



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 4 No. 4 (2026) pp: 13407-13414

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Analisis Penurunan Kadar Asam Lemak Bebas (FFA) dan Kadar Air pada Pemurnian CPO Menggunakan Karbon Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) melalui Metode Batch Shaker

Dwi Annisa Fithry, Dea Lestari

Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhamadiyah Riau

dwiannisa@umri.ac.id, dea70023@gmail.com*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) melalui proses pirolisis tanpa aktivasi pada suhu 350 °C untuk penggunaan pemucatan (bleaching) crude palm oil (CPO) di PKS Sei Pagar, PTPN IV Regional III, Riau. Latar belakang penelitian didasarkan pada tingginya ketersediaan tandan kosong kelapa sawit sebagai limbah padat pabrik kelapa sawit serta kebutuhan adsorben alternatif yang lebih berkelanjutan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bleaching earth dan meminimalkan limbah spent bleaching earth (SBE). Metode penelitian bersifat eksperimental laboratorium yang meliputi pengeringan TKKS, proses pirolisis, penghalusan, dan pengayakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif yang dihasilkan memiliki rendemen sebesar 7,67% dan kadar air 11,84% sehingga memenuhi persyaratan SNI 06-3730-1995 (kadar air maksimum 15%). Pengaplikasian karbon aktif pada proses bleaching CPO menunjukkan hasil penurunan FFA dari 4,69% menjadi 1,66% dan 1,63%, penurunan DOBI dari 2,87 menjadi 2,76 dan 2,82, penurunan kadar air CPO dari 0,15 menjadi 0,07 dan 0,06, serta perubahan warna dari oranye gelap menjadi kuning terang. Dengan demikian, karbon aktif TKKS berpotensi digunakan sebagai alternatif adsorben dalam proses pemucatan CPO dan mendukung penerapan konsep pengelolaan limbah berbasis ekonomi sirkular di industri kelapa sawit. Hasil ini membuka peluang penerapan skala industri yang ekonomis, ramah lingkungan, dan berkelanjutan nasional sawit.

Kata kunci: Adsorben, Bleaching, Limbah, Pirolisis

1. Latar Belakang

Indonesia merupakan produsen crude palm oil (cpo) terbesar dunia dengan produksi 46,82 juta ton dari lahan 16,83 juta hektar pada 2022, dan ekspor 26,13 juta ton pada 2023. Proses pemurnian cpo meliputi tahap pemucatan (bleaching) untuk menghilangkan pigmen beta-karoten (500-700 ppm), kotoran, senyawa oksidatif menggunakan bleaching earth impor, yang menghasilkan limbah Spent Bleaching Earth (SBE) dengan kandungan minyak residu 20-30%. Menurut peraturan pemerintah no 22/2021, SBE diklasifikasikan sebagai limbah Non-B3 namun pengelolaannya menimbulkan biaya tinggi dan resiko lingkungan.

Tandan kosong kelapa sawit (tkks) dihasilkan 5 ton per ton Crude Palm Oil (cpo) dan kaya lignoselulosa (selulosa 45,95%, hemiselulosa 16,49%, lignin 22,84%), cocok sebagai bahan baku karbon aktif melalui pirolisis. Penelitian [1] menunjukkan efisiensi adsorpsi beta-karoten 8,9-21,6% hingga 46,3% (komposit FeTAC-MOF), sementara [2] melaporkan luas permukaan BET 898m²/g. metode ini mendukung ekonomi sirkular, mengurangi impor bleaching earth hingga 40%, dan selaras dengan RSPO serta SNI 06-3720-1995. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan teknologi sederhana pembuatan karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit (tkks) untuk menggantikan sebagian bleaching earth impor yang di gunakan dalam proses pemucatan cpo di pabrik kelapa sawit.

Pemanfaatan karbon aktif berbasis tandan kosong kelapa sawit sebagai adsorben alternatif telah banyak diteliti dan menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam meningkatkan mutu crude palm oil. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan karbon aktif dari limbah TKKS mampu menurunkan kadar asam lemak bebas (Free Fatty Acid/FFA) secara signifikan melalui mekanisme adsorpsi, sehingga dapat memperbaiki kualitas CPO sebelum tahap pemurnian lanjutan [3]. Penurunan FFA ini penting karena kadar FFA yang tinggi dapat mempercepat proses oksidasi dan menurunkan stabilitas minyak selama penyimpanan.

Analisis Penurunan Kadar Asam Lemak Bebas (FFA) dan Kadar Air pada Pemurnian CPO Menggunakan Karbon Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) melalui Metode Batch Shaker

Selain FFA, kadar air merupakan parameter mutu yang berpengaruh terhadap terjadinya reaksi hidrolisis pada CPO. Beberapa penelitian melaporkan bahwa penggunaan adsorben karbon aktif berbasis biomassa mampu menurunkan kadar air CPO melalui interaksi antara gugus aktif pada permukaan adsorben dengan molekul air [4]. Penurunan kadar air ini berkontribusi dalam menghambat pembentukan FFA selama proses pengolahan dan penyimpanan minyak.

Karakteristik karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang memiliki luas permukaan spesifik dan volume pori yang tinggi menjadikannya efektif sebagai adsorben berbagai senyawa pengotor dalam *crude palm oil* (CPO). Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif yang berasal dari biomassa kelapa sawit memiliki struktur pori yang berkembang dengan distribusi ukuran pori yang mendukung proses adsorpsi pigmen, senyawa oksidatif, serta komponen non-minyak lainnya yang berperan dalam penurunan mutu CPO [5]. Selain itu, keberadaan gugus fungsi aktif pada permukaan karbon aktif turut berkontribusi terhadap peningkatan interaksi antara adsorben dan molekul target di dalam minyak. Kondisi ini menyebabkan proses pemucatan dapat berlangsung lebih efektif meskipun tanpa penggunaan aktivator kimia. Hal tersebut semakin memperkuat potensi TKKS sebagai bahan baku lokal yang layak digunakan untuk menggantikan sebagian bleaching earth impor, baik dari sisi kinerja adsorpsi maupun keberlanjutan sumber daya.

Metode adsorpsi menggunakan sistem *batch shaker* dinilai efektif karena mampu menciptakan kondisi pencampuran yang homogen antara adsorben dan *crude palm oil* (CPO). Kondisi ini memungkinkan terjadinya kontak yang lebih intensif dan merata antara permukaan karbon aktif dan komponen pengotor di dalam minyak. Penelitian terdahulu melaporkan bahwa sistem batch memberikan efisiensi adsorpsi yang baik akibat meningkatnya luas kontak serta waktu interaksi antara karbon aktif dan CPO selama proses pengadukan berlangsung [6]. Selain itu, metode ini memiliki keunggulan dari sisi operasional karena prosedurnya relatif sederhana, tidak memerlukan peralatan yang kompleks, serta mudah diaplikasikan baik pada skala laboratorium maupun skala industri.

Penggunaan adsorben berbasis limbah biomassa juga memberikan manfaat yang signifikan dari aspek ekonomi dan lingkungan. Substitusi sebagian bleaching earth dengan karbon aktif yang berasal dari limbah pertanian dilaporkan mampu menekan biaya operasional proses pemurnian CPO serta mengurangi ketergantungan terhadap bahan adsorben impor [7]. Di samping itu, pemanfaatan limbah biomassa sebagai bahan baku adsorben mendukung penerapan prinsip ekonomi sirkular, karena limbah padat yang sebelumnya kurang bernilai dapat diolah menjadi produk fungsional dengan nilai tambah dan dampak lingkungan yang lebih rendah.

Berdasarkan hasil-hasil penelitian tersebut, pengembangan karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit sebagai adsorben alternatif dalam pemurnian CPO, khususnya untuk menurunkan kadar asam lemak bebas dan kadar air menggunakan metode batch shaker, memiliki prospek yang sangat baik dari aspek teknis, ekonomi, dan lingkungan [8].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan laboratorium eksperimental untuk menguji efektivitas karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit (tkks), dalam proses pemucatan (bleaching) *crude palm oil* (cpo). Objek penelitian ini meliputi tandan kosong kelapa sawit (tkks) sebagai bahan baku utama untuk pembuatan karbon aktif melalui pirolisis tanpa aktivasi dan *crude palm oil* sebagai sample yang di olah, keduanya diperoleh dari pabrik kelapa sawit (pks) PTPN IV Regional III Sei Pagar, Riau [9].

Alat yang digunakan mencakup oven untuk pengeringan tandan kosong kelapa sawit pada suhu 150°C selama 6 jam, alat pirolisis untuk karbonisasi pada suhu 350°C selama 2 jam, kemudian di ayak untuk menyamakan atau menyeragamkan ukuran partikel, oven di gunakan untuk memanaskan cpo untuk proses bleaching pada suhu 90°C, batch shaker untuk pengadukan intensif campuran CPO dan karbon aktif pada kecepatan 100 rpm selama 1 jam guna memastikan kontak optimal antara adsorben dan pigmen sehingga meningkatkan adsorpsi, terkait, alat filtrasi vakum, FOSS NIRS untuk analisis FFA dan DOBI, keseimbangan kelembaban untuk kadar udara, serta colorimeter untuk mengukur intensitas warna RGB [10].

2.1. Pembuatan Karbon Aktif

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, pirolisis, oven, ayakan, batch shaker, neraca analitik, filtrasi vakum, blender, Loyang, Erlenmeyer, beaker glass, spatula. Bahan yang di gunakan yaitu, crude palm oil (cpo), tandan kosong kelapa sawit (tkks), aquadest.

Pembuatan karbon aktif tandan kosong kelapa sawit (tkks) meliputi. Pertama, tandan kosong kelapa sawit segar dicuci untuk menghilangkan kotoran, kemudian di potong menjadi ukuran yang lebih kecil, lalu di keringkan di dalam oven pada suhu 150°C selama 6 jam hingga mencapai berat konstan dan terjadinya penurunan kadar air yang cukup signifikan, tandan kosong kelapa sawit yang telah kering kemudian di masukkan dalam reaktor pirolisis, dipanaskan secara anaerobik pada suhu 350°C selama 2 jam tanpa agen aktivasi kimia untuk menghasilkan char karbon melalui dekomposisi termal lignoselulosa. Char hasil pirolisis dihancurkan menggunakan blender, dan kemudian di ayak untuk mendapatkan partikel yang seragam [11].

$$\%Kadar\ Air\ \frac{A-B}{A} \times 100\% \quad (1)$$

2.2. Pengujian Kadar Air Karbon Aktif

Pengujian kadar air pada karbon aktif diperlukan untuk menilai kualitas adsorben yang di hasilkan dari proses pirolisis apakah sesuai dengan SNI atau tidak. Pengujian di lakukan menggunakan alat moisture balance, Langkah pengujian nya yaitu : siapkan alat moisture balance, letakan pan pada alat dan masukkan karbon aktif sebanyak 6-10 gr lalu mulai untuk melihat hasil dari kadar air karbon aktif tersebut, hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar air yang terkandung dalam karbon aktif tandan kosong kelapa sawit adalah sebesar 11,84% dari tandan kosong kelapa sawit kering yang memiliki kadar air awal 16,84%, yang menunjukkan bahwa karbon aktif berada dibawah ambang batas mutu kadar air karbon aktif yaitu 15% [12]. Adapun rumus untuk mencari kadar air karbon aktif yaitu:

$$\%Kadar\ Air\ \frac{A-B}{A} \times 100\% \quad (1)$$

Berat TKKS basah (A) = 15.000 gram

Berat TKKS kering (B) = 3.000 gram

Berat karbon aktif (C) = 230 gram

Perhitungan kadar air karbon aktif dilakukan menggunakan persamaan $\%Kadar\ Air = (A - B)/A \times 100\%$, di mana A merupakan berat awal tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dalam kondisi basah sebelum proses pengeringan, sedangkan B adalah berat TKKS setelah proses pengeringan hingga mencapai berat konstan. Pada penelitian ini, berat TKKS basah (A) sebesar 15.000 gram dan berat TKKS kering (B) sebesar 3.000 gram, sehingga selisih berat tersebut merepresentasikan jumlah air yang hilang selama proses pengeringan. Persentase kadar air dihitung terhadap berat awal bahan untuk menggambarkan proporsi kandungan air dalam TKKS sebelum dikonversi menjadi karbon aktif. Sementara itu, berat karbon aktif yang dihasilkan setelah proses pirolisis tanpa aktivasi kimia tercatat sebesar 230 gram, yang digunakan sebagai dasar evaluasi lanjutan terhadap kualitas adsorben yang dihasilkan, khususnya kesesuaian kadar air karbon aktif dengan standar mutu yang ditetapkan.

Yield karbon aktif di hasilkan dari konversi tkks menjadi padatan karbon (char) melalui proses pirolisis tanpa penambahan agen aktivasi. Adapun rumus mencari yield yaitu :

$$Yield\ karbon\ \% \frac{M\ Karbon\ (gr)}{M\ tkks(gr)} \times 100\% \quad (2)$$

Yield karbon dihitung untuk mengetahui persentase hasil karbon aktif yang diperoleh dari proses konversi tandan kosong kelapa sawit kering melalui pirolisis. Perhitungan yield karbon dilakukan dengan membandingkan massa karbon aktif yang dihasilkan terhadap massa tandan kosong kelapa sawit kering yang digunakan sebagai bahan baku, kemudian dikalikan 100 persen. Dalam penelitian ini, massa karbon aktif (M karbon) yang dihasilkan sebesar 230 gram, sedangkan massa tandan kosong kelapa sawit kering (M TKKS) yang digunakan sebesar 3 kilogram atau setara dengan 3000 gram. Nilai yield karbon ini menggambarkan efisiensi proses pirolisis dalam mengonversi biomassa tandan kosong kelapa sawit menjadi karbon aktif.

Uji pemucatan (*bleaching*) dilakukan dengan menggunakan dua variasi rasio antara karbon aktif dan *crude palm oil* (CPO), yaitu 5 gram karbon aktif dengan 50 gram CPO serta 5 gram karbon aktif dengan 100 gram CPO. Masing-masing rasio tersebut diuji pada dua kondisi waktu dan kecepatan pengadukan, yaitu selama 15 menit dengan kecepatan 100 rpm dan selama 30 menit dengan kecepatan 150 rpm. Variasi rasio, waktu, dan kecepatan pengadukan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kondisi proses terhadap efektivitas adsorpsi pigmen dan senyawa pengotor dalam CPO.

Karbon aktif ditimbang sesuai dengan rasio yang telah ditentukan, kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Selanjutnya, *crude palm oil* yang telah dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 90–100 °C ditimbang dan ditambahkan ke dalam erlenmeyer yang berisi karbon aktif. Campuran awal kemudian diaduk secara manual menggunakan batang pengaduk untuk memastikan distribusi karbon aktif merata di dalam CPO sebelum proses pengadukan mekanis.

Campuran CPO dan karbon aktif selanjutnya dimasukkan ke dalam *batch shaker* dan diaduk sesuai dengan variasi waktu dan kecepatan yang telah ditetapkan. Proses pengadukan ini bertujuan untuk meningkatkan intensitas kontak antara permukaan karbon aktif dan pigmen beta-karoten serta senyawa pengotor lainnya, sehingga proses adsorpsi dapat berlangsung secara optimal. Setelah proses pemucatan selesai, campuran CPO dan karbon aktif dipisahkan menggunakan metode filtrasi vakum untuk memperoleh CPO hasil *bleaching* yang bebas dari partikel adsorben dan siap untuk dilakukan pengujian mutu lebih lanjut.

2.3. Pengujian Mutu Crude Palm Oil

Pengujian mutu cpo meliputi, analisa dobi, kadar air dan *free fatty acid* (ffa) menggunakan alat fors nirs dimana nilai satuan nya dinyatakan yaitu %. Dobi cpo hasil *bleaching* menunjukkan penurunan yang tidak signifikan berkisar dari 2,76% dan 2,82 % . penurunan kadar air cpo hasil *bleaching* menunjukkan hasil yang cukup signifikan yaitu 0,07% dan 0,06%, Ffa dari cpo hasil *bleaching* memiliki penurunan yang sangat signifikan hingga mencapai hasil 1,63% dan 1,66%. Adapun Langkah dalam Analisa fors nirs ini yaitu: cpo hasil *bleaching* di masukan pada slury cup kemudian di tempatkan pada fors nirs dan di mulai untuk melihat hasil dari cpo tersebut. Adapun rumus untuk mencari dobi, dan kadar air yaitu:

Rumus internal Dobi:

$$Dobi = \frac{Absorbansi\ 446\ nm(Do)}{Absorbansi\ 269\ nm(Bo)} \quad (3)$$

Nilai Deterioration of Bleachability Index (DOBI) ditentukan berdasarkan perbandingan antara absorbansi karotenoid segar dan produk oksidasi karoten dalam *crude palm oil*. Perhitungan nilai DOBI dilakukan menggunakan rasio absorbansi pada panjang gelombang 446 nm (Do) terhadap absorbansi pada panjang gelombang 269 nm (Bo). Absorbansi pada 446 nm merepresentasikan kandungan karotenoid segar, khususnya β-karoten, sedangkan absorbansi pada 269 nm menunjukkan keberadaan produk oksidasi karoten yang bersifat lebih polar. Nilai DOBI yang lebih tinggi mengindikasikan kualitas CPO yang lebih baik dan tingkat oksidasi yang lebih rendah, sehingga minyak lebih mudah dimurnikan pada tahap *bleaching*.

Rumus internal kadar air :

$$\%kelembapan = \frac{berat\ awal - berat\ akhir}{berat\ awal} \times 100\% \quad (4)$$

Kadar air atau persentase kelembapan dihitung untuk mengetahui jumlah air yang terkandung dalam sampel sebelum dan setelah proses pengeringan. Perhitungan kadar air dilakukan dengan membandingkan selisih antara berat awal sampel sebelum pengeringan dan berat akhir sampel setelah pengeringan terhadap berat awal sampel, kemudian dikalikan 100 persen. Berat awal merepresentasikan massa sampel yang masih mengandung air, sedangkan berat akhir menunjukkan massa sampel setelah sebagian besar air dihilangkan melalui proses pengeringan. Nilai kadar air yang diperoleh mencerminkan tingkat kelembapan material, di mana semakin besar selisih berat awal dan berat akhir, semakin tinggi kadar air yang terkandung dalam sampel tersebut.

Analisa Perbandingan Warna *Crude Palm Oil* (CPO)

Analisa ini bertujuan untuk mengukur tingkat kejernihan CPO sebelum dan setelah proses *bleaching* dengan karbon aktif. Warna merah yang dominan pada CPO disebabkan oleh pigmen beta-karoten, yang harus dihilangkan pada tahap pemucatan. Adapun rumus untuk mencari nilai warna yaitu:

$$\% R = \frac{\text{nilai RGB}}{255} \times 100\% \quad (5)$$

Analisis perbandingan warna *crude palm oil* (CPO) dilakukan untuk mengevaluasi tingkat kejernihan minyak sebelum dan setelah proses pemucatan menggunakan karbon aktif. Warna merah yang dominan pada CPO terutama disebabkan oleh keberadaan pigmen β -karoten, sehingga penurunan intensitas warna menjadi indikator keberhasilan proses *bleaching*. Perhitungan nilai warna dilakukan dengan menormalkan nilai komponen warna merah (R) yang diperoleh dari sistem warna RGB terhadap nilai maksimum skala RGB, yaitu 255, kemudian dikalikan 100 persen. Nilai persentase warna yang dihasilkan menunjukkan intensitas relatif warna merah dalam CPO, di mana nilai yang lebih rendah mengindikasikan penurunan kandungan pigmen dan peningkatan tingkat kejernihan minyak setelah proses pemucatan.

3. Hasil dan Diskusi

Penurunan kadar air pada tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dari kondisi basah sekitar 80% menjadi 16,84% terutama disebabkan oleh terjadinya proses evaporasi air bebas dan sebagian air terikat yang terdapat dalam struktur biomassa lignoselulosa. Pemanasan menggunakan oven pada suhu 150°C, yang melebihi titik didih air (100°C), menyebabkan air bebas yang berada pada permukaan dan rongga TKKS berubah fase menjadi uap air dan keluar dari material melalui mekanisme difusi. Suhu pengeringan yang relatif tinggi ini mempercepat laju penguapan, sehingga proses pengeringan dapat berlangsung lebih efektif dalam waktu yang lebih singkat.

Pengeringan hingga mencapai berat konstan dilakukan untuk memastikan bahwa sebagian besar air yang mudah diuapkan telah terlepas, sementara sisa kelembaban yang tertinggal merupakan air terikat secara struktural di dalam matriks biomassa. Nilai residu kelembaban sebesar 12–17% yang diperoleh masih tergolong normal dan khas untuk biomassa kering. Komposisi TKKS yang kaya akan selulosa (36–42%), hemiselulosa (25–27%), dan lignin (15–17%) memungkinkan terjadinya pelepasan air tanpa menyebabkan degradasi termal yang signifikan pada komponen organik utama pada suhu pengeringan tersebut. Kondisi ini penting untuk menjaga integritas struktur biomassa sebelum proses pirolisis, sehingga pembentukan karbon aktif dapat berlangsung secara optimal.

Penurunan kadar air pada karbon aktif yang dibuat dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) terjadi secara bertahap selama proses pengeringan awal dan karbonisasi. Pada tahap pengeringan, air bebas dan sebagian air terperangkap di dalam rongga biomassa dihilangkan melalui mekanisme evaporasi akibat pemanasan. Selanjutnya, pada tahap karbonisasi, peningkatan suhu menyebabkan terjadinya dehidrasi termal yang turut melepaskan air terikat dari struktur lignoselulosa, sehingga kadar air karbon aktif menurun secara signifikan. Proses kombinasi antara pengeringan dan karbonisasi ini secara efektif menurunkan kadar air dari kondisi awal TKKS basah yang umumnya melebihi 60% menjadi kurang dari 10–15% pada karbon aktif yang dihasilkan.

Kadar air karbon aktif yang berada dalam rentang tersebut telah memenuhi persyaratan mutu sesuai Standar Nasional Indonesia SNI 06-3730-1995, yang mensyaratkan kadar air maksimum sebesar 15%. Rendahnya kadar air pada karbon aktif sangat penting karena berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi, stabilitas penyimpanan, serta kinerja karbon aktif dalam proses pemucatan CPO. Karbon aktif dengan kadar air yang lebih rendah memiliki luas permukaan efektif yang lebih besar dan pori-pori yang lebih terbuka, sehingga mampu meningkatkan interaksi antara adsorben dan senyawa target selama proses adsorpsi.

3.1. Uji Coba Mutu Pada *Crude Palm Oil* (cpo)

Percobaan kedua berhasil menurunkan kadar FFA secara signifikan hingga 65,2%, sejalan dengan temuan jurnal tahun 2023 yang melaporkan penurunan FFA CPO hingga berada di bawah 1% setelah proses *bleaching* menggunakan adsorben aktif. Penurunan kadar air juga berlangsung secara efektif dengan persentase mencapai 60,0%, yang menunjukkan kemampuan karbon aktif dalam mengadsorpsi molekul air secara optimal pada kondisi pengadukan 100 rpm. Kondisi pengadukan tersebut memungkinkan terjadinya kontak yang lebih merata antara permukaan karbon aktif dan fase minyak, sehingga proses adsorpsi dapat berlangsung secara lebih efisien.

Nilai DOBI pada CPO hasil bleaching relatif stabil dengan penurunan yang kecil, berkisar antara 1,7–3,8%, yang masih berada dalam rentang yang dapat diterima. Hal ini sesuai dengan karakteristik DOBI sebagai parameter yang menggambarkan indeks kemampuan pemutihan intrinsik CPO, bukan sebagai indikator degradasi minyak secara langsung selama proses bleaching. Dengan demikian, penurunan DOBI yang minimal menunjukkan bahwa proses adsorpsi yang dilakukan tidak menyebabkan kerusakan signifikan pada komponen karotenoid utama, melainkan lebih berfokus pada pengurangan senyawa pengotor dan air [3]. Secara keseluruhan, hasil ini mengindikasikan bahwa penggunaan karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit efektif dalam meningkatkan mutu CPO tanpa menurunkan kualitas dasar minyak secara berlebihan.

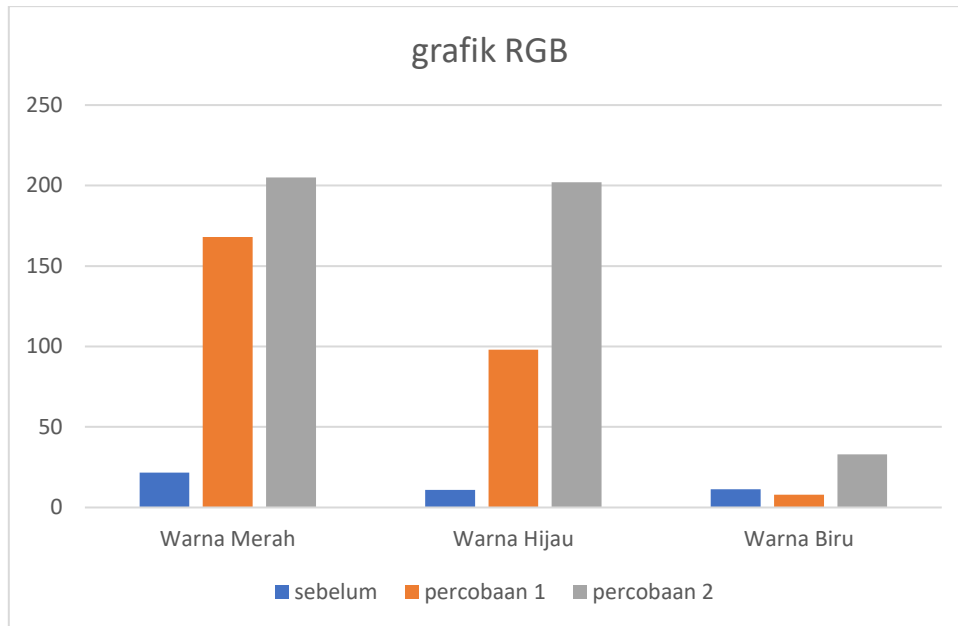
Hasil analisis warna menunjukkan kecenderungan yang tidak konsisten setelah proses pemutihan, di mana intensitas warna merah dan hijau justru mengalami peningkatan yang cukup tajam. Fenomena ini diduga disebabkan oleh adanya interferensi dalam metode pengukuran warna yang digunakan, mengingat satuan yang dinyatakan dalam persentase (% RGB) bersifat non-standar dan berbeda dengan metode pengukuran warna konvensional seperti skala Lovibond. Selain itu, peningkatan warna tersebut juga berpotensi disebabkan oleh terlepasnya kembali sebagian pigmen yang sebelumnya teradsorpsi pada permukaan karbon aktif selama proses pengadukan. Sebaliknya, komponen warna biru menunjukkan penurunan yang lebih optimal pada Percobaan 1 dengan persentase sebesar 29,6%, yang mengindikasikan adanya perbedaan respon adsorpsi terhadap masing-masing komponen warna.

Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian tahun 2024 yang melaporkan adanya fluktuasi sementara pada parameter warna dan kadar FFA saat menggunakan adsorben alternatif berbasis karbon aktif. Penelitian tersebut menyebutkan bahwa meskipun terjadi peningkatan warna pada tahap awal proses adsorpsi, penurunan warna secara keseluruhan dapat dicapai secara optimal pada penggunaan rasio adsorben tertentu, yaitu berkisar antara 1,5–3% terhadap massa minyak [4]. Dengan demikian, ketidakkonsistenan hasil warna dalam penelitian ini menunjukkan perlunya optimasi lebih lanjut terhadap metode pengukuran warna dan rasio adsorben untuk memperoleh hasil pemucatan CPO yang lebih stabil dan representatif.

Percobaan 1 (rasio 10%) unggul secara dibandingkan Percobaan 2 (rasio 5%), karena kontak adsorben-minyak lebih mengintensifkan adsorpsi FFA dan udara lebih baik, konsisten dengan penelitian 2021-2025 yang menunjukkan rasio karbon aktif tinggi (5-10%) optimal untuk bleaching CPO tanpa menurunkan DOBI berlebih. Proses ini mendukung standar SNI 01-7182-2015 untuk minyak sawit rafinasi (FFA <5%, kadar air <0,1%). Saran: Uji ulang warna dengan spektrofotometer Lovibond untuk akurasi.[5].

Tabel 1. Mutu cpo setelah bleaching

Mutu crude palm oil (Cpo) sebelum bleaching	Setelah bleaching
Percobaan 1	
Free faty acid (Ffa)	1,66
Kadar air	0,07
Dobi	2,76
Warna	
Red	168
Green	92
Blue	8
Percobaan 2	
Free faty acid (Ffa)	1,63
Kadar air	0,06
Dobi	2,82
Warna	
Red	205
Green	202
Blue	33



Gambar 1. Grafik nilai RGB

Gambar 2. Grafik nilai Ffa



4. Kesimpulan

Proses bleaching minyak sawit mentah (CPO) menggunakan karbon aktif sebanyak 5 g pada kecepatan pengadukan 100 rpm berhasil menurunkan kadar asam lemak bebas (FFA) secara signifikan sebesar 64,6-65,2% dan kadar udara sebesar 53,3-60,0% pada kedua percobaan, meskipun terdapat perbedaan rasio adsorben (10% vs 5%). Indeks stabilitas DOBI yang terjaga dengan penurunan minimal (1,7-3,8%) menunjukkan bahwa proses bleaching tidak mengganggu kemampuan pemutihan intrinsik CPO. Peningkatan nilai warna merah dan hijau yang anomali diduga disebabkan oleh metode pengukuran non-standar, sementara penurunan warna biru sebesar 29,6% pada Percobaan 1 menunjukkan adanya perbaikan parsial pada spektrum warna biru.

Referensi

1. Y. D. Utami *et al.*, "Indonesian Journal of Chemical Science and Technology (IJCSST)," *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 96–102, 2025.
2. A. D. Hardi, R. Joni, and H. Aziz, "Pembuatan karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit sebagai elektroda superkapasitor," *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 9, no. 4, pp. 479–486, 2020
3. W. Pratama, "Penurunan kadar free fatty acid (FFA) pada CPO (Crude Palm Oil) menggunakan adsorben limbah TKKS," *Jurnal Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta*, 2025

4. J. Jasmidi, M. Zubir, R. Selly, P. Faradilla, and S. Rahmah, "Adsorption properties of beta carotene from activated carbon derivatives of oil palm empty bunches," *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology*, vol. 7, no. 1, 2024.
5. R. Sari and Z. Maitisya, "Analisis korelasi kadar kotoran dengan kadar air, FFA, dan DOBI pada CPO," *Jurnal Kimia Saintek dan Pendidikan*, vol. 9, no. 1, 2025.
6. M. R. Harahap, A. A. Agustania, and S. Agustiar, "Analisis kadar air dan minyak dalam sampel press fibre serta kadar asam lemak pada CPO di PMKS PT X," *AMINA: Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, 2024.
7. H. Irawan, "Analisis kadar asam lemak bebas dan kadar kotoran terhadap mutu CPO pada vacuum dryer PT Socfindo Kebun Seunagan," *Jurnal Teknologi dan Food Processing*, 2022.
8. Biomass and Green Manufacturing Engineering Research Group, "The application of pineapple peel derived-adsorbent to decrease FFA in crude palm oil," *Biomass and Green Manufacturing Engineering Journal*, 2024.
9. A. Jondra, A. Azhari, S. Sulhatun, Z. Zulnazri, and M. Meriatna, "Penurunan kadar FFA pada CPO dengan adsorben dari cangkang buah ketapang," *Chemical Engineering Journal Storage*, vol. 1, no. 4, 2022.
10. Institut Pertanian STIPER Yogyakarta Research Team, "Analisis FFA dan kadar air CPO di vacuum dryer," *Instiper Journal*, 2023.
11. ASEAN Journal of Chemical Engineering Editorial Board, "Kinetics and adsorption equilibrium study of free fatty acid (FFA) from CPO on anionic resin," *ASEAN Journal of Chemical Engineering*, 2025.
12. Public Health Frontiers Editorial Team, "Effect of activation duration of water hyacinth-based activated carbon on FFA," *Public Health Frontiers*, 2025.
13. A. A. Rosa, E. Ariyanto, M. Mardwita, and G. Abriansyah, "Investigasi uji nilai warna dan persentase free fatty acid," *Jurnal Rekayasa Proses*, vol. 8, pp. 29–34, 2023.
14. D. Nirmala, E. Pelita, D. Desniorita, R. Youfa, and R. T. Jayanti, "Pemanfaatan limbah fly ash pabrik kelapa sawit sebagai adsorben," *Jurnal Integrasi Proses*, vol. 13, no. 2, pp. 153–159, 2024.
15. J. Kimia *et al.*, "Spin palm shell activated carbon in crude palm oil (CPO)," *SPIN Journal of Chemistry*, vol. 7, no. 2, pp. 187–196, 2025, <https://doi.org/10.20414/spin.v7i2.14518>