PT)

Kandungan lignin pada tandan kosong kelapa sawit perlu dihilangkan melalui delignifikasi. Proses delignifikasi menggunakan microwave meningkatkan hasil pre-treatment. Microwave mampu menyediakan energi yang intensif, homogen dan efisien sehingga dapat mencapai suhu tinggi dalam waktu singkat dan lebih baik dari pemanasan biasa. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui hasil delignifikasi tandan kosong kelapa sawit berdasarkan parameter daya watt microwave, waktu delignifikasi dan rasio padat cair. Diawali dengan preparasi tandan kosong sawit meliputi pencucian dan pengecilan ukuran. Kemudian delignifikasi menggunakan microwave dan pelarut NaOH. Hasil delignifikasi tersebut dianalisa komponennya menggunakan metode NREL, komponen yang dianalisa berupa kadar abu, kadar lignin dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dan kadar selulosa serta hemiselulosa dengan menggunakan HPLC. Hasil yang diperoleh yaitu lignin removal dan kandungan selulosa terbaik didapatkan pada percobaan R2 dengan variasi kondisi yaitu daya *microwave* 300 watt, waktu delignifikasi 30 menit, dan rasio padat cair 1:20 mampu mendegradasi lignin sebanyak 57,58% dan menyisakan kadar lignin sebesar 19,85% serta kadar selulosa sebesar 68,83%. Sedangkan kandungan hemiselulosa terbaik didapatkan pada percobaan R10 sebesar 9,86% dengan kondisi daya *microwave* 100 watt, waktu 15 menit dan rasio padat cair 1:15. Waktu delignifikasi terbaik dengan menggunakan microwave didapatkan pada waktu 35 menit dengan kadar lignin tersisa sebesar 19,51%. Daya *microwave* terbaik delignifikasi didapatkan pada daya 300 watt, rasio 1:20 b/v waktu 45 menit, mendegradasi lignin sebesar 53,51% sehingga kadar lignin tersisa sebesar 21,75%.

*Lignin content in empty oil palm bunches needs to be removed through delignification. The microwave delignification process can improve the pre-treatment process so that it increases cellulose content and accelerates delignification. Microwave can overcome the shortcomings of conventional heating, because it provides intensive, homogeneous and efficient energy, can reach high temperatures in a short time. The purpose of this study was to determine the results of delignification of empty oil palm bunches based on microwave watt power parameters, delignification time and solid liquid ratio. It began with the preparation of empty oil palm bunches including washing and size reduction. Then delignification using microwave and NaOH solvent. The results of the*

*delignification were analyzed using the NREL method, the components analyzed were ash content, lignin content using a UV-Vis Spectrophotometer and cellulose and hemicellulose content using HPLC. The results obtained were the best lignin removal and cellulose content obtained in the R2 experiment with variations in conditions, namely 300 watts of microwave power, 30 minutes of delignification time, and a solid-liquid ratio of 1:20 capable of degrading lignin by 57.58% and leaving a lignin content of 19.85% and a cellulose content of 68.83%. While the best hemicellulose content was obtained in the R10 experiment of 9.86% with a microwave power of 100 watts, a time of 15 minutes and a solid-liquid ratio of 1:15. The best delignification time using a microwave was obtained at 35 minutes with a remaining lignin content of 19.51%. The best microwave power for delignification was obtained at 300 watts, ratio 1:20 w/v for 45 minutes, capable of degrading lignin by 53.51% so that the remaining lignin content was 21.75%.*

## 1. Pendahuluan

Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati dapat mengurangi konsumsi masyarakat terhadap Bahan Bakar Minyak. Bahan bakar nabati dapat menghasilkan biofuel, salah satunya adalah bioetanol. Bioetanol merupakan sumber energi dengan prospek yang menjanjikan sebagai alternatif bahan bakar cair, menggunakan bahan baku terbarukan, ramah lingkungan dan menguntungkan dari segi ekonomi [1]. Bahan holoselulosa merupakan alternatif untuk produksi bioetanol sehingga mampu menggantikan bahan berpati yang lebih umum dimanfaatkan untuk bahan pangan dan pakan. Bahan berholoselulosa tinggi banyak ditemukan pada limbah padat pertanian seperti pada tandan kosong kelapa sawit (TKKS), jerami padi, ampas tebu dan kakao. Salah satu limbah industri pertanian yang melimpah tetapi tidak dimanfaatkan secara maksimal adalah tandan kosong kelapa sawit. TKKS sangat berpotensi menjadi bahan baku bioetanol dikarenakan tingginya kandungan holoselulosa (selulosa dan hemiselulosa). Menurut [2], kandungan selulosa dan hemiselulosa TKKS berturut-turut yaitu 50,13% dan 24,32%. Selain itu, melimpahnya limbah TKKS ini juga sebagai faktor pendukung layakannya TKKS menjadi bahan baku bioetanol, dimana jumlah tandan kosong kelapa sawit mencapai 30-35% dari berat tandan utuh buah segar setiap panen.

Produksi bioetanol dari bahan yang mengandung lignoselulosa diawali dengan perlakuan awal (*pre-treatment*) ini bertujuan untuk mendegradasi lignin, melemahkan struktur selulosa, meningkatkan porositas dan mengubah TKKS menjadi *pulp*. Mengurangi lignin di tahap delignifikasi sangat penting agar bioetanol bisa diproduksi dengan lebih efisien pada proses hidrolisis. Sebelum proses hidrolisis, lignin yang terkandung pada TKKS perlu dihilangkan melalui proses delignifikasi. Seperti pembahasan sebelumnya, tujuan *pretreatment* ini adalah untuk merusak lignin dan hemiselulosa dengan perlakuan kimia. Delignifikasi bahan lignoselulosa meliputi proses degradasi polisakarida, *pretreatment* dapat dilakukan dengan proses biologi, kimia, fisika atau termal, dan setiap proses mempunyai kelebihan dan kekurangan. *Pretreatment* secara fisik umumnya berupa pengurangan ukuran bahan baku dengan cara penggilingan, iradiasi, gelombang ultrasonik, pirolisis dan autohidrolisis [3].

Penelitian ini dipilih metode delignifikasi kimia dengan menggunakan NaOH. Keuntungan *pretreatment* ini yang bisa meningkatkan kadar selulosa dan mengurangi polimerisasi selulosa sehingga pada proses hidrolisis kinerja pelarut asam dapat meningkat. Proses perlakuan awal dengan NaOH ini mirip dengan proses kraft yang digunakan dalam pembuatan kertas. Penelitian yang dilakukan oleh [4], NaOH 10% mampu mendegradasi lignin sebesar 76,74% menggunakan metode batch bench-scale pada sampel TKKS untuk produksi bioetanol dengan kadar etanol tertinggi sebesar 15,17%.

Alat yang digunakan dalam proses delignifikasi pada penelitian ini yaitu microwave. Proses delignifikasi dengan bantuan microwave dapat mempercepat proses *pretreatment* sehingga meningkatkan kadar selulosa pada proses tersebut dan mempercepat proses delignifikasi. Mekanisme

pemanasan *microwave* disebabkan oleh agitasi molekul atau ion polar karena adanya pergerakan medan magnetik atau elektrik. Karena pergerakan medan magnetik dan elektrik, partikel-partikel tersebut terperangkap oleh gaya yang membatasi. Hal ini membatasi pergerakan partikel, menyebabkan gerakan acak sehingga dapat menghasilkan panas [5]. Karakteristik pemanasan menggunakan *microwave* yaitu panas yang muncul dari dalam bahan yang terjadi karena molekul bahan yang dipanaskan bergerak secara acak dan menghasilkan getaran. *Microwave* sebagai alat delignifikasi mampu menghasilkan panas yang intens, efisien dan merata sehingga dapat mencapai suhu yang diinginkan dalam waktu singkat [6]. Pemanfaatan *microwave* dalam pengolahan TKKS masih jarang dilakukan, penelitian sebelumnya dilakukan oleh [7] memanfaatkan *microwave* dalam proses hidrolisis TKKS menjadi furfural. Selanjutnya, [8] memanfaatkan *microwave* sebagai alat dalam proses delignifikasi dengan menggunakan pelarut aquadest daya *microwave* tidak divariasikan sehingga tidak diketahui pengaruh dari penggunaan *microwave* terhadap hasil delignifikasi. Penggunaan daya *microwave* yang tinggi menyebabkan terbantu reaksi lain [9]. Sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui kondisi terbaik penggunaan *microwave* serta penggunaan pelarut NaOH pada proses delignifikasi lignoselulosa tandan kosong kelapa sawit.

## 2. Metode Penelitian

### *Alat dan Bahan*

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi: serangkaian alat *microwave*, erlenmeyer 250 mL, botol schoot, labu ukur 1000 mL, tabung reaksi, rak tabung, hydraulic press, crucible, instrumen Spektrofotometer UV-Vis (Merk: Shimadzu Tipe: UV-1900) dan instrumen High Performance Liquid Chromatography (Merk: Dionex Tipe: Ultimate 3000).

Bahan yang digunakan dalam riset ini meliputi: tandan kosong kelapa sawit, NaOH 5M, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72%, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 4%, CaCO<sub>3</sub>, aquadest dan kertas saring.

Variabel yang digunakan meliputi variabel bebas berupa rasio tandan kosong kelapa sawit dan NaOH yaitu 1:15, 1:20 dan 1:25 b/v, daya *microwave* 100, 300 dan 600 watt, waktu delignifikasi 15, 20, 25, 30, 35, 40 dan 45 menit, serta variabel tetap yaitu massa tandan kosong kelapa sawit 20 gr, konsentrasi NaOH 5M dan kecepatan pengaduk 100 rpm.

### *Preparasi Tandan Kosong Kelapa Sawit*

Sampel TKKS tanpa delignifikasi dibuat dengan cara dikeringkan kemudian ukurannya diperkecil menggunakan mesin penggiling kemudian disaring 30 mesh. Selanjutnya disebut dengan sampel TKKS tanpa delignifikasi atau *non-pretreatment*.

### *Delignifikasi*

Proses delignifikasi dilakukan dengan memodifikasi prosedur [10] dengan menggunakan bantuan sinar radiasi mikro (*microwave*) dan pelarut Natrium Hidroksida (NaOH). Sebanyak 10 gr tandan kosong kelapa sawit kering dimasukkan ke dalam erlenmeyer berisi NaOH 5 M dengan rasio perbandingan yang ditentukan. Sampel dihomogenisasi menggunakan pengaduk yang telah dirancang dengan kecepatan 100 rpm. Variabel percobaan menggunakan 3 variabel berbeda berupa rasio padat cair, daya *microwave* dan waktu delignifikasi. Setelah itu, sampel disaring dan dibilas dengan aquadest hingga pH netral. Bagian padat (holoselulosa) tandan kosong sawit dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 24 jam hingga *moisture content* kurang dari 10%.

### *Analisa Komponen*

Analisa komponen tandan kosong kelapa sawit dilakukan sebelum dan sesudah *pretreatment* delignifikasi dengan metode NREL (*National Renewable Energy Laboratory*). Metode yang digunakan berdasarkan penelitian [11] yang telah dimodifikasi. Sebanyak 0,5 gr biomassa dihidrolisis dengan penambahan 5 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72% dalam tabung reaksi. Selanjutnya dipanaskan menggunakan oven suhu 30 °C selama  $\pm$  3 jam terhadap campuran biomassa dan dihomogenkan setiap 10 menit sampai di peroleh campuran berwarna hitam. Disiapkan botol schoot berisi 42 mL distilat water, endapan hitam pada tabung reaksi dituang ke dalam botol schoot dan dibilas dengan

air suling kemudian dituang hingga total volume 84 mL yang terdapat dalam botol schoot. Pemanasan kedua, botol schoot yang berisi 84 mL sampel dipanaskan menggunakan oven pada suhu 121 °C selama  $\pm$  2 jam. Kemudian sampel didinginkan pada suhu ruang  $\pm$  24 °C, diperoleh cairan bening dan endapan hitam.

#### **Analisa Penentuan Kadar Abu**

Berdasarkan penelitian [12] yang telah dimodifikasi, kertas saring kosong dan cawan *crucible* kosong ditimbang, sampel yang dihasilkan dari proses sebelumnya, disaring dengan cara dituangkan pada sistem vakum hingga tidak ada sampel yang tersisa. Kertas saring yang berisi endapan sampel dikeringkan dengan moisture analyzer kemudian ditimbang bobotnya. Kemudian dipindahkan pada cawan *crucible* dan dimasukkan ke dalam tanur furnace pada suhu 600 °C selama  $\pm$  2 jam. Selanjutnya cawan didinginkan dalam desikator  $\pm$  15 menit kemudian ditimbang bobot *membrane filters* + cawan dan bobot cawan kosong.

#### **Analisa Penentuan Lignin**

Perhitungan lignin tidak larut dilakukan berdasarkan perbandingan berat sampel setelah hidrolisis dikurangi kadar abu dengan berat sampel awal. Lignin terlarut dihitung dengan metode spektrofotometri. Filtrat sampel hasil filtrasi vakum ditambahkan 3 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 4%. Campuran sampel kemudian diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer UV dengan panjang gelombang 205 nm. Untuk menghitung kadar lignin yang terlarut dan tidak terlarut dilakukan perhitungan kadar lignin total menggunakan persamaan dibawah [13].

$$\%AIL = \frac{W_{ks} - W_k - A}{W_s} \times 100 \% \quad (1)$$

$$\%ASL = \frac{\text{Absorbansi} \times df / 110^{87} / 1000}{W_s} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Kadar lignin total} = \%AIL + \%ASL \quad (3)$$

Keterangan:

%AIL : *acid insoluble lignin* (lignin yang tak larut asam)

%ASL : *acid soluble lignin* (lignin yang larut asam)

W<sub>ks</sub> : berat kertas saring dan sampel yang telah dikeringkan

W<sub>k</sub> : berat kertas saring

A : berat abu

Abs : absorbansi

df : faktor pengenceran

W<sub>s</sub> : berat sampel kering

#### **Analisa Penentuan Selulosa dan Hemiselulosa**

Sampel hasil filtrasi dipipet sebanyak 3 mL, lalu ditambahkan CaCO<sub>3</sub> hingga pH netral. Kemudian disaring dan diuji kadar glukosa dan xilosa dengan menggunakan HPLC. Kolom yang digunakan pada proses ini yaitu Bio-Rad column, intern-Det 40 dan Ext-Col 65 menggunakan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebagai eluennya dengan konsentrasi 0,005M (isokratik), laju alir 0,6 mL/menit dan lama waktu 15 menit. Persentase selulosa dan hemiselulosa dihitung berdasarkan pada konsentrasi glukosa dan xilosa menggunakan koreksi anhidro 0,88 untuk xilosa dan koreksi 0,9 untuk glukosa [21].

$$C_{Gs} = \frac{H_s}{H_{std}} \times C_{stdG} \quad (4)$$

$$\% \text{ Glukosa dalam sampel} = \frac{C_{Gs}}{W_s \times \frac{100}{87 \text{ mL}}} \times 100\% \quad (5)$$

$$\% \text{ Selulosa} = \% \text{ Glukosa dalam sampel} \times 0,9 \quad (6)$$

Perhitungan kadar hemiselulosa:

$$C_{Xs} = \frac{H_s}{H_{std}} \times C_{stdX} \quad (7)$$

$$\% \text{ Glukosa dalam sampel} = \frac{C_{Xs}}{W_s \times \frac{100}{87 \text{ mL}}} \times 100\% \quad (8)$$

$$\% \text{ Selulosa} = \% \text{ Glukosa dalam sampel} \times 0,88 \quad (9)$$

Keterangan:

$C_{Gs}$  : Konsentrasi glukosa

$C_{Xs}$  : Konsentrasi xilosa

$H_s$  : Tinggi peak sampel

$H_{std}$  : Tinggi peak standar

$C_{stdG}$  : Konsentrasi standar glukosa

$C_{stdX}$  : Konsentrasi standar xilosa

$W_s$  : Berat sampel kering

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Karakteristik Tandan Kosong Kelapa Sawit

Tandan kosong kelapa sawit yang akan digunakan, terlebih dahulu dikarakterisasi untuk mengetahui komponen lignoselulosa awal sebelum delignifikasi. Metode analisis dalam penentuan sifat kimia TKKS dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode NREL (*National Renewable Energy laboratory*) dan analisis Spektrofotometer UV-Vis untuk analisa lignin dan analisis HPLC untuk analisa selulosa dan hemiselulosa.

**Tabel 1.** Komponen biomassa TKKS sebelum pretreatment dibandingkan dengan hasil analisa komponen penelitian lain

| Bahan Baku | Selulosa | Hemiselulosa | Lignin | Abu  | Referensi             |
|------------|----------|--------------|--------|------|-----------------------|
| TKKS       | 39,58    | 10,93        | 46,79  | 2,70 | Hasil Penelitian      |
| TKKS       | 34,06    | 14,42        | 40,83  | 3,03 | Agustini, 2022        |
| TKKS       | 46,60    | 21,23        | 14,07  | -    | Khairiah et al., 2021 |
| TKKS       | 30,97    | 10,00        | 34,44  | 1,27 | Mulkiyan, 2021        |
| TKKS       | 41,11    | 30,03        | 26,36  | 2,50 | Sukhang et al., 2020  |

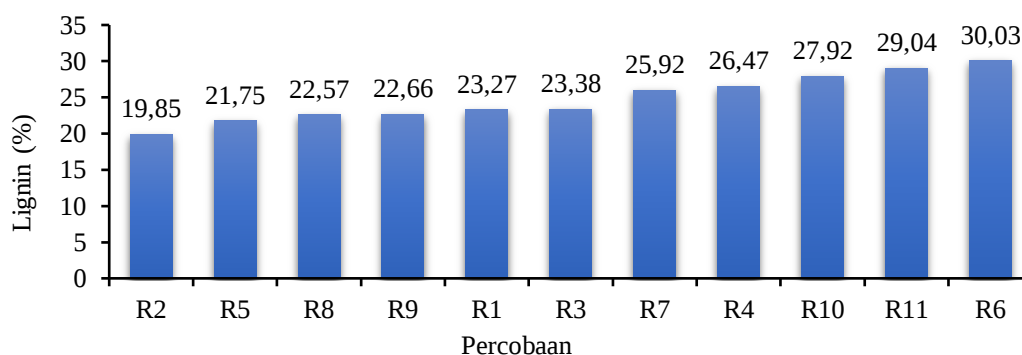
Hasil analisis komponen biomassa lignoselulosa TKKS tanpa pretreatment dapat dilihat pada Tabel 1. Pada tabel tersebut menunjukkan substrat TKKS mempunyai potensi sebagai bahan baku dalam proses pembuatan bioetanol karena mengandung selulosa 39,58%, hemiselulosa 10,93% lalu kadar lignin yang terkandung cukup tinggi yaitu 46,79% sehingga perlu dilakukan pengurangan kadar lignin pada TKKS dengan proses delignifikasi sebelum selanjutnya dilakukan hidrolisis untuk menghasilkan gula sederhana untuk proses fermentasi sehingga diperoleh bioetanol. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan perbedaan kandungan lignoselulosa pada substrat TKKS, seperti penelitian yang dilakukan oleh [14] diketahui kadar selulosa 34,06 %, hemiselulosa 14,42% dan lignin 40,83%. Sedangkan [15] kadarnya yaitu selulosa 46,6 %, hemiselulosa 21,23% dan lignin 14,07%. Kemudian [16] selulosa 30,97%, hemiselulosa 10,00% dan lignin 34,44%. Serta [17] kadar selulosa 41.11%, hemiselulosa 30.03% dan lignin 26.36%. Perbedaan tersebut disebabkan oleh varietas, kondisi pertumbuhan, dan kematangan tingkat produksi tanaman kelapa sawit [18].

#### Hasil Delignifikasi terhadap Pengurangan Kadar Lignin TKKS

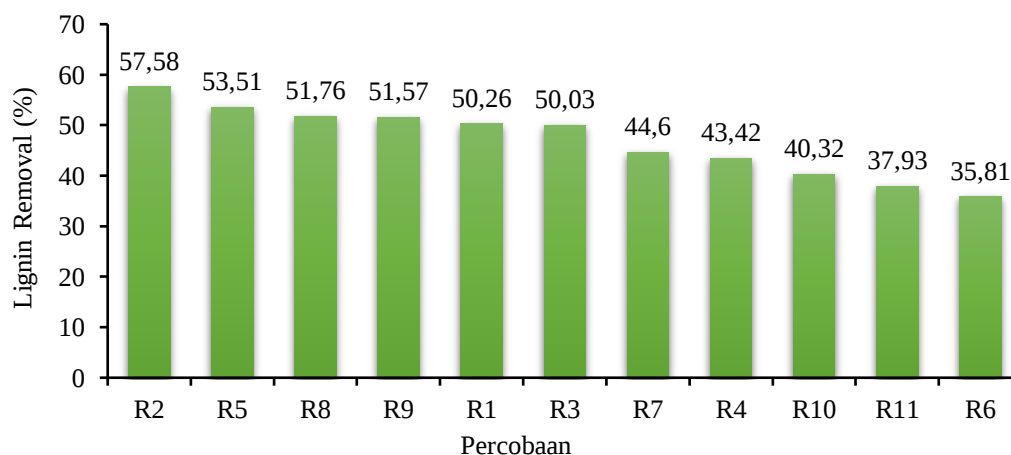
Proses delignifikasi dilakukan dengan dengan bantuan sinar radiasi mikro (*Microwave*) menggunakan larutan Natrium Hidroksida (NaOH). Percobaan dilakukan dengan metode rancangan acak menggunakan tiga kondisi percobaan yaitu daya *watt microwave*, waktu delignifikasi, rasio padat cair dan satu variabel tetap yaitu konsentrasi NaOH. Hasil percobaan tersebut kemudian dilakukan pengujian dengan Spektrofotometer UV untuk mengetahui kadar lignin yang tersisa dan persen lignin *removalnya*.

Tabel 2. Rancangan percobaan

| Run No. | Waktu Delignifikasi<br>(menit) | Daya Microwave<br>(watt) | Rasio Padat Cair<br>(b/v) |
|---------|--------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| R1      | 45                             | 300                      | 1:15                      |
| R2      | 30                             | 300                      | 1:20                      |
| R3      | 15                             | 300                      | 1:25                      |
| R4      | 30                             | 600                      | 1:15                      |
| R5      | 45                             | 300                      | 1:20                      |
| R6      | 30                             | 100                      | 1:25                      |
| R7      | 15                             | 600                      | 1:20                      |
| R8      | 30                             | 300                      | 1:15                      |
| R9      | 45                             | 100                      | 1:20                      |
| R10     | 15                             | 100                      | 1:15                      |
| R11     | 45                             | 600                      | 1:20                      |



Gambar 1. Grafik kadar lignin TKKS setelah delignifikasi berdasarkan rancangan acak tiga variabel dengan variasi daya, waktu dan rasio padat cair

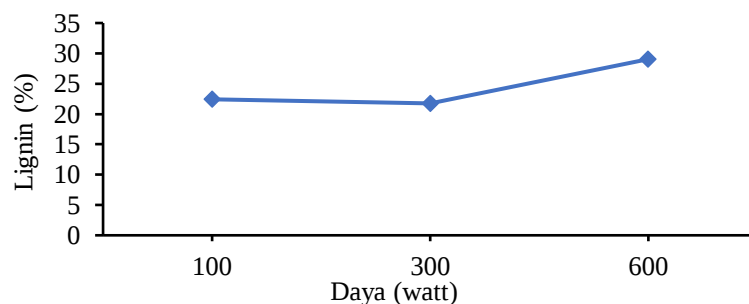


Gambar 2. Grafik persen lignin removal TKKS berdasarkan rancangan acak tiga variabel dengan variasi daya, waktu dan rasio padat cair

Hasil percobaan dapat terlihat pada Gambar 1 dan Gambar 2, Hasil delignifikasi tandan kosong kelapa sawit dengan bantuan *microwave* diperoleh kadar lignin dari terkecil sampai terbesar dan persen lignin *removal*. Data tersebut menunjukkan semakin tinggi persen lignin removal maka semakin kecil kandungan lignin yang terdapat dalam tandan kosong kelapa sawit. Pada grafik diatas menunjukan hasil bahwa R2 dengan variasi kondisi yaitu daya *microwave* 300 watt, waktu delignifikasi 30 menit, dan rasio padat cair 1:20 memiliki kondisi terbaik yaitu mampu mendegradasi lignin pada substrat TKKS sebanyak 57,58% dan menyisakan kadar lignin sebesar 19,85%, lalu kondisi terendah didapat pada R6 yang hanya mampu menurunkan kadar lignin sebesar 35,81% artinya masih menyisakan kadar lignin yang masih besar yaitu 30,03%.

### Hasil Delignifikasi terhadap Pengurangan Kadar Liginin TKKS

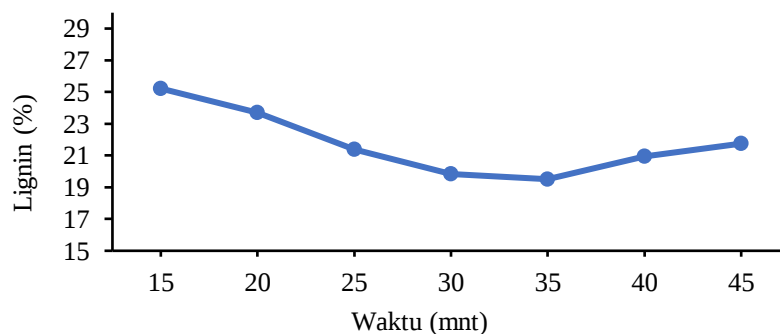
Hasil penelitian untuk respon lignin menunjukkan bahwa daya *microwave* memberikan pengaruh terhadap hasil delignifikasi, dengan kondisi rasio padat cair 1:20 b/v serta waktu delignifikasi 45 menit. Grafik di bawah menunjukkan kadar lignin mengalami penurunan pada daya 100 dan 300 watt, sedangkan pada daya 600 watt kadar lignin yang terdegradasi hanya sedikit. Ini disebabkan karena daya *microwave* yang tinggi akan menghasilkan suhu yang tinggi pula, daya watt *microwave* yang tinggi bertujuan untuk mempersingkat waktu delignifikasi karena pemanasan *microwave* terjadi melalui radiasi menyebabkan pemanasan lebih merata [19].



**Gambar 3.** Grafik hubungan antara daya *microwave* dengan kandungan lignin pada kondisi waktu 45 menit dan rasio 1:20 b/v

Pada penelitian yang dilakukan oleh [20] dijelaskan bahwa pada proses delignifikasi semakin banyak volume NaOH yang diberikan maka akan semakin mudah lignin terdegradasi karena lignin mempunyai titik pelunakan dan titik leleh yang rendah. Akan tetapi, penggunaan daya *microwave* yang tinggi juga akan mempengaruhi volume pelarut. Semakin tinggi daya *microwave* maka volume pelarut juga akan semakin cepat habis sehingga lignin yang terdagradasi tidak optimal. Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil penelitian pada percobaan R11 dengan daya 600 watt kadar lignin yang tersisa sebesar 29,04% dibandingkan dengan percobaan R5 menggunakan daya 300 watt kadar lignin yang terdegradasi lebih banyak dan kadar lignin yang tersisa sebesar 21,75%.

### Pengaruh Waktu Microwave terhadap Kandungan Lignin



**Gambar 4.** Grafik hubungan antara waktu *microwave irradiation* dengan kandungan lignin pada kondisi daya 300 watt dan rasio 1:20 b/v

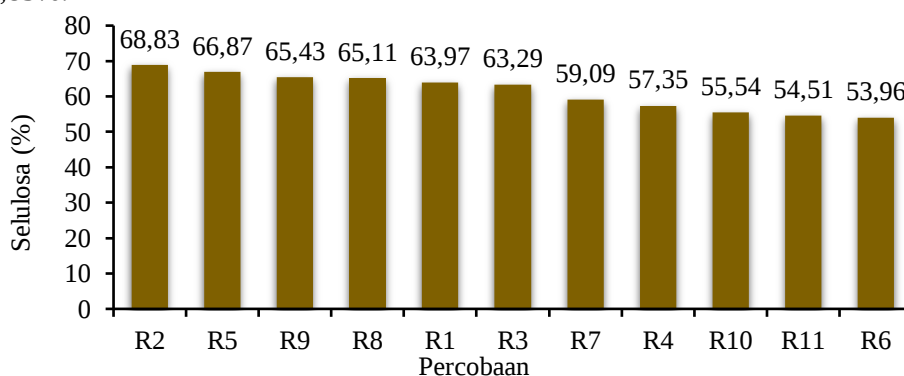
Kondisi terbaik pada rancangan percobaan acak tiga variabel yakni R2, kemudian dilakukan percobaan kembali untuk mengetahui pengaruh waktu *microwave* terhadap kandungan lignin TKKS. Kondisi yang digunakan yaitu konsentrasi pelarut NaOH 5 M, daya *microwave* 300 watt dan rasio padat cair 1:20 b/v serta waktu pemasakan yang divariasikan.

Grafik di atas menunjukkan kadar lignin tandan kosong kelapa sawit yang telah didelignifikasi. Terlihat bahwa kadar lignin sebelum delignifikasi sebesar 46,79% mengalami penurunan pada menit ke 15 hingga 35 menit menjadi 19,51%. Penurunan kadar lignin ini disebabkan karena paparan radiasi gelombang mikro yang lama akan meningkatkan suhu pemanasan yang juga memengaruhi material lignoselulosa. Paparan radiasi *microwave* yang lama akan menyebabkan kandungan lignin TKKS yang terdegradasi semakin banyak [21].

Sedangkan menit ke 40 hingga 45, kadar lignin meningkat. Hal ini disebabkan karena iradiasi *microwave* yang semakin lama dan pemanasannya semakin intens pada larutan serta muncul letupan-letupan yang terjadi selama sampel berada di dalam *microwave* yang menyebabkan volume pelarut NaOH semakin berkurang. Semakin sedikitnya volume pelarut akan membuat pemanasan berlangsung lebih cepat dari sebelumnya dan berkurangnya larutan NaOH yang dapat mendegradasi kandungan lignin pada bahan [22]. Ada 3 (tiga) tahap dalam pelarutan lignin yaitu tahap delignifikasi awal, delignifikasi sebagian dan delignifikasi akhir. Pada tahap delignifikasi awal yang terjadi pada suhu rendah umumnya dikontrol oleh difusi. Sementara itu pada tahap delignifikasi kedua yang terjadi pada suhu diatas 140 °C delignifikasi dikendalikan oleh reaksi kimia, di mana laju reaksi meningkat seiring dengan kenaikan suhu [23].

#### **Pengaruh Delignifikasi terhadap Kandungan Selulosa**

Berdasarkan Grafik di bawah, dapat disimpulkan bahwa kombinasi perlakuan daya *microwave*, waktu delignifikasi, dan volume larutan sangat berpengaruh terhadap respon kadar selulosa. Yang dimana kadar selulosa bahan TKKS sebelum delignifikasi sebesar 39,58%. Setelah delignifikasi, perolehan selulosa terendah didapatkan pada percobaan R6 yaitu sebesar 53,96%, kemudian kondisi terbaik dengan perolehan selulosa tertinggi didapatkan pada percobaan R2 selulosa yang diperoleh sebesar 68,83%.

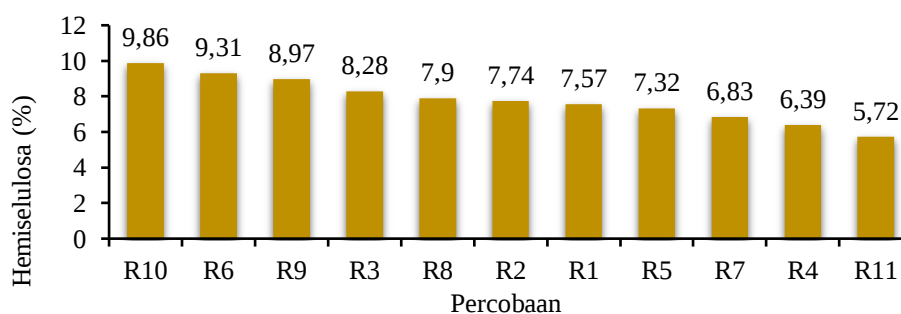


**Gambar 5.** Grafik kadar selulosa tandan kosong kelapa sawit setelah delignifikasi

Hal ini disebabkan karena banyaknya volume pelarut NaOH dan lamanya waktu delignifikasi yang digunakan akan mempercepat pemecahan lignin pada proses delignifikasi sehingga lignin yang terdegradasi semakin banyak dan selulosa yang diperoleh meningkat. Hal tersebut sesuai dengan penelitian [24] yang menyatakan bahwa semakin banyak volume pelarut pada proses delignifikasi dan semakin lama waktu proses delignifikasi, maka lignin yang terdegradasi akan semakin banyak.

Namun apabila penggunaan suhu yang terlalu tinggi dan waktu pemanasan yang terlalu lama akan mengakibatkan selulosa ikut terdegradasi [25]. Hal ini dibuktikan pada percobaan R11 dengan kondisi yang ekstrim yaitu daya *microwave* 600 watt dan waktu delignifikasi 45 menit menghasilkan selulosa sebesar 54,51%, selulosa banyak yang terdegradasi dibandingkan dengan percobaan R2 dengan kondisi daya *microwave* hanya 300 watt dan waktu delignifikasi 30 menit menghasilkan selulosa sebesar 68,83%.

#### **Pengaruh Delignifikasi terhadap Kandungan Hemiselulosa**



**Gambar 6.** Grafik kadar hemiselulosa tandan kosong kelapa sawit setelah delignifikasi

Grafik di bawah menunjukkan kadar hemiselulosa TKKS pada setiap percobaan mengalami penurunan dari kadar awal hemiselulosa TKKS sebesar 10,32%. Didapatkan kandungan hemiselulosa tertinggi pada percobaan R10 sebesar 9,86% dengan kondisi daya *microwave* 100 watt, waktu 15 menit dan rasio padat cair 1:15, sedangkan R11 dengan kondisi daya *microwave* 600 watt, waktu 45 menit dan rasio padat cair 1:20 menghasilkan kadar selulosa yang terendah sebesar 5,72%.

Hal ini terjadi karena semakin tinggi daya *microwave* yang digunakan maka suhu pemasakan juga akan semakin meningkat sehingga kandungan hemiselulosa terus mengalami penurunan. Proses delignifikasi terhadap lignoselulosa juga dapat mengurangi kadar hemiselulosa karena hemiselulosa lebih mudah larut dalam larutan basa. Molekul hemiselulosa yang larut memiliki rantai pendek, rantai cabang, dan gugus asetilasi, sementara ikatan glikosidik dalam molekul hemiselulosa sulit dipecahkan [14]. TKKS yang telah dilakukan pretreatment akan kehilangan hampir setengah dari massa awalnya. Waktu proses dengan pretreatment berpengaruh terhadap perolehan massa TKKS, semakin lama waktu proses akan semakin sedikit perolehan massa tandan kosong kelapa sawit [11].

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian **Pengembangan Delignifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit menggunakan Bantuan Microwave terhadap Hasil Lignin Removal** yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan yaitu delignifikasi tandan kosong kelapa sawit menggunakan *microwave* dengan parameter daya *microwave*, waktu delignifikasi dan rasio padat cair sangat berpengaruh terhadap lignoselulosa bahan. Hasil lignin removal TKKS terbaik didapatkan pada percobaan R2 dengan variasi kondisi yaitu daya *microwave* 300 watt, waktu delignifikasi 30 menit, dan rasio padat cair 1:20 b/v mampu mendegradasi lignin sebanyak 57,58% dan menyisakan kadar lignin sebesar 19,85%. Kandungan selulosa terbaik didapatkan pada percobaan R2 sebesar 68,83% dengan kondisi daya *microwave* 300 watt, waktu 30 menit dan rasio padat cair 1:20 b/v. Sedangkan kandungan hemiselulosa terbaik didapatkan pada percobaan R10 sebesar 9,86% dengan kondisi daya *microwave* 100 watt, waktu 15 menit dan rasio padat cair 1:15 b/v. Semakin lama waktu delignifikasi maka lignin yang terdegradasi juga akan semakin banyak, namun waktu delignifikasi yang lama juga menyebabkan volume pelarut semakin sedikit, sehingga pengurangan kadar lignin tidak optimal. Waktu 35 menit merupakan waktu terbaik dengan persen kadar lignin tersisa sebesar 19,51%. Daya *microwave* terbaik untuk delignifikasi didapatkan pada daya 300 watt dengan rasio 1:20 b/v waktu 45 menit, mampu mendegradasi lignin sebesar 53,51% sehingga kadar lignin tersisa sebesar 21,75%.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami ucapkan sebesar-besarnya kepada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia yang memberikan bantuan terhadap penelitian ini.

#### 6. Daftar Pustaka

- [1] I. Telussa, E.G. Fransina and J. Singerin, "Produksi Bioetanol dari Mikroalga Laut Ambon *Chlorella sp.* Galur TAD", *Jurnal Sains Dasar*, 11(2), 63–69, 2022.
- [2] R.S. Hasibuan, "Kualitas Serat dari Limbah Batang Kelapa Sawit sebagai Bahan Baku Papan Serat", *Fakultas Pertanian USU, Medan*, 2019.
- [3] R. Hidayat, "Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Bioetanol sebagai Bahan Bakar Masa Depan yang Ramah Lingkungan", *In La sociedad de la sociedad*, Institut Pertanian Bogor, 2019.
- [4] M. Muryanto, Y. Sudiyani and H. Abimanyu, "Optimasi Proses Perlakuan Awal NaOH Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk menjadi Bioetanol", *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, 18(01), 27–35, 2016.

- [5] M. Taylor, S. Atri and G. Minhas, “*Development in Microwave Chemistry*”, *Evalueserve, Expert Knowledge Series*, 2005.
- [6] N. Nasriah, “Sintesis Karbon Nanodots Menggunakan Pemanasan *Microwave* untuk Aplikasi Bioimaging”, *Skripsi. Bandung: Universitas Islam Sunan Gunung Djati*, 2013.
- [7] M. Rahim and M. Nadir, “Optimasi Waktu Hidrolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Furfural Berbantuan Gelombang Mikro”, *Jurnal Konversi*, 4(02), 8-11, 2015.
- [8] D.K. Putri, Rosalina and R. Sutri, “*Pre-Treatment* Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Bahan Baku Bioetanol dengan Gelombang *Microwave*”, *Jurnal Redoks*, 8(1), 13-17, 2023.
- [9] K. Rosyidin, “*Assisted Pretreatment with Microwave Heating* untuk Pengingkatan Kadar Selulosa Batang Pisang pada Produksi Bioetanol”, *Prosiding SNIPS*: 33-36, Bandung, 2018.
- [10] G. W. Huber, S. Iborra and A. Corma, “*Synthesis of Transportation Fuels from Biomass: Chemistry, Catalysts, and Engineering*”, *Chemical Reviews*, 106(9), 4044–4098, 2019.
- [11] F. Peng, X.P. Peng, F. Xu and R.C. Sun, “*Purification of Bagasse Cellulose*”, *BioResources*, 7(4), 4626–4639, 2015.
- [12] M. K. Bakhor and Muhaji, “Proses Pembuatan dan Uji Karakteristik Bioetanol dari Bonggol Pohon Pisang Raja (*Musa Paradisiaca*)”, *Jurnal Teknik Mesin*, 10(4), 99–108, 2022.
- [13] A. Sluiter, B. Hames, R. Ruiz and C. Scarlata, “*Analytical Procedure Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass*”, *Laboratory Analytical Procedure (LAP)*, 2008.
- [14] L. Agustini and L. Efiyanti, “Pengaruh Perlakuan Delignifikasi terhadap Hidrolisis Selulosa dan Produksi Etanol dari Limbah Berlignoselulosa”, *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 33(1), 69–80, 2022.
- [15] H. Khairiah, M. Ridwan, P. Kampar and J. K. Tengku Muhammad, “Pengembangan Proses Pembuatan Bioetanol Generasi II dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit”, *Jurnal Pangan dan Agroindustri* 9(4), 233–240, 2021.
- [16] L. M. Mulkiyan, “Pengaruh Alkali *Pretreatment* terhadap Produk Gula Pereduksi pada Hidrolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) menggunakan *Isolat Aspergillus Niger Inacc F57*”, *Skripsi, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Halu Oleo*, 2021.
- [17] S. Sukhang, S. Choojit, T. Reungpeerakul and C. Sangwichien, “*Bioethanol Production from Oil Palm Empty Fruit Bunch with SSF and SHF Processes using Kluyveromyces Marxianus Yeast*”, *Journal of Cellulose*, 27(1), 301–314, 2020.
- [18] S. Sabrina, A. R. Roshanida and N. Norzita, “*Pretreatment of Oil Palm Fronds for Improving Hemicelluloses Content for Higher Recovery of Xylose*”, *Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering)*, 62(2), 39–42, 2013.
- [19] K. Kovacs, S. Macrelli, G. Szakacs and G. Zacchi, “*Enzymatic Hydrolysis of Steam-Pretreated Lignocellulosic Materials with Trichoderma Atroviride Enzymes Produced in House*”, *Biotechnology for Biofuels*, 19(1), 1–11, 2016.
- [20] L. Lismeri, P. M. Zari, T. Novarani and Y. Darni, “Sintesis Selulosa Asetat dari Limbah Batang Ubi Kayu”, *Jurnal Rekayasa Kimia Lingkungan*, 11(2), 8-2, 2016.
- [21] A. Lukas, S. Ngudiwaluyo, H. Mulyono, I. Rosyadi and I. M. Noor, “Aspek Teknis dan Finansial Insinerasi Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Biokar Sebagai Pupuk Karbon”, *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, 13(4), 32-42, 2018.
- [22] Sjostrom and Eres, “*Kimia Organik, Dasar dan Penggunaan Edisi Kedua*”, *Yogyakarta: UGM-Press*, 1995.

- 
- [23] D.M. Maharani, L. Normalasari, C. Ardin, H. Prakoso and M.T. Ramadhan, “Pengaruh *Pretreatment* secara *Alkalisasi-Resistive Heating* terhadap Kandungan Lignoselulosa Jerami Padi”, *Algitech*, 37(2), 132-138, 2017.
- [24] Wibisono, H. Leonardo, Antaresti and Aylianawati, “Pembuatan *Pulp* Dari Alang-Alang”, *Widya Teknik*, 10(1), 11–20, 2016.
- [25] S.E. Purnama and F.P. Azurah, “Proses Hidrolisis dan Fermentasi Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Bahan Baku Bioetanol”, *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan (JIRL)*, 1(3), 1-4, 2020.