

METODE EKSTRAKSI PELARUT BERBANTUAN ULTRASONIK UNTUK RECOVERY MINYAK DARI LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT

Application of Ultrasound-assisted Solvent Extraction for Recovery of Oil from Palm Oil Mill Effluent

Muhammad Dani Supardan, Teku M. Asnawi, Yulia Putri, Sri Wahyuni

Jurusan Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala, Jl. Syech
Abdur Rauf 7, Darussalam, Banda Aceh
Email: m.dani.supardan@unsyiah.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mempelajari metode ekstraksi pelarut berbantuan ultrasonik untuk *recovery* minyak dari limbah cair pabrik kelapa sawit. Ekstraksi dilakukan pada temperatur kamar dengan menggunakan volum total campuran (limbah dan pelarut) sebanyak 300 ml. Variabel penelitian yang digunakan adalah rasio volum limbah terhadap pelarut (1:1; 2:1; 4:1; dan 5:1), waktu ekstraksi (30, 60, 90 dan 120 menit), dan jenis pelarut (n-heksan dan petroleum eter). Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstraksi berbantuan ultrasonik menghasilkan rendemen minyak yang lebih besar dibandingkan ekstraksi tanpa bantuan ultrasonik dengan menggunakan pengadukan mekanik. Rendemen minyak tertinggi sebesar 0,265 % diperoleh pada proses ekstraksi berbantuan ultrasonik dengan rasio volum limbah terhadap pelarut 5:1, waktu ekstraksi 90 menit dengan menggunakan pelarut n-heksan. Rendemen minyak dan konsentrasi karoten yang lebih tinggi diperoleh pada ekstraksi menggunakan pelarut n-heksan. Metode ekstraksi pelarut berbantuan ultrasonik dan tanpa bantuan ultrasonik memberikan perbedaan yang tidak signifikan terhadap konsentrasi karoten yang terdapat dalam minyak yang telah *direcovery*.

Kata kunci: Ekstraksi, karoten, limbah cair pabrik kelapa sawit, minyak, ultrasonik

ABSTRACT

In this study, application of ultrasound-assisted solvent extraction for recovery of oil from palm oil mill effluent (POME) was studied. Extraction conditions such as volume ratio of POME to solvent, extraction time and type of solvent were investigated. Extraction was carried out at room temperature with total volume (POME and solvent) of 300 ml. The experimental results showed that ultrasound-assisted extraction provided higher yield than without ultrasound using mechanical stirring. The highest oil yield of 0.265 % obtained at ultrasound-assisted extraction condition of volume ratio of POME to solvent 5:1, extraction time of 60 minutes using n-hexane as solvent. The highest oil yield and carotene concentration were obtained by n-hexane. Meanwhile, there was no significant difference of carotene concentration obtained from ultrasound-assisted and without ultrasound-assisted extraction.

Keywords: Extraction, carotene, palm oil mill effluent, oil, ultrasound

PENDAHULUAN

Limbah cair pabrik kelapa sawit (PKS) yang biasa disebut dengan CPO parit adalah limbah cair yang bersifat non-toksik. Namun demikian, terdapat sejumlah parameter yang nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan baku mutu

yang telah ditetapkan. Hal ini menyebabkan setiap PKS harus mengolah terlebih dahulu limbah tersebut sebelum dialirkan ke badan sungai. Di sisi lain, usaha-usaha pemanfaatan limbah industri pangan menjadi produk yang bernilai ekonomi terus diupayakan. Pemanfaatan limbah cair PKS menjadi produk yang bernilai ekonomi pada akhirnya diharapkan

dapat mewujudkan ketahanan industri pangan di negara kita. Limbah cair PKS masih mengandung lebih kurang 0,5 % minyak sawit. Minyak sawit berwarna jingga karena keberadaan komponen karoten dengan konsentrasi berkisar 400-3500 ppm dengan kandungan terbesar yaitu sekitar 90 % adalah beta- dan alpha-karoten. Jumlah komponen karoten yang terdapat dalam minyak sawit adalah 15 kali lebih besar dari wortel dan 300 kali lebih besar dari tomat (Sundram dkk., 2003). Komponen karoten pada minyak sawit dapat dipisahkan dengan berbagai cara diantaranya ekstraksi pelarut, ekstraksi fluida superkritis, distilasi molekuler dan teknologi membran (Chuang dan Brunner, 2006).

Saat ini telah dikembangkan teknik baru untuk proses ekstraksi yaitu dengan menggunakan bantuan gelombang ultrasonik. Pengolahan bahan makanan juga tak luput memanfaatkan teknik ini (Mason dkk., 1996). Keuntungan utama dari ekstraksi dengan bantuan gelombang ultrasonik dibandingkan dengan ekstraksi konvensional menggunakan soxhlet yaitu efisiensi lebih besar dan waktu operasinya lebih singkat. Proses ekstraksi konvensional dengan menggunakan pelarut organik umumnya membutuhkan waktu yang cukup lama karena laju perpindahan massanya yang rendah.

Beberapa peneliti telah melaporkan keberhasilan penggunaan ekstraksi menggunakan ultrasonik. Fu dkk. (2006) menggunakan bantuan ultrasonik untuk mengekstrak *Xyglolucan* dari ampas apel. Henwimol dkk. (2006) mengekstrak *Anthraquinones* dari *Morindasitrivolia* dan Ji dkk. (2006) mengekstrak *Geniposide* dari buah gardenia. Seperti dilaporkan dalam beberapa penelitian di atas, penggunaan ultrasonik dapat meningkatkan rendemen dan kualitas produk yang dihasilkan dibandingkan dengan ekstraksi konvensional menggunakan soxhlet. Keunggulan-keunggulan metode ekstraksi menggunakan bantuan ultrasonik dibandingkan metode ekstraksi yang ada yaitu metode konvensional menggunakan soxhlet, ekstraksi menggunakan fluida superkritis dan juga ekstraksi berbantuan *microwave* telah dilaporkan oleh beberapa peneliti (Garcia dan Castro, 2003; 2004; Jacques dkk., 2007).

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari metode ekstraksi pelarut berbantuan ultrasonik untuk *recovery* minyak dari limbah cair PKS dengan melihat pengaruh variabel-variabel proses yaitu rasio volum limbah terhadap pelarut, jenis pelarut dan waktu ekstraksi terhadap rendemen minyak dan konsentrasi karoten yang terdapat dalam minyak yang telah *direcovery*. Proses ekstraksi pelarut tanpa bantuan ultrasonik dengan menggunakan pengadukan mekanik dilakukan sebagai pembandingan.

METODOLOGI PENELITIAN

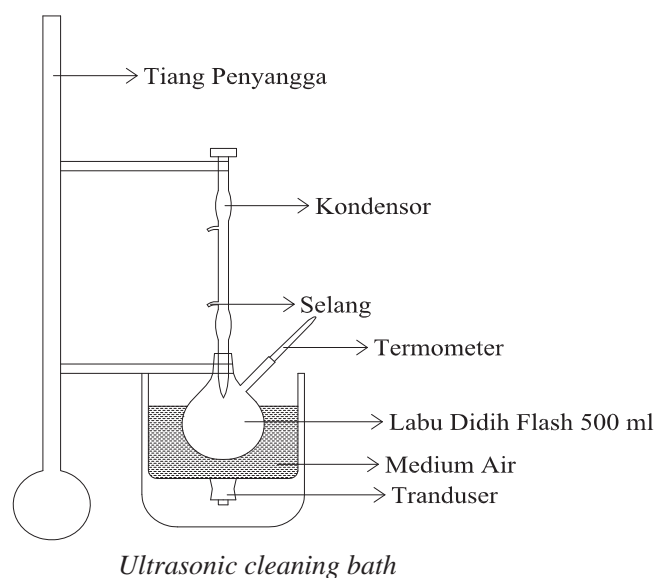
Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian adalah antara lain adalah limbah cair yang diperoleh dari kolam *fat-pit* PKS Tj. Seumantoh, Kabupaten Aceh Tamiang, Propinsi Aceh dan aquades. Sedangkan bahan kimia yang digunakan antara lain adalah petroleum eter dan n-heksan dengan grade PA yang diperoleh dari Merck.

Alat yang digunakan dalam penelitian antara lain adalah *ultrasonic cleaning bath* Branson 5510 dengan total power 200 W dan frekuensi 40 kHz, sentrifuse Beckman model J-GB dengan tipe *rotot swing bucket*, pengaduk listrik, rotary evaporator Buchii R-124, UV-Vis spektrofotometer U-2001 Hitachi dan peralatan gelas baik untuk kebutuhan preparasi maupun analisis.

Prosedur Penelitian

Sebelum digunakan, limbah cair terlebih dahulu dibersihkan dari kotoran-kotoran yang terkandung didalamnya. Selanjutnya, limbah cair PKS tersebut disentrifuse untuk menghasilkan limbah yang lebih jernih dan bebas dari padatan-padatan zat pengotor. Ekstraksi minyak dari limbah PKS dilakukan dengan menggunakan *ultrasonic cleaning bath*. Ekstraksi dilakukan pada suhu kamar yang dijaga tetap dengan mensirkulasikan air di dalam *bath*. Ekstraktor berupa labu didih leher dua diisi campuran limbah dan pelarut dengan jumlah tertentu tergantung variabel percobaan. Selanjutnya power generator ultrasonik dihidupkan, dan timer pada ultrasonik diset sesuai dengan variabel waktu percobaan yang telah ditentukan. Hasil ekstraksi dipisahkan dengan menggunakan corong pemisah, dimana pelarut yang bercampur dengan minyak berada pada lapisan atas dan air yang berada pada lapisan bawah dibuang. Selanjutnya, pelarut yang bercampur dengan minyak dipisahkan dengan cara diuapkan menggunakan *rotary evaporator*. Pelarut yang telah diuapkan dapat digunakan kembali untuk variabel percobaan berikutnya, sedangkan minyak hasil ekstraksi akan dianalisis lebih lanjut. Adapun skema peralatan proses ekstraksi berbantuan ultrasonik dapat dilihat pada Gambar 1. Sebagai pembandingan dilakukan proses ekstraksi tanpa bantuan ultrasonik dengan menggunakan rangkaian peralatan yang hampir sama. Proses ekstraksi tanpa bantuan ultrasonik dilakukan menggunakan pengaduk listrik dengan kecepatan pengaduk 200 dan 300 rpm.



Gambar 1. Skema peralatan penelitian

Analisis Hasil

Limbah PKS yang akan diekstraksi ditimbang massanya (ML), kemudian minyak hasil proses ekstraksi juga ditimbang massanya (MM). Rendemen minyak (RM) hasil ekstraksi dihitung dengan persamaan:

$$RM = \frac{MM \text{ (kg)}}{ML \text{ (kg)}} \times 100 \%$$

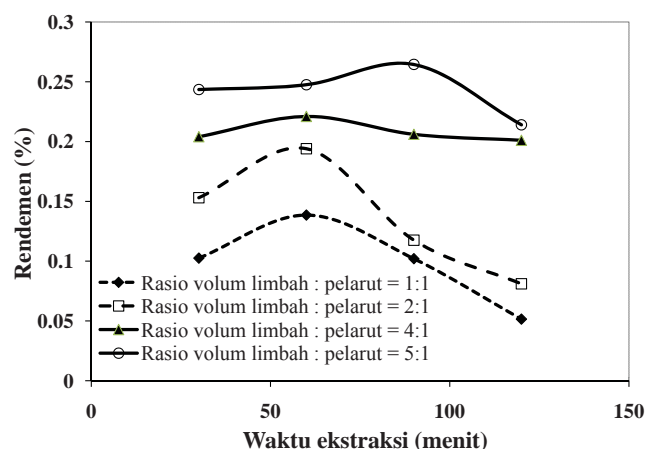
Selanjutnya, konsentrasi karoten yang terkandung dalam minyak hasil ekstraksi ditentukan dengan menggunakan UV-Vis spektrofotometer pada panjang gelombang 446 nm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

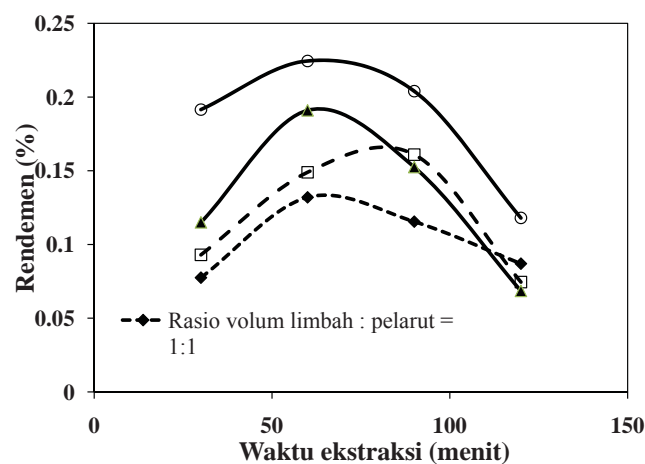
Pengaruh Waktu Ekstraksi terhadap Rendemen Minyak

Pengaruh waktu ekstraksi terhadap rendemen minyak yang dihasilkan menggunakan pelarut n-heksan pada berbagai taraf rasio volum limbah terhadap pelarut dapat dilihat pada Gambar 2. Secara umum, semakin lama waktu ekstraksi maka rendemen yang diperoleh semakin meningkat. Peningkatan rendemen ini disebabkan semakin lama waktu ekstraksi maka akan memberikan kesempatan kontak antara pelarut dengan bahan yang semakin lama. Selain itu, kelarutan bahan akan terus meningkat seiring dengan semakin bertambahnya waktu ekstraksi hingga timbulnya kejenuhan pada pelarut. Hasil penelitian menunjukkan untuk semua variasi rasio volum limbah terhadap pelarut, rendemen cenderung meningkat hingga waktu ekstraksi 60 menit. Namun, untuk waktu ekstraksi lebih dari 60 menit, rendemen

minyak yang diperoleh cenderung menurun. Penurunan rendemen yang terjadi diduga karena perubahan efek kavitasi yang dihasilkan oleh ultrasonik. Kavitasi ultrasonik awalnya bekerja untuk membantu pelarut mengambil minyak dari limbah dengan cara memperbesar daya penetrasi pelarut. Hal ini terjadi mulai awal proses hingga waktu ekstraksi 60 menit. Seiring dengan bertambahnya waktu ekstraksi maka terjadi perubahan efek kavitasi. Kavitasi yang dihasilkan dalam waktu yang lama akan menyebabkan minyak yang telah larut dalam pelarut menjadi terpisah kembali dari pelarut sehingga bergabung kembali dengan air.



Gambar 2. Pengaruh waktu ekstraksi terhadap rendemen minyak yang diperoleh dengan menggunakan pelarut n-heksan pada berbagai variasi rasio volum limbah terhadap pelarut



Gambar 3. Pengaruh waktu ekstraksi terhadap rendemen minyak yang diperoleh dengan menggunakan pelarut petroleum eter pada berbagai variasi rasio volum limbah terhadap pelarut

Pengaruh waktu ekstraksi terhadap rendemen minyak pada penggunaan pelarut petroleum eter ditunjukkan pada

Gambar 3. Pengaruh waktu ekstraksi terhadap rendemen minyak menunjukkan kecenderungan yang sama dengan penggunaan pelarut n-heksan. Gambar 3 menunjukkan bahwa rendemen minyak tertinggi diperoleh pada waktu ekstraksi 60 menit.

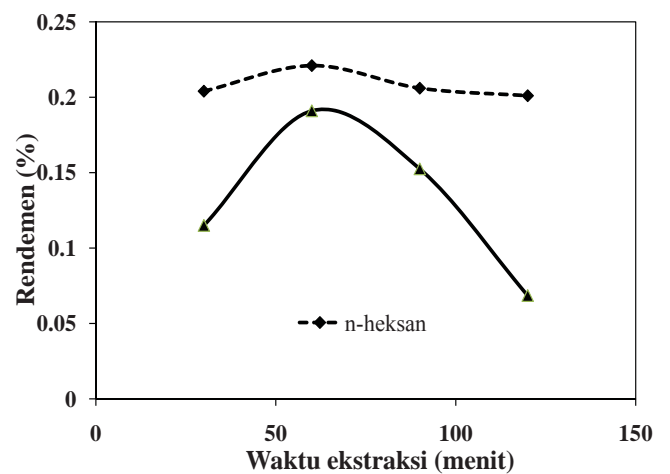
Pengaruh Rasio Volum Limbah terhadap Pelarut

Nilai rendemen minyak pada berbagai variasi rasio volum limbah terhadap pelarut menggunakan pelarut n-heksan dan petroleum eter masing-masing dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar jumlah limbah yang digunakan maka semakin banyak pula minyak yang dapat diekstrak. Sementara itu, jumlah pelarut yang digunakan tidak memberikan perbedaan yang signifikan terhadap jumlah minyak yang dapat diekstrak. Gambar 2 menunjukkan bahwa rendemen minyak tertinggi untuk pelarut n-heksan diperoleh pada rasio volum limbah terhadap pelarut 5:1 (250 ml limbah dan 50 ml pelarut). Hal ini berarti untuk kisaran variabel rasio volum limbah terhadap pelarut yang digunakan, jumlah pelarut 50 ml sudah mampu mengekstrak minyak dari limbah dalam jumlah yang maksimum. Penambahan jumlah pelarut yang lebih banyak tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan rendemen minyak. Kecenderungan yang sama juga ditemukan pada penggunaan pelarut petroleum eter. Sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3, rendemen minyak tertinggi untuk pelarut petroleum eter juga diperoleh pada rasio volum limbah terhadap pelarut 5:1 (250 ml limbah dan 50 ml pelarut). Ahmad dkk. (2008) melaporkan bahwa rendemen minyak akan meningkat seiring dengan peningkatan jumlah pelarut. Namun, setelah jumlah pelarut dinaikkan dalam jumlah tertentu maka peningkatan rendemen minyak relatif kecil dan cenderung menjadi konstan. Untuk kisaran variabel penelitian yang dilakukan, rendemen minyak tertinggi diperoleh pada rasio volum limbah terhadap pelarut 5:1 dan waktu ekstraksi 90 menit dengan menggunakan pelarut n-heksan yaitu sebesar 0,265 %.

Pengaruh Jenis Pelarut

Pelarut polar seperti aseton, metanol dan etanol kurang sesuai digunakan untuk *recovery* minyak dari limbah cair PKS. Hal ini disebabkan pelarut polar bersifat larut dalam air sehingga pelarut ini nantinya akan larut dalam limbah cair yang sebagian besarnya adalah air. Selain itu, pelarut polar juga sulit *recovery* untuk digunakan kembali pada proses ekstraksi selanjutnya. Pelarut non-polar seperti petroleum eter dan n-heksan lebih sesuai digunakan untuk *recovery* minyak dari limbah PKS. Pelarut non-polar bersifat larut dalam minyak dan mudah *recovery* untuk digunakan pada

proses ekstraksi selanjutnya. Pengaruh penggunaan pelarut n-heksan dan petroleum eter terhadap rendemen minyak dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar 4 menunjukkan bahwa pelarut n-heksan memberikan rendemen minyak yang lebih besar dibandingkan dengan pelarut petroleum eter. Kecenderungan hasil yang sama juga telah dilaporkan oleh Ahmad dkk. (2008). Hal ini disebabkan pelarut n-heksan memiliki daya larut yang lebih tinggi dibandingkan dengan pelarut petroleum eter sehingga mampu melarutkan minyak dalam jumlah yang lebih banyak.

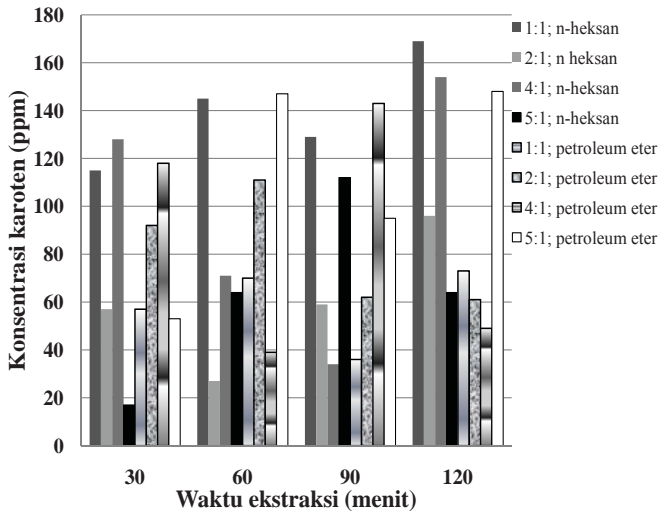


Gambar 4. Perbandingan rendemen minyak menggunakan pelarut n-heksan dan petroleum eter pada metode ekstraksi berbantuan ultrasonik dengan rasio volum limbah terhadap pelarut 4:1.

Konsentrasi Karoten pada Minyak Hasil Ekstraksi Berbantuan Ultrasonik

Konsentrasi karoten pada minyak hasil ekstraksi berbantuan ultrasonik pada berbagai variasi rasio volum limbah terhadap pelarut dan waktu ekstraksi dengan pelarut n-heksan dan petroleum eter ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil penelitian memperlihatkan variabel-variabel penelitian yang digunakan yaitu rasio volum limbah terhadap pelarut, waktu ekstraksi dan jenis pelarut memberikan perbedaan yang tidak signifikan terhadap konsentrasi karoten dalam minyak hasil ekstraksi. Ahmad dkk. (2008) telah melaporkan bahwa jumlah dan jenis pelarut yang digunakan memberikan perbedaan yang tidak signifikan terhadap konsentrasi karoten pada minyak yang *recovery* dari limbah cair PKS. Konsentrasi karoten rata-rata yang diperoleh pada penggunaan pelarut n-heksan dan petroleum eter masing-masing adalah 89,9 dan 84,8 ppm. Nilai ini berada dalam kisaran hasil penelitian Ibrahim dan Kuntom (2000) yang menyatakan bahwa konsentrasi karoten dalam *sludge palm oil* berkisar

antara 7,7-678,2 ppm. Konsentrasi karoten tertinggi sebesar 168,8 ppm diperoleh pada rasio volum limbah terhadap pelarut 1:1, pelarut n-heksan dan waktu ekstraksi 120 menit.



Gambar 5. Konsentrasi karoten pada minyak hasil ekstraksi berbantuan ultrasonik pada berbagai variasi rasio volum limbah terhadap pelarut dan jenis pelarut

Perbandingan Proses Ekstraksi

Perbandingan nilai rendemen minyak yang dihasilkan dari proses berbantuan ultrasonik dan tanpa bantuan ultrasonik dengan menggunakan pelarut n-heksan ditunjukkan pada Tabel 1. Ekstraksi tanpa bantuan ultrasonik dilakukan menggunakan pengadukan mekanik masing-masing dengan kecepatan pengaduk 200 dan 300 rpm. Dari Tabel 1 terlihat bahwa rendemen minyak yang diperoleh dari proses ekstraksi berbantuan ultrasonik lebih besar dibandingkan proses ekstraksi tanpa bantuan ultrasonik. Hal ini sesuai dengan laporan beberapa peneliti sebelumnya. Balachandran dkk. (2006) memaparkan bahwa penggunaan ultrasonik akan menaikkan harga difusifitas efektif pada proses perpindahan massa dimana efek ini akan maksimum pada waktu yang singkat. Sementara itu, Garcia dan Castro (2004) melaporkan bahwa waktu ekstraksi berbantuan ultrasonik membutuhkan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan ekstraksi tanpa ultrasonik untuk menghasilkan jumlah rendemen produk yang sama. Rendemen minyak yang diperoleh dari proses ekstraksi ultrasonik dengan rasio volum limbah terhadap pelarut 1:1 dan waktu ekstraksi 60 menit adalah 0,138 %. Pada kondisi yang sama, proses ekstraksi tanpa ultrasonik menghasilkan rendemen minyak yang lebih kecil yaitu sebesar 0,002 % masing-masing untuk kecepatan pengaduk 200 dan 300 rpm.

Tabel 1. Perbandingan rendemen minyak metode ekstraksi berbantuan ultrasonik dan tanpa bantuan ultrasonik

Proses Ekstraksi	Kecepatan pengaduk (rpm)	Waktu ekstraksi (menit)	Rendemen minyak pada berbagai rasio volum limbah terhadap pelarut (%)		
			1:1	4:1	5:1
Berbantuan ultrasonik	-	60	0,138	0,221	0,247
		90	0,102	0,206	0,264
Tanpa bantuan ultrasonik	200	60	0,002	0,008	0,003
		90	0,025	0,003	0,017
	300	60	0,002	0,002	0,001
		90	0,003	0,002	0,016

Dari Tabel 1 juga dapat dilihat adanya kecenderungan rendemen minyak yang diperoleh dari kecepatan pengaduk 200 rpm lebih besar dibandingkan dengan kecepatan pengaduk 300 rpm. Hal ini diduga karena kecepatan pengaduk yang terlalu tinggi akan menyebabkan *vorteks* yang mengakibatkan sukarnya pelarut untuk mengekstrak zat terlarut dalam larutan. Kecepatan pengaduk yang digunakan biasanya berkisar antara 20-150 rpm (McCabe, 2004). Sementara itu, perbandingan konsentrasi karoten yang diperoleh dari proses ekstraksi berbantuan ultrasonik dan tanpa bantuan ultrasonik ditunjukkan pada Tabel 2. Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2, konsentrasi karoten yang dihasilkan dari proses ekstraksi berbantuan ultrasonik menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan dengan proses ekstraksi tanpa bantuan ultrasonik.

Tabel 2. Perbandingan konsentrasi karoten pada minyak hasil *recovery* dari metode ekstraksi berbantuan ultrasonik dan tanpa bantuan ultrasonik

Proses Ekstraksi	Kecepatan pengaduk (rpm)	Waktu ekstraksi (menit)	Konsentrasi karoten pada berbagai rasio volum limbah terhadap pelarut (ppm)		
			1:1	4:1	5:1
Berbantuan ultrasonik	-	60	144,56	71,23	63,92
		90	128,72	34,11	112,07
Tanpa bantuan ultrasonik	200	60	37,40	170,11	109,16
		90	29,84	102,46	47,57
	300	60	120,69	186,16	56,18
		90	85,30	133,92	136,39

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ekstraksi berbantuan ultrasonik tidak mempengaruhi besarnya

konsentrasi karoten pada minyak hasil *recovery*, namun metode ekstraksi berbantuan ultrasonik dapat meningkatkan perolehan rendemen minyak hasil ekstraksi sehingga jumlah karoten yang diperoleh juga meningkat. Selain itu, ekstraksi berbantuan ultrasonik dapat dilakukan dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan tanpa bantuan ultrasonik. Garcia dan Castro (2003) juga menyatakan bahwa konsumsi energi ekstraksi berbantuan ultrasonik lebih kecil dibandingkan ekstraksi menggunakan pengaduk mekanik.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstraksi berbantuan ultrasonik dapat digunakan untuk merecovery minyak dari limbah cair PKS. Rendemen minyak yang diperoleh dari ekstraksi berbantuan ultrasonik lebih besar dibandingkan ekstraksi tanpa bantuan ultrasonik. Namun, konsentrasi karoten dalam minyak hasil *recovery* yang dihasilkan dari metode berbantuan dan tanpa bantuan ultrasonik menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan. Rendemen minyak tertinggi sebesar 0,265 % diperoleh pada metode ekstraksi berbantuan ultrasonik dengan rasio volum limbah terhadap pelarut 5:1, waktu ekstraksi 90 menit dengan menggunakan pelarut n-heksan. Sementara itu, pelarut n-heksan menghasilkan rendemen minyak dan konsentrasi karoten rata-rata yang lebih besar dibandingkan pelarut petroleum eter.

UCAPAN TERIMA KASIH

Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini melalui Hibah Kompetitif Penelitian sesuai Prioritas Nasional dengan No. Kontrak: 212/SP2H/PP/DP2M/V/2009, tanggal 30 Mei 2009.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A.L., Chan, C.Y., Abd Shukor, S.R.A. dan Mashitah, M.D. (2008). Recovery of oil and carotenes from palm oil mill effluent. *Chemical Engineering Journal* **141**: 383-386.
- Balachandran S., Kentish S.E., Mawson R. dan Ashokkumar M. (2006). Ultrasonic enhancement of the supercritical extraction from ginger. *Ultrasonics Sonochemistry* **13**: 471-479.
- Fu, C., Tian, H., Li, Q., Cai, T. dan Du, W. (2006). Ultrasound-assisted extraction of xyloglucan from apple pomace. *Ultrasonics Sonochemistry* **13**: 511-516.
- Chuang, M.H. dan Brunner, G. (2006). Concentration of minor components in crude palm oil. *The Journal of Supercritical Fluids* **37**: 151-156.
- Garcia, J.L.L. dan Castro, M.D.L. (2003). Ultrasound: A powerful for leaching. *Trends in Analytical Chemistry* **22**: 41-47.
- Garcia, J.L.L. dan Castro, M.D.L. (2004). Ultrasound-assisted soxhlet extraction: An expeditive approach for solid sample treatment, application to the extraction of total fat from oleaginous seeds. *Journal of Chromatography A* **1034**: 237-242.
- Henwimol, S., Pavasant, P. dan Shotiprik, A., (2006). Ultrasound-assisted extraction of anthraquinones from roots of *Morinda citrifoli*. *Ultrasonics Sonochemistry* **13**: 543-548.
- Ibrahim, N.A. dan Kuntom, A. (2000). Characterization of sludge palm oil. *Oil Palm Bulletin* **40**: 6-12.
- Jacques, R.A., Freitas, L.S., Perez, V.F., Dariva, C., Oliveira, A.P., Oliveira, J.V. dan Caramao, E.B. (2007). The use of ultrasound in the extraction of *Ilex paraguariensis* leaves: A comparison with maceration. *Ultrasonics Sonochemistry* **14**: 6-12.
- Ji, J., Lu, X., Cai, M. dan Xu, Z. (2006). Improvement of leaching process of *Geniposide* with ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry* **11**: 43-48.
- Mason, T.J., Paniwink, L. dan Lorimer, J.P. (1996). The uses of ultrasound in Food Technology *Ultrasonics Sonochemistry* **3**: S253-S260.
- McCabe, W., Smith, J.C. dan Harriot, P. (2004). *Unit operations of chemical engineering*, McGraw Hill Science.
- Sundram, K., Sambanthamurthi, R. dan Tan, Y.A. (2003). Palm fruit chemistry and nutrition. *Asia Pacific Journal Clinical Nutrition* **12**: 355-362.