

**AKTIVASI KIMIAWI ZEOLIT ALAM UNTUK PEMURNIAN MINYAK IKAN
DARI HASIL SAMPING PENEPUNGAN IKAN LEMURU (*Sardinella longiceps*)**

Chemical Activation of Natural Zeolite for Purification of
Fish Oil from By- Product of Fishmeal Processing

Kgs Ahmadi* dan Wahyu Mushollaeni

Program Studi Teknologi Industri Pertanian – Universitas Tribhuwana Tungadewi
Jl. Telaga Warna – Tlogomas – Malang

*Penulis korespondensi, email: kgs_ahmadi@yahoo.com

ABSTRACT

Omega-3 fatty acid has health benefits. Indonesia has some species of fish that contain this kind of fatty acid such as lemuru. However its utilization as ω -3 fatty acid source is still limited. Fish oil from lemuru meal processing has poor quality because of its color and peroxide value, besides its free fatty acid content. Therefore purification process should be employed to improve its quality.

This research was conducted to elucidate the performance of natural zeolite in purification of fish oil from lemuru meal processing. Activation of natural zeolite was employed to increase its adsorption capacity. One technique to activate natural zeolite was chemical activation by strong acid (HF, H₂SO₄, dan HCl). Concentration level of activated zeolite in purification was also defined.

The best result was natural zeolite activated by HCl and concentration level of 15%. The characteristics of purified lemuru oil were as followed: absorbance at 430 nm of 0,24, free fatty acid content 4,12, ω -3 fatty acid content of 20,34%, and peroxide value of 93,6 meq/kg.

Keywords: natural zeolite, purification, lemuru meal processing, fish oil

PENDAHULUAN

Asam lemak ω -3 merupakan asam lemak yang paling penting bagi kesehatan. Sampai saat ini sumber asam lemak ω -3 masih terbatas pada minyak ikan. Pada umumnya, ikan yang berasal dari perairan dingin mengandung asam lemak ω -3 dengan kadar yang tinggi. Di Indonesia ada beberapa spesies ikan yang mengandung asam lemak ω -3 dengan kadar yang tinggi seperti ikan lemuru, tetapi pemanfaatannya sebagai sumber asam lemak ω -3 masih terbatas. Penelitian sebelumnya (Estiasih, 1996; Estiasih, 2003) menunjukkan bahwa minyak hasil samping pengolahan ikan

lemuru dari daerah Muncar Banyuwangi mengandung asam lemak ω -3 dalam kadar tinggi dan dapat digunakan sebagai sumber asam lemak ω -3. Jumlah minyak ikan hasil samping pengolahan (pengalengan dan penepungan) ini cukup tinggi, yaitu 4.300 ton pada tahun 1996 (Yunizal, 2002) dan belum dimanfaatkan secara optimal sebagai sumber asam lemak ω -3.

Pada tahap pre-cooking proses pengalengan; serta pemasakan dan pengepresan pada proses penepungan dihasilkan cairan samping yang mengandung minyak (Yunizal, 2002). Apabila segera ditangani dengan baik, minyak ikan tersebut bermutu baik dan dapat digunakan untuk

makanan.

Minyak ikan samping dari proses penepungan mempunyai kualitas lebih rendah dibandingkan dengan minyak hasil samping proses pengalengan, terutama warna dan bilangan peroksida. Minyak hasil penepungan mempunyai warna lebih gelap dan bilangan peroksida lebih tinggi, dan jumlah asam lemak bebas juga tinggi karena itu perlu dilakukan pemurnian.

Banyak cara dapat digunakan untuk memurnikan minyak. Salah satu yang dapat digunakan adalah zeolit. Penggunaan zeolit merupakan upaya untuk memanfaatkan zeolit sebagai bahan pemurni dengan harga murah. Zeolit banyak digunakan sebagai penapis molekuler, penukar ion, hidrasi-dehidrasi, kestabilan asam dan panas, serta katalis (Hardjatmo dan Selinawati, 1996). Penggunaan zeolit alam sebagai adsorben untuk penyerapan limbah logam dalam air sudah banyak dilakukan, karena disamping memenuhi syarat sebagai adsorben yang baik juga harganya murah dan mudah didapat (Amri et al., 2004). Zeolit alam yang telah diaktivasi mempunyai kemampuan sebagai adsorben. Proses aktivasi menyebabkan terjadinya perubahan perbandingan Si/Al, luas permukaan meningkat, dan terjadi peningkatan porositas zeolit (Setiadji, 1996). Aktivasi secara kimiawi dapat dilakukan dengan menggunakan asam-asam mineral atau basa-basa kuat. Perbandingan Si/Al dapat dimodifikasi menggunakan asam-asam mineral, selain itu perlakuan asam dapat meningkatkan luas permukaan spesifik, dan meningkatkan keasaman (Setyawan, 2002). Perlakuan asam untuk mengubah perbandingan komposisi Si/Al yang berakibat terjadi perubahan porositas dan kapasitas penyerapan zeolit. Perlakuan asam pada mordenit menyebabkan terjadinya ekstraksi aluminium yang menyebabkan perubahan sifat tetapi tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur. Tsitsisilivili et al. (1992) mendapatkan bahwa perlakuan asam pada clinoptilolit dapat meningkatkan porositas dan kapasitas penyerapan untuk molekul-molekul yang relatif besar.

Zeolit mengandung kation yang dapat dipertukarkan, sehingga banyak digunakan dalam industri sebagai penukar ion, menghilangkan ion amonia dalam limbah, serta mengekstrak logam berat dalam limbah industri. Dalam industri pangan

zeolit dipakai untuk penyaring molekul dan adsorben yang baik untuk pemucatan warna minyak sawit (Kusuma Dewi, 1994) dan untuk memisahkan tokoferol dari distilat asam lemak minyak sawit (Ahmadi et al., 1997). Penelitian zeolit untuk pemucatan minyak sawit dengan kadar zeolit 4% dan pemanasan 1100C selama 30 menit dapat menyerap karoten sampai 80% (Sunaryati, 1991), Munadjim (1996) mendapatkan bahwa kombinasi zeolit dengan arang dengan tempurung kelapa (100:10) dapat menjernihkan dan mengurangi ion Ca dalam nira siwalan. Hasil penelitian Kusumastutiti (2004) menunjukkan bahwa zeolit mampu memperbaiki kualitas minyak goreng bekas menjadi lebih baik.

Melihat kemampuan zeolit di atas maka dikaji jenis dan tingkat pemberian zeolit untuk pemurnian minyak ikan hasil samping penepungan ikan lemuru (*Sardinella longiceps*).

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi bahan baku dan bahan kimia. Bahan baku terdiri dari minyak ikan hasil samping penepungan ikan lemuru (*Sardinella longiceps*) yang diambil dalam bentuk segar dari industri penepungan ikan dari daerah Muncar-Banyuwangi Jawa Timur. Zeolit diperoleh dari PT. Handaru Inti Tulodo di Ngaglik, Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta.

Bahan-bahan kimia yang digunakan adalah standar asam lemak ω -3 yaitu EPA (eicosapentaenoic acid) dan DHA (docosahexaenoic acid), standar asam lemak lain, asam asetat, heksana, natrium thiosulfat, kloroform, etanol, metilen klorida, BF₃-metanol, HCl, HF, H₂SO₄, KOH, NaOH (semua untuk analisis) dari Merck dan Sigma Co., kertas saring, gas nitrogen, dan gas hidrogen.

Peralatan yang digunakan adalah freezer (Toshiba), kromatografi gas (Shimadzu GC-14 B), integrator (Shimadzu C-RGA Chromatopac), spektrofotometer UV, neraca analitik, alat-alat gelas, pengaduk magnet, dan pemanas.

Rancangan Percobaan

Percobaan dirancang menggunakan

Rancangan Acak Lengkap dengan Pola Faktorial 2 faktor dengan 3 ulangan. Faktor I adalah jenis aktivasi zeolit HF (5%), H₂SO₄ (25%), dan HCl (25%). Faktor II tingkat pemberian zeolit. Analisis data dilakukan dengan menggunakan analisis ragam (anova) dan uji lanjut dengan DMRT 5%.

Pelaksanaan Penelitian

Zeolit berbentuk tepung dimasukkan pada 3 buah erlenmeyer 500 ml dengan berat zeolit untuk masing-masing Erlenmeyer adalah 500 g. Kemudian pada masing-masing Erlenmeyer dituangkan sebanyak 300 ml asam sebagai berikut; HF (5%), H₂SO₄ (25%), dan HCl 25% dan dibiarkan selama 2 jam. Setelah 2 jam zeolit dicuci sampai netral, selanjutnya dipanaskan pada suhu 3000C selama 3 jam.

Sebelum digunakan zeolit yang telah diaktivasi, dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 1300C selama 1 jam agar dapat mengaktifkan dan mengurangi kadar air zeolit. Selanjutnya zeolit ditempatkan dalam desikator sebelum digunakan.

Zeolit digunakan untuk memurnikan minyak ikan dengan tingkat pemberian zeolit 5, 10, 15, dan 20% (b/b minyak ikan) untuk masing-masing jenis aktivasi. Selanjutnya dilakukan pemurnian dengan berat minyak ikan 100 g untuk setiap perlakuan. Minyak yang telah diberi zeolit selanjutnya dipanaskan pada 400C selama 30 menit sambil diaduk menggunakan pengaduk magnetik. Kemudian disaring menggunakan kertas saring, filtrat merupakan minyak yang telah murni.

Minyak yang telah dimurnikan dianalisis untuk mengetahui karakteristiknya, meliputi analisis warna menggunakan metode King et al. (1992), asam lemak bebas (AOCS, 1989), kadar asam lemak ω -3 dengan kromatografi gas menggunakan metode metilasi Christopherson dan Glass (1969), serta tingkat oksidasi berdasarkan bilangan peroksida (AOCS, 1989)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bahan Baku

Sebelum dilakukan perlakuan terhadap bahan baku minyak ikan hasil penepungan ikan lemuru (*Sardinella longiceps*), maka terlebih dahulu dilakukan analisis terhadap

bahan baku. Analisis dilakukan terhadap parameter warna, jumlah asam lemak bebas, bilangan peroksida, dan persentase kandungan asam lemak ω -3 agar diketahui kondisi awal bahan baku. Dari hasil analisis diperoleh data seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Minyak Hasil Samping Penepungan Ikan Lemuru

Parameter	Besaran
Warna (absorbansi pada 430 nm)	0,42
Kadar asam lemak bebas (%)	4,92
Bilangan peroksida (mek/ kg)	82,8
Kadar asam lemak γ -3 (%)	21,82

Profil asam lemak minyak ikan hasil samping penepungan ikan lemuru dilakukan dengan menggunakan kromatografi gas. Profil asam lemak minyak ikan hasil samping penepungan ikan lemuru disajikan pada Gambar 1.

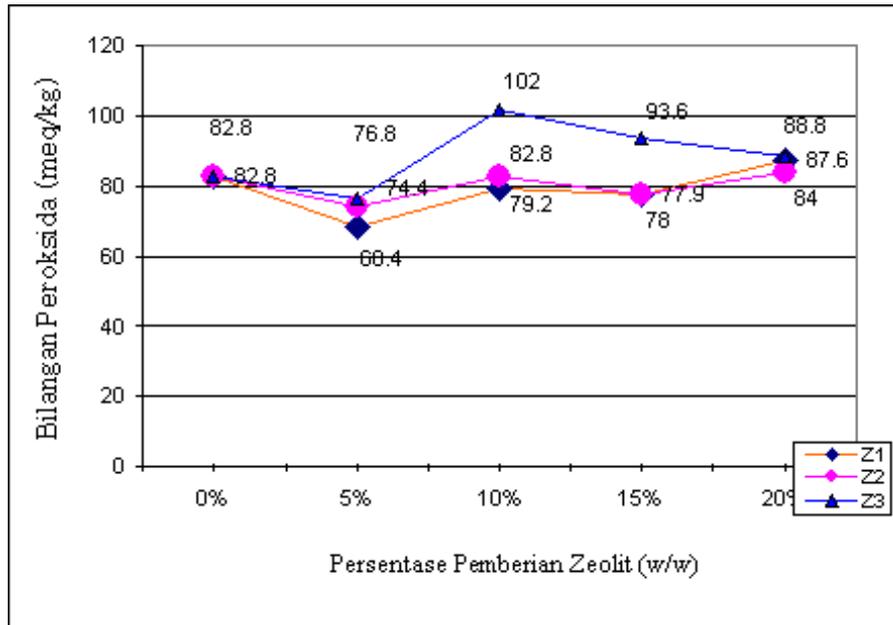
Warna

Pengamatan warna minyak hasil samping penepungan ikan lemuru dilakukan dengan mengamati absorbansi pada panjang gelombang 430 nm (King et al, 1992). Penurunan nilai absorbansi mencerminkan warna bahan yang makin cerah.

Gambar 2 menggambarkan bahwa jenis zeolit alam dengan aktivasi asam yang berbeda menghasilkan nilai absorbansi yang berbeda. Grafik di atas menunjukkan penggunaan zeolit menyebabkan penurunan nilai absorbansi yang berarti terjadi penurunan warna minyak ikan menjadi lebih cerah. Perlakuan asam yang terbaik terdapat pada perlakuan dengan HCl dan peningkatan persentase pemberian menunjukkan penurunan nilai absorbansi. Nilai absorbansi pada bahan awal sebesar 0,42 menurun menjadi 0,24 setelah diperlakukan dengan Zeolit HCl pada pemberian 15 dan 20%. Pada perlakuan dengan H₂SO₄ juga menunjukkan penurunan nilai absorbansi menjadi 0,31 dan untuk perlakuan dengan HF nilai absorbansi menjadi 0,32.

dengan aktivasi HCl yaitu sebesar 102 mek/kg, diikuti aktivasi H₂SO₄ sebesar 82,8 mek/kg, dan zeolit aktivasi HF sebesar 79,2 mek/kg. Pada tingkat pemberian yang lebih tinggi, yaitu pada 15% dan 20 %, zeolit aktivasi HCl, menunjukkan bilangan peroksida yang menurun. Pada tingkat pemberian 15% bilangan peroksida mencapai 93,6 mek/kg dan pada 20% bilangan peroksida sebesar 88,8 mek/kg (Gambar 3). Peningkatan bilangan peroksida dengan perlakuan

zeolit ini kemungkinan disebabkan adanya peningkatan kelarutan oksigen selama proses agitasi sehingga terjadi oksidasi minyak dengan oksida sehingga terjadi peningkatan bilangan peroksida. Pada zeolit dengan aktivasi HCl kemungkinan lebih reaktif dari jenis zeolit aktivasi dengan H₂SO₄ dan HF sehingga menyebabkan oksidasi pada minyak yang ditandai dengan peningkatan bilangan peroksida.



Gambar 3. Bilangan peroksida minyak hasil samping penepungan ikan lemuru pada berbagai jenis aktivasi dan tingkat pemberian zeolit

Bilangan peroksida pada perlakuan zeolit dengan aktivasi HCl mencapai maksimum pada pemberian 10% selanjutnya terus menurun. Hal ini terjadi karena hidrogenperoksida hasil oksidasi minyak ini bersifat labil yang selanjutnya terdegradasi lebih lanjut membentuk produk oksidasi sekunder. Perubahan ini menyebabkan peroksida yang terdeteksi menurun sehingga bilangan peroksida menurun.

Bilangan peroksida yang diperoleh ini masih jauh lebih tinggi bila dibandingkan syarat mutu minyak ikan internasional. Syarat mutu minyak ikan hanya memperkenankan bilangan peroksida sebesar 3 – 20 mek/kg. Upaya untuk menurunkan bilangan peroksida perlu dilakukan lebih lanjut untuk mencapai persyaratan mutu yang digariskan. Karena itu minyak ikan yang dimurnikan menggunakan zeolit perlu dilanjutkan proses

untuk menurunkan bilangan peroksida dengan deodorisasi.

Hasil yang diperoleh ini berbeda dengan yang diperoleh oleh Kusumastuti (2004) yang berhasil memperbaiki kualitas minyak goreng bekas dengan menggunakan zeolit sebanyak 10% (b/v), dimana terjadi penurunan bilangan peroksida, angka asam (asam lemak bebas), dan peningkatan kejernihan. Pada penelitian ini zeolit dengan aktivasi HCl mampu meningkatkan kejernihan dan penurunan asam lemak bebas tetapi tidak dapat menurunkan bilangan peroksida.

Minyak ikan merupakan jenis minyak yang banyak mengandung asam lemak tidak jenuh. Jenis asam lemak yang mendominasi pada minyak ikan adalah dari jenis asam lemak EPA (C_{20:5} ω-3) dan DHA (C_{22:6} ω-3). Jenis asam lemak ini mudah

teroksidasi bila terdapat banyak oksigen. Menurut Raharjo (2004), asam lemak tidak jenuh dengan ikatan rangkap lebih dari satu (PUFA, *polyunsaturated fatty acids*) lebih rentan terhadap oksidasi oksigen triplet yang dipicu radikal dibandingkan asam lemak tidak jenuh dengan ikatan rangkap tunggal (MUFA, *monounsaturated fatty acids*), hal ini terutama disebabkan lebih rendahnya energi aktivasi untuk awal pembentukan radikal bebas pada PUFA dibandingkan asam lemak tidak jenuh ikatan rangkap tunggal. Pada asam linoleat dan linolenat autooksidasi oksigen triplet menghasilkan hidroperoksida diena terkonyugasi. Perbandingan relatif reaksi oksigen triplet dengan asam oleat, linoleat, dan linolenat untuk pembentukan hidroperoksida adalah 1:12:25, dimana hal tersebut bergantung pada kesulitan relatif dalam pembentukan radikal pada molekul (Min *et al.*, 1989).

Setiap jenis senyawa volatil hasil dekomposisi hidroperoksida lemak memiliki kontribusi yang berbeda-beda terhadap flavor (aroma). Senyawa yang dihasilkan berupa senyawa aldehid berantai pendek dan mudah menguap. Senyawa ini sangat mempengaruhi aroma minyak. Kontribusi dari senyawa tersebut berbeda-beda tergantung antara lain pada interaksi senyawa tersebut, konsentrasinya, dan medium.

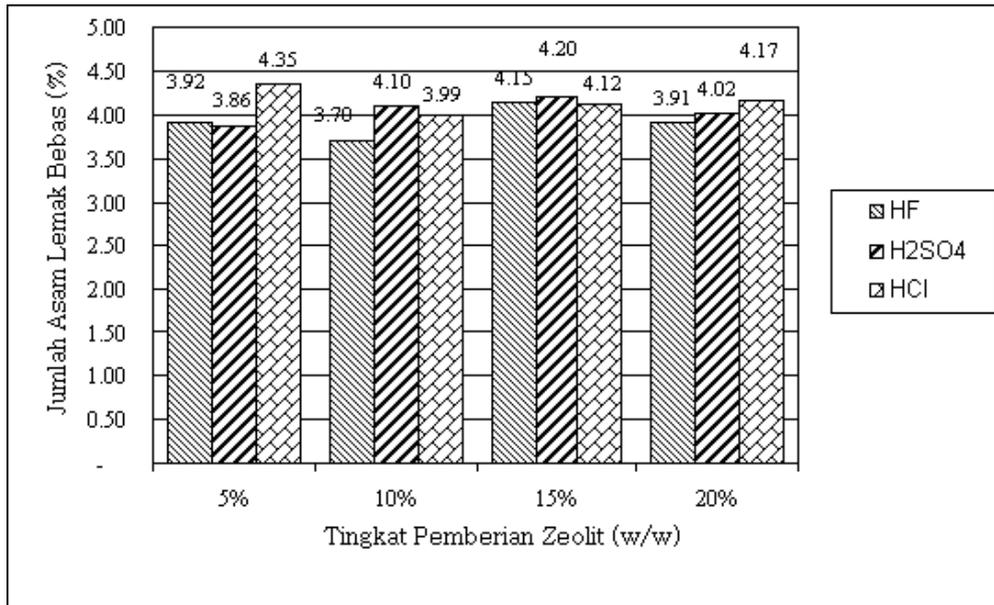
Asam lemak bebas

Jumlah asam lemak bebas pada minyak ikan hasil samping penepungan ikan lemuru setelah perlakuan menggunakan zeolit dengan aktivasi yang berbeda tidak menunjukkan perbedaan. Jumlah asam lemak bebas berkisar antara 3,32% hingga 4,47%. Hal ini memberikan gambaran bahwa zeolit yang digunakan dengan aktivasi yang berbeda, yaitu dengan HF, H₂SO₄, maupun HCl dapat menyerap asam lemak bebas. Pada proses penyerapan pengikatan terjadi bila senyawa tertahan pada sisi aktif ataupun tertahan pada mesopori yang terbentuk akibat perlakuan asam. Penurunan jumlah asam lemak bebas dari minyak ikan awal sebesar 4,92%. Walaupun demikian jumlah asam lemak bebas yang diperoleh telah memenuhi standar mutu internasional yang disyaratkan untuk minyak ikan sebesar 1 - 7%. Gambar 4 memperlihatkan hubungan antara jenis zeolit dengan jumlah asam

lemak bebas pada tingkat pemberian yang berbeda.

Asam lemak bebas dihasilkan bila terjadi hidrolisis terhadap minyak trigliserida sehingga asam lemak terlepas dari ikatan dengan gliserol. Peningkatan hidrolisis terhadap minyak akan meningkatkan jumlah asam lemak bebas yang dihasilkan. Peningkatan jumlah asam lemak bebas menurunkan mutu minyak dan meningkatkan potensi terjadinya kerusakan minyak. Kerusakan minyak dapat mempengaruhi aroma sehingga minyak berbau tengik. Apabila jenis asam lemak bebas yang dihasilkan adalah dari jenis asam lemak tidak jenuh maka ini akan memperbesar terjadinya oksidasi bila tersedia cukup oksigen. Reaksi antara asam lemak bebas tidak jenuh dengan oksigen menghasilkan hidroperoksida sebagai produk antara. Selanjutnya akan menghasilkan produk oksidasi sekunder yang berpengaruh terhadap aroma.

Perlakuan jenis zeolit dengan aktivasi HF menunjukkan jumlah asam lemak bebas yang paling rendah dibandingkan dengan zeolit dengan aktivasi H₂SO₄ dan HCl sejalan dengan tingkat pemberian. Secara statistik hal ini tidak berbeda nyata pada tingkat uji DMRT 5%. Walaupun demikian zeolit dengan aktivasi HCl memperlihatkan kecenderungan penurunan pada tingkat pemberian sampai 10% dan meningkat kembali pada pemberian 15 dan 20%. Pada perlakuan dengan zeolit tidak terjadi peningkatan jumlah asam lemak bebas secara signifikan. Hal ini sangat menguntungkan karena perlakuan dengan zeolit tidak menyebabkan terjadi hidrolisis terhadap minyak ikan. Hidrolisis terhadap minyak ikan (trigliserida) menyebabkan asam lemak terlepas dari ikatan dengan gliserol sehingga jumlah asam lemak bebas akan meningkat. Menurut Raharjo (2004) trigliserida pada daging atau ikan (produk hewani) akan terhidrolisis menjadi digliserida, monogliserida, dan akan membentuk asam lemak bebas.



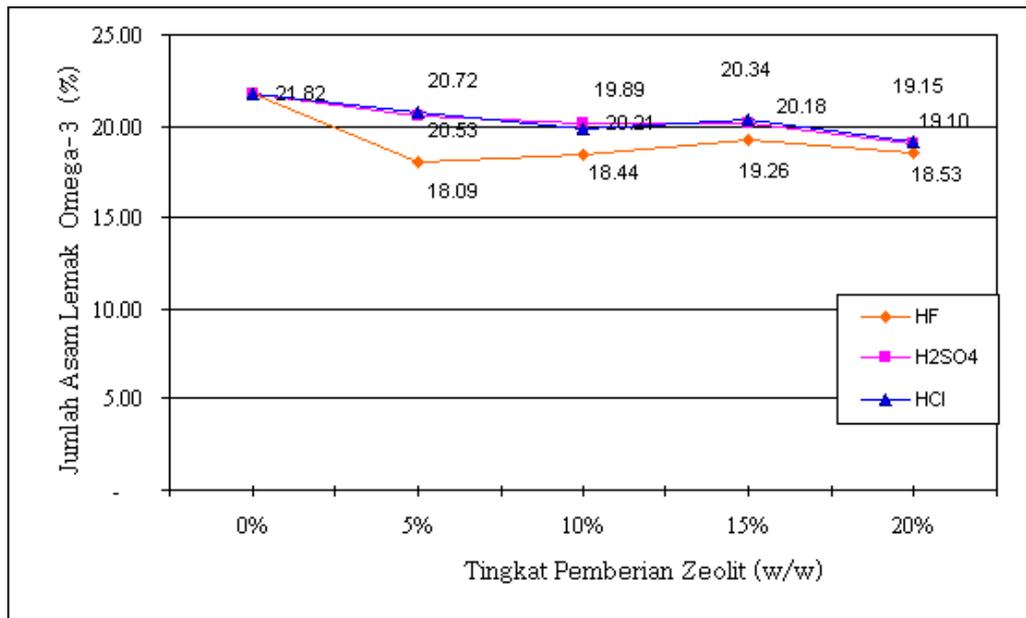
Gambar 4. Kadar asam lemak bebas minyak hasil samping penepungan ikan lemuru pada berbagai aktivasi dan tingkat pemberian zeolit

Kadar asam lemak ω -3

Jumlah asam lemak ω -3 terendah rata-rata 18,09% pada aktivasi HF dengan tingkat pemberian 10% dan tertinggi 20,72% pada aktivasi HCl dengan tingkat pemberian 10%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan aktivasi zeolit mempengaruhi jumlah asam lemak ω -3 yang diperoleh. Bila dibandingkan dengan bahan awal jumlah asam lemak ω -3 sebesar 21,82% maka terjadi penurunan perolehan jumlah asam lemak ω -3. Peningkatan jumlah asam lemak ω -3 pada aktivasi HCl dengan tingkat pemberian 10% disebabkan jenis zeolit dengan aktivasi HCl mampu mengurangi jumlah senyawa pengotor sehingga asam lemak ω -3 lebih terkonsentrasi. Kecenderungan dari masing-masing perlakuan dapat dilihat pada Gambar 5.

Asam lemak ω -3 mempunyai rantai ikatan yang panjang dan bersifat non polar sehingga relatif tidak terikat pada zeolit. Zeolit dapat melewati asam lemak ω -3, sedangkan senyawa pengotor yang mempengaruhi warna dapat diikat dengan baik. Hal ini mengakibatkan minyak ikan yang dihasilkan setelah pemurnian menggunakan zeolit jumlah asam lemak ω -3 lebih terkonsentrasi. Kandungan asam lemak ω -3 meningkat sejalan dengan peningkatan tingkat pemberian zeolit.

Zeolit dengan aktivasi HCl mempunyai kapasitas penyerapan lebih baik dibandingkan dengan zeolit dengan jenis zeolit dengan aktivasi HF) dan H₂SO₄ karena jumlah mesopori yang lebih tinggi. Kapasitas penyerapan yang lebih tinggi menyebabkan jumlah senyawa pengotor yang dapat dijerap menjadi lebih tinggi. Hal ini menghasilkan minyak ikan yang lebih murni sehingga asam lemak ω -3 yang diperoleh lebih tinggi. Zeolit alam yang telah diaktivasi mempunyai kemampuan sebagai adsorben. Proses aktivasi menyebabkan terjadinya perubahan perbandingan Si/Al, luas permukaan meningkat, dan terjadi peningkatan porositas zeolit (Setiadji, 1996). Tsitsislivili et al. (1992) mendapatkan bahwa perlakuan asam pada clinoptilolit dapat meningkatkan porositas dan kapasitas penyerapan untuk molekul-molekul yang relatif besar. Perlakuan asam mampu meningkatkan luas permukaan zeolit. Perlakuan asam menyebabkan terbukanya pori zeolit sehingga luas permukaan meningkat. Luas permukaan menggambarkan permukaan aktif yang dapat kontak dengan senyawa (Setyawan, 2003).



Gambar 5. Kadar asam lemak ω -3 minyak hasil samping penepungan ikan lemuru pada berbagai aktivasi dan tingkat pemberian zeolit

KESIMPULAN

Penelitian aktivasi kimia zeolit yang digunakan untuk pemurnian minyak ikan hasil samping dari penepungan ikan lemuru (*Sardinella longiceps*) dapat disimpulkan:

1. Zeolit yang diaktivasi dengan HCl 25% dengan tingkat pemberian 15% dapat digunakan untuk memurnikan minyak ikan hasil samping penepungan ikan lemuru (*Sardinella longiceps*)

2. Parameter mutu yang ikan diperoleh pada zeolit HCl 25% dengan tingkat pemberian 15% adalah; absorbansi pada panjang gelombang 430 nm (warna) sebesar 0,24, bilangan peroksida 93,6 mek/kg, asam lemak bebas 4,12%, dan jumlah asam lemak ω -3 20,34%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat penelitian dan Pengabdian Masyarakat (DP2M) Dirjen Dikti Depdiknas yang telah membiayai penelitian ini melalui Penelitian Dosen Muda Tahun Anggaran 2006.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, Kgs., Pudji Hastuti, Tranggono. 1997. Aktivasi zeolit zlam dan penggunaannya untuk pemurnian tokoferol dari Distilat Asam Lemak Minyak Sawit. *Berkala Penelitian Pascasarjana UGM*: 10(2B).
- Amri, A., Supranto, dan M. Fahrurrozi. 2004. Keseimbangan adsorpsi optical campuran biner Cd(II) dan Cr(III) dengan zeolit alam terimpregnasi 2-merkaptobenzotianol. *Jurnal Natur Indonesia*. VI(2):111-117.
- Anonymous. 2004. Introduction to Zeolite and Catalys. Elsevier Science. Amsterdam
- Demuth, T.H., L. Benco, J. Hafner, and H. Toulhoat. 2001. Adsorption of water in mordenite - An ab initio study. *International Journal of Quantum Chemistry*. 84:110-116.
- Estiasih, T. 1996. *Mikroenkapsulasi Konsentrat Asam Lemak ω -3 dari Limbah Cair Pengalengan Ikan Lemuru (*Sardinella longiceps*)*. Thesis. Program Pascasarjana. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

- Estiasih, T. 2003. *Peran Natrium Kaseinat dan Fosfolipida dalam Emulsifikasi dan Mikroenkapsulasi Trigliserida Kaya Asam Lemak ω -3*. Disertasi. Program Pascasarjana. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Hardjatmo dan Selinawati. 1996. *Karakteristik Zeolit alam. Makalah dalam Lokakarya Nasional Kimia*. Yogyakarta.
- Holmberg, B.A., H. Wang, and Y. Yan. 2004. High Silica Zeolite Y nanocrystals by Dealumination and Direct Synthesis. *Microporous and Mesoporous Materials*. 74:189-198.
- Kusumastuti. 2004. Kinerja zeolit dalam memperbaiki mutu minyak goreng bekas. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. XV(2):141-144.
- Min D.B, S.H. Lee, E.C Lee. 1989. Singlet Oxygen Oxidation of Vegetable Oils. In: Min DB, SmouseTH, editors. *FlavorChemistry of Lipid Foods*. Champaign, III: American Oil Chemistry Society.
- Munajim. 1996. *Zeolit Alam - Arang Tempurung Kelapa sebagai Penyaring-Pemurni Nira Siwalan*. Makalah dalam Lokakarya nasional Kimia. Yogyakarta.
- Raharjo, S. 2004. *Kerusakan Oksidatif pada Makanan*. Pusat Studi Pangan dan Gizi, UGM. Yogyakarta.
- Setiadji, A.H.B. 1996. *Zeolit Material Unggulan Masa Depan. Makalah dalam Lokakarya Nasional Kimia*. Yogyakarta.
- Setyawan, D. 2002. Pengaruh perlakuan asam, hidrotermal, dan impregnasi logam kromium pada zeolit alam dalam preparasi katalis. *Jurnal Ilmu Dasar III(2)*.
- Setyawan, D. 2003. Aktivitas katalis Cr/Zeolit dalam reaksi konversi katalitik fenol dan metil isobutil keton. *Jurnal Ilmu Dasar*. IV(2):70-76
- Tsitsislivili, G.V., T.G. Andronikashvili, and G.N. Kirov. L.D. Filizova. 1992. *Natural Zeolites*. Ellis Harward. New York.
- Yunizal. 2002. *Konsentrat Omega-3 dari Minyak Ikan Lemuru*. Department of Marine Affairs and Fisheries Republic of Indonesia.