

# Optimasi Proses *Cooking* Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Metode Soda Metilantrokuinon (MAQ) dan *Digester Liquor* Tersirkulasi untuk Produksi *Dissolving Pulp*

Rawdatul Fadila<sup>a\*</sup>, Evelyn<sup>b</sup>, Ida Zahrina<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Magister Teknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

<sup>b</sup>Program Studi D-III Teknologi Pulp dan Kertas, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

<sup>c</sup>Program Studi S1 Teknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

## ARTICLE HISTORY

Received : 01-04-2025

Accepted : 29-08-2025

Published : 15-11-2025

## KEYWORDS

*Dissolving pulp*

*Palm Oil Empty Bunches (EFB)*

*Soda Methylantraquinone (MAQ)*

*Response Surface Methodology (RSM)*

*Design Expert*

\*Correspondence author:

Email: [rawdatulfadila@gmail.com](mailto:rawdatulfadila@gmail.com)



## ABSTRACT

*Dissolving pulp is a raw material in the textile, plastic, and other cellulose-derived products industries, which has a high content of  $\alpha$ -cellulose ( $\geq 90\%$ ), high degree of brightness, low hemicellulose and lignin content. Demand for dissolving pulp continues to increase, so a sustainable alternative raw material source is required. Empty bunches from oil palm industry waste can potentially be processed into dissolving pulp. This study aims to determine the effect of cooking temperature, cooking time and NaOH concentration on yield, kappa number and viscosity and to obtain the optimum conditions for cooking oil palm empty bunches for dissolving pulp using 2-methylantraquinone (MAQ) soda with a circulating liquor digester. Prehydrolysis of the raw materials was conducted at 150 °C for 180 min, followed by soda cooking with 0.1% MAQ at 140–160 °C for 120–240 min using NaOH concentrations of 10–20%. Optimization was conducted using Design Expert software with Response Surface Methodology (RSM) model Central Composite Design (CCD). Pulp from the cooking process produced yields with a range of 23.4–51.56%, kappa numbers of 6.97–19.44 and viscosity of 6.21–9.13 cP. Optimal conditions were obtained from RSM at 160°C, 120 minutes cooking time, and 20% NaOH concentration, with an estimated yield of 46.9%, kappa number of 10.22, and viscosity of 7.06 cP. This study confirms that the production of dissolving pulp from oil palm empty fruit bunches for dissolving pulp with MAQ soda process and circulating digester liquor was successfully carried out.*

## 1. PENDAHULUAN

Sepuluh tahun terakhir, pasar *dissolving pulp* menunjukkan pertumbuhan yang signifikan, karena tingginya permintaan serat selulosa untuk industri tekstil serta untuk produksi zat aditif dan plastik dari turunan selulosa (Jarriault dkk., 2014). Pendorong utama dari meningkatnya permintaan produk tekstil adalah populasi dan ekspansi ekonomi. Menurut Hammerle (2011), diprediksi bahwa produksi serat tekstil dunia akan meningkat dari 72,5 juta ton di tahun 2010 menjadi 133,5 juta ton di tahun 2030. Bahan baku yang digunakan untuk memproduksi *dissolving pulp* memiliki kadar selulosa yang tinggi (90-99%), kandungan hemiselulosa rendah (2-4%), kandungan lignin, ekstraktif dan mineral yang rendah (Sixta, 2006). Menurut Hon dan Shiraishi (2001), *dissolving pulp* yang dilarutkan juga memiliki Tingkat kecerahan yang tinggi, memiliki tingkat polimerisasi yang rendah, dan memiliki distribusi berat molekul yang merata. Pulp ini juga harus memiliki reaktivitas yang baik terhadap senyawa tertentu, termasuk karbon disulfida (Miao dkk., 2014).

*Dissolving pulp* adalah produk yang dihasilkan dari bahan baku kayu maupun bukan kayu. Serat bukan kayu mempunyai sifat dan struktur morfologi yang serupa dengan kayu. Keunggulan serat bukan kayu adalah kebutuhan akan pengairan dan pemupukan yang relatif rendah, siklus pertumbuhan tanaman yang lebih singkat, serta kandungan lignin yang kecil sehingga mengurangi penggunaan energi dan bahan kimia dalam proses pembuatan *pulp*. Selain itu, pemanfaatan bahan baku bukan kayu dapat menghemat pasokan kayu untuk keperluan lain dan membantu mencegah deforestasi yang masif (Behin dan Zeyghami, 2009).

Proses pemasakan pulp dengan *soda cooking* adalah suatu proses yang lebih menguntungkan secara teknik dan ekonomis dikarenakan residunya tidak membahayakan lingkungan (Harsini dan Susilowati, 2016) dan tidak mengandung belerang (Miati dkk., 2015). Namun, proses ini bisa ditambahkan dengan 2-metilantrakuinon sebagai zat aditif, karena tidak berpotensi mutagenik atau karsinogenik. Hasil dari proses soda 2-metilantrakuinon setara dengan proses *kraft* (Francis dkk., 2006).

Pada tahun 2017, area perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai 12,38 juta hektar (ha) dengan *Crude Palm Oil* (CPO) sebanyak 34,94 juta ton dan terdapat hampir di seluruh pulau. Pada tahun 2023, perkebunan kelapa sawit di Indonesia areanya meningkat sebesar 24,7 persen menjadi 15,44 juta hektar (ha) dengan peningkatan CPO sebesar 34,5 persen menjadi 46,99 juta ton (Badan Pusat Statistik, 2024). Industri kelapa sawit mengeluarkan limbah yang cukup banyak seperti serat, cangkang, *Decanter Cake* (DC) dan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). TKKS memiliki persentase 28,5% dari total limbah padat lainnya (Pooja dkk., 2012), sehingga TKKS perlu dimanfaatkan untuk menghasilkan suatu produk baru lainnya untuk mengurangi limbah yang dihasilkan industri kelapa sawit, seperti pengolahan TKKS menjadi *dissolving pulp* dapat mendorong terciptanya produk baru dalam industri tekstil dan kreatif nasional yang berkelanjutan.

Penelitian biomassa kelapa sawit dengan soda *pulping* sudah banyak dilakukan dan sudah dimulai dari beberapa tahun terakhir. Pada tahun 2015, Harsono melakukan penelitian pembuatan *dissolving pulp* dari TKKS dengan metode kombinasi pemasakan prahidrolisis soda antrakuinon (AQ), Prahidrolisis dilakukan selama 90–180 menit pada suhu 150°C. Selanjutnya, TKKS prahidrolisis mengalami beberapa kondisi pemasakan soda-AQ dengan dosis alkali aktif (AA) yaitu 19, 20, dan 21% pada suhu 160°C, dengan rasio *chip* : cairan pemasak adalah 1 : 3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa durasi optimal prahidrolisis adalah 180 menit, sedangkan pemasakan soda AQ dosis AA terbaik adalah 20%, dengan nilai bilangan kappa 9,1 dan viskositas 23,1 cP. Hasil penelitian Harsono dkk., (2015) menunjukkan bahwa TKKS berpotensi untuk memproduksi *Dissolving Pulp*.

Pada tahun 2001, Law dan Jiang melakukan penelitian soda *pulping* Tandan Kosong Sawit (TKS) dengan menggunakan *Digester* sirkulasi M/K (M/K System Inc., USA) dengan kapasitas 6 liter. *Digester* ini menggunakan sistem sirkulasi *liquor* dan dilengkapi dengan alat penukar panas eksternal. Pada penelitian ini kondisi pemasakan yang diterapkan adalah rasio carian pemasak (*liquor*) terhadap *chip* (6:1), selama 25 menit untuk mencapai suhu pemasakan, dan selama 30 dan 90 menit pada suhu pemasakan, suhu pemasakan 160°C, dan konsentrasi NaOH 20% *Oven Dry* (OD) TKS. Hasil penelitian Law dan Jiang (2001) menunjukkan bahwa menggunakan *Digester* sirkulasi akan menghasilkan produk yang lebih baik, kondisi terbaik dihasilkan selama 30 menit dengan perolehan *yield* senilai 56,0% dan bilangan kappa 48,7.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu pemasakan, waktu pemasakan dan konsentrasi NaOH terhadap *yield*, bilangan kappa dan viskositas dari proses *cooking* soda MAQ tandan kosong kelapa sawit untuk *dissolving pulp*, dan mendapatkan kondisi operasi pemasakan optimum untuk produksi *dissolving pulp* dari TKKS dari faktor percobaan yaitu suhu pemasakan, waktu pemasakan dan konsentrasi NaOH. Optimasi pada proses *cooking* tandan kosong kelapa sawit untuk pembuatan *dissolving pulp* dengan soda MAQ dan *digester* sirkulasi M/K masih jarang dilakukan, makanya penelitian ini dilakukan dengan variabel suhu pemasakan (140 - 160°C), waktu pemasakan (120 – 240 menit) dan konsentrasi NaOH (10 – 20%). Penambahan soda MAQ dipilih karena tidak bersifat mutagenik dan terbukti lebih efektif daripada AQ (Francis, 2006). *Digester* sirkulasi M/K dapat menyebabkan distribusi cairan pemasak terhadap serat bahan baku lebih baik. Optimasi dilakukan dengan metode *Response Surface Methodologi* (RSM) menggunakan *software Design Expert*.

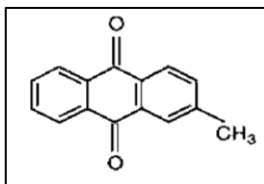
### 1.1 *Dissolving Pulp*

Menurut Wu, dkk. (2015), *dissolving pulp* adalah pulp dengan konsentrasi selulosa yang tinggi ( $\geq 90\%$ ), persentase hemiselulosa yang rendah (2-4%), dan lignin, ekstraktif, serta mineral dalam jumlah yang rendah. Selulosa asetat, rayon viskosa, karboksimetil selulosa, selulosa nitrat, dan produk selulosa lainnya dibuat dengan menggunakan *dissolving pulp* sebagai bahan bakunya (Batalha dkk., 2012).

*Dissolving pulp* dapat diproduksi dari bahan baku kayu maupun bukan kayu. Bahan baku industri *dissolving pulp* biasanya adalah kayu (Dien dkk., 2015). Namun, tumbuhan bukan kayu menarik perhatian peneliti untuk digunakan sebagai bahan komposit, tekstil, pulp dan kertas, karena tumbuhan bukan kayu seperti residu pertanian, bambu dan lainnya merupakan sumber serat selulosa yang murah (Wang dan Chen, 2013). Keuntungan menggunakan serat bukan kayu adalah kebutuhan pengairan dan pemupukan yang relatif rendah, siklus pertumbuhan tanaman yang cepat, serta kadar lignin rendah, yang dapat mengurangi konsumsi energi dan bahan kimia dalam proses pembuatan *pulp*. Selain itu, penggunaan bahan bukan kayu sebagai bahan baku dapat menghemat pasokan kayu untuk keperluan lain dan mencegah deforestasi besar-besaran (Behin dan Zeyghami, 2009).

### 1.2 Metilantrokinon (MAQ)

Dalam prosedur pembuatan pulp alkali (*kraft pulping* dan *soda pulping*), antrakuinon (AQ) sering ditambahkan sebagai katalis untuk meningkatkan rendemen dan delignifikasi. Ketika digunakan dalam pembuatan pulp alkali, antrakuinon meningkatkan laju delignifikasi, lebih selektif dalam memecah lignin, menggunakan lebih sedikit alkali, dan meningkatkan kualitas pulp serta rendemen (Smook, 1989; Fengel dan Wegener, 1989). Untuk mempertahankan kualitas serat selulosa yang tinggi dan menghasilkan rendemen yang tinggi, antrakuinon ditambahkan selama proses pembuatan pulp untuk mempercepat degradasi lignin dan mengurangi reaksi pengelupasan rantai selulosa (*peeling off*) (Kartikawati, 2013). Gambar 1 menunjukkan struktur kimia dari 2-metilantrokinon (Francis dkk., 2006).



**Gambar 1.** Struktur Molekul 2-metilantrakuinon (Francis dkk., 2006).

Pada tahun 1970-an antrakuinon (AQ) dan turunannya pada awalnya diselidiki sebagai aditif pembuatan pulp. Penambahan AQ dalam jumlah kecil (0,04% - 0,1%) dapat mempercepat laju delignifikasi, mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk reaksi pengelupasan karbohidrat dan melindungi karbohidrat, akibatnya hasil pulp meningkat secara signifikan (Wang dkk., 2010). Selain AQ, 2-metilantrakuinon (MAQ) yang merupakan AQ tersubstitusi diketahui memiliki sifat katalis yang sama dengan AQ dalam *pulping* alkali (Bihani dan Samuelson, 1980). Dalam Anita dkk. (2021) dijelaskan bahwa pengujian AMES menunjukkan MAQ tidak bersifat mutagenik, sehingga aman jika bersentuhan dengan makanan dan digunakan oleh manusia.

### 1.3 Proses Pembuatan *Dissolving Pulp*

Faktor utama untuk memproduksi *dissolving pulp* berkualitas baik yaitu kualitas bahan baku dan proses pembuatan *dissolving pulp* itu sendiri. Dalam pembuatan *dissolving pulp* meliputi persiapan bahan baku, prehidrolisis, *cooking*, dan *bleaching* juga mempengaruhi kualitas *dissolving pulp*.

#### 1. Proses Prehidrolisis

Proses prehidrolisis merupakan metode dilakukan sebelum tahap pemasakan (*cooking*) untuk menghasilkan pulp dengan kandungan selulosa tinggi dan melarutkan sebagian besar hemiselulosa. Jumlah hemiselulosa yang tinggi dalam *dissolving pulp* mengganggu pemrosesan lebih lanjut menjadi produk akhir. Oleh karena itu, perlu dilakukan prehidrolisis sebelum pemasakan untuk menghilangkan hemiselulosa.

#### 2. Proses Pemasakan (*Cooking*)

Pembuatan pulp secara kimiawi merupakan proses yang menggunakan bahan kimia untuk melarutkan bagian-bagian kayu yang tidak diinginkan seperti lignin, hemiselulosa, ekstrakatif dan mineral. *Yield* yang dihasilkan dalam pada proses ini cenderung lebih rendah dibandingkan dengan proses mekanis dan semi kimia, sekitar 40-60%, hasilnya produk selulosa yang dihasilkan lebih murni. Ada tiga jenis proses pembuatan pulp secara kimia yang masing-masing menggunakan larutan pemasak yang berbeda, yaitu proses soda, proses *kraft* dan proses *sulfit*,

#### 3. Proses *Bleaching*

Proses *bleaching* pada pulp merupakan Langkah untuk menghilangkan warna pada serat yang disebabkan oleh sisa – sisa lignin yang terdapat pada pulp dengan menggunakan bahan kimia. Selama proses *pulping* lignin tidak sepenuhnya terlarut, sehingga pada pulp yang diproduksi masih ada sisa-sisa lignin dengan warna yang bervariasi tergantung pada jenis kayu dan metode yang digunakan dalam pembuatan pulp. Lignin merupakan komponen terbesar dari selulosa yang menyebabkan warna gelap pada pulp. Derajat keputihan perlu ditingkatkan

dengan cara menghilangkan kandungan lignin yang tinggi. Lignin mudah larut dalam alkali encer dan zat-zat oksida tetapi sulit larut dalam larutan asam.

#### 1.4 *Response Surface Methodology* (RSM)

*Response Surface Methodology* (RSM) adalah seperangkat teknik statistik dan matematika yang berguna untuk memodelkan dan mengevaluasi persamaan. Optimalisasi respons adalah tujuannya, dan respons dipengaruhi oleh berbagai faktor (Montgomery, 2017). Untuk menemukan wilayah optimal, RSM menggunakan desain eksperimen linier dan non-linier sebagai tambahan dari teknik eksplorasi ruang faktor.

## 2. METODE

### 2.1 Alat dan Bahan

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Digester* sirkulasi M/K, neraca analitik, pemanas, oven, *disintegrator*, saringan 500 *mesh*, pompa vakum, *autoclave*, desikator, termometer, corong *buchner*, rangkaian alat prehidrolisis, *brightness meter*, dan rangkaian sokletasi untuk menguji kadar ekstraksi. Peralatan penunjang yang digunakan dalam penelitian ini yaitu alat gelas.

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah tandan kosong kelapa sawit yang diambil dari PT. Asian Agri yang berlokasi di Pangkalan Kerinci, Provinsi Riau. Bahan yang digunakan untuk proses prehidrolisis adalah akuades dan asam  $H_2SO_4$ . Bahan yang digunakan untuk proses soda *cooking* adalah MAQ sebagai aditif/katalis proses *cooking* yang diperoleh dari Kawasaki Kasei Chemical Ltd. Jepang, dan NaOH sebagai cairan pemasak.

Bahan yang digunakan dalam analisis bahan baku antara lain pelarut alkohol dan Diklorometana (DCM) untuk analisis kadar ekstraktif pada bahan baku. Bahan yang digunakan dalam analisis pulp antara lain larutan *Cupriethylenediamine* (CED) untuk analisis viskositas, larutan kalium permanganat ( $KMnO_4$ ) untuk analisis *kappa number*, dan larutan natrium hidroksida 17,5% untuk analisis alfa selulosa.

### 2.2 Prosedur Penelitian

#### 1. *Pretreatment* Bahan Baku

*Pretreatment* bahan baku dilakukan dengan cara tandan kosong kelapa sawit (TKKS) direbus menggunakan asam ( $H_2SO_4$ ) dengan pH 2-3 dalam waktu 30 menit dengan suhu  $70^\circ C$  setelah direbus bahan dibilas dengan air hangat hingga bersih. TKKS selanjutnya direbus dengan basa (NaOH) pada pH 10-11 dalam waktu 30 menit dengan suhu  $70^\circ C$ , setelah direbus bahan dibilas dengan air hangat hingga bersih. Setelah semua proses selesai, bahan dijemur hingga kering.

#### 2. Karakteristik Bahan Baku

Karakterisasi yang dipelajari meliputi analisis fisis (panjang serat, diameter serat, bilangan runkel, muhlstep rasio), analisis kandungan kimianya seperti lignin (SNI 8429), holoselulosa (Metode Wise), alfa selulosa (ASTM D 1103) yang dilakukan di laboratorium Balai Besar *Pulp* dan Kertas (BPPK) Bandung. Selain itu, dilakukan juga analisis kadar air, kadar abu dan ekstraktif bahan baku di Laboratorium Teknologi *Pulp* dan Kertas Universitas Riau.



### 3. Prehidrolisis

Proses prehidrolisis dimulai dengan mencampurkan bahan baku tandan kosong kelapa sawit *ovendry* dengan aquades dan  $H_2SO_4$  sebanyak 1% dari total aquades, untuk rasio tandan kosong : aquades (1:4), lalu dimasukkan ke dalam *digester* dan ditutup rapat, *digester* dioperasikan dengan suhu  $150^\circ C$  selama 180 menit

### 4. Proses Pemasakan (*Cooking*)

Proses *cooking* dilakukan dengan mencampurkan bahan baku hasil proses prehidrolisis dengan larutan NaOH pada variasi konsentrasi (10, 15, atau 20%) sebanyak 2000 ml yang selanjutnya ditambahkan MAQ 0,1% (Soda MAQ dicampur dengan glukosa dan NaOH, dipanaskan di tabung reaksi sampai berubah warna). Sampel dan larutan NaOH Bersama-sama dimasukkan ke dalam *digester* kemudian ditutup dengan rapat. *Digester* dioperasikan melalui panel kontrol dengan diurnya variabel suhu dan waktu pemasakan, yaitu suhu awal (suhu ruangan) menuju suhu pemasakan ( $140$ ,  $150$ , atau  $160^\circ C$ ) selama 60 menit, kemudian dilanjutkan dengan pemanasan dijaga tetap pada suhu  $140$ ,  $150$ ,  $160^\circ C$  selama (60, 120, atau 180 menit).

### 5. Proses Optimasi

Pada penelitian ini optimasi menggunakan *Response Surface Methodology* dengan menggunakan *software Design Expert* 13. Faktor percobaan yang diamati yaitu faktor suhu, waktu pemasakan dan konsentrasi NaOH. Sedangkan respons yang diamati adalah respons *yield*, bilangan kappa dan viskositas

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Sifat Fisis dan Komposisi Kimia Tandan Kosong Kelapa Sawit

Sifat fisis Tandan Kosong Kelapa Sawit yang diamati dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Analisis sifat fisis tandan kosong kelapa sawit

No	Parameter	Nilai
1	<i>Runkel Number</i>	0,44
2	Diameter serat luar ( $\mu m$ )	18,18
3	Diameter serat dalam ( $\mu m$ )	12,63
4	Tebal dinding serat ( $\mu m$ )	2,78
5	Panjang serat max (mm)	3,98
6	Panjang serat min (mm)	0,63
7	Panjang serat rata-rata (mm)	1,66
8	Kelangsingan serat	91,19
9	Kelenturan serat	0,69
10	Kekakuan serat	0,15
11	<i>Muhlsteph</i> Rasio Serat	51,78

Hasil analisis Tandan Kosong Kelapa Sawit yang diperoleh jika dibandingkan dengan kriteria kualitas bahan baku produksi pulp yang dikeluarkan FAO (1980) dapat dilihat pada Tabel 2. Serat TKKS termasuk dalam kualitas II atau kualitas bagus untuk dijadikan sebagai bahan baku pulp.

**Tabel 2.** Kriteria bahan baku produksi pulp (FAO, 1980)

No	Kandungan	Kualitas		
		I	II	III
1	Panjang serat (mm)	>2,00	1,00-2,00	<1,00
2	Bilangan <i>Runkel</i>	<0,25	0,25-0,50	>0,5-1,0
3	Daya tenun	>90	50-90	<50
4	Rasio <i>Muhlstep</i> (%)	<30	30-60	>60
5	Kelenturan	>0,8	0,5-0,8	<0,5
6	Kekakuan	<0,1	0,1-0,15	>0,15

Komponen kimia yang terdapat di dalam tandan kosong kelapa sawit meliputi kadar holoselulosa,  $\alpha$ -selulosa, lignin, kadar air, kadar ekstraktif dan kadar abu. Hasil analisis kimia TKKS yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kandungan  $\alpha$ -selulosa 46,58%, hemiselulosa 33%, lignin 19,98%, kadar air 11,09 %, kadar ekstraktif 10,29% dan kadar abu 2,84%.

**Tabel 3.** Komposisi kimia tandan kosong kelapa sawit

No	Parameter	Penelitian ini	Sudiyani dkk., (2013)	Erwinsyah dkk., (2012)	Rahman dkk., (2020)
1	$\alpha$ -selulosa (%)	46,58	37,26	40,79	36,5
2	Hemiselulosa(%)	33	36,69	28,54	34,8
3	Lignin (%)	19,98	31,68	22,67	28,0
4	Kadar air (%)	11,09	-	9,35	46,0
5	Kadar ekstraktif(%)	10,29	1,34	3,30	12,3
6	Kadar abu (%)	2,84	6,69	2,05	4,5

Tabel 3 di atas menampilkan hasil komposisi kimia TKKS dari beberapa penelitian yang merupakan salah satu tanaman non kayu. Terlihat bahwa hasil yang diperoleh mendekati nilai dari penelitian sebelumnya, yaitu penelitian Sudiyani, dkk. (2013), Erwinsyah, dkk. (2012) dan Rahman, dkk. (2020). Kandungan holoselulosa dan  $\alpha$ -selulosa TKKS pada penelitian ini lebih tinggi dari penelitian sebelumnya. Kandungan selulosa dan holoselulosa yang cukup tinggi dapat menjadi sumber alternatif selulosa yang potensial untuk berbagai aplikasi seperti pembuatan kertas, bahan tambahan dalam pembuatan obat-obatan, bioplastik, dan tekstil (Kim dan Yun, 2006). Kandungan  $\alpha$ -selulosa TKS pada penelitian ini telah memenuhi standar yaitu lebih dari 40% (Koshy, 2019), sehingga layak untuk dijadikan bahan baku untuk pembuatan *dissolving pulp*. Holoselulosa yang tinggi akan memberikan kekuatan yang baik pada *dissolving pulp*, sehingga *dissolving pulp* yang dihasilkan lebih kuat dan tidak mudah robek (Sutiya, 2012).

### 3.2 Analisis Permukaan Respons Rancangan Percobaan

Hasul penelitian pulp dari serat TKKS dengan penambahan soda MAQ dapat dilihat pada Tabel 4. dari data tersebut dilakukan optimasi proses menggunakan bantuan *Software Design Expert 13*, yaitu sebuah program komputer yang berfungsi menganalisis permukaan respons, baik model mean, linear, kuadratik maupun kubik dipelajari pada setiap respons berdasarkan analisis statistik yang tersedia.

**Tabel 4.** Hasil pembuatan pulp dari serat TKKS dengan penambahan soda MAQ

Urutan Percobaan	Variabel Percobaan			Yield (%)	Bilangan Kappa	Viskositas (cP)
	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Konsentrasi NaOH (%)			
1	140	120	10	47,98	8,30	6,27
2	160	120	10	51,56	8,39	6,21
3	140	240	10	31,3	12,70	7,54
4	160	240	10	40,5	12,68	7,38
5	140	120	20	40,65	7,98	6,45
6	160	120	20	44,22	7,83	6,32
7	140	240	20	33,4	12,66	8,01
8	160	240	20	35,5	12,61	7,97
9	133	180	15	30,12	19,20	8,76
10	167	180	15	36,96	19,03	8,45
11	150	79	15	23,4	19,44	9,13
12	150	281	15	39,05	6,997	8,36
13	150	180	7	43,5	18,76	8,15
14	150	180	23	36,44	18,60	8,39
15	150	180	15	36,76	18,95	8,25
16	150	180	15	36,76	18,91	8,25
17	150	180	15	36,6	18,93	8,25

Pulp yang dihasilkan dari bahan baku serat tandan kosong kelapa sawit menghasilkan *yield* dengan rentang 23,4-51,56%, bilangan kappa 6,97-19,44, dan viskositas 6,21-9,13 cP. *Pulp* hasil *cooking* dari penelitian ini kemudian dibandingkan dengan *pulp* hasil *cooking* dari penelitian yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Perbandingan *pulp* hasil *cooking*

Parameter	Penelitian ini	Evelyn dkk., 2024	Evelyn dkk., 2022
<i>Yield</i> (%)	23,4 – 51,56	20,3 – 22,5	26,51 – 38,62
Bilangan Kappa	6,97 – 19,44	9,4 – 19,8	8,6 – 11

Tabel di atas menampilkan perbandingan nilai *pulp* hasil *cooking* dari beberapa penelitian yang mana Evelyn, dkk. (2024) melakukan penelitian pembuatan *dissolving pulp* dari pelepah sagu dengan soda MAQ 0,03%, variable proses pada prehidrolisisnya adalah 150°C selama 3 jam, untuk proses *cooking* dengan suhu 160°C, waktu 1,5 jam dengan persen aktif alkali (15, 17, 19, 21, 23, 25%). Kemudian Evelyn, dkk. (2022) meneliti limbah pelepah nipah untuk menghasilkan *dissolving pulp* dengan penambahan soda SAQ, persen AA (13, 17,19,20, 25%), waktu prehidrolisis 3 jam dengan suhu 150°C, waktu proses *cooking* 1,5 jam.

Berdasarkan Tabel 5. dapat dilihat bahwa penelitian ini menghasilkan nilai *yield* pulp yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, yaitu Evelyn, dkk. (2024) dan Evelyn, dkk. (2022), penambahan soda MAQ berfungsi untuk mempercepat proses delignifikasi dan mendegradasi lignin, serta penggunaan *digester* sirkulasi M/K dapat menyebabkan distribusi cairan pemasak terhadap serat bahan baku lebih baik sehingga menghasilkan *yield* yang lebih tinggi, *yield* tinggi menunjukkan bahwa lebih banyak serat selulosa yang berhasil diproses.

Bilangan kappa dari penelitian ini terlihat bahwa mendekati kisaran yang masuk ke dalam rentang penelitian sebelumnya yaitu hasil penelitian Evelyn, dkk. (2024) dan Evelyn, dkk. (2022). Bilangan kappa yang rendah menunjukkan bahwa proses pemasakan efektif dan pulp dengan kadar lignin yang rendah sangat penting untuk kualitas produk *dissolving pulp*.



### 3.2.1 Analisis Respon Yield Pulp dari TKKS

Pengaruh terhadap percobaan dihitung menggunakan *Software Design Expert*, dengan menghasilkan data statistik seperti nilai P, *lack of fit*, *R-squared* untuk membandingkan masing-masing model perhitungan. Model yang signifikan akan diberi label “Disarankan” dan model inilah yang akan dipilih sebagai model perhitungan dalam percobaan ini.

Tabel 6 menunjukkan pemilihan model untuk analisis respons *yield*, model yang disarankan adalah model 2FI. Model 2FI memiliki standar deviasi 4,88 dengan nilai  $R^2$  0,67. Nilai ini menyatakan bahwa faktor suhu, waktu dan konsentrasi NaOH berpengaruh terhadap respons *yield* sebesar 67%, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh variabel lain diluar dari persamaan regresi atau variabel yang tidak diamati. Nilai *adjusted R<sup>2</sup>* berfungsi sebagai generalisasi dari  $R^2$  pada populasi karena adanya unsur estimasi populasi di dalamnya. Model 2FI memiliki nilai *adjusted R<sup>2</sup>* 0,47 dan nilai *predicted R<sup>2</sup>* -0,03. Selain itu dapat dilihat nilai *Predicted Error Sum of Squares* (PRESS) model 2FI adalah 746,49. Sedangkan model kubik, meskipun memiliki nilai  $R^2$  paling besar yaitu 0,93 akan tetapi model ini tidak disarankan untuk digunakan karena model dialihkan.

**Tabel 6.** Pemilihan model untuk analisis respons *yield*

Sumber	Standar deviasi	$R^2$	<i>Adjusted R<sup>2</sup></i>	<i>Predicted R<sup>2</sup></i>	PRESS	
Linear	6,79	0,17	-0,02	-0,55	1118,15	
2FI	<b>4,88</b>	<b>0,67</b>	<b>0,47</b>	<b>-0,03</b>	<b>746,49</b>	<b>Disarankan</b>
Kuadrat	4,30	0,82	0,59	-0,17	848,34	
Kubik	4,07	0,93	0,63	-6,56	5467,78	Alias

Untuk mengetahui interaksi respons *yield* terhadap ketiga variabel percobaan yaitu suhu, waktu dan konsentrasi NaOH dilakukan analisis model yang telah disarankan yaitu model 2FI dengan menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA). Agar bisa dinyatakan memiliki pengaruh yang signifikan, nilai dari nilai P harus kurang dari 0,05. Pada Tabel 7. diketahui nilai P model nya 0,04. Selain itu diketahui bahwa nilai F pada baris *lack of fit* sebesar 2,11 menyatakan bahwa ketidaktepatan tidak signifikan terhadap *pure error*. Nilai P dari *Lack of fit* sebesar 0,36 menunjukkan model ini tidak signifikan. *Lack of fit* yang tidak signifikan menyatakan model tersebut cocok untuk digunakan.

**Tabel 7.** Hasil ANOVA respons *yield* dengan model linear

Sumber	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-value</i>	<i>p-value</i>	
<b>Model</b>	484,42	6	80,74	3,39	0,04	Signifikan
A-Suhu	2,25	1	2,25	0,09	0,77	
B-Waktu Pemasakan	106,14	1	106,14	4,45	0,06	
C-Konsentrasi NaOH	15,03	1	15,03	0,63	0,46	
AB	305,91	1	305,91	12,83	0,005	
AC	24,33	1	24,33	1,02	0,34	
BC	30,77	1	30,77	1,29	0,28	
<b>Residual</b>	238,37	10	23,84			
<i>Lack of Fit</i>	213,09	8	26,64	2,11	0,36	Tidak signifikan
<i>Pure Error</i>	25,29	2	12,64			
<b>Cor Total</b>	722,79	16				

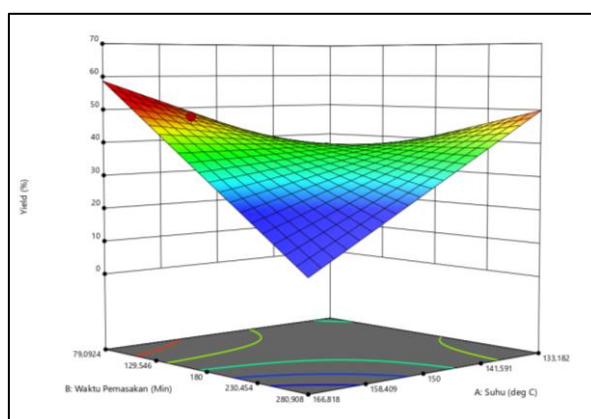
Tabel 7 merupakan hasil ANOVA respon *yield*, model yang dihasilkan memiliki nilai p sebesar 0,04, yang menunjukkan bahwa model signifikan pada tingkat kepercayaan 96%.

Dengan demikian model dapat digunakan untuk memprediksi *yield* hasil proses *cooking* dengan soda MAQ dari TKKS menggunakan digester tersirkulasi *liquor* untuk pembuatan *dissolving pulp*. Meskipun beberapa faktor seperti suhu (A), waktu pemasakan (B), konsentrasi NaOH (C), serta interaksi AC dan BC tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan secara statistik ( $p > 0,05$ ), model secara keseluruhan tetap valid untuk digunakan karena telah memenuhi kriteria signifikan model. Selain itu, nilai *Lack of Fit* sebesar 0,36 yang tidak signifikan menunjukkan bahwa model dapat mewakili data eksperimen dengan baik.

Regresi model 2FI dari kedua faktor tersebut terhadap respons *yield* dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$Yield = 37,92 - 0,4A - 2,8B + 1,05C - 6,2AB + 1,7AC + 1,96BC \quad (1)$$

Pengaruh kondisi operasi pemasakan terhadap nilai *yield* dapat dilihat dengan grafik 3D untuk penjelasan lebih mudah. Gambar 2. merupakan ilustrasi 3D pengaruh faktor waktu pemasakan dan suhu terhadap *yield* yang dihasilkan. Konsentrasi dijaga konstan pada 15% karena konsentrasi memiliki pengaruh yang paling kecil terhadap *yield* yang dihasilkan.



**Gambar 2.** 3D plot pengaruh waktu pemasakan dan suhu terhadap *yield* pada konsentrasi 10%

Waktu pemasakan dan konsentrasi NaOH memiliki interaksi yang dapat mempengaruhi hasil *yield dissolving pulp*. Gambar 2 menunjukkan plot kontur 3D hasil optimasi proses *cooking* tandan kosong kelapa sawit menggunakan metode RSM dengan rancangan CCD. Terlihat bahwa *yield* meningkat pada kondisi suhu dan waktu pemasakan yang lebih tinggi, hal ini disebabkan oleh meningkatnya laju reaksi delignifikasi dan dekomposisi hemiselulosa pada kondisi suhu dan waktu yang lebih tinggi, sehingga mempercepat proses pemisahan komponen non-selulosa dari bahan baku. Namun, pada suhu dan waktu tertentu, peningkatan berlebihan dapat menyebabkan degradasi selulosa yang justru menurunkan *yield*. Oleh karena itu, optimasi parameter ini sangat penting untuk mendapatkan hasil maksimum tanpa merusak struktur selulosa yang diinginkan.

### 3.2.2 Analisis Respons Bilangan Kappa dari TKKS

Tahapan pemilihan model yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 8, model yang disarankan adalah model Kuadrat Model Kuadrat memiliki standar deviasi 4,15 dengan nilai  $R^2$  0,69.

**Tabel 8.** Pemilihan model untuk analisis bilangan kappa

Sumber	Standar Deviasi	$R^2$	Adjusted $R^2$	Predicted $R^2$	PRESS	
Linear	5,46	0,01	-0,22	-0,82	713,97	
2FI	5,00	0,36	-0,02	-1,29	863,24	
<b>Kuadrat</b>	<b>4,15</b>	<b>0,69</b>	<b>0,29</b>	<b>-1,15</b>	<b>844,05</b>	<b>Disarankan</b>
Kubik	2,95	0,93	0,64	0,82	69,66	Alias

Untuk mengetahui interaksi respons bilangan kappa terhadap ketiga variabel percobaan yaitu suhu, waktu dan konsentrasi NaOH dilakukan analisis model yang telah disarankan yaitu model kuadrat menggunakan ANOVA yang dapat dilihat pada Tabel 9.

**Tabel 9.** Hasil ANOVA respons bilangan kappa dengan model kuadrat

Sumber	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	272,10	9	30,23	1,76	0,24	Tidak signifikan
A-Suhu	0,08	1	0,08	0,005	0,95	
B-Waktu Pemasakan	2,20	1	2,20	0,13	0,73	
C-Konsentrasi NaOH	2,15	1	2,15	0,13	0,73	
AB	95,01	1	95,01	5,52	0,05	
AC	4,22	1	4,22	0,24	0,64	
BC	38,68	1	38,68	2,25	0,18	
A <sup>2</sup>	23,28	1	23,28	1,35	0,28	
B <sup>2</sup>	1,38	1	1,38	0,08	0,78	
C <sup>2</sup>	67,69	1	67,69	3,93	0,09	
<b>Residual</b>	120,51	7	17,22			
Lack of Fit	94,38	5	18,88	1,45	0,46	Tidak signifikan
Pure Error	26,13	2	13,06			
<b>Cor Total</b>	392,61	16				

Berdasarkan Tabel 9 dilakukan perampingan model untuk meningkatkan akurasi dan kesesuaian model terhadap data eksperimen. Proses perampingan dilakukan dengan mempertimbangkan prinsip hierarki model, yaitu tetap mempertahankan faktor-faktor utama yang terlibat dalam interaksi signifikan. Dengan demikian, model akhir yang diperoleh menjadi lebih sederhana namun tetap valid secara statistik serta memenuhi prinsip hierarki, sehingga dapat digunakan untuk prediksi dan optimasi proses secara lebih efektif. sehingga hasil ANOVA respons bilangan kappa yang telah dirampingkan dapat dilihat pada Tabel 10.

**Tabel 10.** Hasil ANOVA respons bilangan kappa setelah perampingan model

Sumber	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	205,77	4	51,44	3,30	0,04	Signifikan
B-Waktu Pemasakan	2,20	1	2,20	0,14	0,71	
C-Konsentrasi NaOH	2,15	1	2,15	0,14	0,72	

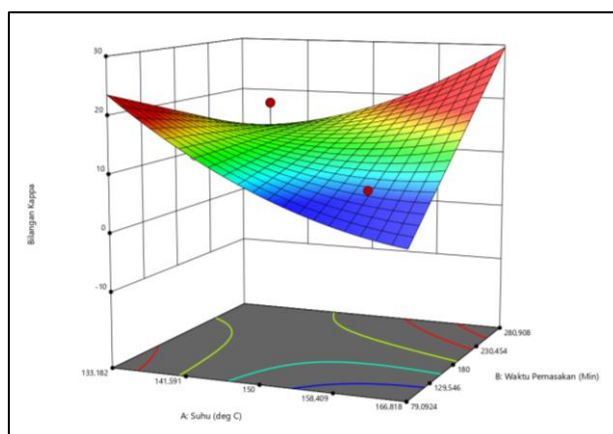
Sumber	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
AB	95,01	1	95,01	6,10	0,03
C <sup>2</sup>	106,41	1	106,41	6,83	0,02
<b>Residual</b>	186,84	12	15,57		
<i>Lack of Fit</i>	160,71	10	16,07	1,23	0,53 Tidak signifikan
<i>Pure Error</i>	26,13	2	13,06		
<b>Cor Total</b>	392,61	16			

Regresi model kuadrat untuk bilangan kappa direpresentasikan ke dalam persamaan 2 di bawah ini:

$$\text{Bilangan kappa} = 16,53 + (0,4 \times B) + (0,4 \times C) + (3,45 \times AB) - (2,86 \times C^2) \quad (2)$$

dimana A merupakan suhu, B waktu pemasakan, dan C konsentrasi NaOH.

Pengaruh kondisi operasi pemasakan terhadap bilangan kappa yang dihasilkan tidak dapat dilihat secara jelas jika analisis hanya dilakukan menggunakan ANOVA dan *best-fit model*, maka digunakan grafik 3D untuk penjelasan lebih mudah. Grafik 3D dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



**Gambar 3.** Grafik 3D pengaruh suhu dan waktu pemasakan terhadap bilangan kappa pada konsentrasi NaOH 20%

Gambar 3 menunjukkan grafik kontur 3D yang memperlihatkan pengaruh interaksi antara suhu dan waktu pemasakan terhadap bilangan kappa pada proses *cooking* dengan soda MAQ dari TKKS menggunakan digester tersirkulasi *liquor* untuk pembuatan *dissolving pulp*..

### 3.2.3 Analisis Respons Viskositas dari TKKS

Tahapan pemilihan model yang digunakan untuk analisis respons viskositas dapat dilihat pada Tabel 11, Model kubik memiliki nilai  $R^2$  tertinggi yaitu 96%, nilai *adjusted* juga yang paling tinggi yaitu  $R^2$  0,77, *predicted*  $R^2$  -2,19 dan nilai *PRESS* adalah 43,61. Akan tetapi model ini tidak disarankan untuk digunakan. Model yang disarankan pada analisis respons viskositas ini adalah model kuadrat dengan standar deviasi 0,76 dengan nilai  $R^2$  0,71.

**Tabel 11.** Pemilihan model untuk analisis respons viskositas.

Sumber	Standar Deviasi	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	Predicted R <sup>2</sup>	PRESS	
Linear	0,96	0,12	-0,08	-0,63	22,28	
2FI	0,95	0,34	-0,06	-0,92	26,25	
<b>Kuadrat</b>	<b>0,76</b>	<b>0,71</b>	<b>0,33</b>	<b>-1,08</b>	<b>28,53</b>	<b>Disarankan</b>
Kubik	0,45	0,96	0,77	-2,19	43,61	Alias

Interaksi respons viskositas dapat diketahui terhadap ketiga variabel percobaan yaitu suhu, waktu dan konsentrasi NaOH dilakukan analisis model yang telah disarankan yaitu model kuadrat menggunakan ANOVA, hasil ANOVA respons viskositas dapat dilihat pada Tabel 12.

**Tabel 12.** Hasil ANOVA respons viskositas dengan model kuadrat

Sumber	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	9,66	9	1,07	1,87	0,21	Tidak signifikan
A-Suhu	0,31	1	0,31	0,53	0,48	
B-Waktu	1,29	1	1,29	2,24	0,18	
Pemasakan						
C-Konsentrasi NaOH	0,07	1	0,07	0,13	0,73	
AB	2,89	1	2,89	5,03	0,06	
AC	0,007	1	0,01	0,01	0,91	
BC	0,04	1	0,03	0,06	0,8	
A <sup>2</sup>	1,02	1	1,02	1,77	0,22	
B <sup>2</sup>	0,04	1	0,04	0,07	0,79	
C <sup>2</sup>	2,53	1	2,53	4,40	0,07	
<b>Residual</b>	4,03	7	0,57			
Lack of Fit	3,62	5	0,72	3,59	0,23	Tidak signifikan
Pure Error	0,40	2	0,20			
<b>Cor Total</b>	13,69	16				

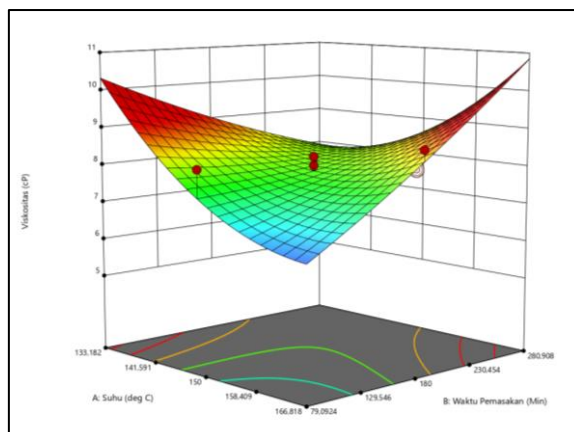
Berdasarkan Tabel 12 diketahui bahwa model yang diperoleh dari analisis ANOVA tidak menunjukkan signifikansi statistik, maka dilakukan perampingan model untuk meningkatkan akurasi dan validitasnya. Perampingan dilakukan dengan mengeliminasi faktor-faktor dan interaksi yang tidak signifikan berdasarkan nilai *p-value*, dengan tetap mempertahankan prinsip hierarki model. Faktor-faktor utama yang terlibat dalam interaksi signifikan tetap dipertahankan untuk menjaga struktur model. Melalui proses ini, model yang tidak signifikan dapat diperbaiki menjadi model yang lebih sederhana, signifikan secara statistik, dan lebih representatif terhadap data eksperimen, hasil ANOVA respons bilangan kappa yang telah dirampingkan dapat dilihat pada Tabel 13.

**Tabel 13.** Hasil ANOVA respons viskositas setelah perampingan model

Sumber	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	9,58	6	1,60	3,88	0,03	Signifikan
A-Suhu	0,31	1	0,31	0,7466	0,41	
B-Waktu Pemasakan	1,29	1	1,29	3,13	0,10	
C-Konsentrasi NaOH	0,07	1	0,07	0,1821	0,67	
AB	2,89	1	2,89	7,03	0,02	
A <sup>2</sup>	0,98	1	0,98	2,40	0,15	
C <sup>2</sup>	2,98	1	2,98	7,26	0,02	

Sumber	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Residual</b>	4,11	10	0,41			
<b>Lack of Fit</b>	3,71	8	0,46	2,30	0,34	Tidak signifikan
<b>Pure Error</b>	0,40	2	0,20			
<b>Cor Total</b>	13,69	16				

Dari analisis ANOVA diketahui bahwa semua faktor percobaan yaitu suhu, waktu pemasakan dan konsentrasi NaOH memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai viskositas.



**Gambar 4.** Grafik 3D pengaruh suhu dan waktu pemasakan respons viskositas

### 3.2.4 Optimasi Proses Pemasakan Pulp dari TKKS

Optimasi pulp tandan kosong kelapa sawit menggunakan *software Design Expert* yang bertujuan untuk mendapatkan informasi kombinasi terbaik dari variabel percobaan yaitu suhu, waktu pemasakan dan konsentrasi NaOH. Untuk mendapatkan nilai *yield* optimum diperlukan kompromi dari variabel pembuatan *pulp*. Tabel 14. merupakan hasil proses optimasi dimana solusi proses optimasi yang dipilihkan oleh model RSM adalah suhu 160°C, waktu pemasakan 120 menit dan konsentrasi NaOH 20%.

**Tabel 14.** Hasil solusi proses optimasi

Variabel	Nilai
Suhu (°C)	160
Waktu pemasakan (menit)	120
Konsentrasi NaOH (%)	20
Yield (%)	47,3
Bilangan kappa	10,2
Viskositas (cP)	6,6
Desirability	0,85

Nilai *desirability* adalah nilai yang menggambarkan rentang nilai faktor terhadap respons yang menunjukkan derajat ketepatan hasil solusi optimal (Dewi, dkk., 2019). Hasil solusi proses optimasi dapat dilihat pada Tabel 14. yang mana nilai *desirability* pada penelitian ini adalah 0,83. Nilai *desirability* yang semakin mendekati satu menandakan bahwa nilai masing-masing respons memiliki ketepatan pada hasil solusi optimal.



### 3.2.5 Validasi Model

Validasi model merupakan tahap penting dalam penerapan *Response Surface Methodology* (RSM) untuk memastikan bahwa model yang dihasilkan mampu merepresentasikan kondisi aktual dengan akurat. Validasi dilakukan dengan membandingkan nilai-nilai hasil prediksi dari model dengan hasil aktual dari percobaan ulang pada kondisi optimum yang diperoleh melalui proses optimasi. Hasil optimasi menggunakan *software Design Expert* menunjukkan bahwa kondisi optimum dicapai pada suhu 160°C, waktu pemasakan 120 menit, dan konsentrasi NaOH 20%. Pada kondisi ini, model RSM memprediksi nilai *yield* sebesar 47,32%, bilangan kappa 10,22, dan viskositas 6,60 cP. Hasil eksperimen ulang dapat dilihat pada Tabel 15.

**Tabel 15.** Perbandingan nilai prediksi dan actual serta parameter statistik

Parameter	Prediksi	Aktual	PI 95%	Standar Deviasi	SE Pred
<i>Yield</i>	47,32	44,3	33,33 – 61,31	4,88	6,3
Bilangan kappa	10,22	7,1	0,3 – 20,15	3,9	4,5
Viskositas	6,60	6,3	4,90 – 8,30	0,64	0,76

Berdasarkan Tabel 15, seluruh hasil aktual dari eksperimen berada di dalam rentang *Prediction Interval* (PI) 95% yang dihasilkan oleh model, yang mengindikasikan bahwa model memiliki akurasi prediktif yang baik secara statistik. Nilai *standard deviation* yang relatif kecil, terutama pada parameter viskositas, menunjukkan bahwa model memiliki tingkat penyebaran data yang rendah terhadap nilai rata-rata prediksi. Selain itu, nilai *Standard Error of Prediction* (SE Pred) yang juga rendah, khususnya pada viskositas (0,762), mengindikasikan bahwa ketidakpastian dalam prediksi model terhadap parameter ini sangat kecil.

## 4. KESIMPULAN

Dapat disimpulkan bahwa produk pulp dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) untuk produk *dissolving pulp* dengan proses soda metilantrokuinon dan digester sirkulasi M/K berhasil dilakukan. Proses pemasakan pulp dari TKKS dengan penambahan metilantrokuinon 0,1% pada suhu pemasakan 140°C, 150°C dan 160°C, waktu pemasakan 120, 180 dan 240 menit, konsentrasi NaOH 10%, 15% dan 20%, menghasilkan *yield* 23,4-51,56%, bilangan kappa 6,9-19,44, dan viskositas 6,2-9,13 cP. Kondisi optimum yang didapatkan untuk pemasakan pulp dari TKKS adalah suhu 160°C, waktu pemasakan 120 menit dan konsentrasi NaOH 20%. Hasil optimasi tersebut memprediksi nilai *yield* yang akan dihasilkan 47,3%, bilangan kappa 10,22 dan viskositas 6,6 cP. Validasi model menunjukkan bahwa nilai aktual menghasilkan *yield* 44,3%, bilangan kappa 7,1, viskositas 6,3 cP. seluruh hasil aktual dari eksperimen berada di dalam rentang *Prediction Interval* (PI) 95% yang dihasilkan oleh model, yang mengindikasikan bahwa model memiliki akurasi prediktif yang baik secara statistik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Behin, J. dan Zeyghami, M. (2009). Dissolving Pulp from Corn Stalk Residue and Waste Water of Merox Unit. *Chemical Engineering Journal*. 152(1), 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.03.024>.
- Cao, S., Ma, X., Lin, L., Huang, F., Huang, L., Chen, L. (2014). Morphological and Chemical Characterization of Green Bamboo (*Dendrocalamopsis oldhami* (Munro) Keng f.) for Dissolving Pulp Production. *Bioresources*. 9(3), 4528–4539.
- Dien, L. Q., Cuong, T. D., Hoang, P. H., Hoa, D. T. and Thanh, L. T. (2015). Production of Dissolving Cellulose from Rice Straw in Vietnam by Pre-hydrolysis Kraft Pulping. *International Journal of Chemistry & Materials Sciences*. 1(3), 359–365.
- Erwinsyah, Sugesty., S, Hidayat., T. (2012). Pembuatan Pulp Mekanis Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Kertas Lainer dan Medium. *Jurnal Selulosa*. 2(1), 8–13.
- Evelyn., Sunarno., Andrio, D., Aman, A., Ohi, H. (2022). Nypa fruticans Frond Waste for Pure Cellulose Utilizing Sulphur-Free and Totally Chlorine-Free Processes. *Molecules*. 27, 5662. <https://doi.org/10.3390/molecules27175662>.
- Evelyn., Yusnimar., Fermi., M, I., Saputra, E., Utami, S, P., Komalasari., Rahmi, S, W., Ohi, H. (2024). Cellulose and Lignin Purified from Metroxylon Sagu Palm Fronds by a New Technology with 2-Methylantraquinone Cooking and Peroxymonosulfuric Acid Bleaching. *Journal of Wood Science*. 70 (1), 16.
- Francis, R.C., Shin, S.J., Omori, S., Amidon, T.E., Blain, T.J., (2006). Soda pulping of hardwoods catalyzed by anthraquinone and methyl substituted anthraquinones. *Journal of Wood Chemistry and Technology*. 26(2), 141–152. <https://doi.org/10.1080/02773810600701737>.
- Hammerle, F. M. (2011). *The Cellulose Gap (The Future of Cellulose Fibres)*. Lenzinger Berichte. 89, pp.12–21.
- Harsono, H., Putra, A, S., Maryana, R., Rizaluddin, A, T., H'ng, Y, Y., Nakagawa-izumi, A., Ohi, H., (2016). Preparation of Dissolving Pulp From Oil Palm Empty Fruit Bunch By Prehydrolysis Soda-Anthraquinone Cooking Method. *Journal of Wood Science*. 62, 65–73.
- Hon, D. N. S. and Shiraishi, N. (2001). *Wood and Cellulosic Chemistry, Revised, and Expanded*. Marcel Dekker, Inc. <https://doi.org/10.1201/9781482269741>.
- Jarriault, B. A., Lachenal, D., Chirat, C. and Heux, L. (2014). Upgrading Softwood Bleached Kraft Pulp to Dissolving Pulp by Cold Caustic Treatment and Acid-Hot Caustic Treatment. *Industrial Crops & Products*. 65, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.09.051>.
- Miati, Jemi, R., dan Cipta, E. (2015). Kajian pulping soda berbahan baku pelepah pisang (*Musa Paradisiaca*). *Jurnal Hutan Tropika*, 10(2), 24–30.
- Miao, Q., Chen, L., Huang, L., Tian, C., Zheng, L. and Ni, Y. (2014). A Process for Enhancing the Accessibility and Reactivity of Hardwood Kraft-Based Dissolving Pulp for Viscose Rayon Production by Cellulase Treatment. *Bioresource Technology*. 154, 109–113.
- Montgomery, D. C. A. S. U. (2017). *Design and Analysis of Experiments Ninth Edition*. [www.wiley.com/go/permissions.%0Ahttps://lcn.loc.gov/2017002355](http://www.wiley.com/go/permissions.%0Ahttps://lcn.loc.gov/2017002355).
- Rahman, A., Rahmadani, E., & Oksana. (2020). Perubahan Sifat Kimia Tandan Kosong Kelapa Sawit yang Difermentasi dengan EM4 pada Dosis dan Lama Pemeraman yang Berbeda. *Jurnal Agroteknologi*, 6(1), 1–8.
- Sixta, H., (2006). *Handbook of Pulp*. Wiley-VCH, Herbert Sixta.
- Sudiyani, Y., Styarini, D., Triwahyuni, E., Sudiyarmanto., Sembiring, K, C., Aristiawan, Y., Abimanyu, H., Han, M, H. (2013). Utilization of Biomass Waste Empty Fruit Bunch Fiber of Palm Oil for Bioethanol Production Using Pilot – Scale Unit. *International*

*Conference on Sustainable Energy Engineering and Application. Energy Procedia. 32, 31 – 38.*

Wang, N. and Chen, H. Z. (2013). Manufacture of Dissolving Pulps from Cornstalk by Novel Method Coupling Steam Explosion and Mechanical Carding Fractionation. *Bioresource Technology. 139, 59–65.*

Wu, C., Zhou, S., Li, R., Wang, D., Zhao, C. (2015). Reactivity Improvement of Bamboo Dissolving Pulp by Xylanase Modification. *Bioresources. 10(3), 4970-4977.*