



SINTESIS ZEOLIT DARI ABU DASAR BATUBARA DAN APLIKASINYA SEBAGAI ADSORBEN MINYAK GORENG BEKAS

Dimaz Fadhul Mukhlis, Khamidinal, Maya Rahmayanti, Didik Krisdiyanto*

Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
Jl. Marsda Adisucipto Yogyakarta 55281 Telp. +62-274-540971
Email: didik_kris@yahoo.com*

Abstrak. Telah dilakukan sintesis zeolit dari abu dasar batubara dan digunakan sebagai adsorben untuk meningkatkan kualitas minyak goreng bekas. Zeolit disintesis dari abu dasar batubara dengan menggunakan metode peleburan hidrotermal. Adsorpsi zeolit hasil sintesis terhadap minyak goreng bekas diukur dengan menghitung angka asam, angka penyabunan dan angka peroksida. Berdasarkan hasil karakterisasi FTIR abu dasar batubara telah berhasil ditransformasi menjadi zeolit dengan mengamati serapan karakteristik IR zeolit. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa sintesis zeolit dari abu dasar batubara menghasilkan beberapa jenis zeolit antara lain zeolit faujasit, zeolit faujasit -Y, zeolit cancrinit, dan zeolit Y namun, mayoritas zeolit yang terbentuk adalah zeolit faujasit. Hasil adsorpsi zeolit sintesis dalam minyak goreng memberikan pengaruh terhadap angka asam, angka penyabunan dan angka peroksida. Nilai angka asam turun dari 2,9172 mg OH/g menjadi 0,3366 mg OH/g; angka penyabunan naik dari 90,882 mg KOH/g menjadi 196,911 mg KOH/g; dan angka peroksida turun dari 20,8 meq/g menjadi 0,8 meq/g.

Kata kunci: abu dasar, zeolite, minyak goreng.

This publication is licensed under a



Pendahuluan

Minyak merupakan zat makanan yang penting untuk menjaga kesehatan tubuh manusia. Selain itu, minyak juga merupakan sumber energi yang lebih efektif dibandingkan karbohidrat dan protein. Satu gram minyak dapat menghasilkan 9 kkal, sedangkan karbohidrat dan protein hanya menghasilkan 4 kkal/gram (Ketaren, 1986). Minyak terdapat hampir pada semua bahan pangan dengan kandungan yang berbeda-beda. Bahkan, minyak seringkali ditambahkan dengan sengaja ke bahan makanan dengan berbagai tujuan. Dalam pengolahan bahan pangan, minyak berfungsi sebagai media penghantar panas, seperti minyak goreng, mentega dan margarin (Sutiah dkk., 2008).

Minyak goreng termasuk dalam salah satu bahan pangan yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat dalam rangka pemenuhan kebutuhan sehari-hari. Namun, pemakaiannya untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari ada batasnya. Menurut Ketaren (1986) secara ilmiah minyak goreng yang telah digunakan berkali-kali, lebih-lebih dengan pemanasan tinggi sangatlah tidak sehat, karena minyak tersebut asam lemaknya lepas dari trigliserida terlebih jika asam lemak bebas tersebut mengandung ikatan rangkap sehingga akan mempercepat kerusakan minyak karena asam lemak bebas yang mengandung ikatan rangkap mudah sekali teroksidasi menjadi aldehid maupun keton yang menyebabkan bau tengik.

Kerusakan minyak goreng dapat terjadi selama proses penggorengan, hal ini akan mempengaruhi kualitas minyak goreng dan nilai gizi bahan pangannya yang digoreng (Winarni dkk, 2010). Selama proses penggorengan minyak mengalami reaksi degradasi yang disebabkan oleh panas, udara, dan air yang mengakibatkan terjadinya proses oksidasi, hidrolisis, dan polimerisasi. Proses hidrolisis lemak menyebabkan kerusakan

minyak yang menghasilkan asam lemak bebas yang dapat mempengaruhi cita rasa dan bau dari bahan yang digoreng. Keberadaan asam lemak bebas mudah mengalami oksidasi minyak yang menghasilkan senyawa hidroperoksida kemudian dari hidroperoksida terbentuk aldehid tak jenuh dan keton. Hasil oksidasi minyak menyebabkan minyak mempunyai bau tengik dan rasa getir. Menurut Ketaren (1986) pembentukan senyawa polimer selama proses menggoreng terjadi karena reaksi polimerisasi adisi dari asam lemak tidak jenuh. Hal ini terbukti dengan terbentuknya bahan menyerupai gum yang mengendap di dasar tempat penggorengan.

Alternatif pemecahan masalah adalah dengan mengolah minyak goreng bekas menggunakan zeolit. Berbagai penelitian pengolahan minyak goreng bekas dengan zeolit sebagai adsorben telah banyak dilakukan, antarlain Kusumastuti (2004); Widayat dkk. (2006); Widayat (2007) dan Ahmadi (2009). Selama ini, zeolit yang digunakan dalam proses pengolahan minyak goreng bekas berupa zeolit alam yang telah diaktivasi dengan hasil menunjukkan peningkatan kualitas minyak goreng bekas.

Penggunaan batubara menghasilkan limbah abu sisa pembakaran berupa abu layang (flyash) maupun abu dasar (bottom ash), serta polutan-polutan berbahaya lainnya seperti CO₂, NO_x, CO, SO₂ dan hidrokarbon. Menurut data Kementerian Lingkungan Hidup tahun 2006, limbah abu layang yang dihasilkan mencapai 52,2 ton/hari dan limbah abu dasar mencapai 5,8 ton/hari. Sementara itu, menurut Peraturan Pemerintah No. 85 Tahun 1999, limbah abu layang maupun abu dasar dapat dikategorikan sebagai limbah B3 (bahan beracun dan berbahaya). Oleh karena itu perlu dipikirkan satu cara yang paling efektif untuk mengatasi dampak negatif dari limbah abu tersebut yang salah satunya adalah dengan memanfaatkannya

sebagai bahan baku pembuatan bahan lain yang lebih bermanfaat (Londar dkk., 2009).

Pemanfaatan abu layang telah banyak dilakukan seperti bahan utamageopolimer dan pembuatan zeolit karena kandungan Si dan Al-nya yang cukup tinggi dibandingkan abu dasar. Abu layang memiliki kandungan Si dan Al berturut-turut yaitu 56,13 % dan 18,49 %, sedangkan abu dasar sebesar 50,98 % dan 14,996%. Meskipun demikian, abu dasar masih memiliki kandungan Si dan Al yang cukup banyak sehingga abu dasar juga dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan zeolit. Ratnasari dan Widiastuti (2011) serta Londar, dkk., (2009) telah melakukan sintesis zeolit A dari abu dasar dengan metode peleburan alkali diikuti proses hidrotermal

Pada penelitian ini, dilakukan transformasi limbah abu dasar batubara sebagai sumber Si dan Al menjadi struktur zeolit. Selanjutnya, zeolit hasil sintesis digunakan sebagai adsorben untuk pengolahan minyak goreng bekas dengan harapan mampu mengadsorpsi pengotor dalam minyak goreng sehingga kualitas minyak goreng bekas dapat ditingkatkan.

Bahan dan Metode

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan antara lain: abu dasar batubara, aluminium foil, NaOH (p.a), zat warna Methyl Orange (p.a) merk (C14H14N3NaO3S), dan akuades, Bahan habis pakai yaitu kertas pH dan kertas saring Whatman No.42.

Peralatan Penelitian

Alat-alat yang digunakan antara lain yaitu: peralatan gelas, bejana teflon 25 mL, penyaring buchner, lumpang porselen, pH meter, corong, oven, neraca analitik, cawan porselen, magnetic stirrer, ayakan 230 mesh, furnace, shaker, X-Ray Diffraction (XRD) Shimadzu 6000, Spektrofotometer UV-Vis, Spektrometri 20 D Thermo Electron Corporation, dan Fourier Transform Infra Red (FT-IR) Thermo Nicolet Avatar 360.

Metode Penelitian

Pembuatan Zeolite dari Abu Dasar Batubara

Abu dasar yang diperoleh dari hasil peleburan dengan NaOH ditambah dengan akuades dengan perbandingan 1:10, kemudian diaduk dengan pengaduk magnet selama 24 jam. Hasil peleburan setelah ditambah akuades dimasukkan bejana teflon kemudian direaksikan secara hidrotermal dengan variasi suhu 100, 120, 140 dan 160°C selama 24 jam. Fase padat hasil hidrotermal dipisahkan dengan kertas saring, dinetralkan dengan akuades dan dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C. Selanjutnya, abu dasar hasil sintesis dikarakterisasi spektrofotometer inframerah dan difraksi sinar-X.

Adsorpsi Minyak Goreng Bekas dengan Zeolite dari Abu Dasar

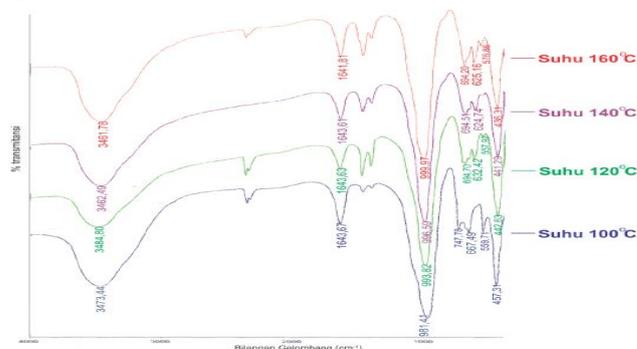
Minyak goreng bekas ditimbang 100 gram, dimasukkan ke dalam gelas beker 500 mL dan dipanaskan hingga suhu minyak goreng mencapai 70°C kemudian ditambah zeolit hasil sintesis 1% dari berat minyak goreng bekas dan campuran diaduk menggunakan pengaduk magnetik. Setelah 15 menit, minyak diambil sebanyak 10 g untuk penentuan angka asam, 5 gram untuk penentuan angka penyabunan, dan 5 g untuk penentuan

angka peroksida. Sampel diambil kembali pada menit ke-30, ke-45 dan ke-60. Dilakukan variasi jumlah zeolit sintesis 2%, 3%, 4% dan 5% dari berat minyak untuk waktu 60 menit.

Hasil dan Pembahasan

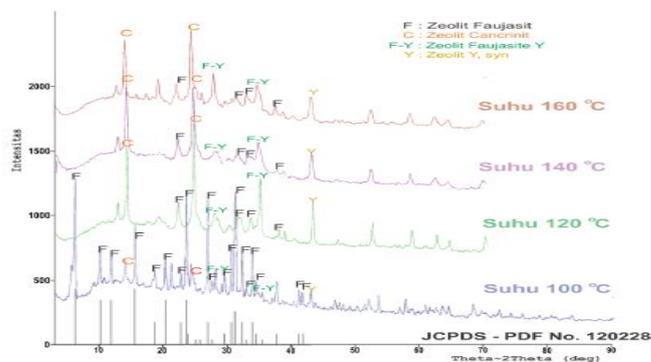
Karakterisasi Zeolite dari Abu Dasar

Spektra IR pada kisaran 4000 – 400 cm⁻¹ untuk zeolit yang disintesis dari abu dasar batubara dengan variasi suhu hidrotermal 100, 120, 140 dan 160°C ditunjukkan pada Gambar 1. Hasil spektra IR memperlihatkan serapan kuat pada rentang bilangan gelombang 3461,78 – 3484,80 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi gugus hidroksil (-OH). Gugus ini dimungkinkan berasal dari air hidrat pada kristal zeolit yang terdapat pada permukaan padatan (Wuntu dan Tangkuman, 2008). Bilangan gelombang 1643,67 – 1641,81 cm⁻¹ merupakan vibrasi tekuk -OH dari molekul H₂O. Pita serapan ini muncul karena terjadi penyerapan air dari udara disebabkan oleh sifat zeolit yang cukup higroskopis.



Gambar 1. Spektra Infra Red Zeolite dari abu dasar

Serapan pada bilangan gelombang 999,97– 981,41 cm⁻¹ merupakan karakteristik vibrasi ulur asimetrik internal O-Si-O atau O-Al-O dalam kerangka bangun primer tetrahedral SiO₄ dan AlO₄. Serapan pada daerah 747,27 – 694,20 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi rentangan simetris. Serapan pada daerah 576,86 – 557,97 cm⁻¹. Pita serapan pada daerah antara 500 - 420 cm⁻¹ berhubungan dengan serapan vibrasi tekuk T-O. Pita tersebut muncul pada bilangan gelombang 457,31– 436,31 cm⁻¹. Hal ini mengindikasikan adanya ikatan antara Si-O atau Al-O.



Gambar 2. Difraktogram Zeolite dari abu dasar

Identifikasi pola difraksi sinar-X dilakukan dengan membandingkan puncak-puncak difraksi zeolite hasil sintesis dengan data base klasifikasi mineral JCPDS (Joint Committee

onPowder Diffraction Standards) (2002). Hasil sintesis dari abu dasar batubara menunjukkan bahwa sintesis tersebut menghasilkan zeolit faujasit seperti ditunjukkan Gambar 2.

Tabel 2. Hasil uji angka asam, angka penyabunan dan angka peroksidaminyak goreng bekas

Parameter	Satuan	Nilai
Angka Asam	mg OH/g	2,9172
Asam lemak bebas	%	1,3312
Angka penyabunan	mg KOH/g	90,882
Angka peroksida	meq/g	20,80

Difraktogram menunjukkan pola difraksi sinar-X dari zeolit hasil sintesis yang dilakukan pada suhu hidrotermal 100, 120, 140, dan 160°C dengan waktu hidrotermal 24 jam. Pola difraksi pada suhu 100°C menunjukkan 4 jenis zeolit yang teridentifikasi yaitu zeolit faujasit zeolit, zeolit cancrinit, faujasit fase X dan zeolit Y. Seiring dengan bertambahnya suhu hidrotermal, 120, 140 dan 160°C, puncak-puncak jenis zeolit tersebut berkurang, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu hidrotermal mempengaruhi hasil zeolit yang disintesis dari abu dasar batubara.

Adsorpsi Minyak Goreng Bekas dengan Zeolite dari Abu Dasar

Dalam penelitian ini, pengujian kualitas minyak goreng bekas dilakukan dengan mengukur angka asam, angka penyabunan, dan angka peroksida. Sebagai perbandingan, dilakukan pengukuran angka asam, angka penyabunan, dan angka peroksida terhadap minyak goreng bekas sebelum proses adsorpsi menggunakan zeolit sintesis. Hasil uji angka asam, angka penyabunan, dan angka peroksida minyak goreng bekas dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil uji menunjukkan bahwa dari ketiga parameter tersebut minyak goreng bekas sudah tidak layak untuk digunakan lagi karena telah melebihi standar nasional Indonesia.

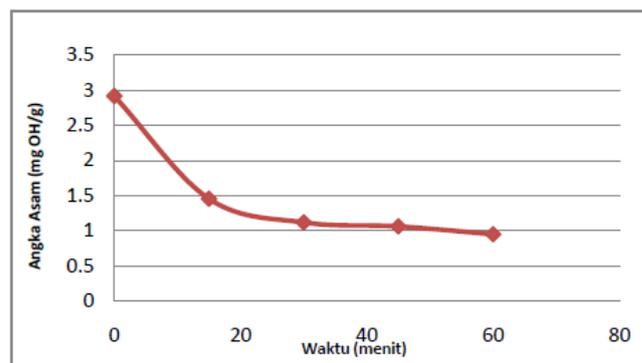
Penelitian ini zeolit hasil sintesis digunakan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi minyak goreng bekas yang diperoleh dari limbah rumah tangga di Yogyakarta. Zeolit memiliki rongga-rongga yang dapat mengadsorpsi molekul-molekul yang ukurannya cocok sehingga zeolit dikenal sebagai penyaring molekuler (molecular sieving), yaitu bahan yang dapat mengikat molekul secara sangat selektif. Proses adsorpsi oleh celah-celah tersebut mencapai lebih dari 80% total adsorpsi.

Zeolit juga memiliki situs asam Bronsted dan Lewis yang terdistribusi pada sebagian besar permukaan padatnya, sehingga dapat menstabilkan radikal dalam minyak goreng. Adanya situs asam Bronsted dan Lewis tersebut menyebabkan zeolit cukup efektif sebagai adsorben, melalui mekanisme kemisorpsi, yaitu adsorpsi yang disebabkan adanya interaksi antara orbital molekul khususnya asam lemak bebas dengan radikal yang terdapat dalam minyak goreng bekas.

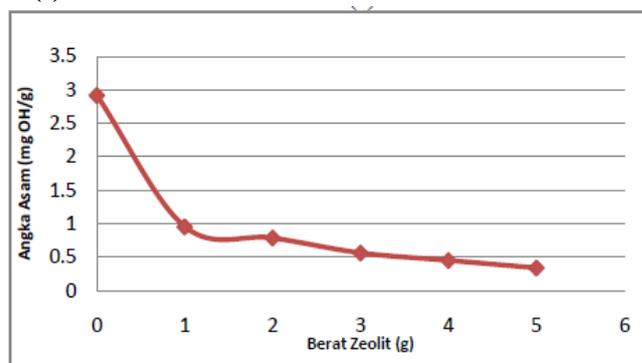
Pengaruh adsorpsi zeolit Sintesis terhadap angka asam

Hasil penelitian proses adsorpsi minyak goreng bekas dengan parameter angka asam ditunjukkan pada gambar 3 dimana proses adsorpsi dilakukan dengan dua kali perlakuan, yaitu (a)

proses adsorpsi zeolit sintesis dengan variasi waktu kontak, dan (b) proses adsorpsi zeolit sintesis dengan variasi berat zeolit.



(a)



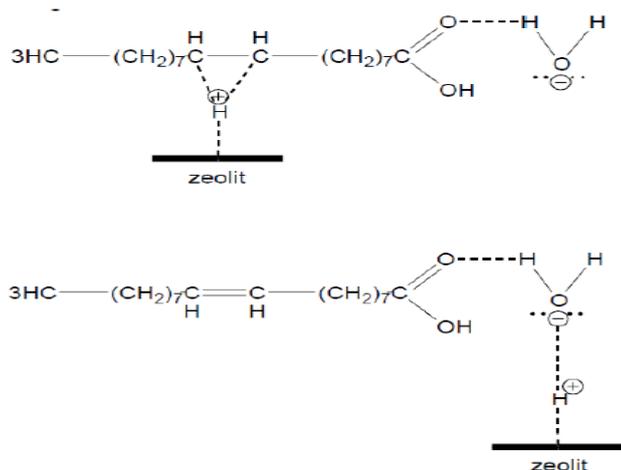
(b)

Gambar 3. Hasil adsorpsi zeolit sintesis dengan (a) variasi waktu (15, 30, 45, dan 60 menit), (b) variasi berat zeolit (1, 2, 3, dan 4 %) terhadap minyak goreng bekas dengan parameter angka asam.

Berdasarkan gambar 3 dengan dua perlakuan tersebut dapat dilihat bahwa angka asam minyak goreng bekas mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya waktu kontak dan berat zeolit. Dari data tersebut dapat diberikan kesimpulan bahwa waktu kontak adsorben dan berat adsorben memberikan pengaruh terhadap angka asam minyak goreng bekas. Kesimpulan tersebut diambil berdasarkan asumsi bahwa semakin lama waktu kontak dengan zeolit dan semakin besar berat zeolit sintesis yang digunakan, proses adsorpsi akan semakin baik karena luas permukaan tempat berlangsungnya proses adsorpsi dan waktu interaksi adsorpsi semakin besar. Angka asam minyak goreng bekas mengalami penurunan dari 2,9172 mg OH/g menjadi 0,3366 mg OH/g. Hal tersebut menunjukkan bahwa kadar asam lemak bebas yang terkandung dalam minyak goreng bekas juga mengalami penurunan.

Asam lemak bebas mempunyai ujung karboksil yang polar, sehingga ada kemungkinan teradsorpsi oleh zeolit yang sifatnya polar sehingga akan berkurang ketika diberi perlakuan dengan adsorben zeolit (Kusumastuti, 2004). Ada dua kemungkinan yang terjadi saat penambahan zeolit sintesis, yaitu kemungkinan pertama adanya interaksi gugus karboksil asam lemak dengan atom H⁺ dari zeolit, kemungkinan kedua adalah interaksi antara asam lemak dengan atom H⁺ zeolit melalui pembentukan jembatan air (Handoko, dkk., 2009).

Proses adsorpsi zeolit terhadap asam lemak terjadi melalui pori-pori zeolit yang memiliki ukuran yang sesuai dengan ukuran pori zeolit. Kemudian asam lemak bebas akan bereaksi dengan situs aktif zeolit. Interaksi asam lemak bebas dengan zeolit dapat digambarkan sebagai interaksi antara gugus fungsi pada asam lemak dengan situs aktif (situs asam Bronsted) pada zeolit. Ikatan tersebut didasarkan pada interaksi situs polar dengan gugus fungsi yang bersifat polar. Sebagai konsekuensinya maka kemisorpsi antara asam lemak dengan permukaan polar zeolit terjadi cukup kuat, sehingga akan terjadi penurunan jumlah asam lemak bebas. Interaksi asam lemak bebas dengan adsorben zeolit sintesis melalui pembentukan jembatan air dapat digambarkan pada gambar 4.

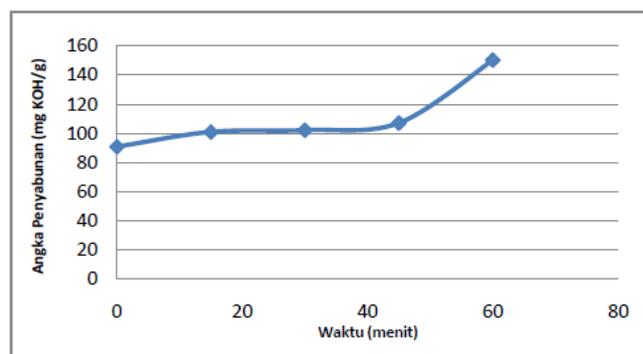


Gambar 4. Interaksi Asam Lemak Bebas-Adsorben Zeolit Melalui Pembentukan Jembatan Air. (Sumber: Handoko, et al., 2009)

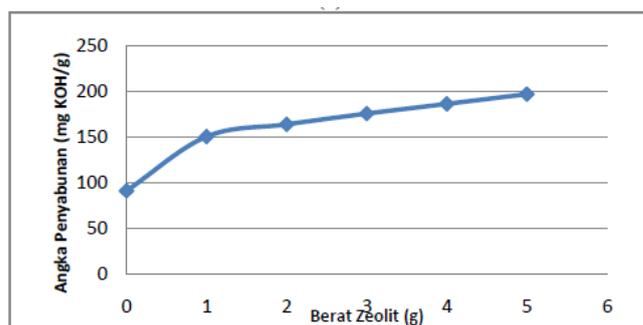
Pengaruh Adsorpsi Zeolit Sintesis terhadap Angka Penyabunan

Proses adsorpsi zeolit sintesis terhadap minyak goreng bekas angka penyabunan dilakukan dengan dua perlakuan yang sama dengan angka asam, yaitu perlakuan dengan (a) variasi waktu kontak dan (b) variasi berat zeolit. Hasil adsorpsi zeolit sintesis terhadap minyak goreng bekas dengan parameter angka penyabunan ditunjukkan pada gambar 5.

Hasil penelitian menunjukkan kenaikan angka penyabunan seiring dengan semakin lama waktu kontak dan bertambahnya berat zeolit. Angkapyenyabunan naik dari 90,882 mg KOH/g menjadi 196,911 mg KOH/g. Kecilnya angka penyabunan dalam minyak goreng bekas menunjukkan besarnya berat molekul minyak. Seiring dengan pemakaian minyak berulang kali menyebabkan banyaknya asam lemak terbebas dari trigliserida yang mengakibatkan kadar asam lemak bebas dalam minyak goreng menjadi tinggi. Tingginya kadar asam lemak bebas menyebabkan jumlah trigliserida berkurang sehingga angka penyabunan minyak menurun. Menurut Winarti, dkk. (2009) Panjang pendek rantai asam lemak dipengaruhi oleh tingkat oksidasi asam lemak tersebut. Semakin tinggi tingkat oksidasi, maka semakin pendek rantai asam lemak.



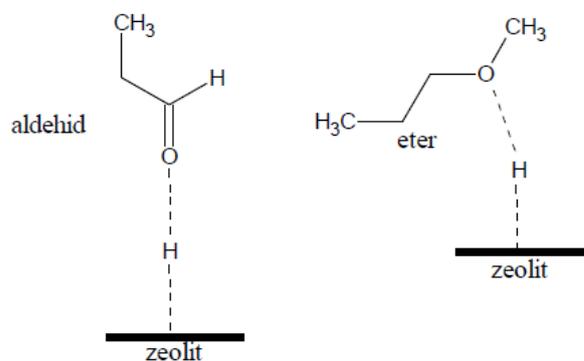
(a)



(b)

Gambar 5. Hasil adsorpsi zeolit sintesis dengan (a) variasi waktu (b) variasi berat zeolit terhadap minyak goreng bekas dengan parameter angkapyenyabunan.

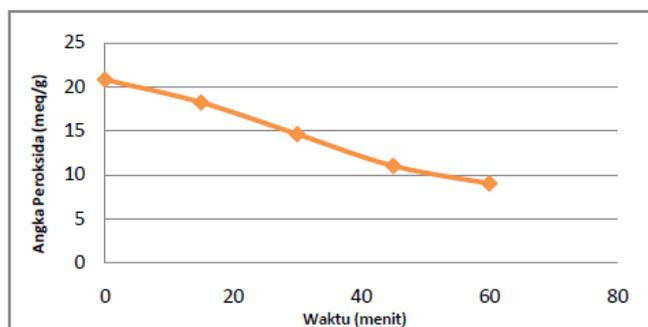
Proses adsorpsi zeolit terhadap minyak goreng bekas dapat mempengaruhi angka penyabunan. Adsorpsi zeolit terhadap minyak goreng kemungkinan melalui sisi aktif zeolit. Molekul yang mempunyai ukuran yang sesuai dengan pori zeolit akan teradsorpsi dan berinteraksi dengan situs aktif zeolit. Sebagaimana adsorpsi zeolit terhadap asam lemak bebas (gambar 4), zeolit juga mengikat air dan zat pengotor lainnya, baik yang bersifat polar maupun senyawa yang tidak tersabunkan, yang terlarut dalam minyak goreng. Teradsorpsinya air dan zat pengotor ini mengakibatkan angka penyabunan meningkat. Interaksi zeolit dengan senyawa tak tersabunkan dapat dilihat pada gambar 6.



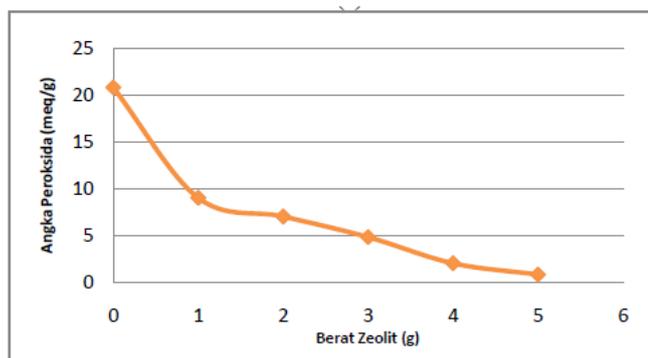
Gambar 6. Interaksi Zeolit dengan Senyawa Tak Tersabunkan.

Pengaruh Adsorpsi Zeolit Sintesis terhadap Angka Peroksida

Proses adsorpsi zeolit sintesis terhadap minyak goreng bekas angka peroksida juga dilakukan dengan dua perlakuan yang sama dengan angka asam dan angka penyabunan, yaitu perlakuan dengan (a) variasi waktu kontak dan (b) variasi berat zeolit. Hasil adsorpsi zeolit sintesis terhadap minyak goreng bekas dengan parameter angka peroksida ditunjukkan pada Gambar 7. Hasil penelitian menunjukkan penurunan angka peroksida seiring dengan semakin lama waktu kontak dan bertambahnya berat zeolit. Angka peroksida menurun dari 20,8 meq/g menjadi 0,8 meq/g. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan zeolit hasil sintesis memberikan pengaruh terhadap angka peroksida.



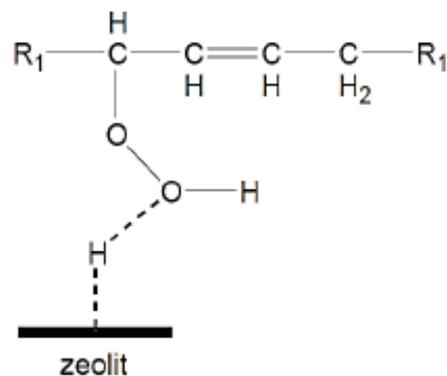
(a)



(b)

Gambar 7. Hasil adsorpsi zeolit sintesis dengan (a) variasi waktu, (b) variasi berat zeolit terhadap minyak goreng bekas dengan parameter angka peroksida.

Proses adsorpsi zeolit sintesis terhadap peroksida kemungkinan terjadi melalui sisi aktif zeolit. Interaksi zeolit hasil sintesis terhadap peroksida yang terkandung dalam minyak goreng terjadi ketika proses adsorpsi zeolit dilakukan dengan memanaskan minyak goreng bekas. Pemanasan ini menyebabkan senyawa peroksida terputus dari asam lemak bebas yang kemudian peroksida teradsorpsi oleh sisi aktif zeolit. Adsorpsi terjadi ketika sisi aktif zeolit menyerang peroksida yang ada di dalam minyak dan membentuk ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen terjadi melalui interaksi antara oksigen pada gugus hidroksil hidroperoksida dengan atom hidrogen pada situs aktif adsorben. Interaksi antara peroksida dengan adsorben zeolit hasil sintesis digambarkan seperti gambar 8.



Gambar 8. Interaksi Zeolit Sintesis dengan Peroksida (Sumber: Handoko, et al., 2009)

Kesimpulan

Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan bahwa abu dasar batubara telah berhasil ditransformasi menjadi zeolit dengan mengamati serapan IR pada bilangan gelombang 999,97 - 981,41 cm⁻¹ dan 667,49 - 624,74 cm⁻¹ yang menunjukkan vibrasi ulur asimetri dan simetri dari gugus O-Si-O atau O-Al-O dalam kerangka bangun primer tetrahedral yang didukung dengan munculnya serapan pada bilangan gelombang 457,31 - 436,31 cm⁻¹ yang mengindikasikan adanya ikatan antara Si-O atau Al-O serta 576,86 - 557,97 cm⁻¹ yang mengindikasikan adanya cincin ganda yang terdapat pada zeolit. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa sintesis zeolit dari abu dasar batubara menghasilkan beberapa jenis zeolit antara lain zeolit faujasit, zeolit faujasit-Y, zeolit cancrinit, dan zeolit Y. Namun, mayoritas zeolit yang terbentuk adalah zeolit faujasit sehingga dapat disimpulkan bahwa zeolit yang dihasilkan yaitu zeolit faujasit. Hasil adsorpsi zeolit sintesis dalam minyak goreng memberikan pengaruh terhadap angka asam, angka penyabunan dan angka peroksida. Nilai angka asam turun dari 2,9172 mg OH/g menjadi 0,3366 mg OH/g; angka penyabunan naik dari 90,882 mg KOH/g menjadi 196,911 mg KOH/g; dan angka peroksida turun dari 20,8 meq/g menjadi 0,8 meq/g.

Daftar Pustaka

- Ahmadi. 2009. Kinerja Zeolit Alam Teraktivasi pada Penjernihan Minyak Bekas Penggorengan Keripik Tempe. *Jurnal Teknologi Pertanian*. Vol. 10 No. 2 (Agustus 2009). 136 - 143.
- Handoko, Triyono, Narsito, dan Tutik, D. 2009. Peningkatan Kualitas Minyak Jelantah Menggunakan Adsorben H5-NZA dalam Reaktor Sistem Fluid fixed bed. *Jurnal ILMU DASAR*. Vol. 10 No. 2, Juli 2009 : 121-132.
- Jumaeri, W. Astuti dan W.T.P. Lestari. 2007. Preparasi dan Karakterisasi Zeolit dari Abu Layang Batubara Secara Alkali Hidrotermal. Semarang. Fakultas MIPA UNNES.
- Ketaren, S. 1986. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Jakarta: UI-Press

- Kusumastuti. 2004. Kinerja Zeolit dalam Memperbaiki Mutu Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. Vol. XV. No. 2.
- Londar. E., Hamzah.F., dan Nurul W. 2009. Pengaruh Karbon Terhadap Pembentukan Zeolit dari Abu Dasar dengan Metode Hidrotermal Langsung. Surabaya: Laboratorium Anorganik ,FMIPA Institut Teknologi Sepuluh November.
- Ratnasari, M dan Nurul W. 2011. Adsorpsi Logam Cu(II) pada Zeolit A yang Disintesis dari Abu Dasar Batubara PT. IPMOMI Paiton dengan Metode Kolom. Prosiding Seminar Nasional KimiaUNESA. Surabaya: Jurusan Kimia Fakultas MIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sutiah, K. Sofjan F, dan Wahyu S B. 2008. Studi Minyak Goreng Dengan Parameter Viskositas dan Indeks Bias. *BerkalaFisika*. Vol 11 ,No.2, hal. 53-58. Semarang: Laboratorium Optoelektronik dan Laser, Jurusan Fisika FMIPA UNDIP.
- Widayat, Suherman, dan K. Haryani. 2006. Optimasi Proses Adsorpsi minyak Goreng Bekas dengan Adsorbent Zeolit Alam: Studi Pengurangan Bilangan Asam. *Jurnal Teknik Gelagar*. Semarang: Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNDIP.
- Widayat. 2007. Studi Pengurangan Bilangan Asam, Bilangan Peroksida dan Absorbansi dalam Proses Pemurnian Minyak Goreng Bekas dengan Zeolit Aktif. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. Semarang: Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNDIP.
- Winarni, Wisnu S, dan Sri M. 2010. Penetralkan dan Adsorpsi Minyak Goreng Bekas menjadi Minyak Goreng Layak Konsumsi. Vol. 8 No. 1 Juni 2010. Semarang: FMIPA UNNES
- Winarti, Jariyah dan Yudi P. 2007. Proses Pembuatan VCO (Virgine Coconut Oil) Secara Enzimatis Menggunakan Papain Kasar. *Jurnal Teknologi Pertanian*. Vol. 8 No.2 (Agustus 2007) 136-141.
- Wuntu,A. D. dan Tangkuman, H. D. 2008. Derajat Kristalisasi sebagai Fungsi Waktu Ageing dan Waktu Kristalisasi pada Sintesis Zeolit A dengan Radiasi Gelombang Mikro. *Chem. Prog*. Vol. 1, No.1. 2008.