

PENENTUAN KONSENTRASI BIOSOLAR BERDASARKAN KARBON-14 DENGAN METODE *LIQUID SCINTILLATION COUNTING* (LSC)

Rahmawati¹⁾, Alfian Noor²⁾, Maming²⁾, Muhammad Zakir²⁾
¹*Dosen Akademi Analis Kesehatan Muhammadiyah, Makassar*
²*Dosen Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin*

ABSTRACT

Biosolar is one of bio-fuels derived from biomass, especially from plants (vegetable material). Biosolar is sold on the market consisting of a mixture of a number of products produced by the blending process of biodiesel with diesel based on certain concentrations. Biodiesel is chemically formed by the process of transesterification and esterification triglycerides are converted into methyl esters with the help of H_2SO_4 and NaOH as a catalyst. The determination of biosolar concentrations was based on the radiocarbon method on the specific sample activity measurements obtained from the Hidex 300 SL Liquid Scintillation Counting (LSC). The result showed that the total carbon of the sample solution was 6.0113 g / 8 mL while the specific activity value was 5.0700 DPM / gC so that the biosolar concentration can be determined by measuring the standard and specific activity through linear regression equation of 8.83%. Thus the method of measuring the carbon-14 activity can be used to verify the biosolar concentrations produced by Pertamina.

Keywords: *Biofuels, radiocarbon method, specific activity, LSC*

1. PENDAHULUAN

Sumber energi terbarukan mulai mendapat perhatian secara konstitusional pada tahun 2008 dengan pengesahan Permen No. 32 tahun 2008 tentang Penyediaan, Pemanfaatan dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati (*biofuel*) sebagai bahan bakar. Pengembangan EBT ini telah mendapat dukungan dari warga Internasional, seperti Uni Eropa yang menetapkan target penggunaan energi daur ulang sebesar 20% dari seluruh pencampuran penggunaan energi di tahun 2020, termasuk minimum 10% dari bahan bakar nabati untuk sektor transportasi pada Maret 2007. Telah terbit target sasaran energi (primer) campuran di Indonesia pada tahun 2006 melalui Perpres No.5 tahun 2006, yaitu 5% kebutuhan energi nasional dipenuhi dari sumber energi *biofuel* hingga tahun 2025 (Azmi dkk, 2014). Sejak tahun 2006, Pertamina telah menjual biosolar dengan campuran solar 95% dan biodiesel 5% (Wirawan dkk, 2006). Kemudian pada tanggal 1 September 2013 Pertamina sudah menyalurkan biosolar dengan kandungan biodiesel 10% (Kemenperin, 2013).

Menurut Anggraini (2002), biodiesel adalah bahan bakar cair dari hasil proses transesterifikasi minyak atau lemak. Biodiesel dibuat melalui suatu proses kimia yang disebut transesterifikasi adalah reaksi antara senyawa ester dari minyak kelapa sawit dengan senyawa alkohol (metanol) dengan menggunakan katalisator KOH atau NaOH. Proses ini menghasilkan dua produk yaitu metil ester (biodiesel) dan gliserin. Proses transesterifikasi dilakukan selama $\frac{1}{2}$ sampai 1 jam pada suhu kamar atau pada suhu yang lebih tinggi, campuran yang terjadi didiamkan sehingga terbentuk dua lapisan, yaitu lapisan bawah (gliserin) dan lapisan atas adalah metil ester. Dibanding bahan bakar solar, biodiesel memiliki beberapa keunggulan, yaitu: (i) biodiesel diproduksi dari bahan pertanian, sehingga dapat diperbaharui, (ii) memiliki bilangan setana yang tinggi, (iii) ramah lingkungan karena biodiesel tidak mengandung sulfur sehingga tidak ada emisi SO_x , (iv) menurunkan ketergantungan suplai minyak dari negara asing dan (v) biodegradabel: jauh lebih mudah terurai oleh mikroorganisme dibandingkan minyak mineral (Susilo, 2006; Georgogianni dkk, 2007).

Kendala yang dihadapi industri kecil menengah adalah bagaimana melakukan uji mutu sebagai pengontrol kualitas produk dengan akurat, tetapi dengan biaya yang murah. Oleh karena itu, perlu dikembangkan suatu uji mutu yang dapat menjaga kualitas biosolar yang dihasilkan sehingga aman bagi pengguna, dengan waktu analisa yang singkat (Solikhah, 2010). Negara-negara anggota Uni Eropa mengembangkan penerapan metode LSC langsung untuk menentukan kualitas berdasarkan jumlah bahan nabati yang terdapat dalam biofuel. Metode LSC adalah salah satu metode yang cocok untuk pengukuran kuantitas biofuel melalui penentuan karbon-14 (Kristof dkk., 2014). Seperti diketahui jumlah karbon-14 dalam minyak bumi fosil sangat berbeda jauh dibanding dalam bahan nabati. Dalam contoh fosil jumlah karbon-14 antara sangat kecil sampai tidak ada sehingga *carbon dating* sudah mati sementara dalam bahan nabati merupakan karbon modern yang diikat dari bahan-bahan alam dengan aktivitas yang masih relatif baru

¹ Koresponding : Rahmawati, Telp 085396959640, rahmawatiamma60@gmail.com

mendekati jumlah maksimum yaitu 15,3 DPM/gC (Dijs *et al.*, 2006; Noakes *et al.*, 2006; Yunoki and Saito, 2009; Takahashi *et al.*, 2011). Kristof dan Logar (2013) telah melakukan pengukuran biokomponen dalam bahan bakar menggunakan metode LSC diantaranya bioetanol dalam etanol 79,8%, bioetanol dalam bensin 5,8%, HVO dalam solar 18,7% dan HVO dalam bensin 12,1%.

Jumlah kandungan bahan nabati yang telah ditambahkan dalam minyak bumi fosil dihitung berdasarkan pengukuran besar aktivitas karbon-14. Semakin besar jumlah karbon-14 yang terlacak, maka semakin besar jumlah bahan nabati dalam contoh tersebut. Hasil penentuan ini dapat menjadi bahan dan syarat pertimbangan untuk menetapkan berapa besar subsidi yang diberikan kepada produsen biosolar.

Terdapat 3 protokol analisis resmi untuk penentuan karbon-14. Metode pengujian ini berlaku untuk semua produk yang mengandung komponen berbasis karbon yang dapat berubah menjadi gas CO₂ melalui pembakaran. Tiga metode uji tersebut yaitu Akselerator Spektrometri Massa, Pencacahan Sintilasi Cair dan *Gas Proportional Counter* (Satrio dan Abidin, 2007; Canducci, dkk, 2013; Varlam, dkk, 2007).

American Society for Testing and Material (ASTM) D6866-06 mengembangkan standarisasi untuk metode pengujian dalam menentukan bahan berbasis bio pada sampel padat, cair dan gas dengan menggunakan analisis radiokarbon. Sebuah perusahaan yang bernama Parkin Elmer (2009) menggunakan metode langsung *Liquid Scintillation Counting* (LSC) yaitu dengan menambahkan sampel bahan bakar dengan koktail. Sinyal karbon-14 dalam sampel dideteksi langsung oleh sintilasi cair. Pengukuran karbon-14 dari campuran bioetanol, bensin, dan etanol oleh LSC menunjukkan bahwa fraksi karbon yang berasal dari biofuel (fraksi Biokarbon) dapat ditentukan secara kuantitatif.

Persentase massa campuran kalibrasi dihitung sebagai perbandingan massa biofuel antara jumlah bio dan fosil komponen berdasarkan kurva kalibrasi untuk penentuan biokomponen. Persentase massa komponen dalam campuran disiapkan untuk masing-masing jenis bahan bakar dan spesifik bio-fuel. Kurva kalibrasi diukur (dalam dpm/g) sehingga dapat diketahui persentase massa komponen bio. Hal ini berdasarkan dengan pendekatan nilai karbon-14 sampel dengan komponen standar. Jenis kurva kalibrasi yang lebih umum dan dapat diterapkan untuk semua kombinasi dari bio komponen dan matriks fosil, sehingga dapat diketahui dengan metode LSC.

Instrumen pencacah yang memenuhi standar pengukuran radiasi karbon-14 adalah pencacah sintilasi cair atau LSC (*Liquid Scintillation Counting*), yang secara geometri pengukurannya dapat mencapai efisiensi pencacahan sekitar 99,99 %. Hal tersebut disebabkan oleh pencacah sintilasi cair dilengkapi dengan detektor yang peka terhadap radiasi dan sampel radioaktif yang akan diukur, sehingga mendapatkan ketelitian yang tinggi dalam menginterpretasi data hasil cacahan (Tjahaja dan Mutia, 2000). Metode ini sederhana, aman, dan hasil secara signifikan mengurangi waktu analisis dan biaya dibandingkan dengan metode konvensional.

2. METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan Penelitian

Bahan-bahan penelitian ini adalah minyak kelapa sawit, solar, metanol p.a, H₂SO₄ pekat, NaOH p.a, Metil Orange (MO), Phenolphthalein (PP), Larutan induk C-Organik, Larutan Sintilator Ultima Gold XR dan akuades. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat batang pengaduk, botol reagent, corong, corong pisah, erlemeyer, gelas beaker, gelas ukur, Hot Plate/ pemanas, Klamp & statif, Neraca, Piknometer, Pipet Volume, Spatula, Stirer, Thermometer serta alat pencacah LSC Hidex 300 SL.

Penentuan Total Karbon dalam Sampel (BBLK, 2014)

Total karbon dalam sampel dapat dihitung dari konsentrasi karbon organik yang diperoleh dari hasil absorbansi yang diukur menggunakan alat spektrofotometer uv-vis. Sampel Biosolar, dipipet sebanyak 0,5 mL kemudian ditambahkan K₂Cr₂O₇ sebanyak 5 mL dan H₂SO₄ pekat 7,5 mL. Dihomogenkan lalu di diamkan selama 30 menit. Selanjutnya pada persiapan pengujian, larutan standar C-organik konsentrasi 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm, dan 250 ppm dibuat dengan memipet 0 mL, 1 mL, 2 mL, 3 mL, 4 mL, 5 mL, dari larutan induk C-organik 5000 mg/L. Masing-masing dimasukkan kedalam tabung nessler 100 mL. Selanjutnya ditambahkan K₂Cr₂O₇ 1N sebanyak 5 mL. Didiamkan selama 24 jam. kemudian masing-masing serapan larutan diukur dengan spektrofotometer panjang gelombang 561 nm.

Pengukuran Aktivitas ¹⁴C pada Sampel (Maming, 2014)

Aktivitas ¹⁴C dalam sampel dan standar dinyatakan dalam satuan aktivitas, yang merupakan peluruhan setiap menit (DPM) dari karbon-14. Hasil pencacahan sampel dengan pencacah sintilasi cair Hidex 300 SL menghasilkan data dalam satuan cacahan per menit (CPM) dan efisiensi pencacah (TDCR) atau E.

$$E = \frac{C_{pm}}{D_{pm}} \times 100\%$$

Penentuan aktivitas ^{14}C dalam sampel dapat diketahui melalui pencacahan sampel dengan LSC Hidex 300 SL. Campuran homogen 8 mL sampel dan 12 mL sintilator ke dalam vial 20 mL dicacah dalam hal ini sampel biosolar yang telah dipasarkan dan biosolar (standar) dengan perangkat LSC Hidex 300 SL dengan waktu pencacahan 5-240 menit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan total karbon dapat dilakukan dengan metode spektrofotometer uv-vis. Pengukuran dilakukan pada masing-masing larutan pada panjang gelombang 561 nm sehingga dihasilkan absorbansi masing-masing larutan. Persamaan hubungan antara absorbansi dan konsentrasi adalah berbanding lurus, sehingga konsentrasi karbon pada masing-masing larutan dapat dihitung. Total massa karbon yang diperoleh dari masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Total Karbon dalam Sampel

		Sampel	Total Karbon (g/8mL)	
		Minyak Kelapa Sawit	3,6290	
		Biodiesel	4,0431	
		Biosolar	6,0113	
		S1 (5%)	3,1311	
Total massa digunakan spesifik karbon-14 dalam per satuan massa		S2 (10%)	2,8616	karbon yang diperoleh menghitung aktivitas yang dinyatakan desintegrasi per menit karbon (DPM/gC).
		S3 (15%)	2,7724	
		S4 (20%)	2,9288	
		S5 (25%)	3,1729	

Pemilihan larutan sintilator dilakukan berdasarkan pengukuran nilai efisiensi pencacahan (TDCR) untuk sampel biosolar yang menggunakan larutan sintilator Ultima Gold XR menunjukkan nilai rata-rata diatas 0,5. Dengan demikian bahwa larutan sintilator ini memiliki nilai efisiensi pencacahan (TDCR) yang stabil sebagai tanda bahwa proses pencacahan untuk sampel biosolar berjalan maksimal.

Pencacahan dengan LSC Hidex 300 SL dilakukan dalam rentang waktu 5–240 menit. Pencacahan sampel dilakukan dalam 2 tahap yaitu, tahap penentuan waktu optimum pencacahan dan tahap penentuan rata-rata nilai cacahan sampel pada waktu optimum.

Tabel 2. Data Hasil Pencacahan Sampel dalam rentang waktu cacahan 5-240 menit.

Sampel Biosolar				
No.	Waktu Cacahan (menit)	CPM	DPM	TDCR
1.	5	279,010	2994,090	0,093
2.	10	192,400	1312,750	0,146
3.	15	150,000	732,130	0,204
4.	30	121,230	491,020	0,246
5.	60	110,060	423,600	0,259
6.	90	93,920	294,380	0,319
7.	120	80,150	220,380	0,363
8.	150	77,800	210,640	0,369
9.	180	71,500	175,380	0,407
10.	210	66,200	145,870	0,453
11.	240	68,300	157,770	0,432

Keterangan :

- CPM = Nilai cacahan sampel per menit
- DPM = Jumlah peluruhan sampel per menit
- TDCR = Efisiensi pencacahan Sampel

Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa pada waktu cacahan selama mulai dari 5-210 menit mengalami penurunan nilai cacahan dari 279,010–66,200 dan pada nilai cacahan pada menit ke-210 hingga menit ke 240 nilai aktivitas ¹⁴C mulai mencapai kestabilan. Penyebabnya adalah kondisi fisik dan kimia larutan sampel dengan sintilator yang mulai stabil. Kestabilan fasa larutan berpengaruh terhadap efisiensi pencacahan (TDCR) dimana efisiensi pencacahan ¹⁴C yang tertinggi yaitu sekitar 80 % atau 0,8. Adanya efek *quenching* menyebabkan jumlah foton yang dihasilkan dalam proses pengemisiaan partikel beta oleh sintilator berkurang sehingga menyebabkan efisiensi pencacahan kecil. Pemadaman atau *quenching* bersumber dari oksigen atau kotoran dalam botol/vial yang terlarut dalam sampel (Elistina, 2007).

Penentuan waktu pencacahan optimum dilakukan untuk menentukan waktu yang dihasilkan nilai DPM dan nilai efisiensi pencacahan (TDCR) yang stabil sebagai tanda bahwa proses pencacahan sampel berjalan maksimal. Hasil cacahan pada waktu optimum digunakan untuk menghitung aktivitas spesifik dari ¹⁴C dalam sampel. Berikut data hasil pencacahan sampel pada waktu pencacahan optimum selama 210 menit dengan 5 kali pengulangan

Tabel 3. Data hasil pencacahan sampel pada waktu optimum Pencacahan selama 210 menit dengan 5 kali pengulangan.

Sampel Biosolar				
No.	Waktu Cacahan (menit)	CPM	DPM	TDCR
1.	210	63,410	135,550	0,467
2.	210	65,600	148,730	0,441
3.	210	66.120	144,640	0,457
4.	210	66,780	131,590	0,477
5.	210	69,100	158,450	0,436
Rata-rata		66,202	143,792	0,456

Berdasarkan tabel diatas, diperoleh nilai rata-rata CPM sampel sebesar 66,202 nilai rata-rata DPM sebesar 143,792 dan nilai rata-rata TDCR yaitu 0,456. Perlakuan yang sama juga dilakukan terhadap pencacahan background dan standar dengan menambahkan 12 mL sintilator dimasukkan kedalam vial yang berisi 8 mL larutan standar kemudian dicacah dengan alat LSC Hidex 300 SL.

Aktivitas spesifik sampel dapat ditentukan dari selisih hasil cacahan *Disintegration Per Minute* (DPM) sampel terhadap hasil cacahan *Disintegration Per Minute* (DPM) background dibagi dengan kadar total karbon dalam 8 mL sampel yang dicampur dengan 12 mL larutan sintilator. Dari penjelasan tersebut maka dapat dilakukan penentuan aktivitas spesifik sampel. Aktivitas spesifik rata-rata (As) sampel dari hasil perhitungan disintegrasi per menit (DPM) per satuan masa karbon sampel dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Aktivitas Spesifik Rata-rata ¹⁴C Biosolar Standar

Standar	DPMs	DPMb	DPMk	C-Total (g)	As ¹⁴ C (DPMk/gC)
S1 (5%)	119,326	112,693	6,633	3,131	2,1184
S2 (10%)	127,568	112,693	14,875	2,862	5,1981
S3 (15%)	142,100	112,693	29,407	2,772	10,6071
S4 (20%)	150,948	112,693	38,255	2,923	13,0885
S5 (25%)	159,004	112,693	46,311	3,173	14,5958

Tabel 5. Data Aktivitas Spesifik Rata-Rata ¹⁴C Sampel

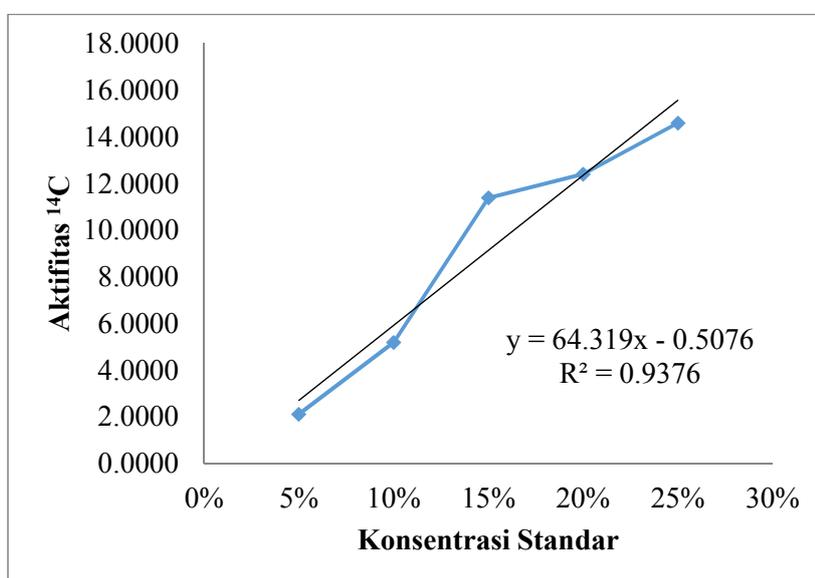
Standar	DPMs	DPMb	DPMk	C-Total (g)	As ¹⁴ C
---------	------	------	------	-------------	--------------------

(%)	(DPMk/gC)				
Biodiesel	172,522	112,693	59,829	4,0431	14,7978
X3	142,992	112,693	30,299	5,9761	5,0700

Keterangan :

- DPMs = Desintegrasi per menit standar
- DPMb = Desintegrasi per menit background
- DPMk = DPMs – DPMb (Koreksi)
- Efisiensi = $\frac{D}{Ci} \times 100$

Berdasarkan data hasil pencacahan sampel pada Tabel 4, terlihat aktivitas spesifik ¹⁴C pada standar S1(5%), S2 (10%), S3 (15%), S4 (20%), dan S5 (25%) berturut-turut adalah 2,1184 dpm/ gC; 5,1981 dpm/ gC; 10,6071 dpm/ gC; 13,0885 dpm/gC; dan 14,5958 dpm/gC. Semakin tinggi konsentrasi biosolar maka semakin tinggi pula nilai aktivitas spesifiknya karena konsentrasi tersebut menunjukkan banyaknya kandungan biodiesel yang terdapat dalam sampel biosolar tersebut. Sedangkan pada sampel terlihat pada Tabel 5 adalah 5,0700 dpm/ gC. Grafik hubungan antara aktivitas spesifik dengan konsentasi standar dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Grafik hubungan konsentrasi standar dengan aktivitas spesifik

Nilai disintegrasi spesifik ¹⁴C yang diperoleh menunjukkan jumlah atom ¹⁴C yang meluruh setiap menit (DPM) dalam setiap satu gram unsur karbon. Nilai disintegrasi spesifik (aktivitas spesifik) yang diperoleh dari sampel tersebut adalah 0.5460.

Nilai disintegrasi spesifik (aktivitas sesifik) rata-rata karbon-14 yang diperoleh dari sampel tersebut lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai aktivitas spesifik rata-rata standar karbon modern yang sering digunakan dalam praktek yang berkisar antara $15,3 \pm 0,1$ dpm/ gC (Libby, 1960; Yuliati, 2005). Nilai disintegrasi spesifik rata-rata karbon-14 yang diperoleh menunjukkan jumlah sebenarnya dari atom karbon-14 yang meluruh setiap menit (DPM) dalam setiap satu gram unsur karbon pada 8 mL sampel. Nilai disintegrasi spesifik menunjukkan bahwa telah terjadi peluruhan pada inti atom yang dimulai dari sampel tersebut mati sehingga aktivitas karbon-14 yang terkandung dalam sampel berkurang dan lebih kecil dari aktivitas spesifik karbon modern $15,3 \pm 0,1$ dpm/gC (Libby, 1960).

Konsentrasi dari masing-masing sampel biosolar dapat ditentukan dari persamaan regresi linear diperoleh 8,83%. Nilai konsentrasi tersebut juga terlihat pada Gambar 1 dengan membandingkan antara nilai aktivitas spesifik sampel dengan standar. Konsentrasi sampel tersebut menunjukkan besarnya kandungan komponen biologi yaitu biodiesel dalam sampel biosolar.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh besar aktivitas spesifik ^{14}C dalam sampel biosolar berdasarkan pengukuran aktivitas ^{14}C melalui metode Pencacah Sintilasi Cair adalah 5,0700 DPM/gC dan konsentrasi biosolar sebesar adalah 8,83%.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, Ananta Andy. 2002. *Biodiesel dari Minyak Jelantah*. KOMPAS. Diakses pada 15 Januari 2015.
- Azmi, Riza dan Hidayat Amir. 2014. *Ketahanan Energi: Konsep, Kebijakan dan Tantangan Bagi Indonesia*, Jakarta.
- Balai Besar Laboratorium Kesehatan, 2014, *Instruksi Kerja Metode Pemeriksaan C-Organik*, Instalasi Kimia Kesehatan Dan Toksikologi, Makassar.
- Canducci, C., Bartolomei, P., Magnani, G., Rizzo, A., 2013, Upgrade Of The CO_2 Direct Absorption Method For Low Level ^{14}C Liquid Scintillation Counting, *Radiocarbon*, **55** (2-3): 260-267.
- Dijs, I.J, Vander Windt, E., Kaihola, L., vander Borg, K., 2006. Quantitative Determination By ^{14}C Analysis Of The Biological Component In Fuels. *Radiocarbon*, **48** (3):315–323.
- Elistina, 2007, *Akurasi Penentuan Kadar Tritium (^3H) dalam Urin Menggunakan Indikator Quenching (Pemadam) tSIE*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Fungsional Pengembangan Teknologi Nuklir 1, Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Badan Tenaga Atom Nasional, Jakarta.
- Georgogianni, K. G., Kontiminas, M. G., Tegou, E., Avlonitis, D., dan Gergis, V., 2007. Biodiesel Production: Reaction And Process Parameters Of Alkali-Catalyzed Transesterification Of Waste Frying Oils, *Energy & Fuels*, **21**: 3023-3027.
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 2014, Pertamina Realisasikan Biofuel 10 Persen Esters, *Berita Industri*, Jakarta.
- Kristof, R., Hirsch, M., and Logard, J.K., 2014, Implementation of Direct LSC Method for Diesel Samples on The Fuel Market, *Applied Radiation and Isotopes*, 1-5.
- Kristof, R., and Logar, J.K., 2013, Direct LSC Method for Measurements of Biofuels in Fuel, *Talanta*, 1-6.
- Libby, W.F., 1960, Radiocarbon Dating, *Nobel Lecture*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam.
- Maming, Noor, A., Zakir, M., Raya, I., Jauhari, Kartika, S.A., 2014, Application in Liquid Scintillation Method on Carbon Dating in Determination of Coral Ages from Spermonde Archipelagos, *Mar. Chim. Acta*, **15**(1): 31-35.
- Noakes, J., Norton, G., Culp, R., Nigam, M., Dvoracek, D., 2006. A Comparison Of Analytical Methods For The Certification Of Biobased Products. In: Chalupnik, S., Schonhofer, F., Noakes, J. (Eds.), LSC 2005, Advances in Liquid Scintillation Spectrometry. *Radiocarbon*, Tuscon, pp. 259–271.
- Satrio dan Abidin, Z., 2007, Perbandingan Metode Sintesis Benzena Dan Absorpsi CO_2 Untuk Penanganan Radioisotop ^{14}C , *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop Dan Radiasi*, **3**(1): 1-34.
- Sholikhah, M.D., 2010, *Pengembangan Metoda Kontrol Kualitas untuk Uji Mutu Biodiesel yang Dapat Diterapkan Oleh Industri Kecil-Menengah*, Laporan Akhir, Balai Rekayasa Desain dan Sistem Teknologi BPPT.
- Susilo, B., 2006. *Biodiesel Sumber Energi Alternatif Pengganti Solar Yang Terbuat Dari Ekstraksi Minyak Jarak Pagar*, Trubus Agrisarana, Surabaya.
- Takahashi, Y., Sakurai, H., Inui, E., Namai, S., Sato, T., 2011. Radiocarbon Measurement Of Biodiesel Fuel Using The Liquid Scintillation Counter Quantulus. In: Cassette, P. (Ed.), LSC 2010, Advances in Liquid Scintillation Spectrometry. *Radiocarbon*, Tuscon, pp.41–46.
- Tjahaja, P.I., dan Mutiah, 2000, Metode Pencacahan Sintilasi Cair: Salah Satu Alternatif untuk Pengukuran α dan β Total dalam Sampel Lingkungan, *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, **1** (1), 31-46.
- Varlam, C, Stefanescu, I., Varlam, M., Popescu, I., Faurescu, I., 2007, Applying the Direct Absorption Method And LSC For ^{14}C Concentration Measurement In Aqueous Samples, *Radiocarbon*, **49**(2), 281-289
- Wirawan, S.S., dan A.H. Tambunan, 2006, The Current Status and Prospects of Biodiesel Development in Indonesia : A Review, *Prosiding of Third Asia Biomass Workshop*, 16 November 2006. Tsukuba. Japan. 1-15.
- Yuliati, H., Akhadi, M., 2005, *For Cosmogenic Radionuclide Dating*, Center for Biomedical Radiation and Nuclear Safety. Radiation Center. Batam.
- Yunoki, S., Saito, M., 2009. A Simple Method To Determine Bioethanol Content in Gasoline Using Two-Step Extraction And Liquid Scintillation Counting. *Bioresour. Technol.* **100**: 6125–6129.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Kemristekdikti untuk mendapatkan dukungan finansial melalui program Penelitian Disertasi Doktor Tahun 2017 .