

OPTIMASI PROSES *BLEACHING* TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DENGAN RESPON ALKALI PEROKSIDA DAN SUHU

Optimization of Palm Oil Empty Fruit Bunch Bleaching Process With The Response of Alkali Peroxide and Temperature

Nurul Khairiyah¹, Deivy Andhika Permata^{2*}, Azrifirwan²

¹Mahasiswa Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas

²Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas

Email: deivyandhikapermata@ae.unand.ac.id

ABSTRAK

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah agroindustri yang memiliki kandungan selulosa tinggi, namun keberadaan lignin menjadi kendala dalam pemanfaatannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji konsentrasi optimum alkali peroksida dan suhu pada proses *bleaching* TKKS. Penelitian ini menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan *Central Composite Design* (CCD). Faktor penelitian meliputi konsentrasi NaOH, H₂O₂ dan suhu *bleaching* dengan respon rendemen, kadar air, kadar abu, derajat putih dan bilangan Kappa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor penelitian mempengaruhi respon yang diamati. RSM memberikan solusi kombinasi optimum pada konsentrasi NaOH 9,35%, H₂O₂ 31,50%, dan suhu 84,35 °C, dengan desirabilitas sebesar 0,789. Kata Kunci-TKKS; *bleaching*; NaOH; H₂O₂; RSM

ABSTRACT

Empty oil palm fruit bunches (OPEFB) are an agro-industrial waste with a high cellulose content, but lignin is a constraint in their utilization. This study aims to examine the optimal alkali peroxide concentration and temperature in the OPEFB *bleaching* process. This study uses *Response Surface Methodology* (RSM) with *Central Composite Design* (CCD). The research factor include the concentration of NaOH, H₂O₂, and *bleaching* temperature, with responses of yield, water content, ash content, whiteness degree, and Kappa number. The results showed that the research factors influenced the observed response. RSM provided an optimum combination solution at a concentration of 9.35% NaOH, 31.50% H₂O₂, and a temperature of 84.35°C, with a desirability of 0.789.

Keywords-Bleaching; H₂O₂; NaOH; OPEFB; RSM

PENDAHULUAN

Pabrik pengolahan kelapa sawit merupakan salah satu agroindustri yang menghasilkan limbah dalam jumlah yang cukup banyak. Lubis *et al.*, (2020) menyatakan bahwa sebanyak 23% atau 230 kg limbah berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dapat dihasilkan dari pengolahan 1 ton kelapa sawit. Pembuangan TKKS yang dilakukan secara tidak terkendali ke lahan dapat mengakibatkan tumpukan biomassa sehingga akan terjadi proses dekomposisi secara skala besar (pembusukan). Meskipun limbah TKKS pada dasarnya merupakan komponen pencemar, namun TKKS memiliki potensi untuk dimanfaatkan. Menurut Mahmuda (2016) pada TKKS terkandung 46,47% selulosa, yang dapat dimanfaatkan sebagai material maju dan sumber bahan baku energi alternatif (Permata *et al.*, 2021; Putri *et al.*, 2025). Selulosa dari TKKS dipisahkan dari bahan berlignoselulosa lainnya (hemiselulosa dan lignin) melalui proses delignifikasi yang dilanjutkan dengan proses *bleaching* (Permata *et al.*, 2021).

Efektivitas proses *bleaching* dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain konsentrasi *bleaching agent*, waktu reaksi, suhu dan derajat keasaman. *Bleaching agent* yang biasa digunakan diantaranya hidrogen peroksida (H₂O₂) dan alkali peroksida (NaOH-H₂O₂). Novia *et al.* (2023) menyatakan bahwa apabila konsentrasi H₂O₂ ditingkatkan dari 1% menjadi 3% maka akan meningkatkan kadar selulosa dan menurunkan kadar lignin. Namun apabila konsentrasi ditingkatkan lagi akan terjadi penurunan kadar selulosa dan peningkatan kadar lignin. Menurut Robbani (2022) proses *bleaching* dua tahap, dimana *bleaching* tahap pertama menggunakan hidrogen peroksida pada suhu 90°C dan *bleaching* tahap kedua menggunakan alkali peroksida selama 30 menit dapat meningkatkan kandungan selulosa menjadi 91,1%

dan menurunkan kandungan hemiselulosa dan lignin pada serat. Disamping itu suhu yang tinggi dapat mempercepat laju reaksi, sehingga proses *bleaching* dapat dipercepat (Fitriana et al., 2020; Santhi et al., 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji konsentrasi optimum alkali peroksida dan suhu pada proses *bleaching* TKKS. Hal ini dikarenakan, jika konsentrasi dan suhu yang digunakan terlalu tinggi, dapat merusak selulosa pada TKKS. Sebaliknya, jika suhu yang digunakan terlalu rendah, proses *bleaching* mungkin tidak berjalan secara efektif, sehingga kadar lignin tinggi. Sebagai langkah awal untuk mendeteksi kadar lignin dapat dilakukan analisis bilangan Kappa dan derajat putih. Rendahnya kandungan lignin pada serat dapat diindikasikan dengan rendahnya bilangan kappa, dan semakin putih serat yang dihasilkan mengindikasikan semakin rendah kadar lignin pada serat tersebut. Optimasi dilakukan dengan metode permukaan respon atau yang dikenal dengan *Response Surface Methodology* (RSM). RSM digunakan untuk mengoptimalkan respon sehingga mempermudah dalam memperoleh nilai optimum pada masing-masing faktor yang berpengaruh dalam proses *bleaching* TKKS.

METODOLOGI PENELITIAN

A. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS), NaOH, H₂O₂ (Novalindo), KI, KMnO₄, amilum, H₂SO₄ (Novalindo), akuades, kapas, dan aluminium foil. Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini berupa alat gelas, spatula, neraca analitik, blender, oven, microwave, magnetic stirrer, pH meter, hotplate, *color flex*.

B. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini terdiri atas dua tahapan. Tahapan pertama dilakukan proses delignifikasi TKKS sehingga menghasilkan selulosa. Selanjutnya pada tahapan kedua dilakukan proses *bleaching*.

Delignifikasi (Permata, 2023)

Fraksi serat panjang TKKS dikecilkan ukuran dengan panjang ± 2 cm. Sebanyak 20 g TKKS tersebut dicampurkan dengan 200 mL NaOH 0,5%. Campuran dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan ditutup menggunakan kapas dan aluminium foil agar tidak terjadi proses penguapan, lalu campuran dihomogenkan. Kemudian campuran dimasukan ke dalam microwave pada kondisi *medium-high* selama 25 menit. Serat yang sudah didelignifikasi kemudian disaring dan dicuci menggunakan akuadest hingga pH netral.

Proses Bleaching

Serat hasil delignifikasi dilakukan *bleaching* dua tahap. Pada tahap pertama *bleaching* menggunakan H₂O₂ 30% pada suhu 100°C selama 1,5 jam. Setelah *bleaching* tahap pertama selesai dilanjutkan dengan pencucian serat menggunakan akuadest hingga pH netral. Kemudian dilakukan *bleaching* tahap kedua menggunakan alkali peroksida. Alkali peroksida dapat diperoleh dengan mencampurkan NaOH dan H₂O₂ sesuai dengan perlakuan. Selulosa yang telah diperoleh dilakukan pencucian hingga pH netral. Kemudian dilakukan pengamatan terhadap rendemen kadar air, kadar abu, derajat putih dan bilangan Kappa.

C. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian (optimasi proses) menggunakan *Response Surface Methodology*, melalui tahapan perancangan, analisis model respon (ANOVA), optimasi dan verifikasi. Perancangan pada penelitian ini menggunakan model *Central Composite Design* dengan menggunakan 3 faktor penelitian, yaitu konsentrasi NaOH (X₁), konsentrasi H₂O₂ (X₂), dan suhu *bleaching* (X₃). Masing-masing faktor memiliki 3 level yaitu -1, 0, +1. Pada level 0 masing-masing konsentrasi NaOH, konsentrasi H₂O₂, dan suhu *bleaching*, yaitu 10%, 30%, dan 100°C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rendemen

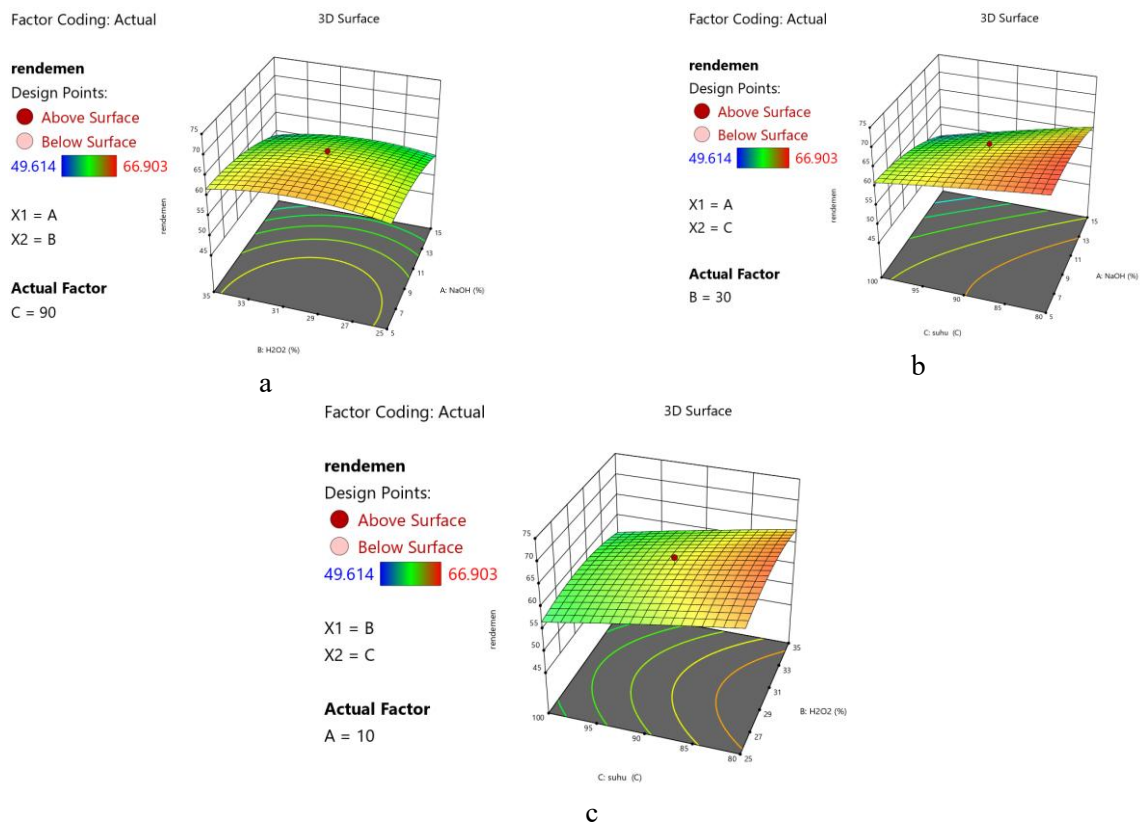
Rendemen merupakan persentase yang menggambarkan hasil ekstraksi yang diperoleh dan dibandingkan dengan jumlah bahan awal yang digunakan dalam kondisi kering (Ischak et al., 2021).

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh rentang nilai dari respon yaitu berkisar 49,614% - 66,903%, dengan model *quadratic*. ANOVA menunjukkan adanya interaksi antara faktor dengan nilai $p < 0,05$ yaitu 0,0151 untuk rendemen yang menandakan model signifikan. Persamaan matematis untuk respon rendemen adalah:

$$Y = -27,25910 + (3,38941 X_1) + (5,35992 X_2) + (0,282702 X_3) - (0,017707 X_1 X_2) - (0,023094 X_1 X_3) - (0,002631 X_2 X_3) - (0,073527 X_1^2) - (0,083448 X_2^2) - (0,001843 X_3^2).$$

Dimana Y = Respon Rendemen (%), X_1 = Konsentrasi NaOH (%), X_2 = Konsentrasi H_2O_2 (%), X_3 = Suhu Bleaching (%).

Nilai R^2 untuk model respon rendemen sebesar 0,8818 yang menunjukkan 88% respon rendemen dipengaruhi oleh konsentrasi alkali peroksida dan suhu bleaching, sementara 12% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain di luar perlakuan yang diamati. Standar deviasi untuk rendemen sebesar 2,86. Grafik 3D Surface ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik 3D Surface Respon Rendemen dengan Interaksi $X_1 X_2$ (a), $X_1 X_3$ (b), dan $X_2 X_3$ (c)

Berdasarkan grafik surface plot terlihat ada interaksi antara faktor terhadap respon rendemen. Pada Gambar 1a terlihat semakin tinggi konsentrasi NaOH dan H_2O_2 yang digunakan maka rendemen yang dihasilkan akan cenderung menurun. Nilai kadar NaOH menyebabkan menurunnya rendemen lebih tajam dibandingkan kenaikan H_2O_2 . Pada Gambar 1a dan 1b terlihat bahwa selain peningkatan konsentrasi NaOH dan H_2O_2 , suhu yang tinggi dapat menyebabkan penurunan rendemen. H_2O_2 merupakan oksidator kuat yang secara selektif mengoksidasi bagian lignin dan kromofor, sedangkan NaOH akan mendegradasi lignin secara selektif. Jika konsentrasi NaOH yang lebih tinggi maka akan diperoleh penurunan selulosa (Sayanjali *et al.*, 2024).

B. Kadar Air

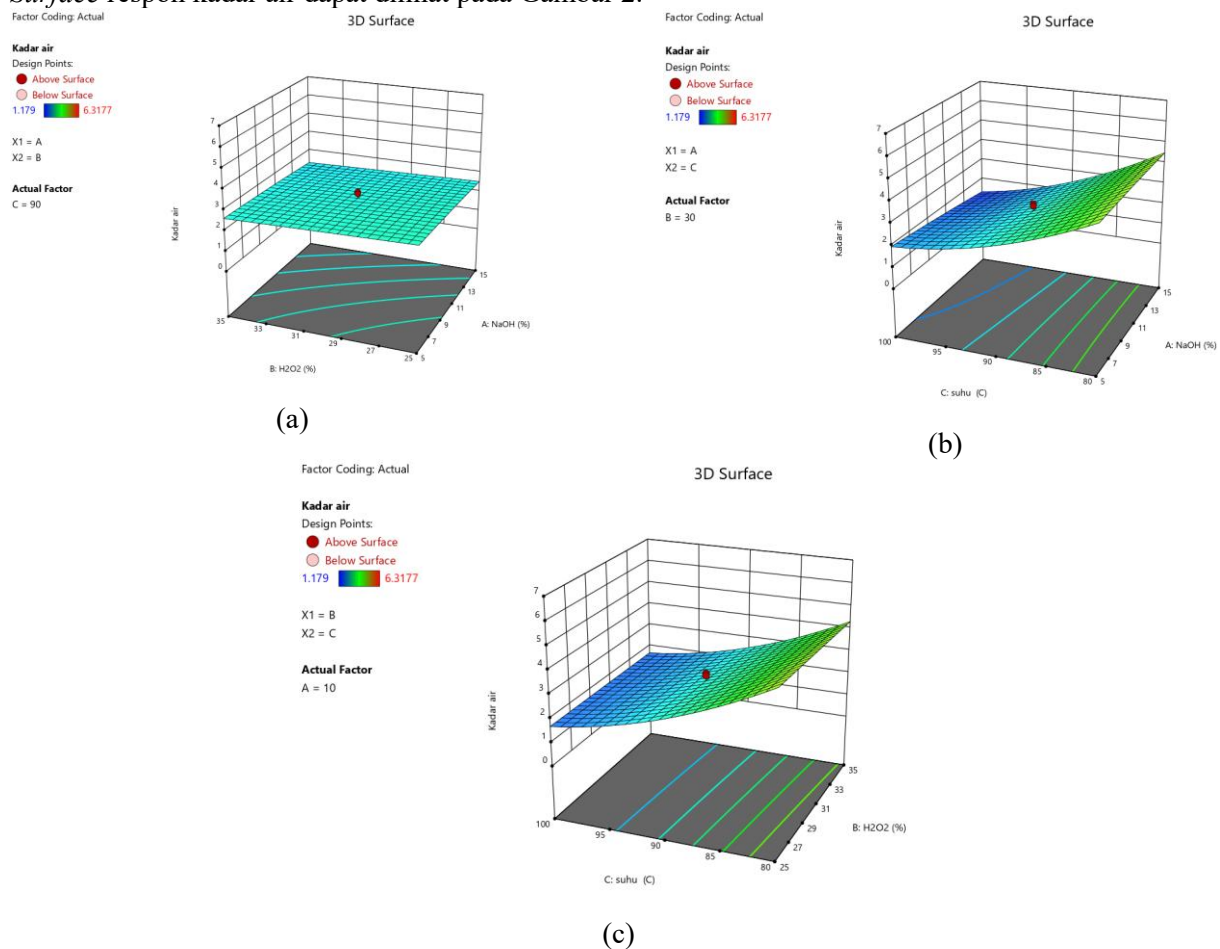
Kadar air merupakan banyaknya air yang terkandung dalam bahan yang dinyatakan dalam persen. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh rentang nilai dari respon yaitu berkisar 1,179% - 6,3177%. Pada program disarankan model untuk respon hasil penelitian yaitu model *quadratic*. ANOVA menunjukkan

nilai $p < 0,05$ yaitu 0,0001 untuk kadar air, menunjukkan model yang signifikan. Persamaan matematika untuk respon kadar air yaitu:

$$Y = 2,62 - (1,1427 X_1) - (0,0978 X_2) - (1,41 X_3) - (0,0006 X_1 X_2) - (0,1750 X_1 X_3) - (0,0889 X_2 X_3) - (0,0338 X_1^2) - (20,0049 X_2^2) - (0,4805 X_3^2).$$

Dimana Y = Respon Kadar air (%), X_1 = Konsentrasi NaOH (%), X_2 = Konsentrasi H_2O_2 (%), X_3 = Suhu Bleaching ($^{\circ}C$).

Nilai R^2 untuk model respon kadar air sebesar 0,9795 yang berarti 98% respon kadar air dipengaruhi oleh konsentrasi alkali peroksida dan suhu *bleaching*, sementara 2% lagi dipengaruhi oleh faktor-faktor lain di luar perlakuan yang diamati. Standar deviasi untuk kadar air sebesar 0,3046. Nilai standar deviasi yang rendah ini menunjukkan bahwa model memiliki keakuratan yang baik. Grafik 3D *Surface* respon kadar air dapat dilihat pada Gambar 2.



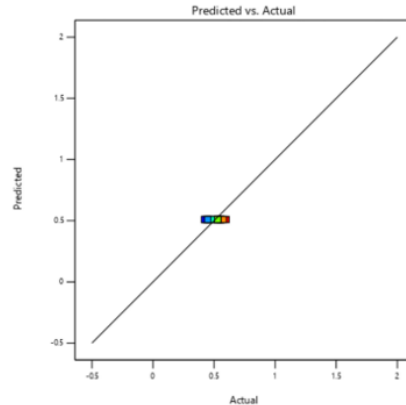
Gambar 2. Grafik 3D Surface Respon Kadar Air dengan Interaksi X_1X_2 (a), X_1X_3 (b), dan X_2X_3 (c)

Berdasarkan grafik 3D *surface* pada Gambar 2a terlihat bahwa permukaan grafik relatif datar secara keseluruhan namun tetap mengalami penurunan ketika konsentrasi NaOH dan H_2O_2 meningkat, hal ini menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi NaOH maupun H_2O_2 tidak memberikan efek besar terhadap kadar air dalam rentang yang di uji. Pada Gambar 2b dan 2c tampak bahwa suhu yang tinggi ($100^{\circ}C$) dan konsentrasi pelarut yang tinggi dapat menurunkan kadar air yang lebih signifikan sehingga memberikan dampak yang lebih baik dibandingkan suhu $80^{\circ}C$. Kandungan air yang tinggi pada selulosa dapat memengaruhi kualitas *pulp* dan mempercepat pertumbuhan mikroba pada *pulp*, sehingga menyebabkan kerusakan dengan cepat.

C. Kadar Abu

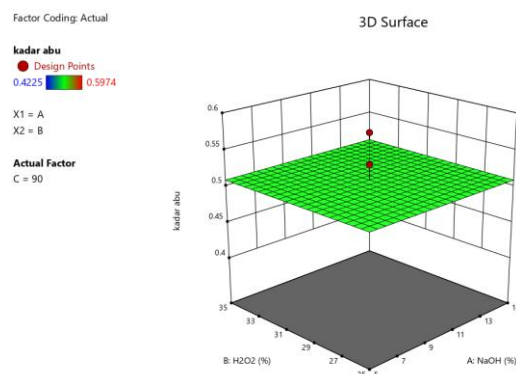
Abu merupakan bahan anorganik yang dihasilkan dari sisa hasil pembakaran suatu bahan organik. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh rentang nilai dari respon kadar abu berkisar 0,4225% - 0,5974%.

Pada program, disarankan model untuk respon ini yaitu *Mean Model*. Pada RSM, model mean (*intercept-only*) umumnya digunakan ketika model polinomial seperti linear, 2FI, atau quadratic tidak menunjukkan signifikansi statistik (Montgomery, 2017). Persamaan matematika untuk respon kadar abu selulosa, yaitu $Y = 0,509682$. Selanjutnya, hasil grafik Predicted vs Actual juga memperkuat hasil tersebut, di mana seluruh titik data terkonsentrasi di dekat garis $y = x$ tanpa penyebaran yang berarti.



Gambar 1. Distribusi Sebaran Nilai Aktual dan Prediksi Kadar Abu

Meskipun terlihat “mendekati garis ideal”, ini bukan karena prediksi model baik, melainkan karena semua nilai respon hampir sama, sehingga model *mean* (nilai rata-rata) secara otomatis akan selalu mendekati nilai aktual. Grafik ini mengonfirmasi bahwa kadar abu relatif konstan meskipun diberikan variasi faktor. Hal ini juga didukung oleh grafik permukaan respon 3D (Gambar 4) yang memperlihatkan bahwa respon permukaan kadar abu bersifat datar pada seluruh kombinasi konsentrasi NaOH 15%–25% dan H₂O₂ 25%–35% pada suhu 90°C.



Gambar 2. Grafik 3D Surface Respon Kadar Abu X_1X_2

D. Derajat Putih

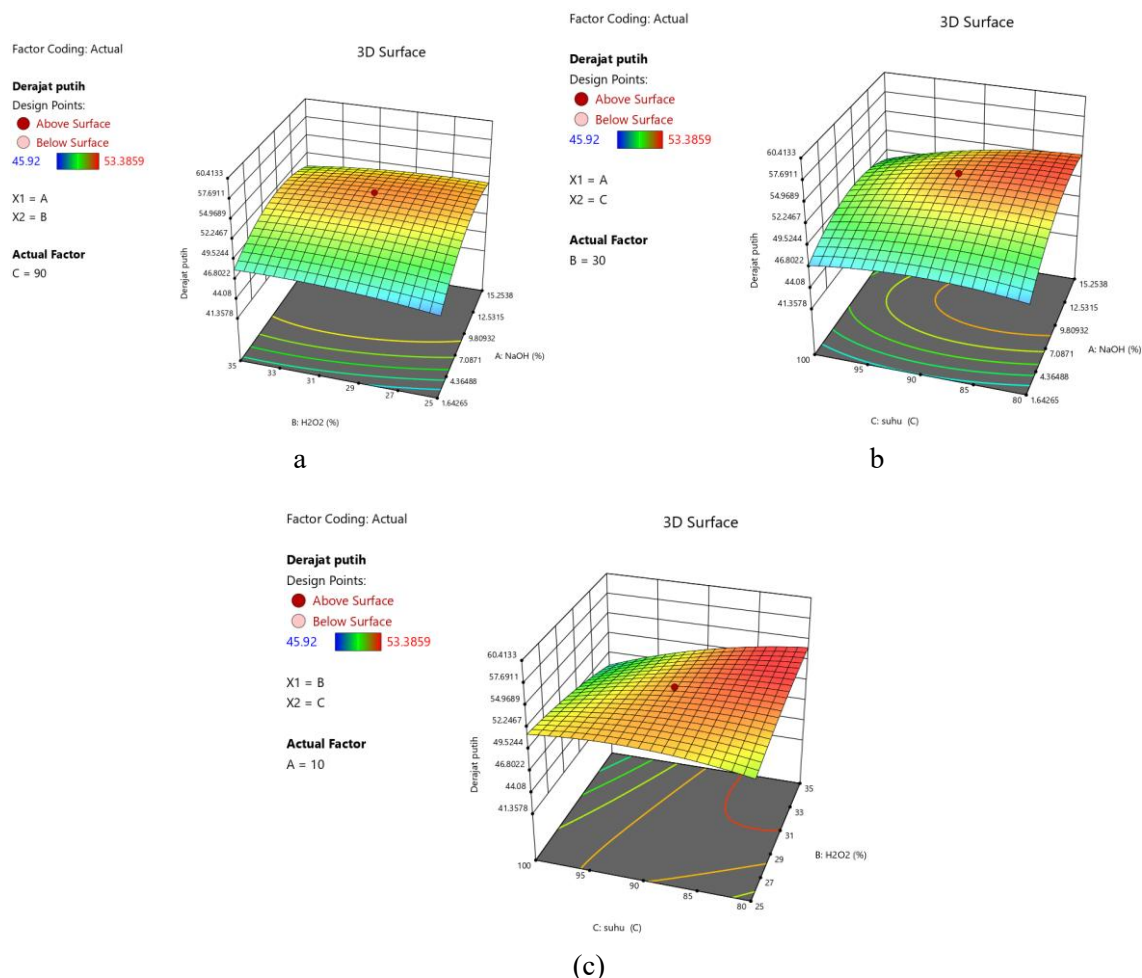
Berdasarkan hasil pengamatan diperoleh rentang nilai dari respon yaitu berkisar 45,92% - 53,3859%. Pada program disarankan model untuk respon hasil penelitian yaitu model *quadratic*. ANOVA menunjukkan model yang disarankan signifikan dimana nilai $p < 0,05$ yaitu 0,0379. Persamaan matematika untuk respon derajat putih sebagai berikut:

$$Y = -150,94876 + (3,20339 X_1) + (4,51839 X_2) + (2,77933 X_3) - (0,019826 X_1 X_2) - (0,016196 X_1 X_3) - (0,034943 X_2 X_3) - (0,052614 X_1^2) - (0,019763 X_2^2) - (0,009429 X_3^2)$$

Dimana Y = Respon Derajat putih (%), X_1 = Konsentrasi NaOH (%), X_2 = Konsentrasi H₂O₂ (%), X_3 = Suhu *Bleaching* (°C).

Nilai R^2 untuk model respon derajat putih sebesar 0,8409 yang menunjukkan 84% respon derajat putih dipengaruhi oleh konsentrasi alkali peroksida dan suhu *bleaching*, sementara 16% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain di luar perlakuan yang diamati. Standar deviasi diperoleh sebesar 1,48. Berdasarkan

Grafik 3D surface pada Gambar 5, dapat dilihat bahwa derajat putih semakin tinggi dengan meningkatnya jumlah konsentrasi H_2O_2 dan konsentrasi NaOH yang digunakan.



Gambar 5. Grafik 3D Surface Respon Derajat Putih dengan Interaksi X_1X_2 (a), X_1X_3 (b) dan X_2X_3 (c)

Berdasarkan grafik permukaan 3D terlihat bahwa kombinasi antara konsentrasi larutan NaOH, H_2O_2 , dan suhu memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai derajat putih serat TKKS pasca perlakuan *bleaching*. Grafik 3D menunjukkan adanya peningkatan nilai derajat putih secara signifikan saat konsentrasi NaOH dan H_2O_2 meningkat, terutama ketika suhu berada pada level rendah (80°C). Analisis grafik antara X_1X_3 dan X_2X_3 menunjukkan adanya perbedaan kemiringan garis pada dua level suhu berbeda, yaitu 80°C dan 100°C . Terlihat bahwa pada suhu 100°C , derajat putih cenderung menurun dibandingkan suhu 80°C . Penurunan ini diduga disebabkan oleh dekomposisi cepat H_2O_2 pada suhu tinggi, sehingga reagen tidak sempat bereaksi optimal dengan lignin.

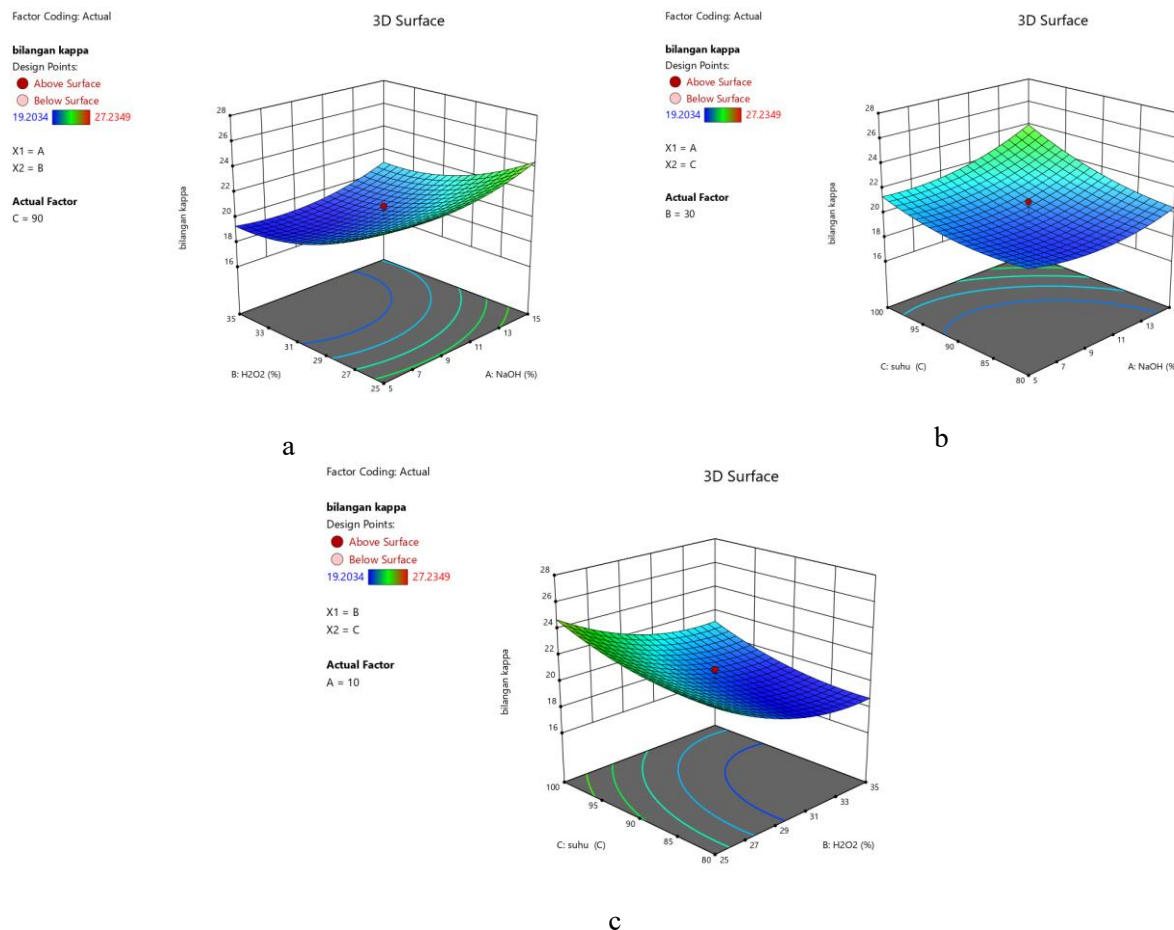
E. Bilangan Kappa

Menurut SNI (0494: 2008) bilangan kappa adalah banyaknya kalium permanganat (KMnO_4), 0,1 N yang terpakai oleh 1 g pulp kering oven. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh rentang nilai nilai bilangan Kappa berkisar 19,2034 - 27,2349, dengan model yang disarankan yaitu *Linear*, namun melihat dari rendahnya R^2 yang didapatkan maka dipilih lah model *quadratic*. ANOVA menunjukkan model yang signifikan dengan nilai p sebesar 0,0139% ($p < 0,05$). Persamaan matematika untuk respon bilangan Kappa sebagai berikut:

$$Y = 130,26275 - (1,65173 X_1) + (3,13038 X_2) - (1,23945 X_3) + (0,002197 X_1X_2) + (0,011401 X_1X_3) + (0,000290 X_2X_3) + (0,035363 X_1^2) + (0,0145337 X_2^2) + (0,006864 X_3^2)$$

Dimana Y = Respon Bilangan Kappa, X_1 = Konsentrasi NaOH (%), X_2 = Konsentrasi H_2O_2 (%), X_3 = Suhu *Bleaching* ($^\circ\text{C}$).

Nilai R^2 untuk model respon bilangan Kappa sebesar 0,8850 yang menunjukkan bahwa 89% sampel dipengaruhi oleh konsentrasi alkali peroksida dan suhu *bleaching*, sementara 11% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain di luar perlakuan. Standar deviasi untuk bilangan Kappa sebesar 1,31. Grafik 3D surface respon dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik 3D Surface Respon Bilangan Kappa dengan Interaksi X_1X_2 (a), X_1X_3 (b), dan X_2X_3 (c)

Pada Gambar 6a menunjukkan penurunan bilangan Kappa secara signifikan ketika konsentrasi NaOH rendah dan H₂O₂ tinggi. Gambar 6b memperlihatkan bahwa rendah suhu dan konsentrasi NaOH maka semakin rendah bilangan Kappa. Namun konsentrasi H₂O₂ dengan suhu cenderung rendah maka bilangan Kappa semakin rendah. Rendahnya bilangan Kappa menunjukkan rendahnya kadar lignin pada sampel uji. H₂O₂ berperan sebagai agen pemutih yang kuat karena mampu menghasilkan radikal hidroksil (-OH) yang sangat reaktif terhadap lignin (Bajpai, 2018).

Optimasi Respon Permukaan

Optimasi bertujuan untuk menemukan kombinasi model terbaik yang menghasilkan respon dan faktor yang diinginkan. Metode yang digunakan adalah metode multirespon, yang dikenal juga dengan *desirability*. Kisaran nilai *desirability* adalah antara 0 hingga 1, dengan nilai optimum terbaik ditunjukkan oleh nilai *desirability* yang mendekati satu. Hasil dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2.

Table 1. Uraian Variabel dan Respon yang akan Dioptimasi

Kriteria	Goal	Bobot kepentingan
NaOH	In range	-
H ₂ O ₂	In range	-
Suhu	In range	-
Rendemen	Maximize	4(+++)
Kadar air	Minimize	3(+++)
Kadar abu	Minimize	3(+++)
Bilangan kappa	Minimize	5(+++)
Derajat putih	Maximize	5(+++)

Table 2. Solusi Optimasi Oleh RSM

NaOH (%)	H ₂ O ₂ (%)	Suhu (°C)	Rendemen (%)	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Derajat putih (%)	Bilangan Kappa	Desirabilitas
9,39989	31,465	86,2092	63,7189	3,19216	0,509682	52,8717	19,0839	0,789
9,40113	31,4118	86,2895	63,7063	3,40239	0,509682	52,8601	19,1014	0,789
9,35071	31,4999	84,3513	63,7365	3,19251	0,509682	52,8651	19,0726	0,789

Tabel 2 menunjukkan bahwa terdapat 3 solusi yang ditawarkan oleh program, dengan nilai desirabiliti yang sama. Berdasarkan pertimbangan nilai rendemen yang tinggi dan bilangan Kappa yang rendah maka solusi ke-3 yang dipilih menjadi solusi terbaik. Disamping itu solusi ke-3 juga menggunakan suhu dan konsentrasi NaOH yang lebih rendah, sehingga lebih hemat energi, biaya dan ramah lingkungan.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa faktor yang diberikan (NaOH, H₂O₂, dan suhu) dapat mempengaruhi respon yang diamati begitu juga interaksi yang terbentuk. RSM memberikan solusi kombinasi optimum pada konsentrasi NaOH 9,35%, H₂O₂ 31,50%, dan suhu 84,35 °C, dengan desirabilitas sebesar 0,789. Pada kondisi ini diperdikasi menghasilkan selulosa dengan rendemen 63,74%, kadar air 3,19%, kadar abu 0,51%, derajat putih 52,87% dan bilangan Kappa 19,07.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Universitas Andalas yang telah mendanai penelitian ini sesuai dengan kontrak penelitian skripsi sarjana (PSS) Batch I Nomor 205/UN16.19/PT.01.03/PSS/2025 tahun anggaran 2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Bajpai, P. (2018). Pulping Fundamentals. In *Biermann's Handbook of Pulp and Paper* (pp. 295–351). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814240-0.00012-4>
- Fitriana, N. E., Suwanto, A., Jatmiko, T. H., Mursiti, S., & Prasetyo, D. J. (2020). Cellulose extraction from sugar palm (*Arenga pinnata*) fibre by alkaline and peroxide treatments. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 462(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/462/1/012053>
- Ischak, N. I., Fazriani, D., & Botutihe, D. N. (2021). Ekstraksi dan Karakterisasi Selulosa dari Limbah Kulit Kacang Tanah (*Arachys hypogaea* L.) Sebagai Adsorben Ion Logam Besi. *Jambura Journal of Chemistry*, 3(1), 27–36. <https://doi.org/10.34312/jambchem.v3i1.9290>
- Lubis, R. A. F., Nasution, H. I., & Zubir, M. (2020). Production of Activated Carbon from Natural Sources for Water Purification. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology (IJCST)*, 3(2), 67. <https://doi.org/10.24114/ijcst.v3i2.19531>
- Mahmuda, N. (2016). *Hydrolysis Of Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) by Aspergillus sp. (VTM1) and Pestalotiopsis sp. (VM9) as Growing Media for PST Saccharomyces cerevisiae*. Universitas

Jember.

- Montgomery, D. C. . (2017). *Design and analysis of experiments*. John Wiley & Sons, Inc.
- Novia, N., Hermansyah, Hasanuddin, Tamara, C., & Chairunnisah, F. W. (2023). *Enhanced bioethanol production by H₂O₂ pretreatment-hydrolysis-fermentation of rice husk*. 060009. <https://doi.org/10.1063/5.0116335>
- Permata, D. A. (2023). *Physical-Chemical Preparation Process of Palm Oil Empty Fruit Bunches Cellulose Using Microwaves* (S00202312387).
- Permata, D. A., Kasim, A., Asben, A., & Yusniwati. (2021). Karakteristik tandan kosong kelapa sawit pada berbagai fraksi serat. *Prosiding Seminar Nasional Eksista, In Press*.
- Putri, A., Permata, D. A., & Fiana, R. M. (2025). Optimization of Bioethanol Production from Oil Palm Empty Fruit Bunches (OPEFB) Cellulose with Variations in Yeast Amount and Fermentation Duration. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, 29(1).
- Robbani, S. (2022). *Rekayasa Proses Produksi Antimicrobial Pads Berbasis Selulosa dan Nanoselulosa*. Institut Pertanian Bogor.
- Santhi, M., Arnata, I. W., & Wrsiati, L. P. (2022). Isolation of Cellulose from Coconut Fiber (*Cocos nucifera* L.) at Variation of Temperature and Time of Bleaching Process with Peracetic Acid. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 10(3), 248–258.
- Sayanjali, S., Lu, Y., & Howell, K. (2024). Extraction and Characterization of Cellulose from Broccoli Stems as a New Biopolymer Source for Producing Carboxymethyl Cellulose Films. *International Journal of Food Science*, 2024, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2024/7661288>