

**REDUKSI UKURAN ADSORBEN UNTUK MEMPERBESAR
DIAMETER PORI DALAM UPAYA MENINGKATKAN EFISIENSI
ADSORPSI MINYAK JELANTAH**

***ADSORBENT SIZE REDUCTION TO ENLARGE ITS PORE
DIAMETER
IN EFFORT TO IMPROVE USED COOKING OIL ADSORPTION
EFFICIENCY***

¹Marsen Alimano dan ²Mindriany Syafila

^{1,2} Program Studi Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jl Ganesha 10 Bandung 40132

¹marsen.alimano@gmail.com, ²syafila.mindriany@gmail.com

Abstrak: Pada penelitian yang telah dilakukan, dengan reduksi ukuran partikel hingga dibawah 2 μm dapat menghasilkan diameter pori yang masuk klasifikasi mesopori (2 – 50 nm). Uji kemampuan bentonit dan zeolit mesopori sebagai penjerap untuk meningkatkan kualitas minyak jelantah agar dapat digunakan kembali telah dilakukan dengan metode batch. Konsep batch dipilih karena tujuan penelitian adalah untuk mengetahui secara pasti parameter yang paling berpengaruh terhadap proses penjerapan dari variabel yang telah ditentukan. Penelitian dilakukan dengan variasi waktu 40, 55, dan 70 menit. Dosis penjerap sebagai variabel utama ditentukan 5, 15, dan 25%. Kecepatan pengadukan merupakan parameter yang berpengaruh terhadap tingkat kesempurnaan perlekatan ditentukan pada skala 3 dan 6 (225 dan 450 RPM). Dari hasil penelitian ditunjukkan bahwa kemampuan penjerapan bentonit dan zeolit mesopori dapat secara sempurna menghasilkan kualitas minyak goreng yang baik dari parameter warna, dimana kondisi optimum tercapai pada waktu proses 70 menit, dosis penjerap sebesar 25%, dan kecepatan pengadukan pada skala 6 (450 RPM) dengan nilai absorbansi sebesar 0,0117 Abs untuk bentonit (efisiensi 88,26%) dan 0,0100 Abs (efisiensi 89,97%) untuk zeolit dengan blanko minyak goreng baru sebesar 0,0000 Abs dan minyak jelantah sebesar 0,0997 Abs yang diukur pada panjang gelombang 489,2 nm. Selain itu, hasil percobaan mendapatkan efisiensi penurunan nilai asam lemak bebas optimum mencapai 68,75% (bentonit) dan 62,50% (zeolit), jauh diatas hasil percobaan dengan penetralan basa dan menggunakan adsorben bentonit teraktivasi (31,28%) dan tanah diatomit (43,36%). Dari hasil tersebut maka dapat ditarik kesimpulan bahwa reduksi ukuran adsorben yang akan meningkatkan luas permukaan, volume pori, dan radius pori dapat meningkatkan efisiensi adsorpsi minyak jelantah pada parameter warna dan asam lemak bebas secara signifikan

Kata kunci: bentonit, zeolit, mesopori, minyak jelantah, penjerapan

Abstract : In the research result, by using particle size reduction to less than 2 μm , it can produce pore diameter were into mesoporous classification (2-50 nm). The ability testing for bentonite and zeolite mesopores as an adsorbent to improve the quality of used cooking oil so it can reuse, has been conducted by using a batch method. The batch concept selected because of research purpose was to determine the proper parameters that most influenced on the adsorbency process from predetermined variables. The research was conducted with the variation of time of 40, 55, and 70 minutes. The adsorbent dose as the main variable determined at 5, 15, and 25%. Stirring speed was a parameter affected the level of adhesion perfection that is determined on a scale of 3 and 6 (225 and 450 RPM). From the study results, indicated that the adsorbent ability of bentonite and zeolite mesopores could produce a good quality of cooking oil perfectly from color parameters, where the optimum condition reached during 70 minutes in process, adsorbent dose by 25%, and stirring speed on a scale of 6 (450 RPM) with the absorbency values of 0.0117 Abs (efficiency 88.26%) for bentonite and 0.0100 Abs (efficiency 89.97%) for zeolite, with a new form of cooking oil at 0.0000 Abs and used cooking oil at 0.0997 Abs. The form used was origin cooking oil before it used for frying, and its wavelength spectrophotometer used at 489.2 nm. In

addition, the results of the experiment to get the efficiency of free fatty acid impairment optimum reach 68.75% (bentonite) and 62.50% (zeolite), well above the results of experiments with alkaline neutralization and use of activated bentonite adsorbent (31.28%) and soil diatomite (43.36%). From these results it can be concluded that the reduction in the size of the adsorbent will increase the surface area, pore volume and pore radius can enhance the adsorption efficiency of cooking oil on the parameters of color and free fatty acids significantly.

Key words: bentonite, zeolites, mesoporous, used cooking oil, adsorption

PENDAHULUAN

Metode penggorengan saat ini menjadi metode dominan pengolahan makanan bagi masyarakat Indonesia karena kepraktisan dan kemudahan dalam pelaksanaannya. Hal tersebut selaras dengan perubahan gaya hidup masyarakat, dimana kecenderungan yang terjadi mereka hanya memiliki waktu yang relatif singkat untuk mengolah makanan hariannya. Selain itu, minyak dan lemak dalam minyak goreng memberikan sensasi rasa gurih yang disukai oleh masyarakat sehingga popularitasnya terdongkrak naik, dimana sensasi rasa gurih merupakan salah satu hasil proses reaksi Maillard (The Ohio State University, 2014).

Kegiatan rumah tangga harian, berupa kegiatan memasak, maupun industri makanan, baik kecil maupun besar, memiliki potensi menghasilkan limbah minyak goreng bekas atau yang biasa disebut minyak jelantah. Minyak jelantah merupakan limbah sisa kegiatan penggorengan yang jarang habis pakai sehingga keberadaannya menimbulkan dilematika tersendiri. Apabila dibuang akan menimbulkan penyumbatan pada saluran pembuangan dan menyebabkan kematian tanaman rumput serta pencemaran lingkungan. Sedangkan bila digunakan berulang akan menimbulkan permasalahan kesehatan, diantara potensi penyebab kanker dan gangguan jantung.

Dua parameter utama yang menjadi perhatian utama dalam hal kualitas minyak goreng adalah kejernihan fisik serta keterdapatannya asam lemak bebas yang berbahaya bagi kesehatan. Warna merupakan faktor fisik esensial yang dapat merubah pandangan seseorang terhadap suatu produk secara estetika. Dalam kaitannya dengan minyak goreng, opini masyarakat yang dibangun sekian lama yaitu warna minyak goreng yang baik adalah yang berwarna bening atau kuning terang (pucat) karena diasumsikan bahwa warna tersebut tidak mengandung unsur pengotor didalamnya. Asam lemak bebas, menurut Ketaren (1986) didalam bukunya, telah terbukti secara klinis memiliki potensi karsinogenik dan kerusakan jantung. Dalam laporan yang disampaikan oleh Stender, dkk. (2003), salah satu hasil dari proses penggorengan suhu tinggi adalah terbentuknya asam lemak trans, dan salah satu hasil penelitian mendapatkan fakta hubungan asupan lemak trans ke dalam tubuh meningkatkan resiko terjadinya kanker usus dan kanker payudara.

Beberapa hasil penelitian liat yang telah diaktivasi sebagai adsorben minyak jelantah menunjukkan hasil yang baik untuk meningkatkan kejernihan namun tidak terlalu baik dalam menurunkan nilai asam lemak bebas. Mineral liat sendiri merupakan material anorganik yang memiliki situs permukaan adsorpsi aktif bermuatan negatif (Ohtani, dkk., 2014), sehingga memungkinkan liat menjadi adsorben dalam adsorpsi fisisorpsi maupun kemisorpsi, seperti kemampuan pertukaran ion (Yu, dkk., 2013). Mineral liat dapat menjerap berbagai biomolekul, termasuk protein dan DNA dalam lingkungan alami (Yu, dkk., 2013). Selain itu, apabila liat berukuran halus (dibawah 4 μm) berada dalam air maka mereka akan cenderung tersebar (Lopes, dkk., 2014) sehingga potensi penjerapan akan lebih tinggi.

Indonesia merupakan negara yang kaya akan kelimpahan liat. Bentonit dan zeolit, yang dominan terbentuk sebagai montmorilonit dan mordenit, merupakan jenis liat yang paling sering digunakan sebagai penjerap untuk berbagai tujuan. Hal ini dikarenakan mereka memiliki karakteristik yang sesuai sebagai penjerap, yaitu merupakan media berpori, memiliki selektifitas penjerapan terhadap banyak jenis adsorbat, kelimpahan cadangan di dalam negeri, serta harganya yang bersaing. Tanah liat memiliki kemampuan menjerap senyawa organik secara alamiah, salah satunya adalah senyawa organik yang terdapat dalam minyak goreng. Karena

keselektifannya tersebut liat digunakan sebagai penjerap dalam upaya meningkatkan kualitas minyak jelantah. Sebagaimana diketahui bahwa salah satu faktor keberhasilan suatu proses adsorpsi adalah luas permukaan dan ukuran pori. Bentonit dan zeolit alam memiliki keterbatasan penjerapan dikarenakan daya dukung fisiknya yang sedikit kurang menunjang, terutama diameter porinya yang masuk kedalam klasifikasi mikropori (< 2 nm). Beberapa penelitian telah dilakukan untuk memperbesar ukuran pori, diantaranya dengan cara pilarisasi dan reduksi ukuran partikel. Ternyata berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan Wahyudi, dkk. (2009) bentonit dan zeolit alam berhasil diperbesar luas permukaan dan ukuran porinya dengan cara mereduksi ukuran partikelnya tanpa merusak atau meremukkan bentuk atau struktur alaminya. Reduksi ukuran partikel tersebut dapat dilakukan hingga mencapai kategori ukuran nano partikel (<100 nm). Ukuran pori bentonit dan zeolit yang secara alami berada dalam kategori microporous (<2 nm) berhasil ditingkatkan hingga mencapai kategori mesoporous (2-50 nm).

Teknologi adsorpsi merupakan teknologi yang selalu dipelajari untuk mengetahui kebaruannya pada penjerap dengan karakteristik terbaru. Diharapkan penjerap liat, dalam hal ini bentonit dan zeolit, dalam klasifikasi mesopori dapat meningkatkan efektifitas, efisiensi, dan selektifitas proses adsorpsi terhadap adsorbat yang terkandung dalam minyak jelantah. Penelitian-penelitian tersebut merupakan salah satu upaya dalam rangka pencarian media penyerap (penjerap) yang murah, banyak tersedia (terutama sumber lokal), dan bekerja secara selektif dan efektif (Liu, dkk., 2007).

Adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain sifat fisik dan kimia adsorben (luas permukaan, ukuran pori, dan komposisi kimia), sifat fisik dan kimia adsorbat (ukuran, kepolaran, dan komposisi kimia molekul), konsentrasi adsorbat dalam bentuk cair, karakteristik fasa cair (pH dan suhu), dan kondisi operasional adsorpsi. Dalam beberapa kasus, temperatur memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi adsorpsi hingga mencapai kesetimbangannya seperti adsorpsi timah dengan menggunakan liat alam (*natural clay*) (Al-Jilil, dkk., 2009), tetapi pada kasus adsorpsi pada minyak jelantah memiliki keunikan tersendiri dalam kaitannya dengan perubahan temperatur pada proses adsorpsinya, hal ini dikarenakan titik didih minyak jelantah dapat berubah seiring perlakuan pemanfaatannya. Hal ini terbukti pada penelitian yang pernah dilakukan dimana hasil analisa tidak konsisten pada setiap perubahan suhu (Winarni, dkk., 2010).

Penelitian yang pernah dilakukan terhadap minyak dengan liat alam berdiameter pori mikro (<2 nm) dan ukuran partikel 100 mesh (0,149 mm) yang telah diaktifkan menunjukkan hasil yang cukup baik secara terpisah pada parameter warna (kejernihan) dan bilangan asam lemak bebasnya. Dengan penentuan variabel bebas dosis penjerap, kecepatan pengadukan, dan lama proses adsorpsi dengan menggunakan liat berdiameter >2 nm diharapkan mendapatkan hasil yang signifikan terhadap kualitas minyak jelantah pada parameter warna (kejernihan) dan bilangan asam lemak bebasnya.

METODOLOGI

Dalam percobaan, variabel penelitian yang diambil adalah variasi dosis penjerap, waktu proses adsorpsi, dan kecepatan pengadukan. Reaktor penelitian menggunakan sistem batch.

Penjerap yang digunakan dalam penelitian ini adalah bentonit alam dan zeolit alam. Bentonit berasal dari Nanggung, Kabupaten Bogor, sedangkan zeolit didapat dari Bayah, Kabupaten Lebak. Penyiapan penjerap dilakukan di Laboratorium Pengolahan Mineral, Puslitbang Tekmira, Bandung, dengan cara mengeringkan bahan baku penjerap pada suhu 105°C untuk menghilangkan kadar air, selanjutnya digerus hingga mencapai ukuran -325# (44 μm) menggunakan *jaw crusher* yang dilanjutkan dengan alat *ring mill*. Hasil mesopori akhir didapatkan dengan penggerusan menggunakan alat ultrafine grinding Planetary Ball Mill secara basah (*wet milling*).

Percobaan dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan *magnetic stirrer* dan beaker glass volume 250 mL. Dengan perlakuan proses yang sama dilakukan variasi dosis

penjerap 5, 15, dan 25%, waktu proses 40, 55, dan 70 menit, serta kecepatan pengadukan pada skala 3 dan 6 (225 dan 450 RPM).

Pada penelitian ini ditetapkan pengkondisian pembentukan minyak jelantah adalah dengan 1–3 kali penggorengan, bahan yang digunakan adalah tempe, lama penggorengan tiap interval waktu adalah 20 menit, dan suhu penggorengan adalah 160°C. Independensi penelitian dijaga dengan menggunakan salah satu merk minyak goreng yang tersedia di toserba.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Warna kuning alami pada minyak goreng merupakan indikasi keterdapatannya α dan β karoten. Sedangkan perubahan warna yang terjadi selama penggorengan suhu tinggi menjadi warna kecokelatan adalah karena adanya reaksi antara glukosa dan asam amino yang disebut reaksi Maillard.

Pada beberapa bahan pangan yang memiliki kandungan asam amino tinggi, dalam hal ini sebagai protein, seperti tempe akan mengalami proses perubahan warna menjadi cokelat yang lebih banyak dibandingkan dengan bahan pangan dengan asam amino yang lebih rendah. Perubahan warna ini ditunjang oleh pemanasan dengan suhu tinggi dan dalam waktu yang cukup lama. Karakteristik minyak jelantah dapat dilihat pada Tabel 1 dan hasil analisa adsorben tersaji pada Tabel 2.

Tabel 1. Karakteristik awal minyak jelantah

Parameter	Unit	Blanko	Percontoh
Warna	Abs.	0,0000	0,0997
Asam lemak bebas	% b/b	0,0640	0,5120

Tabel 2. Karakteristik penjerap (BET Surface Analyzer dan Uji Kimia)

Parameter	Unit	Bentonit	Zeolit
Luas permukaan	m ² /g	127,30	69,41
Radius pori rata-rata	Å	44,19	65,00
Volume pori total	cc/g	0,2813	0,2256
SiO ₂	%	60,0	67,2
Al ₂ O ₃	%	16,23	11,22

Hasil analisa BET menunjukkan bahwa karakteristik bentonit memiliki luas permukaan dan volume pori yang lebih besar dibandingkan zeolit. Dengan karakteristik yang lebih besar tersebut maka dapat diprediksi bahwa penggunaan bentonit dalam adsorpsi akan memberikan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan zeolit sebagai adsorben. Tetapi zeolit memiliki radius pori rata-rata yang lebih besar sehingga potensi pengisian untuk penjerapan pada pori zeolit akan lebih tinggi dibandingkan dengan zeolit. Penjerapan pada situs aktif di dalam pori memiliki potensi proses desorpsi yang lebih kecil dibandingkan pada situs aktif permukaan, terutama pada proses adsorpsi yang bersifat fisik.

Dari hasil analisis kimia yang dilakukan terhadap kedua bahan diketahui bahwa rasio SiO₂ terhadap Al₂O₃ zeolit lebih besar dibandingkan bentonit. Berdasarkan teori, semakin besar rasio antara SiO₂ terhadap Al₂O₃ maka akan semakin besar kemampuan perlekatan atau adsorpsinya terhadap molekul non polar karena adsorben tersebut akan semakin bersifat hidrofilik (Sutarti dan Rahmawati, 1994 dalam Widayat, dkk., 2006). Perbandingan kedua senyawa tersebut sangat penting karena perilaku kedua senyawa tersebut secara independen sangat berbeda seperti perbedaan perilaku adsorpsi antara kapur alam dengan kalsit murni walaupun kapur alam terdiri atas 98% kalsit (Okhrimenko, dkk., 2013). Dalam hal ini maka diprediksi bahwa kemampuan adsorpsi zeolit lebih baik dibandingkan bentonit.

Analisa Kualitas Minyak Setelah Proses

Percobaan telah dilakukan sesuai dengan metodologi yang ditentukan. Hasil yang diambil untuk dianalisa adalah hasil optimum yang didapat pada masing-masing penjerap. Hasil

adsorpsi menghasilkan kejernihan yang sangat besar dibandingkan minyak jelantah, dengan efisiensi terbaik adalah sebesar 88,27% untuk bentonit dan 89,97% untuk zeolit.

Tabel 3. Analisa warna minyak setelah proses

Parameter	Satuan	Bentonit			Zeolit			Percobaan Lain		
		1	2	3	1	2	3	1 *)	2 **)	3 ***)
Warna Awal	Abs	0,0997	0,1003	0,1009	0,0997	0,1003	0,1009	-	-	-
Warna Hasil Proses	Abs	0,0117	0,0203	0,0125	0,0100	0,0198	0,0112	-	-	-
Efisiensi Adsorpsi	%	88,26	79,76	87,61	89,97	80,26	88,90	-	-	-
Asam Lemak Bebas Awal	%	0,5120	0,5696	0,5952	0,5120	0,5696	0,5952	0,5824	0,6819	0,1480
Asam Lemak Bebas Proses	%	0,1600	0,2560	0,3008	0,1920	0,2432	0,2816	0,3299	0,4398	0,1450
Efisiensi Adsorpsi	%	68,75	55,06	49,46	62,50	57,30	52,69	43,36	35,50	2,03

Ket: *) minyak jelantah 1 kali penggorengan dengan adsorben tanah diatom (Winarni, dkk., 2010),
 **) minyak jelantah 2 kali penggorengan dengan adsorben tanah diatom (Winarni, dkk., 2010),
 ***) adsorben bentonit teraktivasi (Istighfaro, 2010)

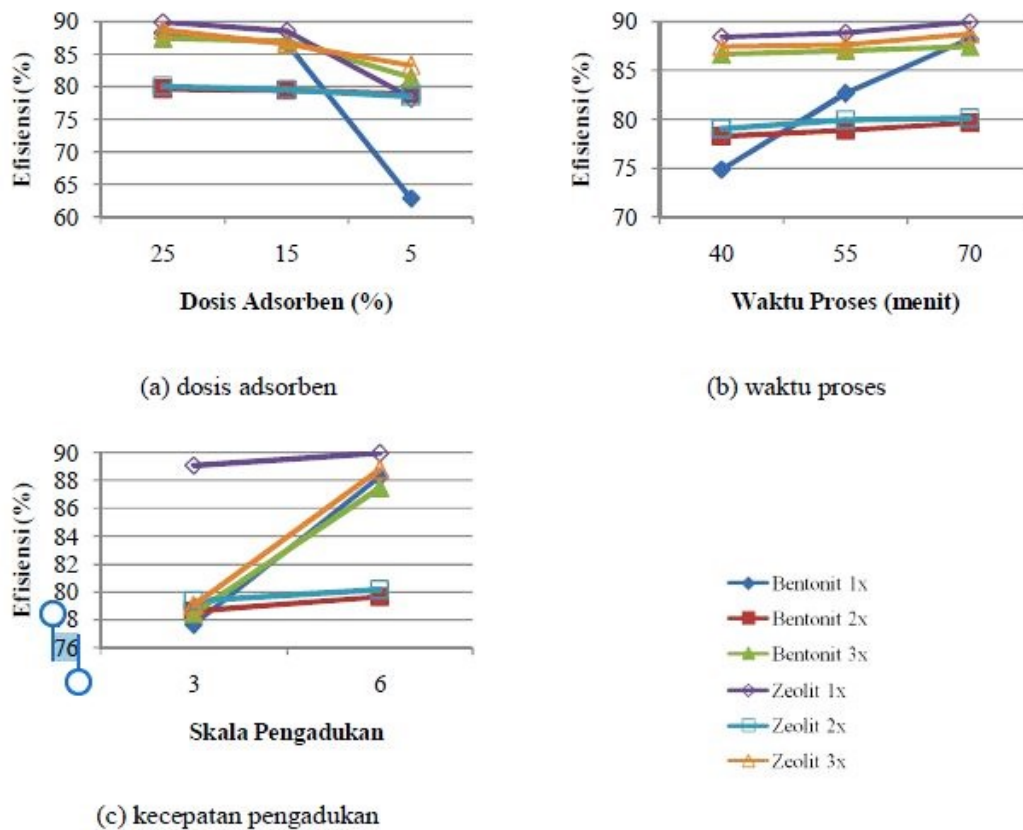
Pada **Tabel 3**, efisiensi penjerapan warna oleh zeolit yang lebih besar dibandingkan dengan bentonit adalah karena zeolit memiliki radius pori rata-rata yang lebih besar dibandingkan bentonit sehingga untuk ukuran molekul organik yang lebih besar akan lebih banyak yang terjerap oleh zeolit di dalam porinya. Proses desorpsi pada zeolit lebih kecil terjadinya karena selain lebih banyak molekul organik yang terjerap pada situs penjerapan aktif pada pori juga didukung oleh bentuk zeolit yang merupakan kristal tiga dimensi tetrahedra silikat yang lebih sulit bagi adsorbat untuk terdesorpsi keluar pori dibandingkan dengan bentuk bentonit yang berupa lapisan sederhana.

Penjerapan molekul organik pada parameter warna pada kondisi dua kali penggorengan adalah yang terkecil, baik bagi bentonit maupun zeolit. Hal ini dikarenakan protein pada minyak jelantah pada awalnya masih berukuran relatif besar dibandingkan ukuran pori dari kedua penjerap tersebut, tetapi karena pemanasan pada suhu tinggi dan pada waktu yang lebih lama maka terjadi pemutusan ikatan yang juga berimbas kepada reduksi dari bahan-bahan terjerap tersebut sehingga molekul hasil proses Maillard akan lebih banyak yang terjerap pada kondisi penggorengan yang lebih banyak. Pada kondisi tiga kali penggorengan molekul organik yang terdapat pada minyak jelantah lebih banyak dibandingkan pada kondisi dua kali penggorengan namun memiliki ukuran molekul yang lebih kecil sehingga lebih efektif dalam penjerapan pada situs-situs aktif yang terdapat pada penjerap.

Hal tersebut tidak berlaku pada parameter asam lemak bebas. Hal ini dikarenakan asam lemak bebas bersifat reaktif sehingga ketika jumlahnya bertambah seiring dengan penambahan jumlah penggorengan maka efisiensi penjerapan semakin kecil karena asam lemak bebas tersebut dapat bersenyawa dengan yang lainnya.

Pengaruh Dosis Adsorben Terhadap Efisiensi Peningkatan Kejernihan Warna Minyak Goreng

Dosis adsorben memegang peranan penting dalam suatu proses adsorpsi. Pada sub bab ini akan ditinjau pengaruh parameter adsorpsi pada hasil yang optimum, yaitu hasil variasi dosis akan dibandingkan pada waktu proses 70 menit dan kecepatan pengadukan skala 6. pH pada setiap awal dan akhir proses adalah 4 yang diukur menggunakan pH Universal. Suhu pada pelaksanaan proses dari awal hingga akhir adalah $25 \pm 0,1^\circ\text{C}$. Hasil percobaan parameter warna ditampilkan pada **Gambar 1-a**.



Gambar 1. Efisiensi adsorpsi minyak jelantah pada parameter warna dengan beberapa variasi

Gambar 1-a menunjukkan efisiensi yang menurun seiring dengan penurunan dosis adsorben yang diberikan pada proses adsorpsi. Kesimpulan yang didapatkan dari hasil percobaan ini adalah dosis adsorben memiliki pengaruh terhadap efisiensi peningkatan kejernihan warna, dimana dosis adsorben dan peningkatan efisiensi warna minyak jelantah tersebut berbanding lurus karena jumlah situs adsorpsi akan bertambah seiring penambahan dosis adsorben sehingga meningkatkan efisiensi penyisihan sorbat (Mumin, dkk., 2007).

Bila dilihat pada **Gambar 1-a**, efisiensi penyisihan turun drastis pada dosis adsorben 5% untuk perlakuan 1 kali penggorengan. Hal ini mengindikasikan bahwa dosis 5% tidak terlalu memberikan yang signifikan dibandingkan dosis 15% dan 25%. Dosis adsorben yang terlalu sedikit akan lebih cepat mengalami kejenuhan atau kesetimbangan prosesnya, karena semua layer yang digunakan akan lebih cepat tertutup oleh sorbat yang terjerap.

Dalam proses adsorpsi, kapasitas adsorpsi adalah banyaknya sorbat yang terjerap dalam setiap gram adsorben yang digunakan. Semakin besar dosis adsorben yang diberikan maka potensi untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi pun akan semakin besar sehingga hal ini akan teraplikasikan dengan efisiensi penyisihan sorbat yang semakin besar pula (Dwipayani, 2013).

Pada hasil adsorpsi di semua parameter belum terjadi titik kesetimbangan, dengan kata lain situs aktif yang tersedia dalam adsorben masih memungkinkan untuk terjadinya proses penjerapan. Hal ini dimungkinkan karena luas permukaan, ukuran pori, dan volume total pori adsorben cukup besar.

Secara umum dari hasil percobaan dapat dikatakan bahwa perbedaan dosis yang cukup jauh antara 25% dan 5% memberikan nilai yang cukup jauh pula terhadap efisiensi adsorpsi yang dihasilkan.

Pengaruh Waktu Proses Terhadap Efisiensi Peningkatan Kejernihan Warna Minyak Goreng

Dalam pelaksanaan proses adsorpsi, proses akan terus berlangsung, baik secara aktif maupun pasif, selama belum tercapainya titik kesetimbangan proses. Titik stagnansi dalam suatu proses adsorpsi adalah titik dimulainya kejenuhan suatu proses. Kejenuhan ini dapat dipengaruhi oleh situs aktif yang semakin sedikit, jumlah adsorbat yang semakin sedikit, dan proses desorpsi yang semakin besar. Proses kejenuhan ini biasanya ditentukan berdasarkan waktu, walaupun waktu tercapainya kesetimbangan dan kejenuhan ini berbeda-beda untuk setiap proses adsorpsi. Perbedaan ini dipengaruhi oleh jenis interaksi yang terjadi antara adsorben dan adsorbat, juga oleh selektivitas adsorben pada adsorbat (Wicaksono, 2012).

Gambar 1-b menunjukkan efisiensi yang meningkat seiring dengan peningkatan waktu proses adsorpsi. Kesimpulan yang didapatkan dari hasil percobaan ini adalah waktu proses memiliki pengaruh terhadap efisiensi peningkatan kejernihan warna, dimana waktu proses dan efisiensi seluruh parameter minyak jelantah tersebut berbanding lurus karena kesempatan atau potensi adsorbat untuk terjerap oleh adsorben akan semakin besar. Pada waktu awal dimana adsorbat belum terjerap akan memungkinkan terjerap pada waktu selanjutnya dimana adsorbat akan bergerak oleh turbulensi putaran untuk mencari ruang yang kosong. Dalam hal pemenuhan volume pori pun, dengan semakin lamanya waktu maka akan memungkinkan adsorbat terdorong hingga ujung pori dan memberikan ruang pori di muka untuk diisi oleh adsorbat baru.

Grafik-grafik tersebut menunjukkan efisiensi yang lebih kecil pada minyak jelantah dengan kondisi perlakuan 1 kali penggorengan. Hal ini terjadi karena senyawa organik pada kondisi 1 kali penggorengan memiliki ukuran yang relatif lebih besar sehingga pemenuhan situs aktif adsorben memerlukan waktu yang relatif lebih lama dibandingkan kondisi perlakuan lainnya. Tetapi setelah pemenuhan situs aktif itu tercapai akan mulai menuju kesetimbangan dimana laju desorpsi mulai diimbangi oleh laju desorpsi dan kejenuhan situs aktif. Desorpsi tersebut terjadi karena ada perubahan konsentrasi pada minyak jelantah, yang dalam hal ini bertindak sebagai pelarut. Perubahan konsentrasi ini menyebabkan adanya gradien konsentrasi antara adsorbat dengan pelarut sehingga konsentrasi adsorbat didalam larutan lebih kecil dan akan mengakibatkan difusi adsorbat dari permukaan adsorben ke dalam larutan (Wicaksono, 2012).

Pengaruh Kecepatan Pengadukan Terhadap Efisiensi Peningkatan Kejernihan Warna Minyak Goreng

Dalam pelaksanaan proses adsorpsi, pengadukan dimaksudkan untuk membuat kondisi turbulen pada larutan sehingga kemungkinan adsorben dan adsorbat untuk bertemu dan berinteraksi akan lebih besar. Dengan pengadukan yang lebih besar diharapkan interaksi adsorben dan adsorbat lebih besar. Tetapi pengadukan dengan kecepatan tinggi pun akan membuat terlepasnya adsorbat yang telah terjerap untuk terlepas kembali (Suhartono, dkk., 2011). Oleh karena itu kecepatan pengadukan yang optimal diperlukan untuk proses adsorpsi dalam reaktor batch pada setiap media yang mengalami perlakuan adsorpsi.

Pada sub bab ini kecepatan pengadukan yang ditampilkan adalah kecepatan pengadukan pada variabel bebas yang ditentukan pada hasil optimum untuk setiap parameter. Kecepatan pengadukan yang ditentukan adalah pada skala 3 dan 6. Waktu proses yang ditentukan adalah

70 menit dan dosis adsorben yang ditentukan adalah 25%. pH pada setiap awal dan akhir proses adalah 4 yang diukur menggunakan pH Universal. Suhu pada pelaksanaan proses dari awal hingga akhir adalah $25 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Hasil percobaan ditampilkan pada **Gambar 1-c**.

Grafik pada **Gambar 1-c** menunjukkan efisiensi yang meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan pengadukan. Kesimpulan yang didapatkan dari hasil percobaan ini adalah kecepatan pengadukan yang dipilih masih masuk kedalam kecepatan pengadukan yang optimum dalam proses adsorpsi karena terlepasnya adsorbat yang telah terjerap masih lebih kecil dibandingkan adsorbat yang terjerap (Suhartono, dkk., 2011).

Pada **Gambar 1-c** terlihat bahwa pada kondisi minyak 2 kali penggorengan kecepatan pengadukan hanya mengalami kenaikan efisiensi sedikit pada kecepatan yang lebih tinggi. Hal

ini terjadi karena pengotor pada kondisi tersebut jumlahnya sudah lebih banyak dibandingkan pada kondisi satu kali penggorengan tetapi diperkirakan ukuran molekul pengotornya belum terpecah sempurna sehingga mengalami kesulitan dalam pemenuhan situs-situs aktif pada adsorben tersebut. Sedangkan pada kondisi tiga kali penggorengan diprediksi bahwa pemanasan dengan waktu yang lebih lama telah mengurai dan mereduksi ukuran molekul pengotor sehingga lebih mudah dijerap ke dalam pori adsorben.

Secara umum dapat disimpulkan bahwa kecepatan pengadukan yang semakin tinggi akan menghasilkan efisiensi yang semakin besar karena pengadukan tersebut membuat fluida bergerak lebih cepat dan terjadi aliran turbulen dalam reaktor batch sehingga kontak antara minyak jelantah dan adsorben semakin sering dan merata. Pada proses adsorpsi menggunakan reaktor batch akan mendapatkan daerah mati atau *dead zone*, dimana pada daerah tersebut tidak terjadi kontak antara minyak dan adsorben. Dengan pengadukan yang lebih cepat akan mengurangi atau meniadakan daerah mati tersebut karena telah terisi oleh adsorben (Suhartono, dkk., 2011).

Hasil adsorpsi zeolit untuk semua variasi lebih baik dibandingkan bentonit dikarenakan ukuran pori yang lebih besar sehingga meningkatkan potensi pemenuhan volume porinya. Porositas merupakan ruang kosong yang ada pada adsorben tersebut yang terdapat dalam satuan volume solid yang dapat diisi oleh gas maupun air. Semakin besar porositas maka akan semakin banyak ruang kosong yang terdapat pada adsorben sehingga akan semakin banyak adsorbat yang dapat terjerap (Wicaksono, 2012). Selain itu, bentuk struktur zeolit pun memungkinkan pemerangkapan sorbat yang terlepas kembali. Dengan bentuknya yang berupa kristal tiga dimensi tetrahedra memungkinkan untuk menahan sorbat yang terlepas kembali selama proses adsorpsi berlangsung.

Penentuan Isoterm Adsorpsi

Model isoterm adsorpsi digunakan untuk memberikan gambaran karakteristik adsorpsi pada permukaan adsorben dan juga interaksi yang terjadi antara adsorbat dengan adsorben. Isoterm adsorpsi diinterpretasikan dengan dua model yang berbeda, yaitu Langmuir dan Freundlich. Langmuir menjelaskan bahwa permukaan adsorben adalah homogen, sedangkan Freundlich adalah heterogen. Langmuir menetapkan bahwa adsorpsi terjadi hanya pada satu lapisan, berbeda dengan Freundlich yang menyatakan bahwa adsorpsi dapat terjadi pada multi layer.

Untuk penentuan model isoterm digunakan persamaan Langmuir (**Pers. 1**) dan Freundlich (**Pers. 2**) (Sawyer dkk., 2003 dalam Nilawati, 2013) :

$$q = \frac{Q_m C_e}{K_L + C_e} \quad \text{(Pers. 1)}$$

$$q = K_F C_e^{1/n} \quad \text{(Pers. 2)}$$

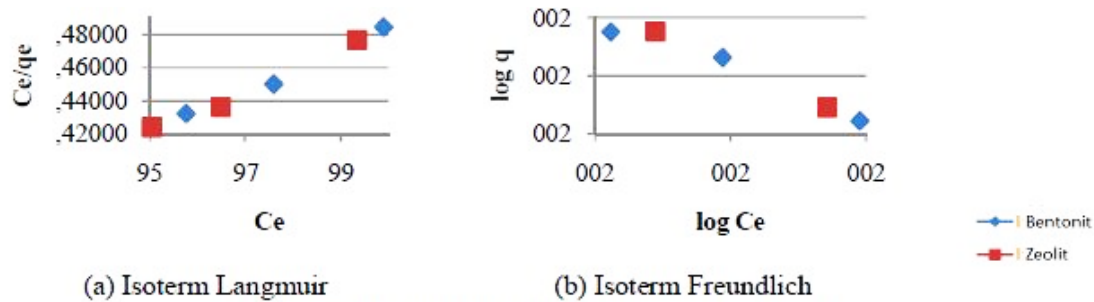
C_e adalah konsentrasi zat pada keadaan setimbang, Q_m (mg/g) adalah kapasitas adsorpsi dan K_L adalah konstanta Langmuir. K_F adalah konstanta Freundlich dan $1/n$ adalah faktor heterogenitas.

Energi adsorpsi dihitung dengan menggunakan **Pers. 3** berikut ini (Widiastuti dkk., 2011):

$$E_{ads} = -\Delta G^\circ = RT \ln K \quad \text{(Pers. 3)}$$

R adalah tetapan gas umum (8,314 J/mol K), T adalah temperatur (K), dan K adalah konstanta persamaan isoterm.

Penentuan model isoterm dilakukan pada proses adsorpsi minyak jelantah oleh kedua adsorben dengan hasil yang paling optimum pada masing-masing pengkondisian.



(a) Isoterm Langmuir (b) Isoterm Freundlich
Gambar 2. Isoterm adsorpsi dari minyak jelantah

Dari data yang diperoleh menghasilkan plot linier untuk kedua isoterm. Parameter isoterm dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Rekapitulasi model isoterm terhadap peningkatan kejernihan warna minyak jelantah

Adsorben	Isoterm Langmuir			Isoterm Freundlich			E_{Ad}
	K_L	Q_m	R^2	K_F	n	R^2	
Bentonit	-0.016	79.37	0.9847	491247.10	-0.5924	0.9669	32.4678
Zeolit	-0.016	80.00	0.9864	520714.89	-0.5880	0.9694	32.6122

Dari rekapitulasi kedua isoterm diperoleh hubungan yang kuat dengan nilai R^2 lebih dari 0,9, tetapi berdasarkan nilai K_L yang negatif maka dapat dikatakan bahwa data percobaan yang diperoleh pada proses adsorpsi minyak jelantah menggunakan bentonit dan zeolit mesopori tidak memiliki kesesuaian dengan model isoterm Langmuir sehingga lebih cenderung kepada model isoterm Freundlich. Nilai energi adsorpsi yang diperoleh menunjukkan bahwa mekanisme proses adsorpsi yang terjadi merupakan adsorpsi fisika. Beberapa ciri suatu proses adsorpsi berlangsung secara fisika antara lain reaksi berlangsung pada temperatur rendah, besarnya energi yang menyertai *physisorption* kurang dari 42 kJ/mol, dan pada kondisi temperatur dan tekanan tertentu lapisan adsorpsi yang terbentuk memiliki ketebalan beberapa diameter dari molekul adsorbat (terdiri dari beberapa lapisan). Hal ini memperkuat pernyataan bahwa mekanisme adsorpsi yang terjadi merupakan adsorpsi fisika. Adsorpsi fisik yang terjadi pada proses ini disebabkan oleh gaya tarik-menarik yang melibatkan gaya-gaya van der Waals interaksi dipol-dipol terinduksi.

KESIMPULAN

Hasil analisa BET menunjukkan bahwa bentonit mesopori memiliki luas permukaan dan volume pori yang lebih besar namun dengan radius pori rata-rata yang lebih kecil dibandingkan zeolit mesopori. Uji kimia kedua adsorben memiliki komposisi SiO_2 dan Al_2O_3 yang sangat baik dalam menunjang efisiensi adsorpsi.

Baik bentonit mesopori maupun zeolit mesopori sangat baik digunakan sebagai adsorben dalam meningkatkan kejernihan minyak jelantah dan menyisihkan asam lemak bebas di dalamnya dengan efisiensi yang cukup tinggi, yaitu 88,26% (bentonit) dan 89,97% (zeolit) untuk kejernihan dan 68,75% (bentonit) dan 62,50% (zeolit) untuk penyisihan asam lemak bebas, jauh diatas hasil percobaan dengan penetralan basa dan menggunakan adsorben bentonit teraktivasi (31,28%) dan tanah diatomit (43,36%). Kondisi optimum pada penelitian ini didapat pada kondisi percobaan dosis adsorben 25%, waktu proses 70 menit, dan kecepatan pengadukan pada skala 6 atau 450 RPM.

Hasil dari model isoterm diperoleh energi adsorpsi sebesar 32,4678 kJ/mol (bentonit) dan 32,6122 kJ/mol (zeolit). Nilai yang diperoleh menunjukkan bahwa proses adsorpsi minyak jelantah berlangsung secara fisika.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Jlil, Saad A., Alsewailem, Fares D. 2009. Lead uptake by natural clay. *Journal of Applied Sciences* 9 (22), Hal. 4026-4031.
- Dwipayani, Andita Rachmania. 2013. Penggunaan tanah liat sebagai adsorben dan coagulant aid dalam pengolahan limbah cair tekstil. *Laporan Tesis Program Studi Teknik Lingkungan*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Istighfaro, Nila. 2010. Peningkatan kualitas minyak goreng bekas dengan metode adsorpsi menggunakan bentonit – karbon aktif biji kelor (*Moringa oleifera*. Lamk). *Laporan Tugas Akhir Jurusan Kimia*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Malang.
- Ketaren, S. 2008. Pengantar teknologi minyak dan lemak pangan. *Penerbit Universitas Indonesia (UI Press)*. Jakarta.
- Liu, P., Liuxue, dan Zhang. 2007. Adsorption of dyes from aqueous solutions or suspensions with clay nanoadsorbents. *Separation and Purification Technology*, Vol. 58, Hal. 32-39.
- Lopes, T.J., Gonçalves, O.H., Quadri, M.G.N, Machado, R.A.F., dan Quadri, M.B. 2014. Adsorption of anthocyanins using clay–polyethylene nanocomposite particles. *Applied Clay Science* 87 (2014) 298– 302.
- Mumin, M.A., Khan., M.M.R., Akhter., K.F., dan Uddin, M.J. 2007. Potentiality of open burnt clay as an adsorbent for the removal of congo red from aqueous solution. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 4 (4): 525532.
- Ohtani, Y., Ishida, Y., Ando, Y., Tachibana H., Shimada, T., dan Takagi, S. 2014. Adsorption and photochemical behaviors of the novel cationic xanthene derivative on the clay surface. *Tetrahedron Letters* 55 (2014) 1024–1027.
- Okhrimenko, D.V., Dalby, K.N., dan Stipp, S.L.S. 2013. Adsorption properties of chalk: Contribution from calcite and clays. *Procedia Earth and Planetary Science* 7 (2013) 632-635.
- Suhartono, J., Noersalim, C., Mustari, P.L., Olivia, D.M. 2011. Pengaruh kecepatan pengadukan pada bleaching minyak dedak padi melalui proses adsorpsi menggunakan arang tulang aktif. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”*. Februari 2011. ISSN 1693 – 4393 . Yogyakarta.
- Stender, S. and Dyerberg, J. 2003. The influence of trans fatty acids on health. Fourth edition. Publ. no. 34 – *The Danish Nutrition Council*. ISSN no. 0909-9859.
- The Ohio State University. Diakses tanggal 24 Januari 2014. Maillard. <http://class.fst.ohiostate.edu/fst605/605p/Maillard.pdf>.
- Wahyudi, A., Sariman, Rochani, S., Amalia, D., Naeni, S., Sugandhi, B. 2009. Penyiapan silika berpori dari lempung dengan ultrafine grinding dan pelindian. *Publikasi Laporan Penelitian Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara*. Bandung.
- Wicaksono, I. 2012. Penyisihan logam krom dari limbah cair penyamakan kulit menggunakan Electric Arc Furnace Slag (EAFS). *Tesis Program Studi Teknik Lingkungan*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Widayat, Suherman, Haryani, K. 2006. Optimasi proses adsorpsi minyak goreng bekas dengan adsorbent zeolit alam: studi pengurangan bilangan asam. *Jurnal Teknik Gelagar*, Vol. 17, No. 01, April 2006, Hal. 77 82.
- Winarni, Sunarto, W., Mantini, S. 2010. Penetralkan dan adsorpsi minyak goreng bekas menjadi minyak goreng layak konsumsi. *Jurnal Sainteknol*, Vol. 8, No. 1, Hal. 48-59.
- Yu, W.H., Li, N., Tong, D.S., Zhou, C.H., Lin, C.X., dan Xu C.Y. 2013. Adsorption of proteins and nucleic acids on clay minerals and their interactions: A review. *Applied Clay Science* 80–81 (2013) 443–452.