

**ANALISIS DAYA ADSORPSI *REACTIVATED BLEACHING EARTH*
(RBE) YANG DIAKTIVASI DENGAN ASAM PADA
*CRUDE PALM OIL***

(Skripsi)

Oleh

**MONALISA TASYA LIDIA BR. SIAHAAN
1914051029**



**JURUSAN TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

ABSTRACT

ADSORPTION POWER ANALYSIS OF ACID-ACTIVATED REACTIVATED BLEACHING EARTH (RBE) ON CRUDE PALM OIL

By

MONALISA TASYA LIDIA BR. SIAHAAN

The reactivation process of *Deoiled Bleaching Earth* (DBE) produces *Reactivated Bleaching Earth* (RBE). RBE can be used as an adsorbent for *Crude Palm Oil* (CPO). One method of DBE reactivation is by using acid, where the type and concentration of acid affect the DBE activation process. This study aimed to determine the best acid type, the best acid concentration, and the best combination of acid type and concentration in the DBE reactivation process. This research used a factorial Randomized Complete Block Design (RCBD), there were 9 combinations with three repetitions. Acid type factors were HCl (M1), HNO₃ (M2), and H₂SO₄ (M3). Acid concentration factors were 4% (S1), 6% (S2), and 8% (S3). The resulting RBE was analyzed for yield, water content, and pH. Furthermore, RBE was used to bleach CPO. The *Bleached Palm Oil* (BPO) was then analyzed for water content, free fatty acid content, and bleaching efficiency. Data were analyzed by analysis of variance, followed by *Orthogonal Contrast* (OC) and *Orthogonal Polynomials* (OP) tests. The results showed that the best acid type was HNO₃ (nitric acid), the best acid concentration was 4% concentration, and the best combination of acid type and concentration was HNO₃ (nitric acid) with 8% concentration which produced a yield of 79,97%, pH of 6,73, moisture content of 3,35%, color bleaching efficiency of 17,29%, BPO free fatty acid content of 3,58%, and BPO moisture content of 0,18%.

Keywords: *Deoiled Bleaching Earth* (DBE), *Reactivated Bleaching Earth* (RBE), *Bleached Palm Oil* (BPO), bleaching, bleaching efficiency

ABSTRAK

ANALISIS DAYA ADSORPSI *REACTIVATED BLEACHING EARTH* (RBE) YANG DIAKTIVASI DENGAN ASAM PADA *CRUDE PALM OIL*

Oleh

MONALISA TASYA LIDIA BR. SIAHAAN

Proses reaktivasi *Deoiled Bleaching Earth* (DBE) menghasilkan *Reactivated Bleaching Earth* (RBE). RBE dapat digunakan sebagai adsorben untuk *Crude Palm Oil* (CPO). Salah satu metode reaktivasi DBE adalah dengan menggunakan asam, dimana jenis dan konsentrasi asam mempengaruhi proses aktivasi DBE. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis asam terbaik, konsentrasi asam terbaik, serta kombinasi jenis dan konsentrasi asam terbaik pada proses reaktivasi DBE. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) faktorial, terdapat 9 kombinasi dengan tiga kali pengulangan. Faktor jenis asam yaitu HCl (M1), HNO₃ (M2), dan H₂SO₄ (M3). Faktor konsentrasi asam yaitu 4% (S1), 6% (S2), dan 8% (S3). RBE yang dihasilkan dianalisa rendemen, kadar air, dan pH. Selanjutnya, RBE digunakan untuk memucatkan CPO. *Bleached Palm Oil* (BPO) kemudian dianalisa kadar air, kadar asam lemak bebas, dan efisiensi pemucatan. Data dianalisis dengan analisis sidik ragam, lalu dilanjutkan dengan uji *Orthogonal Contrast* (OC) dan *Orthogonal Polynomials* (OP). Hasil menunjukkan jenis asam terbaik adalah HNO₃ (asam nitrat), konsentrasi asam terbaik adalah konsentrasi 4%, serta kombinasi jenis dan konsentrasi asam yang terbaik adalah HNO₃ (asam nitrat) dengan konsentrasi 8% menghasilkan rendemen 79,97%, pH 6,73, kadar air 3,35%, efisiensi pemucatan warna 17,29%, kadar asam lemak bebas BPO 3,58%, dan kadar air BPO 0,18%.

Kata kunci: *Deoiled Bleaching Earth* (DBE), *Reactivated Bleaching Earth* (RBE), *Bleached Palm Oil* (BPO), pemucatan, efisiensi pemucatan

**ANALISIS DAYA ADSORPSI *REACTIVATED BLEACHING EARTH*
(RBE) YANG DIAKTIVASI DENGAN ASAM PADA
*CRUDE PALM OIL***

Oleh

MONALISA TASYA LIDIA BR. SIAHAAN

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN**

Pada

**Jurusan Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi : **ANALISIS DAYA ADSORPSI *REACTIVATED BLEACHING EARTH* (RBE) YANG DIAKTIVASI DENGAN ASAM PADA *CRUDE PALM OIL***

Nama Mahasiswa : **Monalisa Tasya Lidia Br. Siahaan**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1914051029

Program Studi : **Teknologi Hasil Pertanian**

Jurusan : **Teknologi Hasil Pertanian**

Fakultas : **Pertanian**



Dr. Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc.
NIP. 196603141990031009

Lathifa Indraningtyas, S.TP., M.Sc.
NIP. 199109182019032023

2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian

Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., C.EIA.
NIP. 197210061998031005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

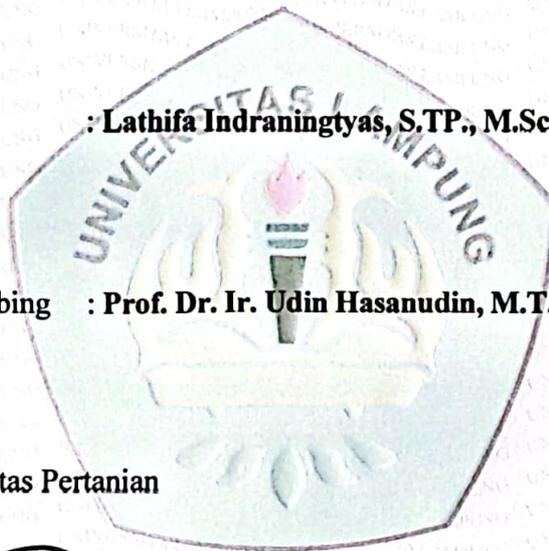
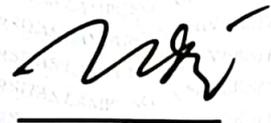
Ketua : Dr. Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc.



Sekretaris : Lathifa Indraningtyas, S.TP., M.Sc.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Udin Hasanudin, M.T.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP. 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 11 Desember 2024

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Monalisa Tasya Lidia Br. Siahaan

NPM : 1914051029

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil kerja saya sendiri yang berdasarkan pada pengetahuan dan penelitian yang telah saya lakukan. Karya ilmiah ini tidak berisi material yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukan hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikian pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 11 Desember 2024
Pembuat Pernyataan



Monalisa Tasya Lidia Br. Siahaan
NPM. 1914051029

RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir di Bandar Lampung pada tanggal 2 Desember 2001, merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Mangaraja dan Ibu Ernita. Penulis menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 3 Gunung Terang Bandar Lampung pada tahun 2013, SMP Fransiskus Bandar Lampung pada tahun 2016, dan SMA Fransiskus Bandar Lampung pada tahun 2019. Pada tahun 2019 penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur tes pada Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Bumi Waras, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung pada bulan Januari-Februari 2022. Penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT. Buma Cima Nusantara (BCN) Unit Bungamayang, Kabupaten Lampung Utara, Provinsi Lampung, dengan judul laporan “Mempelajari Proses Produksi Gula Kristal Putih di PT. Buma Cima Nusantara Unit Bungamayang” pada bulan Juli-Agustus 2022.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif pada organisasi seperti UKM Koperasi Mahasiswa Universitas Lampung periode 2020/2021 dan bergabung dalam beberapa divisi seperti PSDA, Humas, Tim Media, Gugus Fakultas, dan lain-lain. Pada periode 2021 dan periode 2022, penulis juga tergabung dalam Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian (HMJ THP) sebagai anggota pengurus Bidang Pengabdian Masyarakat. Penulis juga pernah menjadi asisten dosen pada mata kuliah Kimia Dasar, Analisis Hasil Pertanian, dan Kewirausahaan pada Tahun Ajaran 2022/2023.

SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat, kasih setia, dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Daya Adsorpsi *Reactivated Bleaching Earth* (RBE) yang Diaktivasi dengan Asam pada *Crude Palm Oil*”**. Atas selesainya skripsi ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan sehingga skripsi ini selesai. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., C.EIA., selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian atas izin penelitian yang diberikan.
3. Bapak Dr. Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc., selaku dosen pembimbing akademik sekaligus dosen pembimbing pertama penulis, yang telah memberikan banyak bantuan, waktu, ilmu, bimbingan, dan motivasi selama perkuliahan, penelitian, dan penyelesaian penulisan skripsi ini.
4. Ibu Lathifa Indraningtyas, S.TP., M.Sc., selaku dosen pembimbing kedua penulis yang telah memberikan perhatian, saran, dan motivasi selama penyelesaian penulisan skripsi ini.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Udin Hasanudin, M.T., selaku penguji yang telah memberikan ilmu, saran, bimbingan, dan evaluasi terkait penelitian maupun penulisan skripsi ini.
6. Seluruh Bapak dan Ibu dosen pengajar, staf administrasi, pranata laboratorium, dan karyawan di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung, yang telah memberikan ilmu dan bantuan selama penulis melaksanakan perkuliahan dan penelitian.

7. Kepada orang tua yaitu Bapak Mangaraja dan Ibu Ernita, serta adik tersayang Moreno Harris Siahaan, yang selalu memberikan dukungan materil, doa, dan kasih sayang kepada penulis selama perkuliahan, penelitian, hingga penyelesaian skripsi ini.
8. Kepada tim penelitian terbaik yaitu Mukhlis, Hafiz, Hani, Yesi, dan Iga atas bantuan dan dukungan yang begitu besar selama penelitian hingga akhir penyelesaian skripsi ini.
9. Kepada teman-teman seperjuangan kuliah yaitu Hilma, Fairuzsita, Angelika, Dhita, Ghea, Hulai, Elin, dan Rahma, yang senantiasa membantu, berbagi kebersamaan dan suka-duka, serta mendukung penulis dari awal perkuliahan hingga skripsi ini terselesaikan.
10. Kepada teman-teman seperjuangan yaitu Angelika, Elva, Ghozy, Singgih, Aldi, Anang, Rifqi, Ghani, dan Zatira yang menjadi tempat bertukar cerita, berbagi canda tawa, dan dukungan mental selama penyelesaian skripsi ini.
11. Kepada pihak lainnya yaitu Vani, Mba Syifa, Nisa, Pia, Ninay, Hilman, Dila, Bobby, Vilda, Wulan, Lisbeth, Bunga, Tegar, dan Alm. Daisy, atas semangat, masukan, dan dukungan mental selama penyelesaian skripsi ini.
12. Kepada adik seperbimbingan yaitu Victor, Salsa, Diah, Rika, Arum, dan Ade, atas bantuan dan dukungan kepada penulis selama penyelesaian skripsi ini.
13. Kepada teman-teman THP FP Unila 2019 serta abang, mba, dan adik-adik 2020 HMJ THP FP Unila, atas bantuan dan dukungan selama perkuliahan hingga penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata, penulis sangat menyadari skripsi ini jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dan dapat memberikan manfaat bagi penulis serta pembaca.

Bandar Lampung, 11 Desember 2024
Penulis

Monalisa Tasya Lidia Br. Siahaan

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah	1
1.2 Tujuan.....	3
1.3 Kerangka Pemikiran	4
1.4 Hipotesis	7
II. TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Kelapa Sawit.....	9
2.2 <i>Crude Palm Oil (CPO)</i>	10
2.3 <i>Bleaching Earth</i>	12
2.4 <i>Spent Bleaching Earth (SBE)</i>	13
2.5 Reaktivasi <i>Spent Bleaching Earth (SBE)</i>	14
III. METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	16
3.2 Alat dan Bahan	16
3.3 Metode Penelitian	16
3.4 Prosedur Penelitian	17
3.4.1 Proses Reaktivasi <i>Deoiled Bleaching Earth (DBE)</i>	17
3.4.2 Proses <i>Bleaching Crude Palm Oil (CPO)</i>	20
3.5 Prosedur Pengamatan	21
3.5.1 Rendemen <i>Reactivated Bleaching Earth (RBE)</i>	21
3.5.2 Uji Kadar Air <i>Reactivated Bleaching Earth (RBE)</i>	21

3.5.3	Analisis pH <i>Reactivated Bleaching Earth</i> (RBE).....	22
3.5.4	Efisiensi Pemucatan Warna <i>Crude Palm Oil</i> (CPO)	22
3.5.5	Uji Kadar Air <i>Bleached Palm Oil</i> (BPO)	23
3.5.6	Uji Kadar Asam Lemak Bebas <i>Bleached Palm Oil</i> (BPO).....	23
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1	Rendemen <i>Reactivated Bleaching Earth</i> (RBE)	25
4.2	Kadar Air <i>Reactivated Bleaching Earth</i> (RBE)	28
4.3	pH <i>Reactivated Bleaching Earth</i> (RBE).....	29
4.4	Efisiensi Pemucatan Warna <i>Crude Palm Oil</i> (CPO).....	32
4.5	Kadar Air <i>Bleached Palm Oil</i> (BPO)	38
4.6	Kadar Asam Lemak Bebas <i>Bleached Palm Oil</i> (BPO)	40
4.7	Penentuan Perlakuan Terbaik	43
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	48
5.1	Kesimpulan.....	48
5.2	Saran	48
	DAFTAR PUSTAKA	50
	LAMPIRAN.....	56

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Syarat Mutu Minyak Kelapa Sawit Mentah	11
2. Syarat Mutu Bentonit Untuk Pemucat Minyak Nabati.....	13
3. Kombinasi Perlakuan.....	17
4. Pemeringkatan dan Pemberian Score pada Parameter Rendemen RBE (<i>wet basis</i>)	43
5. Pemeringkatan dan Pemberian <i>Score</i> pada Parameter pH RBE.....	44
6. Pemeringkatan dan Pemberian <i>Score</i> pada Parameter Efisiensi..... Pemucatan Warna CPO	44
7. Pemeringkatan dan Pemberian <i>Score</i> pada Parameter Kadar..... Asam Lemak Bebas BPO	44
8. Penjumlahan Total <i>Score</i> dari Tiap Parameter	45
9. Harga asam pekat HNO ₃ , H ₂ SO ₄ , dan HCl.....	46
10. Data Rendemen <i>Reactivated Bleaching Earth</i> (RBE) (<i>wet basis</i>).....	57
11. Uji Kehomogenan Ragam (<i>Bartlett's Test</i>) Rendemen RBE	57
(<i>wet basis</i>).....	57
12. Analisis Ragam Rendemen RBE (<i>wet basis</i>).....	58
13. Uji <i>Orthogonal Contrast</i> (OC) dan <i>Orthogonal Polynomials</i> (OP).. Rendemen RBE (<i>wet basis</i>)	59
14. Data Rendemen <i>Reactivated Bleaching Earth</i> (RBE) (<i>dry basis</i>).....	60
15. Uji Kehomogenan Ragam (<i>Bartlett's Test</i>) Rendemen RBE	60
(<i>dry basis</i>)	60
16. Analisis Ragam Rendemen RBE (<i>dry basis</i>).....	61
17. Uji <i>Orthogonal Contrast</i> (OC) dan <i>Orthogonal Polynomials</i> (OP).. Rendemen RBE (<i>dry basis</i>)	62
18. Data Kadar Air <i>Reactivated Bleaching Earth</i> (RBE).....	64
19. Uji Kehomogenan Ragam (<i>Bartlett's Test</i>) Kadar Air RBE	64
20. Analisis Ragam Kadar Air RBE	65

21.	Uji <i>Orthogonal Contrast</i> (OC) dan <i>Orthogonal Polynomials</i> (OP).. Kadar Air RBE	66
22.	Data pH <i>Reactivated Bleaching Earth</i> (RBE)	67
23.	Uji Kehomogenan Ragam (<i>Bartlett's Test</i>) pH RBE	67
24.	Analisis Ragam pH RBE	68
25.	Uji <i>Orthogonal Contrast</i> (OC) dan <i>Orthogonal Polynomials</i> (OP).. pH RBE.....	69
26.	Data Efisiensi Pemucatan Warna <i>Crude Palm Oil</i> (CPO).....	70
27.	Uji Kehomogenan Ragam (<i>Bartlett's Test</i>) Efisiensi Pemucatan..... Warna CPO	70
28.	Analisis Ragam Efisiensi Pemucatan Warna CPO	71
29.	Uji <i>Orthogonal Contrast</i> (OC) dan <i>Orthogonal Polynomials</i> (OP).. Efisiensi Pemucatan Warna CPO	72
30.	Data Karakterisasi Awal <i>Crude Palm Oil</i> (CPO) dan <i>Deoiled</i> <i>Bleaching Earth</i> (DBE)	73
31.	Data Kadar Air <i>Bleached Palm Oil</i> (BPO).....	73
32.	Uji Kehomogenan Ragam (<i>Bartlett's Test</i>) Kadar Air BPO	73
33.	Analisis Ragam Kadar Air BPO	74
34.	Uji <i>Orthogonal Contrast</i> (OC) dan <i>Orthogonal Polynomials</i> (OP).. Kadar Air BPO	75
35.	Data Kadar Asam Lemak Bebas <i>Bleached Palm Oil</i> (BPO).....	77
36.	Uji Kehomogenan Ragam (<i>Bartlett's Test</i>) Kadar Asam Lemak..... Bebas BPO.....	77
37.	Analisis Ragam Kadar Asam Lemak Bebas BPO	78
38.	Uji <i>Orthogonal Contrast</i> (OC) dan <i>Orthogonal Polynomials</i> (OP).. Kadar Asam Lemak Bebas BPO.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
1.	Diagram alir proses reaktivasi <i>Deoiled Bleaching Earth</i> (DBE)..	19
2.	Diagram alir proses <i>bleaching</i> CPO menggunakan RBE.	20
3.	Grafik hasil uji <i>Orthogonal Polynomials</i> (OP) rendemen RBE (<i>wet basis</i>).	26
4.	Grafik hasil uji <i>Orthogonal Polynomials</i> (OP) pH RBE.	30
5.	Grafik hasil uji <i>Orthogonal Polynomials</i> (OP) efisiensi..... pemucatan warna CPO.....	33
6.	Grafik hasil uji <i>Orthogonal Polynomials</i> (OP) rendemen RBE (<i>dry basis</i>).....	63
7.	Grafik hasil uji <i>Orthogonal Polynomials</i> (OP) kadar air BPO.....	76
8.	Grafik hasil uji <i>Orthogonal Polynomials</i> (OP) kadar asam..... lemak bebas BPO.....	80
9.	<i>Deoiled Bleaching Earth</i> (DBE).....	81
10.	Proses kalsinasi.	81
11.	Proses aktivasi DBE.....	81
12.	Proses penyaringan sampel.	81
13.	<i>Reactivated Bleaching Earth</i> (RBE).....	81
14.	Analisis kadar air RBE.....	82
15.	Analisis pH RBE.....	82
16.	Analisis kadar air <i>Bleached Palm Oil</i> (BPO).	82
17.	Penimbangan RBE (analisis rendemen).....	82
18.	Analisis asam lemak bebas BPO.....	82
19.	Proses <i>bleaching</i> CPO (menghasilkan sampel BPO).....	83
20.	Pengukuran absorbansi warna BPO.....	83
21.	<i>Bleached Palm Oil</i> (menggunakan RBE yang diaktivasi HCl)	83

22.	<i>Bleached Palm Oil</i> (menggunakan RBE yang diaktivasi HNO ₃).	83
23.	<i>Bleached Palm Oil</i> (menggunakan RBE yang diaktivasi H ₂ SO ₄).....	83

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Indonesia termasuk negara agraris yang perkembangannya didukung oleh salah satu sektor yaitu sektor pertanian. Salah satu subsektor pertanian tersebut yaitu perkebunan. Perkebunan memiliki peranan yang sangat besar dalam penyedia lapangan pekerjaan, ekspor, hingga perkembangan ekonomi. Usaha perkebunan telah maju dengan pesat, seperti komoditas sawit, karet, kakao, kopi, teh, maupun komoditas lainnya dan telah menjadi andalan ekspor Indonesia di pasaran dunia. Indonesia sebagai negara dengan sumber daya alam yang sangat besar dibandingkan negara lain menjadikan Indonesia sebagai sentra penghasil komoditas perkebunan, terutama pada komoditas kelapa sawit. Indonesia menjadi negara pengekspor *Crude Palm Oil* (CPO) terbesar di dunia. Hal-hal yang dapat menunjang ekspor CPO seperti peningkatan mutu CPO yang menembus pasaran dunia, peningkatan produksi, serta kebijakan pemerintah untuk mendukung di seluruh sektor pertanian (Alatas, 2015).

Pada tahun 2022 ekspor CPO mencapai 25,6 juta ton. Pada tahun 2021, produksi CPO di Indonesia mencapai 45 juta ton dari total lahan sawit seluas 14,6 Ha (BPS, 2021). Sedangkan untuk total konsumsi nasional pada tahun 2022 mencapai 20,9 juta ton dan melebihi dari tahun 2021 sebesar 18,4 juta ton (GAPKI, 2023). Indonesia sebagai salah satu negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia dan sudah banyak digunakan pada berbagai industri, baik untuk industri pangan maupun industri non pangan. Salah satu contoh penggunaannya yaitu pada produk minyak goreng. CPO adalah minyak sawit kasar yang berwarna merah jingga dikarenakan kandungan karoten alami yang tinggi (Ketaren, 1986). CPO

juga mengandung getah, sedikit air, dan bahan-bahan pengotor maupun flavor yang tidak diinginkan (Mahmud, 2019).

CPO sebelum diolah menjadi berbagai produk olahan minyak dan lemak serta meningkatkan mutu, perlu dilakukan proses pemurnian/*refinery* untuk menghilangkan sisa air, getah, serta bahan pengotor seperti fosfolipid, logam, dan produk teroksidasi. Proses pemurnian juga menurunkan warna minyak dari warna merah jingga menjadi kuning pucat sesuai standar (Muslich *et al.*, 2020). Pemurnian CPO terdapat beberapa tahapan yaitu tahap penghilangan gum (*degumming*), tahap penghilangan asam lemak bebas (netralisasi), tahap pemucatan warna (*bleaching*), serta tahap penghilangan bau (deodorisasi). Proses pemurnian CPO tersebut pasti akan menghasilkan limbah (Ketaren, 1986).

Pada proses pemurnian CPO terdapat salah satu tahapan proses yang paling banyak menghasilkan limbah, yaitu tahap *bleaching* atau pemucatan yang menggunakan tanah pemucat atau biasa disebut dengan *Bleaching Earth*. Pemucatan CPO menggunakan *Bleaching Earth* dengan kadar antara 0,5-2,0% dari massa CPO yang digunakan (Young, 1987 dalam Gunstone, 1987). *Spent Bleaching Earth* (SBE) sebagai limbah dari proses pemucatan CPO dengan kandungan residu minyak sebesar 20-40%. Residu minyak tersebut dapat diambil dan diaplikasikan untuk berbagai macam industri dalam mengurangi biaya pemrosesan minyak (Loh *et al.*, 2013). SBE yang hanya dibuang begitu saja tanpa dilakukan penanganan dapat menyebabkan kebakaran dan polusi yang dikarenakan residu minyak tersebut hingga emisi gas rumah kaca (Park *et al.*, 2004). SBE yang sudah diekstraksi kandungan residu minyaknya akan menghasilkan *Recovered Oil* (R-Oil) dan *Deoiled Bleaching Earth* (DBE). DBE tanpa adanya penanganan menyebabkan hanya dibuang ke lahan (*landfill*). Banyak upaya yang sudah dilakukan dalam mengoptimalkan SBE maupun DBE, yaitu salah satunya dengan dilakukan regenerasi sebagai sebuah adsorben (Loh *et al.*, 2013).

DBE yang merupakan turunan dari SBE yang banyak dibuang ke lahan (*landfill*) dapat dioptimalkan dengan melalui proses reaktivasi untuk memulihkan kemampuan penyerapannya sehingga dapat digunakan kembali sebagai adsorben untuk proses *bleaching* CPO. Hal ini diharapkan dapat mengurangi penggunaan *Bleaching Earth* pada proses pemucatan di industri minyak goreng (Suryani *et al.*, 2015). Proses aktivasi menggunakan asam menjadi salah satu cara untuk dapat menghasilkan kemampuan adsorpsi yang lebih tinggi pada DBE yang dikarenakan luas permukaan adsorben menjadi lebih besar. Proses aktivasi menggunakan asam juga dipengaruhi oleh jenis asam, konsentrasi asam, dan temperatur yang digunakan (Komadel, 2003). Telah banyak penelitian yang menggunakan asam untuk mengaktivasi SBE. Namun, perlu diketahui jenis asam beserta konsentrasi yang tepat untuk aktivasi DBE menjadi *Reactivated Bleaching Earth* (RBE) yang dapat menyerap bahan-bahan pengotor dalam CPO dengan lebih optimal. Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan penelitian untuk menganalisis daya adsorpsi RBE yang diaktivasi dengan beberapa jenis asam terhadap CPO.

1.2 Tujuan

Tujuan pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui jenis asam terbaik pada proses reaktivasi *Deoiled Bleaching Earth* (DBE) yang menghasilkan *Reactivated Bleaching Earth* (RBE).
2. Mengetahui konsentrasi asam terbaik pada proses reaktivasi *Deoiled Bleaching Earth* (DBE) yang menghasilkan *Reactivated Bleaching Earth* (RBE).
3. Mengetahui kombinasi jenis dan konsentrasi asam terbaik pada proses reaktivasi *Deoiled Bleaching Earth* (DBE) yang menghasilkan *Reactivated Bleaching Earth* (RBE).

1.3 Kerangka Pemikiran

Bleaching Earth merupakan sejenis tanah liat yang berfungsi sebagai bahan pemucat yang komponen utamanya yaitu SiO_2 , Al_2O_3 , air terikat, serta ion kalsium, magnesium oksida, dan besi oksida. *Bleaching Earth* digunakan sebagai adsorben pada tahap *bleaching*/pemucatan untuk menyerap warna dan bahan pengotor pada CPO. Daya pemucat pada *Bleaching Earth* disebabkan oleh ion Al^{3+} pada permukaan partikel adsorben yang dapat mengadsorpsi zat warna. Adsorben seperti *Bleaching Earth* yang diaktivasi dengan asam mineral seperti HCl dan H_2SO_4 akan meningkatkan kapasitas adsorpsi karena asam mineral dapat melarutkan komponen yang menutupi pori-pori adsorben yaitu berupa *tar*, garam, Ca, dan Mg (Ketaren, 1986).

Bleaching Earth mengandung senyawa Aluminium Silikat dan bentonit sebagai bahan baku pembuatannya. SBE sebagai limbah yang dihasilkan dari proses pemucatan CPO masih mengandung residu minyak sebesar 20-40%. SBE yang sudah diekstraksi residu minyak tersebut disebut sebagai DBE. Limbah DBE sebagai turunan dari SBE dengan kandungan residu minyak dan zat pengotor kurang dari 3% banyak berakhir hanya dibuang ke lahan (*landfill*). SBE dan DBE dapat dioptimalkan dengan dilakukan aktivasi untuk memulihkan kemampuan penyerapannya (Loh *et al.*, 2013). Menurut Christidis *et al.* (1997), proses aktivasi menggunakan asam dapat meningkatkan luas permukaan dan memodifikasi struktur dari bentonit.

SBE dan DBE yang diaktivasi dengan asam dapat membantu mengurangi penggunaan *Bleaching Earth* alami pada proses pemurnian CPO dan dapat mengurangi limbah pada lingkungan. Proses aktivasi SBE dengan asam dapat menghasilkan kemampuan adsorpsi yang lebih tinggi karena luas permukaan adsorben menjadi lebih besar. Proses aktivasi menggunakan asam juga dapat dipengaruhi oleh jenis asam, konsentrasi asam, dan temperatur yang digunakan (Komadel, 2003). Bahan pengotor tidak semua larut pada proses aktivasi menggunakan asam. Proses aktivasi SBE ini tidak cukup hanya dengan proses

kimia yaitu menggunakan larutan asam. Maka tahap aktivasi ini diawali dengan proses kalsinasi sebagai aktivasi fisik agar komponen pengotor yang tidak sepenuhnya larut dengan asam dapat hilang dengan proses kalsinasi (Saputra *et al.*, 2018). Proses kalsinasi juga bertujuan untuk menghilangkan air yang diserap sebagai kristal atau konstitusi, menghilangkan CO₂, SO₂, dan zat volatil lainnya, serta untuk oksidasi zat sepenuhnya atau sebagian (Arninda *et al.*, 2022).

Suryani *et al.* (2015) melakukan penelitian mengenai reaktivasi SBE dari hasil samping produksi biosolar untuk menghasilkan RBE yang dapat digunakan untuk pemucatan CPO. Penelitian tersebut menunjukkan hasil bahwa penambahan HNO₃ 5% dengan rasio (SBE:asam) yaitu 1:2 merupakan kombinasi terbaik untuk reaktivasi. Kombinasi tersebut digunakan pada proses reaktivasi SBE berulang sebanyak lima kali ulangan. Pengaruh pemucatan CPO dengan RBE tersebut memperoleh bilangan asam sebesar 0,47-1,96 mg KOH/g dan bilangan iodium sebesar 53,82-56 g Iod/100 g. Selain itu, RBE dari hasil reaktivasi lima kali ulangan mendapat nilai efisiensi pemucatan CPO berkisar antara 95,3– 98,7%.

Selanjutnya penelitian yang serupa dilakukan oleh Boukerroui and Ouali (2000) mengenai regenerasi SBE dari limbah hasil pemurnian *edible oil*. Penelitian tersebut menunjukkan SBE dengan perlakuan pemanasan 500°C selama 1 jam dan penambahan HCl 1 M memberikan hasil terbaik. SBE dengan perlakuan terbaik tersebut menunjukkan efisiensi *bleaching* yang lebih besar dibandingkan *Bleaching Earth* alami, yaitu sebesar 95% pada panjang gelombang 460 nm. SBE dengan perlakuan terbaik menghasilkan bilangan saponifikasi sebesar 206 mg KOH/g dan bilangan iodium sebesar 57 g Iod/100 g. Penelitian tersebut menunjukkan regenerasi SBE dengan pemanasan dan penambahan larutan asam memberikan hasil adsorben yang lebih baik untuk *bleaching* dibandingkan menggunakan *Bleaching Earth* alami. Boukerroui *et al.* (2017) juga melakukan regenerasi SBE agar dapat digunakan kembali pada proses *bleaching* minyak kedelai. SBE dengan perlakuan pemanasan oven 350°C dan penambahan asam HCl 1 M memberikan hasil terbaik, yaitu efisiensi pemucatan sebesar 69,01%

pada panjang gelombang 483 nm. Perlakuan pemanasan oven tidak memodifikasi struktur SBE tetapi perlakuan asam memperbaiki struktur pori-pori SBE.

Pranowo *et al.* (2020) melakukan regenerasi SBE dengan perlakuan asam HNO₃ 0,4 M, 0,7 M, dan 1 M serta pada pemanasan yang beragam yaitu 100°C, 300°C, dan 500°C. Kondisi optimum ditunjukkan pada perlakuan pemberian asam HNO₃ 0,75 M pada pemanasan 430,8°C. Hasil analisis terhadap *Regenerated Bleaching Earth* dengan perlakuan tersebut pada efisiensi *bleaching* sebesar 94,68%. Hasil efisiensi *bleaching* menunjukkan hasil yang tidak berbeda jauh dengan penggunaan *Bleaching Earth* alami. Selain itu terdapat penelitian Mahmudha dan Nugraha (2016) tentang penggunaan bentonit yang teraktivasi asam pada minyak sereh wangi yang digunakan sebagai katalis yang mengubah senyawa sitronella menjadi isopulegol. Bentonit yang diaktivasi dengan asam dan pemanasan selama 100°C-110°C menunjukkan hasil peningkatan senyawa isopulegol dari 12,6% menjadi 30,1% pada bentonit teraktivasi H₂SO₄ 0,6 M, 32,7% pada bentonit teraktivasi HCl 0,5 M, dan 14,2% pada bentonit teraktivasi HNO₃ 0,1 M. Peningkatan tertinggi senyawa isopulegol pada minyak sereh wangi ditunjukkan pada bentonit dengan aktivasi asam HCl 0,5 M.

Penelitian mengenai reaktivasi SBE juga dilakukan oleh Fajrudin *et al.* (2016). Penelitian diawali dengan reaktivasi SBE dari limbah pemucatan CPO dengan penambahan variasi larutan asam HNO₃ dan temperatur kalsinasi. RBE tersebut dilakukan uji penyerapan menggunakan larutan zat warna pakaian untuk melihat kapasitas adsorpsinya. Hasil terbaik menunjukkan pada perlakuan pemberian HNO₃ dengan konsentrasi 0,7 M dan kalsinasi 300°C menghasilkan kapasitas adsorpsi sebesar 45,6 g adsorbat/g RBE. Pada penelitian ini juga menunjukkan bahwa peningkatan suhu kalsinasi 400°C dan 500°C menyebabkan penurunan kapasitas adsorpsi. Namun, perlakuan pemberian asam nitrat dan suhu kalsinasi tidak menyebabkan struktur dari SBE yang teraktivasi rusak. Regenerasi SBE pada penelitian Julaika *et al.* (2017) menunjukkan bahwa perlakuan terbaik yaitu aktivasi dengan HCl 6% dan temperatur 130°C yang menghasilkan *bleaching power* pada *Coconut Crude Oil* (CCO) sebesar 67,5%.

Selain menggunakan SBE, terdapat juga beberapa penelitian yang menggunakan DBE untuk diaktivasi menjadi RBE. Pada penelitian yang dilakukan oleh Helbianurramdan *et al.* (2017), DBE diaktivasi menggunakan H_2SO_4 1 N dengan perbandingan 1:10 (b/v) yang kemudian diberi perlakuan iradiasi gelombang ultrasonik dengan waktu aktivasi yang berbeda-beda. Hasil terbaik menunjukkan pada perlakuan aktivasi DBE dengan waktu aktivasi 60 menit menghasilkan luas permukaan yang paling besar yaitu sekitar $36,3375 \text{ m}^2/\text{g}$ dan kapasitas adsorpsi optimum ion logam Pb^{2+} yaitu sebesar $0,9209 \text{ mg ion Pb}^{2+}/\text{g DBE}$ teraktivasi. Pada penelitian Saputra *et al.* (2018), menggunakan SBE yang sudah diekstraksi minyaknya dan diberi nama DSBE (*Deoiled Spent Bleaching Earth*). DSBE diaktivasi dengan larutan H_2SO_4 1 N yang kemudian dilakukan impregnasi dengan larutan KOH 40% dan 60% (b/b). DSBE yang sudah melewati perlakuan tersebut menunjukkan adanya perubahan morfologi dan memiliki luas permukaan sekitar $23,8 \text{ m}^2/\text{g}$.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu, maka aktivasi DBE secara kimia dan fisika adalah kombinasi yang dapat digunakan untuk mendapatkan RBE dengan kemampuan adsorpsi yang lebih meningkat atau seperti *Bleaching Earth* alami. Proses aktivasi menggunakan aktivator asam dapat memodifikasi struktur DBE, sehingga perlu diketahui jenis asam dan konsentrasi yang tepat. Selain itu, akan dilakukan juga analisis daya adsorpsi RBE sebagai adsorben yang diaplikasikan dalam proses pemucatan *Crude Palm Oil* (CPO). Oleh sebab itu, penelitian ini mengaktivasi DBE secara kimia dan fisika dengan jenis asam yang digunakan yaitu asam klorida (HCl), asam nitrat (HNO_3), dan asam sulfat (H_2SO_4) serta konsentrasi asam yang akan diteliti yaitu konsentrasi 4%, 6%, dan 8%.

1.4 Hipotesis

Adapun hipotesis yang diajukan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Terdapat jenis asam terbaik pada proses reaktivasi *Deoiled Bleaching Earth* (DBE) menjadi *Reactivated Bleaching Earth* (RBE).

2. Terdapat konsentrasi asam terbaik pada proses reaktivasi *Deoiled Bleaching Earth* (DBE) menjadi *Reactivated Bleaching Earth* (RBE).
3. Terdapat kombinasi jenis asam dan konsentrasi asam terbaik pada proses reaktivasi *Deoiled Bleaching Earth* (DBE) menjadi *Reactivated Bleaching Earth* (RBE).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kelapa Sawit

Indonesia menjadi salah satu negara dengan sektor perkebunan yang besar karena memiliki iklim tropis. Salah satu tanaman perkebunan yang dapat tumbuh dengan baik pada iklim tropis ini yaitu kelapa sawit. Kelapa sawit sebagai salah satu tanaman penghasil minyak. Kepala sawit (*oil palm*) merupakan tanaman monokotil, tergolong dalam tanaman famili Arecaceae dan genus *Elaeis*. Genus *Elaeis* memiliki dua spesies yaitu *Elaeis guineensis* Jacq. yang berasal dari daerah tropis Afrika Barat dan *Elaeis oleifera* berasal dari Amerika Selatan dan Amerika Tengah. *Elaeis guineensis* Jacq. menjadi spesies komersial yang paling banyak ditanam di dunia (Perera, 2014 dalam Pratap dan Kumar, 2014).

Kelapa sawit merupakan buah berbiji yang diproduksi dalam jumlah banyak dengan tandan yang rapat (Montoya *et al.*, 2013). Satu tandan sawit terdapat 46% buah yang berukuran 2–3 cm dan berat 3–30 g. Buah sawit pada bagian luar berwarna ungu hitam saat masih muda yang kemudian akan berubah menjadi kuning merah saat matang (Muchtadi, 1992). Warna *mesocarp* saat buah masih muda berwarna putih kuning dan setelah buah matang berwarna jingga (Ketaren, 1986). Kelapa sawit terdiri dari beberapa bagian. *Exocarp* yaitu bagian terluar dari buah sawit atau kulit buah. *Mesocarp* yaitu bagian yang terdapat minyak sawit mentah atau CPO merah, yang minyak ini biasa digunakan untuk bahan baku berbagai proses industri dan dikonsumsi manusia. *Endocarp* adalah bagian yang lebih dalam lagi dari *mesocarp*, yaitu berupa cangkang yang membungkus inti sawit atau kernel (*endosperm*). Berasal dari kernel (*endosperm*) akan diperoleh

minyak inti sawit (*palm kernel oil*) yang banyak digunakan pada berbagai industri (Prada *et al.*, 2011).

Terdapat tiga jenis sawit pada spesies *Elaeis guineensis* Jacq. yang dibedakan berdasarkan ketebalan cangkang kelapa sawit, yaitu varietas Dura, Pisifera, dan Tenera. Tenera merupakan varietas dari persilangan antara Dura dengan Pisifera. Tenera menjadi varietas yang paling banyak ditanam secara luas di perkebunan seluruh dunia. Varietas Tenera memiliki *endocarp* atau cangkang dengan ketebalan 0,5–2 mm dan *mesocarp* berserat yang tebal. Bagian *mesocarp* pada varietas ini berkisar antara 55–96% (Perera, 2014 dalam Pratap dan Kumar, 2014).

2.2 Crude Palm Oil (CPO)

Kelapa sawit menghasilkan dua jenis minyak yaitu minyak sawit mentah atau CPO yang berasal dari bagian *mesocarp* kelapa sawit dan minyak inti sawit (*Palm Kernel Oil*) yang berasal dari kernel kelapa sawit (Ketaren, 1986). *Mesocarp* kelapa sawit dapat dihitung hingga 60% dari total komposisi buah kelapa sawit. Pada *mesocarp* terdapat 39% minyak, 41% air, dan 20% serat dari keseluruhan total komposisi *mesocarp*. CPO didapatkan dari bagian *mesocarp* setelah kelapa sawit melewati proses sterilisasi, *stripping*, ekstraksi, dan purifikasi (Morad *et al.*, 2006).

CPO terdiri dari sekitar 50% asam lemak jenuh dan 50% asam lemak tak jenuh, serta trigliserida. CPO mengandung asam lemak jenuh berupa asam palmitat, asam stearat, dan asam miristat serta mengandung asam lemak tak jenuh berupa asam oleat dan asam linoleat. Komposisi trigliserida dari CPO yaitu 7,95% *trisaturated*; 46,43% *disaturated*; 34,1% *monosaturated*; dan 5,12% *triunsaturated* (Man *et al.*, 1999). Selain itu, CPO juga memiliki kandungan karetenoid yang tinggi sebagai sumber provitamin A. Warna merah CPO yang secara alami adalah berasal dari kandungan karotenoid (Perdani *et al.*, 2016). Salah satu zat yang terkandung dalam karotenoid yang cukup tinggi dan

merupakan sumber vitamin A yaitu adalah β -karoten (Aini *et al.*, 2016). CPO mengandung β -karoten hingga 400–1000 ppm dan mengandung vitamin E juga sebanyak 800–1000 ppm (Perdani *et al.*, 2016).

Indonesia termasuk salah satu negara penghasil CPO terbesar di dunia. CPO telah banyak digunakan pada berbagai industri, baik untuk industri pangan maupun industri non pangan (Ketaren, 1986). Pada tahun 2022 ekspor CPO di Indonesia dapat mencapai sekitar 25,6 juta ton. Pada tahun 2021, produksi CPO di Indonesia mencapai 45 juta ton dari total lahan sawit seluas 14,6 Ha (BPS, 2021). Berikut terdapat syarat mutu CPO yang diatur dalam SNI 01-2901-2006 dalam Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Syarat Mutu Minyak Kelapa Sawit Mentah

No.	Kriteria Uji	Satuan	Persyaratan Mutu
1	Warna	-	Jingga kemerah-merahan
2	Kadar air dan kotoran	%	0,5 maks
3	Asam lemak bebas (sebagai asam palmitat)	%	5 maks
4	Bilangan Yodium	g Yodium/100 g	50 – 55

Sumber: (SNI 01-2901-2006)

CPO diperoleh dengan kondisi masih mengandung komponen pengotor. CPO sebelum diolah menjadi berbagai produk olahan minyak dan lemak serta untuk meningkatkan mutu, maka perlu dilakukan proses pemurnian/*refinery*. Proses pemurnian bertujuan untuk mengubah CPO agar memiliki mutu yang dapat diterima dengan menghilangkan sisa air, getah, dan bahan-bahan pengotor seperti fosfolipid, logam, dan produk teroksidasi, serta menurunkan warna minyak dari warna merah jingga menjadi kuning pucat sesuai standar (Muslich *et al.*, 2020). Pada proses pemurnian/*refinery* CPO terdapat beberapa tahap-tahap yaitu tahap penghilangan gum (*degumming*), tahap penghilangan asam lemak bebas (netralisasi), tahap pemucatan warna (*bleaching*), serta tahap penghilangan bau (deodorisasi) (Ketaren, 1986). Pemurnian/*refinery* akan mengubah CPO menjadi

minyak yang disebut *Refined, Bleached, and Deodorized Palm Oil* (RBDPO). RBDPO adalah produk turunan pertama dari pengolahan CPO (Mahmud, 2019).

2.3 *Bleaching Earth*

Pada proses pemurnian CPO terdapat salah satu tahap yang menggunakan *Bleaching Earth* yaitu tahap *bleaching*. *Bleaching Earth* selain dapat menurunkan zat warna, dapat juga menghilangkan komponen pengotor seperti logam, senyawa oksidasi, dan senyawa fosfor. *Bleaching Earth* dapat menyerap komponen pengotor tanpa mengubah struktur kimia dari CPO (Bachmann *et al.*, 2020). *Bleaching Earth* yang digunakan pada tahap pemucatan yaitu berkisar antara 0,5–2,0% dari massa CPO yang digunakan (Young, 1987 dalam Gunstone, 1987). *Bleaching Earth* dapat berfungsi sebagai bahan pemucat yang komponen utamanya yaitu SiO₂, Al₂O₃, air terikat, serta ion kalsium, magnesium oksida, dan besi oksida. *Bleaching Earth* dapat sebagai adsorben pada tahap *bleaching*. Daya pemucat *Bleaching Earth* disebabkan oleh ion Al³⁺ pada permukaan partikel (Ketaren, 1986).

Bleaching Earth berbentuk bubuk halus dengan komponen utama SiO₂ mencapai sekitar 57% dan berbahan dasar *montmorillonite* dan bentonit. *Bleaching Earth* dibuat dengan mengolah *montmorillonite clay* (Al₂O₃.4SiO₂.nH₂O) dengan asam mineral serta alumunium, besi, dan magnesium (Loh *et al.*, 2013). Bentonit merupakan sejenis lempung yang mengandung *montmorillonite* sekitar 85%. Bentonit yang dapat digunakan sebagai bahan *Bleaching Earth* adalah *non swelling bentonite*. Bentonit ini memiliki daya tukar ion yang cukup besar serta mengandung kalsium dan magnesium yang banyak (Supeno dan Siburian, 2017). Pada proses *bleaching*, seperti pada penghilangan pigmen warna secara fisik dapat diserap pada permukaan *Bleaching Earth* melalui gaya tarik *Van der Waals*. Ikatan kimia menahan konstituen lain ke permukaan *Bleaching Earth* dan beberapa kotoran akan tereliminasi di pori-pori *Bleaching Earth* (Abdelbasir *et al.*, 2023). Berikut terdapat syarat mutu bentonit yang digunakan untuk pemucat minyak nabati berdasarkan SNI 13-6336-2000 yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Syarat Mutu Bentonit Untuk Pemucat Minyak Nabati

No.	Kriteria Uji	Satuan	Persyaratan Mutu
1	Berat jenis nyata	g/ml	2,0 – 2,7
2	pH suspense (10% padatan)	-	6,5 – 8,5
3	Ukuran butir		
	- lolos 200 mesh	%	min 98
	- tertahan 200 mesh	%	maks 2,5
4	Kadar air	%	maks 15
5	Efisiensi memucatkan warna	%	min 40

Sumber: (SNI 13-6336-2000)

2.4 *Spent Bleaching Earth (SBE)*

SBE sebagai limbah padat dari industri *refinery*/pemurnian CPO pada tahapan proses *bleaching*. SBE dapat diolah menjadi bahan bakar alternatif, diubah menjadi kompos, digunakan pada industri semen dan batu bata, atau umumnya langsung dibuang ke lahan (*landfill*) setelah diproses dengan air untuk mengurangi sifat mudah terbakarnya (Krisyanti dan Sukandar, 2011). SBE sebagai limbah banyak hanya dibuang begitu saja tanpa penanganan dapat menyebabkan kebakaran dan polusi yang dikarenakan kandungan residu minyak di dalamnya (Park *et al.*, 2004). Pembakaran spontan dapat terjadi pada pembuangan SBE yang diakibatkan oleh oksidasi asam lemak tak jenuh pada kandungan residu minyak dalam SBE (Muslich *et al.*, 2020).

SBE sebagai limbah dari hasil pemucatan CPO merupakan campuran komponen antara *Bleaching Earth* dan senyawa organik yang berasal dari CPO tersebut (Nurulita *et al.*, 2020). Pada permukaan SBE terdapat bahan pengotor seperti fosfatida, gum, logam, asam lemak, dan zat warna (Pranowo *et al.*, 2020). Komposisi kimia SBE berupa SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , MnO_2 , TiO_2 , dan P_2O_5 . Kandungan kimia yang paling banyak ditemukan pada SBE yaitu SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , dan P_2O_5 . SBE juga mengandung residu minyak sebesar 20–40%. SBE yang melewati proses ekstraksi untuk diambil kandungan residu minyaknya akan menghasilkan limbah DBE. Limbah DBE dapat dimanfaatkan seperti SBE daripada hanya dibuang ke lahan (*landfill*) yang dapat menyebabkan

pencemaran. SBE dan DBE dapat dioptimalkan dengan proses aktivasi untuk memulihkan kemampuan penyerapannya (Loh *et al.*, 2013).

2.5 Reaktivasi *Spent Bleaching Earth* (SBE)

DBE yang merupakan turunan dari limbah SBE dan banyak dibuang ke *landfill* dapat dioptimalkan kegunaannya. Telah banyak upaya yang dilakukan untuk mengoptimalkan SBE dan DBE, salah satunya dengan proses regenerasi DBE menjadi sebuah adsorben dan dapat digunakan kembali untuk proses *bleaching* CPO (Loh *et al.*, 2013). Regenerasi atau reaktivasi DBE yaitu proses yang bertujuan untuk memulihkan kemampuan penyerapannya mendekati *Bleaching Earth* alami. Zat-zat yang diadsorpsi oleh bentonit bersifat reversibel, maka relatif mudah untuk dilepaskan dari permukaan adsorben melalui proses regenerasi (Fajrudin *et al.*, 2016).

Menurut Hussin *et al.* (2011), aktivasi merupakan modifikasi secara kimia atau fisik pada jenis mineral lempung tertentu yang dapat meningkatkan kemampuan penyerapannya. Modifikasi mineral lempung ini dikategorikan menjadi tiga yaitu modifikasi fisik, modifikasi kimia, dan perlakuan *pillaring*. Modifikasi fisik yaitu modifikasi yang merubah komposisi kimia dan struktur kristal dengan suhu tinggi, modifikasi kimia yaitu perubahan struktur dan permukaan adsorben, dan perlakuan *pillaring* yaitu perlakuan yang menciptakan ruang atau pilar diantara lapisan mineral lempung untuk *meningkatkan* adsorpsi ion spesifik (Hussin *et al.*, 2011). Menurut Komadel (2003), aktivasi bentonit dengan asam dapat menghasilkan bentonit dengan kemampuan adsorpsi yang lebih tinggi dengan permukaan yang lebih besar. Ada beragam jenis asam yang dapat digunakan untuk aktivasi asam seperti asam sulfat, asam klorida, asam nitrat, dan asam asetat (Hussin *et al.*, 2011).

Bleaching Earth yang diaktivasi dengan asam mineral akan dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi karena asam mineral dapat melarutkan komponen yang menutupi pori-pori adsorben yaitu berupa *tar*, garam, Ca, dan Mg. Asam mineral

digunakan pada proses aktivasi akan melarutkan komponen Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO , dan MgO yang terdapat pada pori-pori adsorben. Pori-pori yang tertutup kotoran akan terbuka dan memperluas permukaan adsorben. Ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} akan diganti dengan ion H^+ dalam asam mineral. Sebagian ion H^+ akan ditukar oleh ion Al^{3+} yang telah larut dalam larutan asam (Ketaren, 1986). Proses aktivasi dengan memakai asam selain dapat meningkatkan luas permukaan, dapat juga memodifikasi struktur dari bentonit (Christidis *et al.*, 1997).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Analisis Kimia dan Biokimia Hasil Pertanian dan Laboratorium Pengolahan Limbah Agroindustri Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, pada bulan September 2023 sampai dengan Juni 2024.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanur, oven, spektrofotometer UV-Vis, kuvet, *magnetic stirrer*, timbangan analitik, ayakan, cawan porselen, *hot plate*, desikator, pH meter, batang pengaduk, termometer, gelas beaker, erlenmayer, labu ukur, gelas ukur, pipet volumetrik, pipet ukur, pipet tetes, buret, statif, dan corong gelas.

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Deoiled Bleaching Earth* (DBE). Bahan pendukung yang digunakan yaitu *Crude Palm Oil* (CPO) dari PTPN VII Unit Bekri Lampung Tengah, asam klorida (HCl), asam nitrat (HNO₃), asam sulfat (H₂SO₄), aquades, NaOH, indikator *phenolphthalein* 1%, etanol 95%, aluminium foil, dan kertas saring.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) yang disusun secara faktorial dengan 2 faktor yaitu faktor jenis

asam dan faktor konsentrasi asam. Faktor pertama adalah jenis asam dengan 3 taraf yaitu HCl (M1), HNO₃ (M2), dan H₂SO₄ (M3). Faktor kedua adalah konsentrasi asam dengan 3 taraf yaitu konsentrasi 4% (S1), konsentrasi 6% (S2), dan konsentrasi 8% (S3). Maka terdapat 9 perlakuan dengan 3 kali pengulangan. Sehingga total percobaan yang dilakukan sebanyak 27 percobaan. Kombinasi perlakuan disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Kombinasi Perlakuan

Kode Sampel	Keterangan
M1S1	M1= asam klorida (HCl); S1= 4%
M1S2	M1= asam klorida (HCl); S2= 6%
M1S3	M1= asam klorida (HCl); S3= 8%
M2S1	M2= asam nitrat (HNO ₃); S1= 4%
M2S2	M2= asam nitrat (HNO ₃); S2= 6%
M2S3	M2= asam nitrat (HNO ₃); S3= 8%
M3S1	M3= asam sulfat (H ₂ SO ₄); S1= 4%
M3S2	M3= asam sulfat (H ₂ SO ₄); S2= 6%
M3S3	M3= asam sulfat (H ₂ SO ₄); S3= 8%

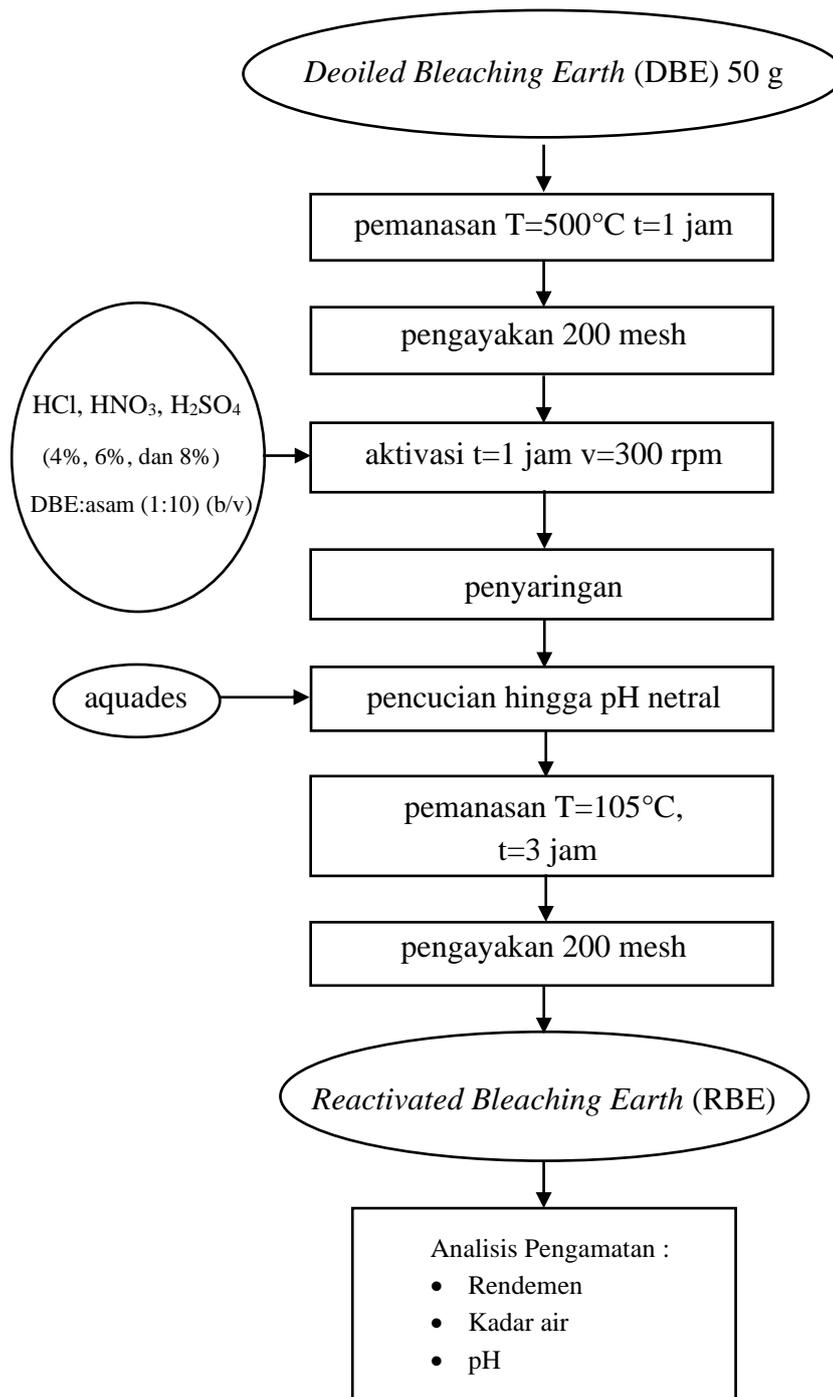
Data yang diperoleh akan dilakukan pengujian kesamaan ragam dengan uji *Bartlett's* dan kemenambahan data dengan uji *Tuckey*. Data dianalisis dengan analisis sidik ragam untuk mendapatkan penduga ragam galat dan uji signifikansi untuk mengetahui pengaruh antar perlakuan. Selanjutnya dilakukan uji lanjut perbandingan ortogonal yaitu uji *Orthogonal Contrast* (OC) dan uji *Orthogonal Polynomials* (OP).

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Proses Reaktivasi *Deoiled Bleaching Earth* (DBE)

Proses reaktivasi DBE yang dilakukan mengikuti prosedur penelitian Boukerroui and Ouali (2000) dan Fajrudin *et al.* (2016) yang dimodifikasi. Bahan yang digunakan yaitu *Deoiled Bleaching Earth* (DBE) yang merupakan turunan dari SBE. DBE sebanyak 50 g dikalsinasi pada suhu 500°C selama 1 jam dalam tanur.

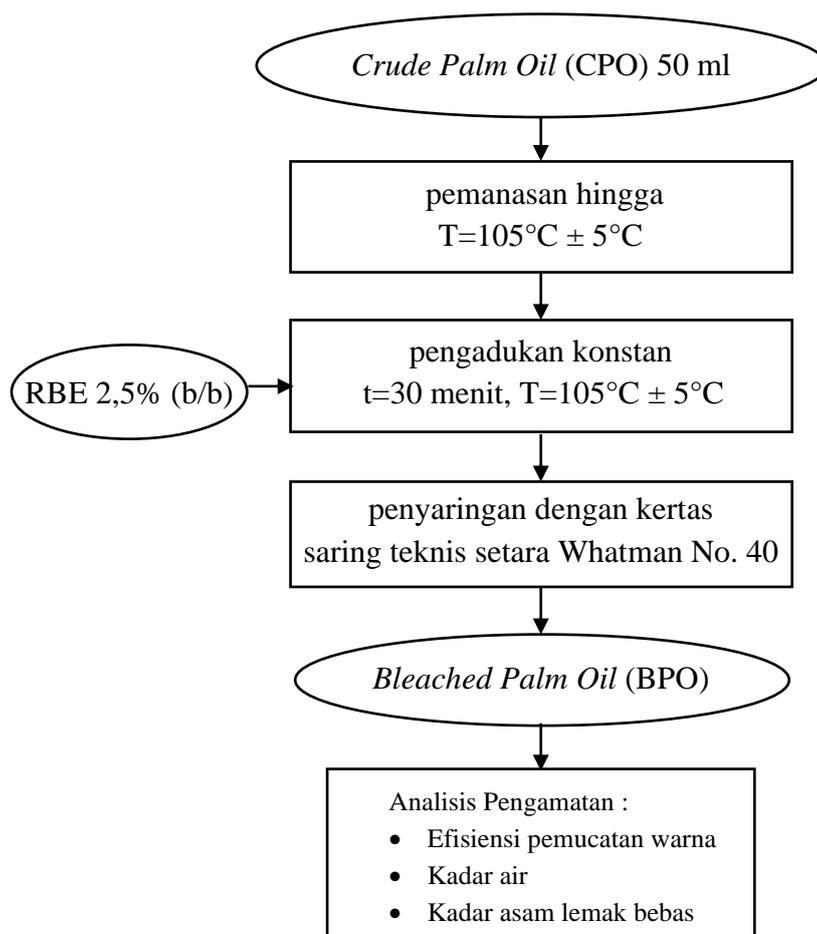
Setelah itu, DBE diayak pada ayakan ukuran 200 mesh. Selanjutnya DBE diaktivasi dalam variasi larutan asam (HCl, HNO₃, dan H₂SO₄) dengan variasi konsentrasi (4%, 6%, dan 8%) dan rasio DBE:larutan asam yaitu 1:10 (b/v) selama 1 jam pada suhu ruang dan kecepatan pengadukan *magnetic stirrer* sebesar 300 rpm. DBE teraktivasi disaring dengan kertas saring. Padatan DBE teraktivasi diambil dan dicuci dengan aquades hingga pH netral dan dipanaskan dengan oven pada suhu 105°C selama 3 jam. DBE teraktivasi diayak dengan ayakan 200 mesh agar ukuran seragam. Selanjutnya *Reactivated Bleaching Earth* (RBE) yang dihasilkan akan dilakukan pengamatan meliputi rendemen, kadar air, dan pH. RBE tersebut juga akan digunakan dalam proses *bleaching*/pemucatan *Crude Palm Oil* (CPO). Proses reaktivasi DBE disajikan dalam Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram alir proses reaktivasi *Deoiled Bleaching Earth* (DBE).
(Sumber: Boukerroui and Ouali (2000) dan Fajrudin *et al.* (2016) yang dimodifikasi)

3.4.2 Proses *Bleaching Crude Palm Oil (CPO)*

Proses *bleaching* CPO mengikuti prosedur pada SNI 13-6336-2000. CPO sebanyak 50 ml dalam gelas beaker dipanaskan hingga mencair sempurna dan mencapai suhu $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Selanjutnya CPO tersebut ditambahkan RBE sebanyak 2,5% dari total berat CPO yang digunakan, lalu diaduk terus menerus selama 30 menit dengan *magnetic stirrer* berkecepatan 300 rpm. Proses pengadukan dipertahankan pada suhu $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Setelah 30 menit, minyak disaring dengan kertas saring teknis setara kertas saring Whatman No. 40. Minyak yang dihasilkan tersebut dapat disebut dengan *Bleached Palm Oil (BPO)* dan akan dilakukan pengamatan. Proses *bleaching* CPO menggunakan RBE disajikan dalam Gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 2. Diagram alir proses *bleaching* CPO menggunakan RBE.
(Sumber: SNI 13-6336-2000)

3.5 Prosedur Pengamatan

3.5.1 Rendemen *Reactivated Bleaching Earth* (RBE)

Rendemen dihitung berdasarkan perbandingan berat *Reactivated Bleaching Earth* (RBE) dengan berat *Deoiled Bleaching Earth* (DBE) awal. Rendemen dihitung dalam basis berat basah (*wet basis*) dan basis berat kering (*dry basis*). Untuk menghitung rendemen RBE digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Rendemen (\% b/b)} = \frac{W_{\text{RBE}} (\text{berat basah})}{W_{\text{DBE}} (\text{berat basah})} \times 100\%$$

$$\text{Rendemen (\% b/k)} = \frac{W_{\text{RBE}} (\text{berat kering})}{W_{\text{DBE}} (\text{berat kering})} \times 100\%$$

Keterangan:

W_{RBE} = berat *Reactivated Bleaching Earth* (RBE) (g)

W_{DBE} = berat *Deoiled Bleaching Earth* (DBE) (g)

3.5.2 Uji Kadar Air *Reactivated Bleaching Earth* (RBE)

Penentuan kadar air RBE dilakukan berdasarkan SNI 13-6336-2000 Kadar air RBE diukur dengan metode pengeringan oven (thermogravimetri). Prinsip metode ini yaitu mengeringkan sampel dalam oven 105°C hingga bobot konstan dan selisih bobot awal dengan bobot akhir dihitung sebagai kadar air sampel tersebut. Cawan kosong dikeringkan dalam oven 105°C selama 1 jam. Cawan tersebut didinginkan dalam desikator selama 15 menit. Selanjutnya, cawan ditimbang sebagai berat cawan kosong. Sampel RBE ±5 g dalam cawan tersebut ditimbang dan dicatat beratnya, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 5 jam. Setelah itu, sampel didinginkan dalam desikator selama 15 menit, lalu ditimbang dan dicatat berat akhirnya. Kadar air dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar Air (\% b/b)} = \frac{B - C}{B - A} \times 100\%$$

Keterangan:

A = berat cawan kosong (g)

B = berat cawan dan sampel sebelum pengeringan (g)

C = berat cawan dan sampel sesudah pengeringan (g)

3.5.3 Analisis pH *Reactivated Bleaching Earth* (RBE)

Analisis pH RBE dilakukan berdasarkan SNI 13-6336-2000. RBE sebanyak 2 g dimasukkan ke dalam gelas beaker 100 ml. RBE tersebut ditambahkan aquades dengan pH $7 \pm 0,1$ sebanyak 20 ml. Suspensi diaduk hingga homogen selama 10 menit dan didiamkan selama 10 menit. Alat pH meter dikalibrasi dengan larutan standar pH. Selanjutnya suspensi RBE tersebut diukur dengan pH meter untuk mendapatkan pH dari RBE.

3.5.4 Efisiensi Pemucatan Warna *Crude Palm Oil* (CPO)

Uji efisiensi pemucatan warna *Crude Palm Oil* (CPO) yaitu pengujian pada RBE yang dihasilkan terhadap CPO melalui proses *bleaching*. Pengujian dapat dilakukan berdasarkan SNI 13-6336-2000. Efisiensi pemucatan warna dihitung untuk mengetahui persentase daya adsorpsi RBE terhadap kandungan warna dan pengotor dalam CPO. Minyak sebelum proses *bleaching* disebut *Crude Palm Oil* (CPO) dan minyak sesudah proses *bleaching* disebut *Bleached Palm Oil* (BPO). Minyak sebelum dan sesudah proses *bleaching* tersebut dipanaskan pada suhu 50°C selama 4 jam dengan *waterbath*. Lalu nilai warna minyak tersebut diukur dengan spektrofotometer panjang gelombang 470 nm. Rumus yang digunakan untuk menghitung efisiensi memucatkan warna yaitu sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi memucatkan warna} = \frac{A - B}{A} \times 100\%$$

Keterangan:

A = nilai warna CPO sebelum proses *bleaching*

B = nilai warna minyak sesudah proses *bleaching*

3.5.5 Uji Kadar Air *Bleached Palm Oil* (BPO)

Penentuan kadar air *Bleached Palm Oil* (BPO) dilakukan berdasarkan SNI 01-2901-2006 menggunakan metode oven. Kadar air minyak tersebut diukur dengan mengeringkan sampel dalam oven 105°C hingga bobot konstan dan selisih bobot awal dengan bobot akhir dihitung sebagai kadar air sampel tersebut. Cawan kosong dikeringkan dalam oven 105°C selama 1 jam. Cawan tersebut didinginkan dalam desikator selama 15 menit dan cawan ditimbang sebagai berat cawan kosong. Sampel minyak ±5 g dalam cawan tersebut ditimbang dan dicatat beratnya, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 3 jam. Setelah itu, sampel didinginkan dalam desikator selama 15 menit. Sampel ditimbang dan dicatat beratnya. Tahap pengeringan dan penimbangan diulangi hingga bobot sampel konstan. Kadar air dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar Air (\% b/b)} = \frac{B - C}{B - A} \times 100\%$$

Keterangan:

A = berat cawan kosong (g)

B = berat cawan dan sampel sebelum pengeringan (g)

C = berat cawan dan sampel sesudah pengeringan (g)

3.5.6 Uji Kadar Asam Lemak Bebas *Bleached Palm Oil* (BPO)

Penentuan kadar asam lemak bebas pada *Bleached Palm Oil* (BPO) dilakukan berdasarkan SNI 01-2901-2006 dengan proses titrimetri. Kadar asam lemak bebas dihitung sebagai persentase berat dari asam lemak bebas yang terkandung dalam sampel BPO. Sebanyak 5 g sampel minyak dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 ml, ditambahkan 50 ml etanol 95% yang sudah dinetralkan, lalu dipanaskan pada penangas air suhu 40°C hingga sampel minyak tampak larut semuanya. Kemudian sampel tersebut ditambahkan indikator fenolftalein sebanyak 1-2 tetes dan dihomogenkan. Lalu sampel tersebut dititrasi dengan larutan titar NaOH 0,1 N hingga terbentuk warna merah muda (merah jambu) yang stabil untuk selama

minimal 30 detik. Proses titrasi dihentikan dan catat volume larutan titar yang digunakan. Perhitungan kadar asam lemak bebas dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar Asam Lemak Bebas (\%)} = \frac{25,6 \times N \times V}{W}$$

Keterangan:

N = Normalitas larutan titar NaOH

V = Volume larutan titar NaOH yang digunakan (ml)

W = Berat sampel (g)

25,6 = Konstanta untuk menghitung kadar asam lemak bebas sebagai asam palmitat

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Jenis asam terbaik pada proses reaktivasi DBE menghasilkan RBE adalah HNO_3 (asam nitrat) dengan rendemen tertinggi sebesar 81,48% dan pH tertinggi sebesar 6,86. Namun menghasilkan efisiensi pemucatan warna terendah sebesar 16,52%.
2. Konsentrasi asam terbaik pada proses reaktivasi DBE menghasilkan RBE adalah konsentrasi 4% dengan rendemen tertinggi sebesar 80,46% dan pH tertinggi sebesar 6,89. Namun menghasilkan efisiensi pemucatan warna terendah sebesar 16,32%.
3. Kombinasi jenis dan konsentrasi asam terbaik pada proses aktivasi DBE menjadi RBE adalah jenis asam HNO_3 (asam nitrat) dengan konsentrasi 8% menghasilkan rendemen sebesar 79,97%, pH sebesar 6,73, kadar air sebesar 3,35%, efisiensi pemucatan warna sebesar 17,29%, kadar asam lemak bebas *Bleached Palm Oil* (BPO) sebesar 3,58%, dan kadar air *Bleached Palm Oil* (BPO) sebesar 0,18%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, saran yang dapat diberikan yaitu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan aktivator asam dengan konsentrasi yang tepat ataupun dengan konsentrasi yang lebih tinggi untuk reaktivasi *Deoiled Bleaching Earth* (DBE) agar kemampuan adsorpsinya lebih baik. Selain itu, perlu

dipastikan minyak hasil *bleaching* atau *Bleached Palm Oil* (BPO) agar tidak terkontaminasi adsorben dan dapat dilakukan analisis rendemen BPO.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelbasir, S. M., Shehab, A. I., dan Khalek, M. A. A. 2023. Spent bleaching earth; recycling and utilization techniques: a review. *Resources, Conservation, and Recycling Advances*. 17: 1–18.
- Aini, N., Wardhani, O. P., dan Iriany. 2016. Desorpsi β -karoten minyak kelapa sawit (crude palm oil) dari karbon aktif menggunakan isopropanol. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 5(4): 1–7.
- Alatas, A. 2015. Trend produksi dan ekspor minyak sawit (CPO) Indonesia. *AGRARIS: Journal of Agribusiness and Rural Development Research*. 1(2): 114–124.
- Al-Zahrani, A. A. 1995. Activation of Saudi clay for corn oil bleaching. *The Fourth Saudi Engineering Conference*. 5: 59–65.
- Arninda, A., Diana, S., dan Nirwan. 2022. Pengaruh temperatur terhadap power bleach pada limbah SBE (Spent Bleaching Earth) dengan menggunakan metode kalsinasi. *Jurnal Teknologi Kimia Mineral*. 1(1): 18–21.
- Aryani, F., Mardiana, F., dan Wartomo. 2019. Aplikasi metode aktivasi fisika dan aktivasi kimia pada pembuatan arang aktif dari tempurung kelapa (*Cocos nucifera* L). *Indonesian Journal Of Laboratory*. 1(2): 16–20.
- Bachmann, S. A. L., Valle, R. D. C. S. C., Vegini, A. A., dan Tavares, L. B. B. 2020. Determination of optimum conditions for thermal regeneration and characterization of a spent bleaching earth. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 8(2): 1–29.
- Badan Pusat Statistika (BPS). 2021. *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2021*. Direktorat Statistik Tanaman Pangan, Hortikultura, dan Perkebunan. BPS. Jakarta. 139 hlm.
- Badan Standardisasi Nasional. 2006. *Minyak Kelapa Sawit Mentah (Crude Palm Oil) SNI 01-2901-2006*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. *Bentonit Untuk Pemucat Minyak Nabati SNI 13-6336-2000*. BSN. Jakarta.

- Bahri, S. 2014. Pengaruh adsorben bentonit terhadap kualitas pemucatan minyak inti sawit. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*. 25(1): 63–69.
- Bendou, S., dan Amrani, M. 2014. Effect of hydrochloric acid on the structural of sodic-bentonite clay. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*. 2: 404–413.
- Boukerroui, A., Belhocine, L., dan Ferroudj, S. 2017. Regeneration and reuse waste from an edible oil refinery. *Environmental Science and Pollution Research*. 25(19): 18278–18285.
- Boukerroui, A., dan Ouali, M. S. 2000. Regeneration of a spent bleaching earth and its reuse in the refining of an edible oil. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 75: 773–776.
- Christidis, G. E., Scott, P. W., dan Dunham, A. C. 1997. Acid activation and bleaching capacity of bentonites from the islands of Milos and Chios, Aegean, Greece. *Applied Clay Science*. 12: 329–347.
- Fajrudin, A., Supartono, dan Sumarni, W. 2016. Pengaruh konsentrasi asam nitrat dan temperatur kalsinasi pada reaktivasi spent bleaching earth. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 5(3): 202–205.
- GAPKI. 2023. *Kinerja Industri Minyak Sawit 2022 - Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI)*. Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia. Jakarta.
- Harahap, H. H., Malik, U., dan Dewi, R. 2014. Pembuatan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit dengan menggunakan H₂O sebagai aktivator untuk menganalisis proksimat, bilangan iodine dan rendemen. *JOM FMIPA*. 1(2): 48–54.
- Hasibuan, H. A., Afriana, L., dan Tamba, D. 2017. Pengaruh dosis bleaching earth dan waktu pemucatan crude palm oil yang bervariasi Deterioration Of Bleachability Index (DOBI) terhadap mutu produk. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 27(1): 69–75.
- Hasibuan, H. A., dan Nuryanto, E. 2011. Kajian kandungan P, Fe, Cu, dan Ni pada minyak sawit, minyak inti sawit dan minyak kelapa selama proses rafinasi. *Jurnal Standardisasi*. 13(1): 61–66.
- Helbianurramdan, Hindryawati, N., dan Subagyono, R. R. D. J. N. 2017. Aktivasi Deoiled Spent Bleaching Earth (DSBE) dengan menggunakan metode ultrasonik untuk mengadsorpsi ion logam Pb²⁺. *Jurnal Atomik*. 2(2): 241–247.
- Herlinawati, Arpi, N., dan Azmi, N. 2020. Comparison of wet destruction, dry ashing, and acid homogenic methods in determining Na and K in beef and chicken using flame photometer. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology*. 3(2): 81–84.

- Heryani, H. 2019. penentuan kualitas Degummed Bleached Palm Oil (DBPO) dan Refined Bleached Deodorized Palm Oil (RBDPO) dengan pemberian bleaching earth pada skala industri. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 29(1): 11–18.
- Hussin, F., Aroua, M. K., dan Daud, W. M. A. W. 2011. Textural characteristics, surface chemistry and activation of bleaching earth: a review. *Chemical Engineering Journal*. 170(1): 90–106.
- Irawan, W., Bahrudin, dan Amri, A. 2021. Penentuan kadar bleaching earth dan fosforic acid pada proses degumming dan bleaching crude palm oil. *Journal of the Bioprocess, Chemical, and Environmental Engineering Science*. 2(2): 1–14.
- Iryani, D. A., Oktavia, R., Lisandi, D. M., Ginting, S., Sugiharto, R., Indraningtyas, L., Amelia, J. R., Hasanudin, U., dan Hernas, T. 2023. Reactivation of spent bleaching earth using acid-activation and calcination treatment for enhancing adsorption abilities and reducing environmental loading in palm oil refining industries. *Chemical Engineering Transactions*. 106: 1327–1332.
- Julaika, S., Firmansyah, A. W., dan Subiyono. 2017. Pengaruh asam klorida dan suhu aktivasi pada regenerasi spent bleaching earth. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan V*. 175–179.
- Juwita, R., Syarif, L. R., dan Tuhuloula, A. 2012. Pengaruh jenis dan konsentrasi katalisator asam terhadap sintesis furfural dari sekam padi. *Konversi*. 1(1): 33–38.
- Ketaren, S. 1986. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan* (1st Ed). UI-Press. Jakarta.
- Ketaren, S. 2008. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. UI-Press. Jakarta.
- Komadell, P. 2003. Chemically modified smectites. *Clay Minerals*. 38(1): 127–138.
- Krisyanti, S., dan Sukandar. 2011. Recovery minyak dari limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) spent bleaching earth dengan metode ekstraksi pelarut. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 17(1): 35–46.
- Kurniawan, R., Azzahra, S. F., dan Yohaningsih, N. T. 2023. Pengaruh jenis adsorben pada proses bleaching di pemurnian Crude Palm Oil (CPO) sebagai bahan baku pada proses green fuel. *Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*. 7(2): 101–111.
- Legasari, L., Riandi, R., Febriani, W., dan Pratama, R. A. 2023. Analisis kadar air dan asam lemak bebas pada produk minyak goreng dengan metode

- gravimetri dan volumetri. *Jurnal Pendidikan Kimia Dan Ilmu Kimia*. 6(2): 51–58.
- Loh, S. K., James, S., Ngatiman, M., Cheong, K. Y., Choo, Y. M., dan Lim, W. S. 2013. Enhancement of palm oil refinery waste - Spent Bleaching Earth (SBE) into bio organic fertilizer and their effects on crop biomass growth. *Industrial Crops and Products*. 49: 775–781.
- Maharani, D. R., Ruhayat, R., Iswanto, B., dan Juliani, A. 2022. The use of Spent Bleaching Earth (SBE) as an adsorbent to reduce free fatty acids in waste cooking oil. *Indonesian Journal Of Urban And Environmental Technology*. 193–208.
- Mahmud, S. F. 2019. Proses pengolahan CPO (Crude Palm Oil) menjadi RBDPO (Refined Bleached and Deodorized Palm Oil) di PT XYZ Dumai. *Jurnal Universal Teknologi*. 12(1): 55–64.
- Mahmudha, S., dan Nugraha, I. 2016. Pengaruh penggunaan bentonit teraktivasi asam sebagai katalis terhadap peningkatan kandungan senyawa isopulegol pada minyak sereh wangi Kabupaten Gayo Lues – Aceh. *Chimica et Natura Acta*. 4(3): 123–129.
- Man, Y. B. C., Haryati, H., Ghazali, H. M., dan Asbi, B. A. 1999. Composition and thermal profile of crude palm oil and its products. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 76(2): 237–242.
- Montoya, C., Lopes, R., Flori, A., Cros, D., Cuellar, T., Summo, M., Espeout, S., Rivallan, R., Risterucci, A. M., Bittencourt, D., Zambrano, J. R., Alarcón, W. H., Villeneuve, P., Pina, M., Nouy, B., Amblard, P., Ritter, E., Leroy, T., dan Billotte, N. 2013. Quantitative Trait Loci (QTLs) analysis of palm oil fatty acid composition in an interspecific pseudo-backcross from *Elaeis oleifera* (H.B.K.) Cortés and oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Tree Genetics and Genomes*. 9(5): 1207–1225.
- Morad, N. A., Aziz, M. K. A., dan Zin, R. M. 2006. Process design in degumming and bleaching of palm oil. *Centre Of Lipids Engineering and Applied Research (CLEAR)*. 74198: 1–239.
- Muchtadi, T. R. 1992. Karakterisasi komponen intrinsik utama buah sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) dalam rangka optimalisasi proses ekstraksi dan pemanfaatan Provitamin A. Disertasi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Mukhlis, Itnawati, Kartika, A. C., dan Cani, F. F. 2021. Evaluasi kemampuan HCl dan H₂SO₄ sebagai aktivator adsorben bubuk kulit batang sagu (Metroxylon sagu). *Photon Jurnal Sains Dan Kesehatan*. 11(2): 111–120.
- Muslich, Utami, S., dan Indrasti, N. S. 2020. Pemulihan minyak sawit dari spent bleaching earth dengan metode ekstraksi refluks. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 30(1): 90–99.

- Ndé, H. S., Tamfuh, P. A., Clet, G., Vieillard, J., Mbognou, M. T., dan Woumfo, E. D. 2019. Comparison of HCl and H₂SO₄ for the acid activation of a cameroonian smectite soil clay: palm oil discolouration and landfill leachate treatment. *Heliyon*. 5: 1–10.
- Nurulita, U., Yenie, E., dan Andrio, D. 2020. Pengaruh konsentrasi dan waktu aktivasi adsorben Spent Bleaching Earth (SBE) terhadap luas permukaan. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik*. 7(2): 1–4.
- Park, E. Y., Kato, A., dan Ming, H. 2004. Utilization of waste activated bleaching earth containing palm oil in riboflavin production by *Ashbya gossypii*. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 81(1): 57–62.
- Perdani, C. G., Zakaria, R. F., dan Prangdimurti, E. 2016. Pemanfaatan minyak sawit mentah sebagai hepatoprotektor pada ibu rumah tangga di dramaga Bogor. *Jurnal Teknologi Pertanian*. 17(2): 119–128.
- Perera, S. A. C. N. 2014. Oil Palm and Coconut. In: *Alien Gene Transfer in Crop Plants*. Pratap, A. dan Kumar, J. (Eds). Vol. 2. Springer New York. 231–252 hlm.
- Plaxedes, S., Mamvura, T., Abdulkareem, S. A., dan Danha, G. 2024. Spent bleaching earth: synthesis, properties, characterisation and application. *Journal of Sustainability Science and Management*. 19(3): 192–220.
- Prada, F., Ayala-Diaz, I. M., Delgado, W., Ruiz-Romero, R., dan Romero, H. M. 2011. Effect of fruit ripening on content and chemical composition of oil from three oil palm cultivars (*Elaeis guineensis* Jacq.) grown in Colombia. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59(18): 10136–10142.
- Pranowo, D., Dewanti, B. S. D., Fatimah, H., dan Setyawan, H. Y. 2020. Optimization of regeneration process of spent bleaching earth. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 524(1): 1–6.
- Rahmadanis, Resgita, N., Istiqomah, I., dan Neswati. 2019. Penjernihan minyak biji karet menggunakan berbagai konsentrasi bentonit diaktivasi dengan asam sulfat (H₂SO₄). *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*. 23(2): 149–157.
- Sadir, M., Hermawan, D., Budiman, I., Pari, G., dan Sutiawan, J. 2022. Karakteristik dan daya jerap polutan arang aktif dari batang kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 40(1): 7–18.
- Saputra, A. D., Hindryawati, N., dan Daniel. 2018. Impregnasi dan karakterisasi K-Deoiled Spent Bleaching Earth (K-DSBE) dengan metode basah. *Jurnal Kimia Mulawarman*. 15(2): 69–75.
- Siddiqui, M. K. H. 1968. Activation of Bleaching Earths. In: *Bleaching Earth* (1st Ed). Pergamon Press. London. 32–43 hlm.

- Steudel, A., Batenburg, L. F., Fischer, H. R., Weidler, P. G., dan Emmerich, K. 2009. Alteration of swelling clay minerals by acid activation. *Applied Clay Science*. 44: 105–115.
- Supeno, M., dan Siburian, R. A. F. 2017. Efek katalis TiO₂ untuk pembuatan gas H₂ dari air dengan inisiasi UV. *Lecturer Papers In Universitas Sumatera Utara*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Suryani, A., Pari, G., dan Aswad, A. 2015. Proses reaktivasi tanah pemucat bekas sebagai adsorben untuk pemurnian minyak sawit kasar dan biodiesel. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 25(1): 52–67.
- Susilawati, dan Naqiatuddin, N. A. 2014. Chemical activation of bentonite clay and its adsorption properties of methylene blue. *Jurnal Natural*. 14(2): 7–12.
- Syafriani, D., Hany, N. C., Amdayani, S., Sari, D. P., dan Nst, M. A. 2024. *Larutan Asam-Basa*. CV Eureka Media Aksara. Jawa Tengah. 22 hlm.
- Tanjaya, A., Sudono, Indraswati, N., dan Ismadji, S. 2007. Optimasi kondisi operasi pembuatan bleaching earth dari bentonite Pacitan. *National Conference: Design and Application of Technology*.
- Usman, M. A., Ekwueme, V. I., Alaje, T. O., dan Mohammed, A. O. 2012. Characterization, acid activation, and bleaching performance of Ibeshe Clay, Lagos, Nigeria. *International Scholarly Research Network Ceramics*. 1–5.
- Yang, R. T. 2003. *Adsorbents: Fundamentals and Applications*. John Wiley and Sons, Inc. Amerika. 410 hlm.
- Yassin, J. M., Shiferaw, Y., dan Tedla, A. 2022. Application of acid activated natural clays for improving quality of Niger (*Guizotia abyssinica* Cass) oil. *Heliyon*. 8: 1–7.
- Young, F. V. K. 1987. Refining and Fractionation of Palm Oil. In: *Palm Oil: Critical Reports on Applied Chemistry*. Gunstone, F. D. (Ed). John Wiley and Sons. New York. 39–69 hlm.)