
ARTICLE

PIROLISIS SEDERHANA LIMBAH PLASTIK DAN IMPLEMENTASINYA SEBAGAI SUMBER BELAJAR BERBASIS EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (ESD) PADA PEMBELAJARAN KIMIA

Afwu Hayyi Amyyana¹, Maria Paristiowati¹, dan Fera Kurniadewi²

¹Program Studi Pendidikan Kimia, ²Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Jalan Rawamangun Muka, Jakarta 13220 Indonesia

Corresponding author: afwu.amyyana@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan Sumber Belajar pirolisis plastik berupa buku yang berbasis *Education for Sustainable Development*. Pengembangan sumber belajar berbasis ESD ini dilakukan dengan metode penelitian dan pengembangan Borg & Gall (2006) yang kemudian disesuaikan menjadi tiga tahap, yaitu: analisis kebutuhan, tahap pengembangan, dan tahap uji coba. Sumber belajar yang dihasilkan berupa buku bacaan mengenai permasalahan limbah plastik dan penanganannya melalui pendekatan kimia, yang disajikan dengan tampilan majalah, menggunakan bahasa yang komunikatif, dan disesuaikan dengan materi ajar kimia kelas XI SMA kurikulum 2013. Persentase hasil uji kelayakan sumber belajar oleh ahli materi dan bahasa sebesar 89,63%, sedangkan hasil uji kelayakan oleh ahli media sebesar 92,23%, dengan masing-masing reliabilitas sebesar 0,8 dan 0,77. Hasil uji coba sumber belajar berbasis ESD oleh peserta didik skala kecil yaitu 85% dan skala besar yaitu 91,44%. Interpretasi penilaian sumber belajar oleh para ahli dan peserta didik secara keseluruhan memiliki kriteria sangat baik pada tiap indikator penilaian, sehingga dapat disimpulkan bahwa sumber belajar berbasis ESD yang dikembangkan telah layak digunakan sebagai buku bacaan untuk mendukung pembelajaran kimia.

Kata kunci: Limbah Plastik, Pirolisis Plastik, *Education for Sustainable Development*.

Abstract

This study aims to produce a plastic pyrolysis learning resource in the form of books based on *Education for Sustainable Development*. The development of ESD-based learning resources is done by Borg & Gall (2006) research and development method which is then adjusted into three stages: needs analysis, development stage, and pilot phase. Learning resources produced by reading books on plastic waste issues and handling through a chemical approach, presented with a magazine display, using communicative language, and adapted to chemistry teaching materials class XI SMA of curriculum 2013. Percentage of test results feasibility by material and Language experts is 89.63%, while the results of feasibility tests by media experts amounted to 92.23%, with each reliability of 0.8 and 0.77. The results of ESD-based learning by small-scaled learners are 85% and large scale is 91.44%. Interpretation of assessments of learning resources by experts and learners as a whole has very good criteria for each assessment indicator. Therefore, it can be concluded that the ESD-based learning source developed has been feasible to be used as a reading book to support chemistry learning.

Keywords: Plastic Waste, Plastic Pyrolysis, *Education for Sustainable Development*.

1. Pendahuluan

Pembangunan berkelanjutan harus memerhatikan pemanfaatan lingkungan hidup dan kelestarian lingkungannya agar kualitas lingkungan tetap terjaga [1]. Pembangunan diharapkan mengacu pada pembangunan yang berwawasan lingkungan dan berkelanjutan menuju terbentuknya green globe (bumi yang hijau/lestari). Hal ini selaras dengan prinsip green chemistry yang berperan penting dalam upaya untuk mencegah atau mengurangi bahaya polusi akibat bahan kimia beracun dan berbahaya yang menimbulkan masalah lingkungan [2].

Istilah Green Chemistry diciptakan pada tahun 1991 oleh Paul T. Anastas. Tujuannya adalah untuk merancang bahan kimia dan proses kimiawi yang kurang berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan manusia [3]. Green Chemistry telah didefinisikan sebagai pemanfaatan seperangkat prinsip yang mengurangi atau menghilangkan penggunaan atau generasi zat berbahaya dalam perancangan, pembuatan dan penerapan produk kimia [4]. Green Chemistry biasanya disajikan sebagai seperangkat dua belas prinsip yang diajukan oleh Anastas dan Warner. Prinsip pertama menggambarkan gagasan dasar kimia hijau yaitu melindungi lingkungan dari polusi. Prinsip yang lainnya difokuskan pada isu-isu seperti ekonomi atom, toksisitas, pelarut dan media lainnya dengan menggunakan konsumsi energi, penerapan bahan baku dari sumber terbarukan dan degradasi produk kimia menjadi bahan sederhana dan tidak beracun yang ramah bagi lingkungan [5].

Agenda 21 yang dicanangkan dalam *United Nations Conference on Environment and Development (UNCED)* di Rio de Janeiro, Brazil tahun 1992 memberikan arahan yang jelas tentang keharusan arah pendidikan menuju *Education for Sustainable Development (ESD)* [6]. Pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan (ESD) adalah proses belajar sepanjang hayat yang bertujuan untuk menginformasikan dan melibatkan penduduk agar kreatif juga memiliki keterampilan menyelesaikan masalah, saintifik, dan sosial literasi, lalu berkomitmen untuk terikat pada tanggung jawab pribadi dan kelompok. Tindakan

ini akan menjamin lingkungan makmur secara ekonomi di masa depan [7]. Fokus utama dari ESD adalah untuk mempersiapkan generasi muda menjadi warga Negara yang bertanggung jawab di masadepan.

Pendidikan kimia memiliki peran sentral dalam pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan. Hal ini didasarkan bahwa kimia dan industri kimia memiliki peran penting dalam pembangunan berkelanjutan, karena banyak produk dalam kehidupan sehari-hari berhubungan dengan kimia. Industri kimia memiliki potensi besar untuk fokus pada lingkungan baik dari segi proses produksi dan produk akhir [6].

Masalah yang masih terjadi pada pembelajaran kimia di SMA yaitu hanya menekankan pada isi dan bukan pada proses [8], yang sebenarnya hal ini kurang mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan itu sendiri. Salah satu tindakan konkret untuk memfokuskan ESD pada pembelajaran kimia yaitu dengan suatu eksperimen di laboratorium untuk menemukan solusi atas permasalahan sosial ilmiah melalui pendekatan kimia, salah satunya mengenai masalah limbah plastik yang melimpah dan mencemari lingkungan. Pada tahun 2014 limbah plastik dari 100 toko/gerai anggota APRINDO (Asosiasi Pengusaha Ritel Indonesia) menghasilkan 11 juta lembar limbah kantong plastik [9].

Penanganan limbah plastik yang populer selama ini adalah dengan 3R, yakni *reuse* (memakai kembali), *reduce* (mengurangi), dan *recycle* (mendaur ulang) [10]. Pengetahuan terhadap penanganan limbah plastik secara ramah lingkungan wajib diketahui oleh peserta didik. Oleh sebab itu, dalam rangka menunjang ESD pada pembelajaran kimia, pengelolaan limbah plastik dapat dilakukan melalui cara pengubahan limbah plastik menjadi sumber energi alternatif melalui serangkaian proses tertentu, sehingga dapat mengurangi masalah pencemaran lingkungan yang dikenal dengan proses pirolisis. Pirolisis adalah proses dekomposisi termokimia pada suhu yang tinggi tanpa kehadiran oksigen dari bahan organik dan sintesis untuk menghasilkan bahan bakar [11, 12]. Proses pirolisis ini sebagai solusi

penanganan limbah yang berkelanjutan dengan mengalihkan limbah plastik dari tempat pembuangan limbah, memanfaatkan konten energi yang terkandung dari plastik dan memproduksi komoditas yang sangat berguna karena karakteristik pembakaran yang bersih, dengan sendirinya lebih ramah lingkungan [13]. Sifat fisik hasil analisis menunjukkan bahwa sifat produk minyak pirolisis relatif lebih dekat dengan minyak tanah dibandingkan dengan yang bahan bakar komersial lainnya [14]. Proses pirolisis sederhana tersebut dapat dibahas menjadi suatu sumber belajar untuk digunakan pada proses pembelajaran di sekolah.

Salah satu masalah dalam proses pembelajaran adalah kurang tersedianya buku teks yang berkualitas sehingga peserta didik sulit memahami buku yang dibacanya [15]. Selain itu, buku-buku teks tersebut membosankan sehingga minat baca peserta didik masih sangat rendah [16]. Salah satu upaya untuk mengubah kondisi ini, pemerintah mengkampanyekan Gerakan Literasi Sekolah (GLS) yang bertujuan untuk membuat peserta didik mencintai budaya membaca.

Berdasarkan hasil pengamatan peneliti selama pelaksanaan Praktik Keterampilan Mengajar (PKM) di SMAN 51 Jakarta, peserta didik lebih banyak membaca buku-buku fiksi seperti novel daripada buku-buku penunjang pembelajaran karena kurang tersedianya buku bacaan yang berkualitas. Hal ini juga sejalan dengan sebuah penelitian, bahwa masih terbatasnya buku sains kimia yang kontekstual dan kurangnya buku perpustakaan sekolah yang dapat menunjang pembelajaran kimia [8]. Guna mendukung Gerakan Literasi Sekolah untuk pengadaan buku bacaan yang berkualitas bagi peserta didik, maka peneliti membuat suatu sumber belajar yang di dalamnya telah tersaji materi hidrokarbon dan polimer (limbah plastik) yang dikaitkan dengan proses pirolisis sederhana.

Pembuatan sumber belajar ini dirasa penting karena terdapat esensi yang besar terhadap masalah sosial-ilmiah dan diharapkan mampu mengubah pandangan yang sempit mengenai sumber belajar, menumbuhkan sikap peduli peserta didik terhadap lingkungan serta

dapat memperbaharui kesadaran peserta didik untuk menunjang pembangunan berkelanjutan. Terlebih jika sumber belajar ini bisa diaplikasikan di sekolah-sekolah menengah atas yang selanjutnya mampu menciptakan kreatifitas peserta didik untuk mencari jalan keluar mengenai permasalahan sosial-ilmiah lainnya melalui pendekatan kimia. Terutama sumber belajar ini dapat berperan sebagai alternatif pengaplikasian *ESD* dalam pembelajaran kimia dan buku bacaan yang berkualitas guna mendukung Gerakan Literasi Sekolah. Selain itu, pengembangan buku ajar kimia yang kontekstual diharapkan dapat membantu agar proses pembelajaran kimia di sekolah menjadi aktif dan menyenangkan, relevan dengan tujuan dan berlangsung secara efektif dan efisien [8].

2. Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan pada semester gasal pada bulan Desember 2016 hingga Mei 2017 dimulai dari tahap analisis kebutuhan yang dilakukan di SMAN 51 Jakarta lalu tahap uji coba sumber belajar yang dilakukan di SMAN 98 Jakarta. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Research and Development (R&D)* oleh Borg & Gall [17] yaitu analisis kebutuhan, pengembangan produk, dan uji coba produk.

Teknik pengumpulan data yang dilakukan meliputi: (1) hasil percobaan pirolisis sederhana di SMAN 1 Jalaksana menggunakan variasi volume dan jenis plastik, (2) analisis kebutuhan berupa kuesioner peserta didik, (3) kuesioner para ahli (ahli materi dan ahli media), (4) kuesioner uji coba peserta didik.

3. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Analisis Kebutuhan

Tahap ini dilakukan kepada 32 peserta didik dan didapatkan hasil yaitu sebanyak 90,6% responden merasakan keefektifan belajar jika sumber belajar yang digunakan sesuai dengan materi dan kehidupan. Menurut 43,8% responden tertarik untuk mempelajari aplikasi materi hidrokarbon dalam kehidupan sehari-

hari. Sebanyak 43,8% responden menyatakan bahwa plastik termasuk senyawa hidrokarbon, dan sebanyak 90,6% responden menyatakan bahwa plastik menyebabkan dampak yang besar bagi lingkungan. Adapun upaya yang responden ketahui tentang penanganan limbah plastik yaitu *reduce, reuse, dan recycle*. Sebanyak 84,4% responden bersedia untuk mengaplikasikan ilmu yang didapatkan untuk menangani permasalahan limbah plastik.

Informasi mengenai pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif juga diperoleh, sebanyak 50% responden tidak mengetahui proses pengolahan limbah plastik. Sebanyak 81,25% responden tertarik untuk mengetahui proses pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif, dan sebanyak 84,4% responden mendukung untuk pembuatan sumber belajar pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif.

B. Tahap Pengembangan Sumber Belajar Berbasis ESD

Pengembangan sumber belajar berbasis ESD terdiri dari beberapa tahapan diantaranya yaitu: tahap perencanaan dan tahap pengembangan.

a. Tahap Perencanaan

Berdasarkan analisis kebutuhan yang telah dilakukan, maka peneliti selanjutnya melakukan studi literatur mengenai proses pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif. Peneliti melakukan penelitian di SMAN 1 Jalaksana, menggunakan rancangan alat pirolisis sederhana limbah plastik yang dirancang sendiri oleh guru. Selama penelitian, peneliti mewawancarai guru yang membuat alat pirolisis tersebut. Dari wawancara, peneliti memperoleh informasi mengenai alat dan bahan yang digunakan, biaya yang dibutuhkan, prosedur percobaan serta mekanisme kerja alat. Selain itu, peneliti melakukan percobaan pirolisis sederhana dengan menggunakan variasi volume dan jenis plastik. Rangkaian alat pirolisis sederhana limbah plastik (Gambar 1) dan hasil percobaan pirolisis sederhana (Tabel 1).



Gambar 1 Rangkaian Alat Pirolisis Sederhana

b. Tahap Pengembangan

Proses pirolisis sederhana limbah plastik dan beberapa literatur pendukung lainnya disusun menjadi satu untuk menjadi suatu sumber belajar. Penyusunan sumber belajar ini dilakukan menggunakan *microsoft office word* dan *canva*. Sumber belajar ini disusun menjadi beberapa bagian, yaitu:

- i. Pendahuluan yang berisi pengenalan mengenai Pendidikan untuk Pembangunan Berkelanjutan.
- ii. Inti yang berisi pembahasan mendalam mengenai plastik diantaranya bahan dasar plastik yang merupakan senyawa hidrokarbon, proses pembuatan plastik, jenis-jenis plastik, bahaya plastik, proses pirolisis limbah plastik menjadi bahan bakar dan cara pembuatan alat pirolisis limbah plastik.
- iii. Penutup yang berisi info-info pengetahuan dan penelitian pirolisis dalam bidang teknik.

Tabel 1 Hasil Percobaan Pirolisis Sederhana Limbah Plastik

| No | Jenis Plastik | Massa Bahan | Volume Produk | Waktu |
|----|--|-------------|---------------|-------|
| 1. | PET (<i>Polyethylene Terephthalate</i>) ($C_{10}H_8O_4$) _n – botol air mineral | 100 gram | 20 mL | 2'00" |
| | | 200 gram | 31 mL | 2'10" |
| | | 300 gram | 40 mL | 2'20" |
| | | 400 gram | 62 mL | 2'45" |
| 2. | PP (<i>Polypropylene</i>) (C_3H_6) _n – cup air mineral | 100 gram | 20 mL | 1'50" |
| | | 200 gram | 35 mL | 2'08" |
| | | 300 gram | 46 mL | 2'15" |
| | | 400 gram | 65 mL | 2'30" |

Materi dalam sumber belajar ini lebih difokuskan pada bahasan permasalahan sosial ilmiah yang sedang terjadi di lingkungan sekitar dan disajikan suatu solusi melalui pendekatan kimia atas permasalahan tersebut, yang dalam hal ini mengenai limbah plastik. Hal ini juga bertujuan untuk menunjang *education for sustainable development* di sekolah-sekolah.

Materi dalam sumber belajar ini diperoleh dari berbagai sumber literatur, disajikan dengan bahasa yang komunikatif dan sesuai dengan aturan penulisan bahasa Indonesia yang benar. Sumber belajar berbasis ESD ini dicetak dengan bahan kertas *Art Paper* (kertas majalah) dengan tampilan berwarna dan dilengkapi berbagai gambar yang sesuai dengan materi (tampilan majalah). Jenis huruf yang digunakan pada penulisan adalah *Arial*, *Calibri* dan *Bodoni MT Black* dengan ukuran huruf yang disesuaikan.

C. Tahap Uji Sumber Belajar Berbasis ESD

Sumber belajar diujikan kepada ahli materi dan media untuk memperoleh kritik dan saran. Tahap ini dilakukan untuk mengetahui kualitas dari sumber belajar yang telah dikembangkan. Setelah dilakukan perbaikan dan memenuhi kriteria kelayakan setiap indikator penilaian oleh ahli, selanjutnya sumber belajar diujikan kepada peserta didik skala kecil dan skala besar (uji coba lapangan).

a. Hasil uji kelayakan materi dan bahasa (Tabel 2)

1) Kesesuaian materi

Hasil penilaian menunjukkan bahwa sumber belajar berbasis ESD memiliki kesesuaian materi yang dinilai sangat baik, dengan persentase 82,1%-100%. Hal ini didapatkan karena pembuatan sumber belajar ini mengacu pada Silabus Kimia SMA Kurikulum 2013 Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. Sumber belajar ini berisi materi senyawa hidrokarbon dan minyak bumi, serta makromolekul (polimer).

2) Teknik Penyajian

Hasil penilaian menunjukkan bahwa sumber belajar berbasis ESD memiliki teknik penyajian yang dinilai sangat baik, dengan persentase 83,3%-100%. Hal ini didapatkan karena materi dalam sumber belajar ini dapat meningkatkan kemampuan peserta didik, menekankan pada pengalaman langsung dengan adanya cara pembuatan alat pirolisis. Materi disajikan secara sistematis, sehingga dapat memberikan pemahaman kepada peserta didik. Selain itu, sumber belajar ini dilengkapi dengan materi-materi pendukung yang bertujuan untuk mengembangkan kreatifitas dan mendorong keingintahuan peserta didik.

3) Kelayakan Bahasa

Penggunaan bahasa dalam suatu media pembelajaran sangat memengaruhi tingkat pemahaman peserta didik. Hasil penilaian menunjukkan bahwa sumber belajar berbasis ESD memiliki gaya bahasa dan tata bahasa yang dinilai sangat baik, dengan persentase 77,5%-100%. Hal ini didapatkan karena pembuatan sumber belajar ini mengikuti aturan Ejaan yang Disempurnakan (EYD), menggunakan bahasa yang komunikatif sehingga dapat memberikan pemahaman kepada peserta didik, dan bahasa yang digunakan lugas sehingga tidak menimbulkan persepsi/makna yang lain.

Tabel 2 Hasil Uji Kelayakan Oleh Ahli Materi Dan Bahasa

| NO | ASPEK | PERSENTASE KELAYAKAN | KRITERIA |
|--|-------------------|----------------------|--------------------|
| 1 | Kesesuaian Materi | 91,4% | SANGAT BAIK |
| 2 | Teknik Penyajian | 90% | SANGAT BAIK |
| 3 | Kelayakan Bahasa | 87,5% | SANGAT BAIK |
| RATA-RATA PENILAIAN KESELURUHAN | | 89,63% | SANGAT BAIK |

b. Hasil uji kelayakan media (Tabel 3)

1) Kualitas Instruksional

Hasil penilaian ahli media menunjukkan bahwa sumber belajar berbasis ESD memiliki kesesuaian ukuran buku dengan standar ISO

Tabel 3 Hasil Uji Kelayakan Oleh Ahli Media

| NO | ASPEK | PERSENTASE KELAYAKAN | KRITERIA |
|--|-----------------------|----------------------|--------------------|
| 1 | Ukuran Bahan Ajar | 100% | SANGAT BAIK |
| 2 | Tata Letak | 90,02% | SANGAT BAIK |
| 3 | Jenis Huruf | 83,32% | SANGAT BAIK |
| 4 | Ilustrasi dan Istilah | 95,02% | SANGAT BAIK |
| 5 | Desain | 100% | SANGAT BAIK |
| 6 | Kualitas Keseluruhan | 85% | SANGAT BAIK |
| RATA-RATA PENILAIAN KESELURUHAN | | 95% | SANGAT BAIK |

(*International Organization for Standarization*) dan kesesuaian ukuran buku dengan materi isi buku yang tergolong sangat baik, dengan persentase 100%. Ukuran buku yang sesuai dengan standar ISO diantaranya A4 (210 x 297 mm), A5 (148 x 210 mm) dan B5 (176 x 250 mm). Sumber belajar berbasis ESD ini dicetak dengan bahan kertas *Art Paper* (kertas majalah) dengan ukuran kertas B5 (176 x 250 mm). Berdasarkan hasil ini dapat disimpulkan bahwa sumber belajar berbasis ESD dinilai sudah baik dari segi kualitas instruksional.

2) Kualitas Teknis

Indikator penilaian pada aspek ini terdiri dari tiga indikator, yaitu Penampilan unsur tata letak, kesesuaian huruf pada halaman, serta keakuratan ilustrasi dan istilah. Hasil penilaian ahli media menunjukkan bahwa sumber belajar berbasis ESD memiliki kualitas teknis yang tergolong sangat baik, dengan persentase 83,8%-100%.

c. Hasil uji coba oleh peserta didik skala kecil (Tabel 4)

Tujuan uji coba skala kecil adalah untuk mengetahui hasil sementara guna mempermudah perhitungan sebagai gambaran awal mengenai respon peserta didik terhadap sumber belajar yang dikembangkan dan perbaikan dini sebelum diuji pada kelompok besar [18].

Pada uji coba skala kecil, sebanyak 15 peserta didik kelas XI MIPA SMAN 98 Jakarta diberikan sumber belajar berbasis ESD dan mengisi kuesioner penilaian. Uji coba sumber belajar oleh peserta didik terdiri dari lima aspek penilaian, yaitu: (1) kesesuaian ukuran buku, (2)

Tabel 4 Hasil Uji Coba oleh Peserta didik (Skala Kecil)

| NO | ASPEK | PERSENTASE KELAYAKAN | KRITERIA |
|--|-------------------|----------------------|--------------------|
| 1 | Ukuran Buku | 83,33% | SANGAT BAIK |
| 2 | Desain Kulit Buku | 84,17% | SANGAT BAIK |
| 3 | Kesesuaian Materi | 87,04% | SANGAT BAIK |
| 4 | Teknik Penyajian | 85,3% | SANGAT BAIK |
| 5 | Kelayakan Bahasa | 84,17% | SANGAT BAIK |
| RATA-RATA PENILAIAN KESELURUHAN | | 84,8% | SANGAT BAIK |

desain kulit buku, (3) kesesuaian materi, (4) teknik penyajian, dan (5) kelayakan bahasa. Secara keseluruhan penilaian peserta didik skala kecil terhadap sumber belajar berbasis ESD yang dikembangkan memiliki rentang 83,33%-87,04% dengan kriteria sangat baik pada tiap indikator.

d. Hasil uji coba oleh peserta didik skala besar (Tabel 5)

Tahap ini dilakukan kepada 36 peserta didik kelas XI MIPA SMAN 98 Jakarta dengan memberikan sumber belajar berbasis ESD yang telah diperbaiki dan mengisi kuesioner penilaian. Hasil penilaian uji coba oleh peserta didik skala besar berada pada rentang 90,03%-93,05%. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan penilaian yang sebelumnya didapatkan dari uji coba peserta didik kelompok kecil.

Persepsi atau kesan peserta didik setelah membaca sumber belajar berbasis ESD secara keseluruhan adalah tampilan buku menarik sehingga tidak membosankan, peserta didik menjadi lebih tahu bagaimana penanganan limbah plastik secara efektif, serta menambah

Tabel 5 Hasil Uji Coba Media oleh Peserta didik (Skala Besar)

| NO | ASPEK | PERSENTASE KELAYAKAN | KRITERIA |
|--|-------------------|----------------------|--------------------|
| 1 | Ukuran Buku | 90,03% | SANGAT BAIK |
| 2 | Desain Kulit Buku | 91,32% | SANGAT BAIK |
| 3 | Kesesuaian Materi | 90,51% | SANGAT BAIK |
| 4 | Teknik Penyajian | 93,05% | SANGAT BAIK |
| 5 | Kelayakan Bahasa | 92,01% | SANGAT BAIK |
| RATA-RATA PENILAIAN KESELURUHAN | | 91,4% | SANGAT BAIK |

pengetahuan, dan menjalankan program pemeliharaan lingkungan hidup demi lestariannya ekosistem di bumi.

Berdasarkan hasil uji sumber belajar oleh para ahli dan peserta didik, sumber belajar berbasis ESD yang telah dikembangkan memenuhi kriteria sangat baik yang menunjukkan bahwa sumber belajar layak untuk digunakan sebagai buku bacaan yang mendukung pembelajaran kimia.

4. Kesimpulan

Sumber belajar berbasis ESD telah berhasil dikembangkan dengan menyesuaikan hasil analisis kebutuhan peserta didik yang didalamnya terdapat materi Pendidikan untuk

Pembangunan Berkelanjutan, pembahasan mendalam mengenai plastik dan proses pirolisis limbah plastik.

Hasil uji kelayakan oleh ahli materi sebesar 89,63% dengan reliabilitas 0,8, sedangkan oleh ahli media sebesar 92,23% dengan reliabilitas 0,77, dimana kedua hasil menunjukkan kriteria sangat baik. Sementara hasil uji coba oleh peserta didik skala kecil 85%, dan oleh peserta didik skala besar sebesar 91,44%. Hasil uji kelayakan secara keseluruhan oleh para ahli dan peserta didik, memiliki kriteria sangat baik, sehingga dapat disimpulkan bahwa sumber belajar berbasis ESD yang dikembangkan layak digunakan sebagai buku bacaan yang mendukung pembelajaran kimia.

Daftar Pustaka

- [1] Nations U, Educational S and CO, Education. *Education for Sustainable Development in Action*. Paris: UNESCO <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002163/216383e.pdf> (2012).
- [2] Nurbaity. JURNAL RISET PENDIDIKAN KIMIA Vol. 1, No. 1 (2011) PENDEKATAN GREEN CHEMISTRY SUATU INOVASI DALAM PEMBELAJARAN KIMIA BERWAWASAN LINGKUNGAN. *J Ris Pendidik Kim* 2011; 1: 13–21.
- [3] Ravichandran S. Green Chemistry for Sustainable Development. *Asian J Biochem Pharm Res* 2011; 1: 129–135.
- [4] Kerr ME. Journal of Science and Technology. *J Sci Technol* 2007; 1: 10–63.
- [5] Wardencki W, Curylo J, Namiesnik J. Green chemistry-current and future issues. *Polish J Environ Stud* 2005; 14: 389–395.
- [6] Burmeister M, Rauch F, Eilks I. Education for Sustainable Development (ESD) and chemistry education. *Chem Educ Res Pract* 2012; 13: 59.
- [7] Segera NB. EDUCATION for SUSTAINABLE DEVELOPMENT (ESD) SEBUAH UPAYA MEWUJUDKAN KELESTARIAN LINGKUNGAN. *SOSIO Didakt Soc Sci Educ J* 2015; 2: 22–30.
- [8] Sihombing SN, Marheni M. ANALISIS KEBUTUHAN DALAM PEMBELAJARAN IPA KIMIA UNTUK PENGEMBANGAN BAHAN AJAR KIMIA SMP DI DKI JAKARTA. *JRPK J Ris Pendidik Kim* 2012; 2: 119–126.
- [9] Novrizal. Menyambut Hari Peduli Sampah Nasional 2016. *Ministry of Enviromental and Forestry* <http://www.menlhk.go.id/siaran-34-menyambut-hari-peduli-sampah-nasional-2016.html> (2016).

- [10] Surono UB. Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik. *J Tek* 2013; 3: 32–40.
- [11] Syamsiro M, Cheng S, Hu W, et al. Liquid and Gaseous Fuel from Waste Plastics by Sequential Pyrolysis and Catalytic Reforming Processes over Indonesian Natural Zeolite Catalysts Fulltext Refbacks. 2015; 2: 1–3.
- [12] Sarker M, Rashid MM. Mixture of LDPE , PP and PS Waste Plastics into Fuel by Thermolysis Process. *Int J Eng Technol Res* 2013; 1: 1–16.
- [13] Chauhan YP. ‘ POLYFUEL - Thermolysis of waste plastics to produce liquid fuel ’. ResearchGate [https://www.researchgate.net/publication/282909600%0A“POLYFUEL \(2016\).](https://www.researchgate.net/publication/282909600%0A%27POLYFUEL%27)
- [14] Yuliansyah AT, Prasetya A, A. A. Ramadhan M, et al. Pyrolysis of Plastic Waste to Produce Pyrolytic Oil as an Alternative Fuel. *Int J Technol* 2015; 6: 1076.
- [15] Wena M. *Strategi Pembelajaran Inovatif Kontemporer; Suatu Tinjauan Konseptual Operasional*. Jakarta: Bumi Aksara, 2014.
- [16] Yulaningsih, Aminah AN. Literasi Indonesia Sangat Rendah. *Republika*, 2014 <http://www.republika.co.id/berita/koran/didaktika/14/12/15/ngm3g840-literasi-indonesia-sangat-rendah> (2014).
- [17] Gall MD, Gall JP, Borg WR. *Educational Research: An Introduction*. 8th Editio. USA: Pearson Higher Ed USA, 2006.
- [18] Paristiowati M, Ratna I, Aftuni A. PENGEMBANGAN BAHAN AJAR BERBASIS ICT PADA MATA PELAJARAN IPA-KIMIA SMP. *JRPK J Ris Pendidik Kim* 2011; 1: 38–47.