

PELATIHAN PEMANFAATAN PERANGKAT LUNAK KIMIA BERBASIS GAWAI SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN

M. Mahfudz Fauzi Syamsuri¹⁾, Noor Fadiawati²⁾, Afif Rahman Riyanda³⁾,
Margaretha Karolina Sagala⁴⁾

¹Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia

²Pendidikan Kimia Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

^{3,4}Pendidikan Teknik Informasi Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

Abstrak

Pemanfaatan gawai dalam pembelajaran kimia belum dimanfaatkan secara maksimal. Konsep kimia yang bersifat abstrak dan sulit dikonstruksi oleh siswa dapat diatasi dengan memanfaatkan gawai. Kegiatan PKM ini dilakukan untuk meningkatkan pengetahuan dan keterampilan guru kimia terkait perangkat lunak kimia berbasis gawai sebagai media dalam proses pembelajaran. Kegiatan PKM diikuti oleh guru-guru kimia dari 7 kabupaten/kota di Provinsi Lampung. Kegiatan PKM ini dilaksanakan di FKIP Universitas Lampung dengan mengadopsi model pelatihan. Hasil evaluasi CIPP menunjukkan bahwa rerata *n-gain* yang diperoleh berkategori tinggi (0,934) dan semua guru peserta kegiatan dinyatakan terampil dalam menggunakan perangkat lunak kimia berbasis gawai sebagai media pembelajaran.

Kata kunci: profesionalisme guru, perangkat lunak kimia, gawai, media pembelajaran

Abstract

*The use of technology in chemistry education has not been fully utilized. Chemical concepts that are abstract and difficult for students to grasp can be overcome by using tools. The goals of this CSL activity are to: 1) increase chemistry teachers' knowledge of device-based chemistry software; and 2) improve chemistry teachers' skills in using device-based chemistry software as a learning medium. This CSL activity is aimed at chemistry teachers who are members of the Chemistry MGMP. Using a training model, this CSL activity was carried out at FKIP University of Lampung. According to the CIPP evaluation results, the average *n-gain* was 0.934 with a high category, and 100% of the teachers who participated in the activity were declared skilled in using device-based chemistry software as a learning medium.*

Keywords: teachers' professionalism, chemistry software, gadget, learning media

Correspondence author: M. Mahfudz Fauzi Syamsuri, mahfudz.fauzi@radenfatah.ac.id, South Sumatera, Indonesia



This work is licensed under a CC-BY-NC

PENDAHULUAN

Rendahnya *Human Development Index* dan *Global Human Capital Index* Indonesia dibandingkan negara-negara ASEAN seperti Thailand, Vietnam, dan Malaysia menjadi permasalahan dan tantangan bagi Indonesia (UNDP, 2019; WEF, 2019). Terkait hal tersebut, berdasarkan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020 – 2024 yang disusun pemerintah terdapat 7 agenda nasional. Salah satunya ditujukan untuk membentuk SDM yang berkualitas dan berdaya saing (Tim Penyusun, 2019). Berbagai upaya yang dilakukan oleh Kemdikbud dalam menghadapi tantangan tersebut di antaranya meningkatkan kualitas pembelajaran serta meningkatkan manajemen guru, pendidikan keguruan, dan reformasi lembaga pendidikan tenaga kependidikan (LPTK).

Seorang guru perlu meningkatkan profesionalitasnya seiring dengan perkembangan dan perubahan IPTEK secara global. Oleh karena itu perlu profesionalisme seorang guru perlu dikembangkan secara sustainabel. Menurut Diawati, Fadiawati, & Syamsuri (2018) pengembangan profesionalisme bagi guru dapat didasarkan pada kebutuhan individual, grup, dan institusi guru. Dari ketiga opsi tersebut, pengembangan berdasarkan kebutuhan individu guru dianggap penting. Menurut Sobri (2016) selama seorang guru menjalani profesinya, substansi tekstual dan kontekstual pembelajaran senantiasa berubah dan berkembang seiring berjalannya waktu.

Berdasarkan Permendiknas (2007) Nomor 16, guru dikatakan profesional apabila menguasai empat kompetensi utama pedagogik, kepribadian, sosial, dan profesional. Penguasaan keempat kompetensi utama tersebut dibuktikan dengan dimilikinya sertifikat profesi guru. Guru yang profesional berdampak pada peningkatan kualitas pendidikan.

Banyak penelitian melaporkan bahwa kimia dianggap sebagai pelajaran yang sulit bagi siswa (Syamsuri, Fadiawati, & Kadartina, 2013; Akani, 2017; Rees, Kind, & Newton, 2019; Srisawasdi & Panjaburee, 2019). Kimia adalah ilmu pengetahuan submikroskopis. Hal ini yang menyebabkan sebagian besar konsep kimia bersifat abstrak sehingga sulit dikonstruksi oleh siswa. Untuk mengatasinya maka dapat diterapkan pembelajaran kimia berbasis visualisasi (Dalton, Tasker, & Sleet, 2012; Syamsuri, Fadiawati, & Kadaritna, 2013; Tania et al., 2017).

Belajar kimia secara utuh dan bermakna memerlukan pemahaman secara komprehensif dari tiga level dimensi, yaitu: dimensi pengamatan dengan panca indra (makroskopis), dimensi molekuler/partikulat (submikroskopis), dan dimensi simbolik. Dimensi submikroskopis dapat direpresentasikan secara baik dengan memanfaatkan teknologi digital dalam visualisasi atau pemodelan, baik secara dua dimensi ataupun tiga dimensi serta animasi (Tasker & Dalton, 2006; Dalton, Tasker, & Sleet, 2012; Syamsuri, Fadiawati, & Kadaritna, 2013; Tania & Fadiawati, 2015).

Di sisi lain, pemanfaatan gawai sebagai media pembelajaran sesungguhnya dapat terlaksana karena didukung dengan banyaknya siswa yang memilikinya dan telah menjadi bagian dalam keseharian. Banyak peneliti yang melaporkan bahwa gawai efektif dan efisien sebagai media pembelajaran serta meningkatkan pemahaman konseptual dan aktivitas siswa (Feldt, Mata, & Dieterich, 2012; Libman & Huang, 2013; Wijtmans, Rens, & Koezen, 2014; Naik, 2017). Rogers & Mize (2005) melaporkan bahwa teknologi informasi yang terintegrasi ke dalam pembelajaran memberikan dampak positif bagi siswa, terutama dalam hal meningkatnya pemahaman konseptual, keterampilan berpikir, serta literasi digital selama pembelajaran berlangsung.

Berdasarkan hasil observasi dan wawancara terhadap guru-guru kimia yang tergabung dalam Musyawarah Guru Mata Pelajaran (MGMP) Kimia terungkap bahwa

belum ada guru yang memanfaatkan gawai sebagai media pembelajaran untuk melatih kemampuan literasi digital siswa. Berdasarkan informasi dari kuesioner yang dibagikan, pemanfaatan gawai oleh guru kimia hanya sekedar sebagai sarana komunikasi dengan siswa terkait tugas-tugas melalui aplikasi seperti *Facebook*, *WhatsApp*, dan *Google Classroom*.

Dengan perkembangannya yang sangat pesat dan portabel, beberapa aplikasi berbasis gawai untuk memvisualisasikan konsep-konsep kimia yang abstrak telah banyak dikenalkan, seperti (1) ikatan kimia: *Molecular viewer 3D* (Libman & Huang, 2013), *ChemEd* (Naik, 2017), *3D Molecules Edit & Test* (Naik, 2017); (2) representasi molekular: *ChemDoodle Mobile* (Libman & Huang, 2013), *Atomdroid* (Feldt, Mata, & Dieterich, 2012; Libman & Huang, 2013; Naik, 2017); serta (3) orbital atom: *FuncXY*, *TriPlot 3D Graphing*, dan *Graphing Calculator* (Tania & Saputra, 2018). Menurut Naik (2017), pembelajaran berbasis aplikasi gawai menciptakan peluang untuk kegiatan kolaboratif di antara siswa, yang mengarah pada pengembangan kerja tim dan keterampilan sosial.

Berdasarkan hasil temuan pada pemaparan di atas, terdapat beberapa kompetensi inti guru menurut Permendiknas No. 16 Tahun 2017 yang belum dilaksanakan dengan maksimal, antara lain: 1) memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi untuk kepentingan pembelajaran (kompetensi nomor 5, pedagogik); 2) memfasilitasi pengembangan potensi peserta didik untuk mengaktualisasi berbagai potensi yang dimiliki (kompetensi nomor 6, pedagogik); 3) mengembangkan materi pembelajaran yang diampu secara kreatif (kompetensi nomor 22, profesional); 4) mengembangkan keprofesionalan secara berkelanjutan dengan melakukan tindakan reflektif (kompetensi nomor 23, profesional); dan 5) memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi untuk mengembangkan diri (kompetensi nomor 24, profesional). Oleh karena itu, perlu diupayakan pengembangan profesionalisme guru kimia SMA melalui pelatihan penggunaan aplikasi berbasis gawai sebagai media pembelajaran.

METODE PELAKSANAAN

Kegiatan PKM ini dilaksanakan di Jurusan Pendidikan MIPA FKIP Universitas Lampung. Peserta kegiatan adalah 12 orang guru Kimia SMA, MA, dan SMK yang berasal dari Kota/Kabupaten di Provinsi Lampung, antara lain: Kota Metro (1), Kabupaten Lampung Tengah (1), Kabupaten Lampung Timur (4), Kabupaten Lampung Selatan (1), Kabupaten Pesawaran (1), Kabupaten Pringsewu (3), dan Kabupaten Tanggamus (1).

Kegiatan pengabdian mengadopsi model pelatihan. Menurut Kennedy (2005) dan OECD (2009). Di awal kegiatan diadakan pretes. Pemberian pretes dimaksudkan untuk mengungkap wawasan dan kemampuan awal peserta. Kegiatan PKM dilakukan dengan penyampaian materi untuk membuka wawasan peserta terkait jenis-jenis konsep kimia, analisis konsep, perkembangan gawai dan pemanfaatannya sebagai media pembelajaran, serta perangkat lunak kimia berbasis gawai. Kemudian peserta praktik menggunakan perangkat lunak kimia berbasis gawai, seperti *Electron Orbitals*, *Hydrogen Atom*, *Web Mo*, dan *Mo Cubed*. Kemudian peserta diminta untuk mempresentasikan hasilnya agar mendapat respon dan masukan sebagai evaluasi. Di akhir kegiatan dilakukan postes untuk mengetahui wawasan dan kemampuan akhir peserta setelah kegiatan. Selanjutnya peserta diberi kegiatan mandiri untuk mengaplikasikan pengetahuan yang diperolehnya dalam

proses pembelajaran di instansi masing-masing. Pendampingan kegiatan mandiri oleh tim PKM dilakukan secara daring.

Kegiatan pengabdian ini dievaluasi pelaksanaan dan keberlanjutan program menggunakan model evaluasi *context, input, process, and product* (CIPP) (Stufflebeam, 1983; 2003). Evaluasi *context* menilai kebutuhan, masalah, dan peluang dalam lingkungan yang ditentukan. Evaluasi *input* menilai strategi bersaing dan rencana kerja serta pendekatan anggaran yang dipilih untuk implementasi. Evaluasi *process* memantau, mendokumentasikan, dan menilai kegiatan. Evaluasi *product* mengidentifikasi dan menilai hasil jangka pendek, jangka panjang, tujuan, dan hal-hal yang tidak diinginkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Evaluasi *Context*

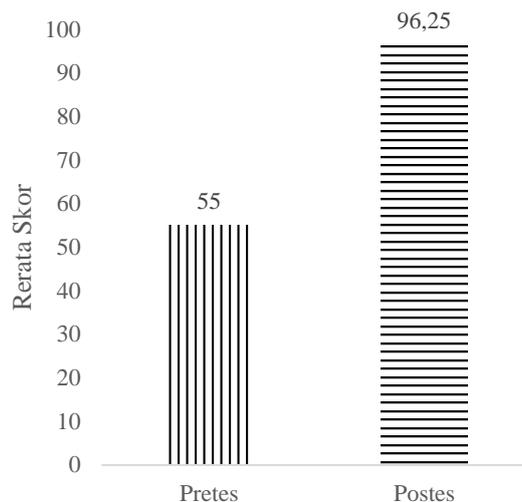
Evaluasi *context* dilakukan untuk mengidentifikasi keperluan dan kegiatan. Berdasarkan analisis lapangan melalui kuesioner, diperoleh informasi bahwa sebanyak 33,33% belum memanfaatkan gawai sebagai media pembelajaran dengan alasan belum mengetahui aplikasi yg cocok dan baik untuk digunakan dalam pembelajaran. Alasan lain yang diberikan yakni sekolah melarang siswa untuk tidak menggunakan gawai selama pembelajaran di kelas.

Di sisi lain, dari sekitar 66,67% responden yang menanggapi telah memanfaatkan gawai sebagai media pembelajaran diperoleh informasi bahwa mayoritas responden hanya menggunakan aplikasi *Whatsapps, Google Classroom, Youtube, Quizizz*, serta *platform* belajar seperti Rumah Belajar dan Ruang Guru dengan rincian disajikan dalam Gambar 1. Selain itu, hanya sekitar 22,2% responden telah memasang aplikasi kimia di gawai seperti *Web Mo*. Namun, tidak digunakan dalam pembelajaran dikarenakan belum mengetahui bagaimana cara menggunakannya.



Gambar 1. Tanggapan responden atas pertanyaan: “Aplikasi apakah yang Bapak/ Ibu gunakan sebagai media pembelajaran”

Berdasarkan pretes sebelum kegiatan pengabdian secara tatap muka diperoleh hasil seperti yang disajikan dalam Gambar 2. Rerata skor pretes peserta kegiatan sebesar 55. Hasil tersebut menginformasikan bahwa: (1) rendahnya wawasan/pengetahuan guru kimia terkait konsep-konsep kimia; (2) rendahnya wawasan/pengetahuan guru kimia terkait visualisasi konsep-konsep kimia; dan (3) kurang terampilnya guru kimia dalam menggunakan aplikasi kimia berbasis gawai.



Gambar 2. Rerata skor pretes dan postes peserta kegiatan.

Analisis Evaluasi *Input*

Evaluasi *input* dilakukan untuk memilih pendekatan atau taktik yang paling tepat untuk dilaksanakannya kegiatan dalam rangka memenuhi keperluan hasil evaluasi *context*. Matriks kerangka pemecahan masalah yang telah teridentifikasi disajikan dalam Tabel 2.1. Berdasarkan matriks tersebut, maka dilakukan kegiatan pelatihan pemanfaatan aplikasi kimia *open-source* berbasis gawai sebagai media pembelajaran.

Analisis Evaluasi *Process*

Evaluasi *process* diterapkan untuk menilai kegiatan yang dilaksanakan. Kegiatan pengabdian diawali dengan pemberian materi terkait konsep dan jenis-jenis konsep kimia. Menurut Fadiawati & Syamsuri (2016) di dalam ilmu pengetahuan alam, termasuk kimia, konsep merupakan produk pengetahuan yang paling banyak jumlahnya setelah fakta-fakta dan contoh-contoh. Konsep-konsep akan saling berhubungan satu sama lain melalui proposisi-proposisi. Sebelum proses pembelajaran dimulai, seorang guru perlu menganalisis konsep. Dari hal inilah guru dapat menentukan pembelajaran akan dimulai dari mana, dan bagaimana hubungan antara satu konsep dengan konsep lainnya (Fadiawati & Syamsuri, 2018).

Selama kegiatan berlangsung, guru-guru sangat antusias. Hal ini terlihat dari tanggapan beberapa guru.

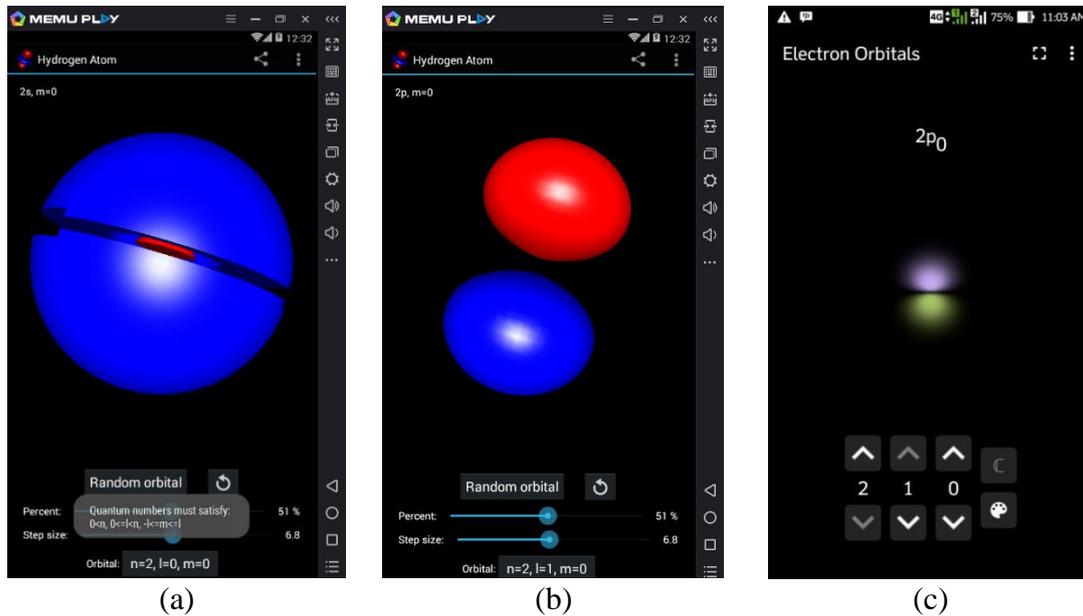
Guru 1 : “Kami sebagai guru hanya mengetahui bahwa di dalam kimia dikenal konsep abstrak dan konkret. Apakah ada jenis konsep yang lain?”

Guru 2 : “Apakah berbeda antara analisis konsep dengan peta konsep?”

Guru 3 : “Bagaimanakah cara membuat analisis konsep?”

Selanjutnya disampaikan pula materi terkait andorid dan perkembangannya serta pemanfaatan gawai sebagai media pembelajaran. Selama kegiatan lokakarya berlangsung, peserta diminta untuk memasang aplikasi *Electron Orbitals*, *Hydrogen Atom*, *Web Mo*, serta *Mo Cubed*. Aplikasi *Electron Orbitals* digunakan untuk memvisualisasikan distribusi elektron, *Hydrogen Atom* digunakan untuk memvisualisasikan bentuk tiga dimensi dari orbital, dan *Web Mo* serta *Mo Cubed* digunakan untuk memvisualisasikan bentuk molekul, menghitung panjang ikatan, sudut ikat, serta sudut bidang.

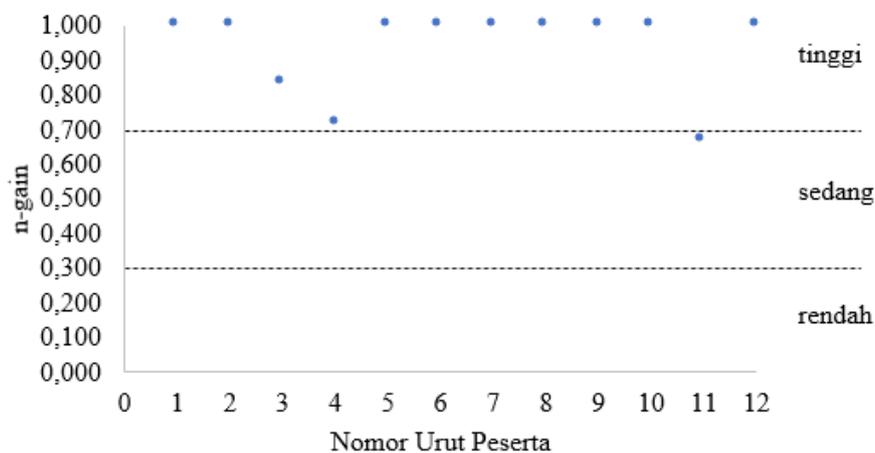
Selama lokakarya, guru diajari bagaimana cara menggunakan aplikasi-aplikasi kimia. Awalnya para guru nampak kesulitan, namun dengan petunjuk penggunaan yang diberikan perlahan-lahan guru mampu menggunakannya. Bahkan dengan aplikasi *Hydrogen Orbital* mereka juga telah mampu membandingkan visualisasi antara orbital yang satu dengan yang lain. Kemudian mengonfirmasinya menggunakan aplikasi *Electron Orbitals*.



Gambar 3. Visualisasi: (a) orbital 2s, (b) orbital 2p menggunakan aplikasi *Hydrogen Atom*; dan (c) orbital 2p menggunakan aplikasi *Electron Orbitals*.

Analisis Evaluasi *Product*

Evaluasi *product* menilai output dari kegiatan yang dilaksanakan. Berdasarkan postes yang dilakukan setelah kegiatan pengabdian secara tatap muka diperoleh hasil seperti yang disajikan dalam Gambar 2. Rerata skor postes peserta kegiatan sebesar 96,25. Rerata *n-gain* yang diperoleh sebesar 0,934 dengan kategori tinggi. Sebanyak 91,67% peserta dengan *n-gain* berkategori tinggi, selebihnya berkategori sedang. Sebaran nilai *n-gain* masing-masing peserta disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram pencar nilai *n-gain* masing-masing peserta kegiatan

Analisis terhadap hasil penilaian produk mengindikasikan bahwa semua guru peserta pelatihan dinyatakan terampil dalam menggunakan aplikasi kimia *open-source* berbasis gawai sebagai media pembelajaran. Berdasarkan hasil tersebut diperoleh informasi bahwa kegiatan pengabdian dinyatakan berhasil.

SIMPULAN

Beberapa aplikasi berbasis gawai untuk memvisualisasikan konsep-konsep kimia yang abstrak telah banyak dikenalkan, akan tetapi pemanfaatannya sebagai media pembelajaran di kelas belum maksimal. Pembelajaran berbasis aplikasi gawai menciptakan peluang untuk kegiatan kolaboratif di antara siswa, yang mengarah pada pengembangan kerja tim dan keterampilan sosial. Melalui kegiatan pengabdian guru-guru Kimia SMA, MA, dan SMK se Provinsi Lampung dilatih dalam menggunakan aplikasi kimia *open-source* berbasis gawai sebagai media pembelajaran. Berdasarkan hasil evaluasi CIPP diperoleh informasi bahwa rerata *n-gain* sebesar 0,934 dengan kategori tinggi dan semua guru peserta kegiatan dinyatakan terampil terampil dalam menggunakan aplikasi kimia *open-source* berbasis gawai sebagai media pembelajaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Akani, O. (2017). Identification of the areas of students' difficulties in chemistry curriculum at the secondary school level. *International Journal of Emerging Trends in Science and Technology*, 4(04), 5071-5077.
- Anderson, R.H. (1987). *Pemilihan dan Pengembangan Media untuk Pembelajaran*. Jakarta: Rajawali Press.
- Dalton, R., Tasker, R., & Sleet, R. (2012). Research into practice: Using molecular representations as a learning strategy in chemistry. In *Proceedings of The Australian Conference on Science and Mathematics Education (formerly UniServe Science Conference)* (Vol. 7).
- Diawati, C., Fadiawati, N., & Fauzi S., M.M. (2018). Evaluasi Keterlaksanaan Strategi Pembelajaran Kurikulum 2013 Mata Pelajaran Kimia. *Laporan Penelitian Hibah DIPA FKIP* (tidak diterbitkan). Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Fadiawati, N. & Syamsuri, M.M.F. (2016). *Merancang Pembelajaran Kimia di Sekolah: Berbasis Hasil Penelitian*, Yogyakarta: Media Akademi.
- Fadiawati, N. & Syamsuri, M.M.F. (2018). *Perancangan Pembelajaran Kimia*, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Feldt, J., Matta, R.A., & Dieterich, J.M. (2012). Atomdroid: A Computational Chemistry Tool for Mobile Platforms. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 52, 1072–1078.

- Gagne, R.M. & Briggs, L.J., (1974). *Principles of instructional design*. Holt, Rinehart & Winston.
- Hake, R.R., (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American journal of Physics*, 66(1), 64-74.
- Kennedy, A., (2005). Models of continuing professional development: A framework for analysis. *Journal of in-service education*, 31(2), 235-250.
- Libman, D. & Huang, L. (2013). Chemistry on the Go: Review of Chemistry Apps on Smartphones. *Journal of Chemical Education*, 90, 320-325.
- Naik, G.H., (2017). Role of iOS and Gawai Mobile Apps in Teaching and Learning Chemistry. In *Teaching and the Internet: The Application of Web Apps, Networking, and Online Tech for Chemistry Education* (pp. 19-35). American Chemical Society.
- OECD. (2009). Creative Effective Teaching and Learning Environments. First Result from Teaching and Learning International Survey (TALIS). Tersedia [online]: <http://www.oecd.org/publishing/corrigenda>, diakses tanggal 31 Agustus 2019.
- Permendiknas. (2007). Nomor 16 Tentang Standar Kualifikasi Akademik dan Kompetensi Guru.
- Rees, S., Kind, V. & Newton, D., (2019). Meeting the challenge of chemical language barriers in university level chemistry education. *Israel Journal of Chemistry*, 59(6-7), 470-477.
- Rogers, K. & Mize, C., (2005). Getting connected, staying connected: Developing a technology-rich freshmen success program. In *Society for Information Technology & Teacher Education International Conference* (pp. 2076-2080). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Sadiman, A.S. (2006). *Media Pendidikan : Pengertian, Pengembangan dan Pemanfaatannya*. Jakarta : Raja Grafindo Persada.
- Sobri, A.Y. (2016). Model-model Pengembangan Profesionalisme Guru. *Konvensi Nasional Pendidikan Indonesia VIII*. 339 – 342.
- Srisawasdi, N. & Panjaburee, P., (2019). Implementation of game-transformed inquiry-based learning to promote the understanding of and motivation to learn chemistry. *Journal of Science Education and Technology*, 28(2), 152-164.
- Stufflebeam, D.L., (1983). The CIPP model for program evaluation. In *Evaluation models* (pp. 117-141). Springer, Dordrecht.
- Stufflebeam, D.L., (2003). The CIPP model for evaluation. In *International handbook of educational evaluation* (pp. 31-62). Springer, Dordrecht.

- Sukiman. (2012). *Pengembangan Media Pembelajaran*. Yogyakarta : Pustaka Insan Madani
- Syamsuri, M.M.F., Fadiawati, N., & Kadaritna, N. (2013). Chemical Equilibrium Trough Chemical Representation Learning. In *Proceeding The 2nd International Conference of Indonesian Chemical Society*, Yogyakarta, 29-33.
- Tania, L. & Fadiawati, N., (2015). Development of interactive e-book based on chemical representation refer to curriculum 2013. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 4(2).
- Tania, L. & Saputra, A., (2018). Using Gawai Based Equation Plotters As Upporting Tools for Teaching and Learning Atomic Orbital. *Periódico Tchê Química*, 15(30), 397-401.
- Tania, L., Saputra, A., Syamsuri, M. & Canaval, L.R., (2017). Conformational stability order of acyclic organic molecules revisited: A computer-based project in learning stereochemistry. *Periodico Tche Química*, 14(28), 37-41.
- Tasker, R. & Dalton, R., (2006). Research into practice: Visualisation of the molecular world using animations. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(2), 141-159.
- Tim Penyusun. (2019). *Rancangan Teknokratik Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional 2020-2024*. Jakarta: Kementerian PPN/Bappenas.
- UNDP. (2019). *Human Develpoment Data Bank*. Weblog. Tersedia [online] <http://hdr.undp.org/en/content/human-development-index-hdi>, diakses tanggal 29 November 2019.
- WEF. (2019). Penyusun. *Human Capital Project*. Weblog. Tersedia [online] <https://www.worldbank.org/en/publication/human-capital#Viz>, diakses tanggal 30 November 2019.
- Wijtmans, M., Van Rens, L. & van Muijlwijk-Koezen, J.E., (2014). Activating students' interest and participation in lectures and practical courses using their electronic devices. *Journal of chemical education*, 91(11), 1830-1837.