

PENGEMBANGAN SIMULASI INTERAKTIF  
PADA PROSES EKSFOLIASI GRAFIT MENJADI GRAFENA MENGGUNAKAN  
CAIRAN IONIK DAN POTENSINYA UNTUK MEMBANGUN  
*VIEW OF NATURE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY (VNOST) SISWA*

SKRIPSI

diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Kimia



Disusun oleh:

Yelvi Agnes Hutri      1501527

DEPARTEMEN PENDIDIKAN KIMIA  
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA  
BANDUNG  
2019

**PENGEMBANGAN SIMULASI INTERAKTIF  
PADA PROSES EKSFOLIASI GRAFIT MENJADI GRAFENA  
MENGUNAKAN CAIRAN IONIK DAN POTENSINYA UNTUK  
MEMBANGUN *VIEW OF NATURE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY*  
(*VNOST*) SISWA**

Oleh:

Yelvi Agnes Hutri

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana pada Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

© Yelvi Agnes Hutri

Universitas Pendidikan Indonesia

Agustus 2019

Hak cipta dilindungi undang-undang

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,  
dengan dicetak ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa ijin dari penulis

YELVI AGNES HUTRI

PENGEMBANGAN SIMULASI INTERAKTIF  
PADA PROSES EKSFOLIASI GRAFIT MENJADI GRAFENA  
MENGUNAKAN CAIRAN IONIK DAN POTENSINYA UNTUK  
MEMBANGUN *VIEW OF NATURE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY*  
(VNOST) SISWA

disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

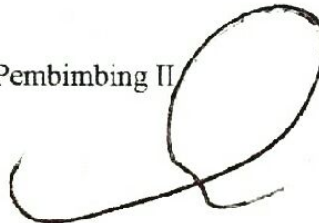
Pembimbing I



Dr. Hernani, M.Si.

NIP. 19671109 199101 2 001

Pembimbing II



Dr. rer. nat. Ahmad Mudzakir, M.Si.

NIP. 19661121 199103 1 002

Mengetahui,

Ketua Departemen Pendidikan Kimia



Dr. Hendrawan, M.Si.

NIP. 19631029 198703 1 001

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk membuat produk simulasi interaktif cairan ionik sebagai pelarut ionik pada proses eksfoliasi grafit menjadi grafena yang dapat membangun *VNOST* siswa. Model penelitian yang digunakan adalah model *Educational Design Research (EDR)*, yang memiliki tiga tahap dalam pelaksanaannya, yaitu analisis, pengembangan, dan evaluasi. Namun, pada penelitian ini hanya sampai pada tahap pengembangan saja. Fokus utama dalam penelitian ini adalah *VNOST* siswa yang dapat dibangun setelah menggunakan simulasi interaktif yang dikembangkan. Partisipan yang dilibatkan dalam penelitian ini adalah siswa kelas X dari salah satu SMAN di Kota Bandung, karena berdasarkan hasil analisis konsep-konsep yang terkait dengan proses eksfoliasi grafit menjadi grafena merupakan materi yang terkandung dalam KD 3.5 dan 3.7 mata pelajaran Kimia kelas X. Ada enam konteks yang disampaikan pada simulasi interaktif yang dikembangkan yaitu teknologi layar sentuh, grafena sebagai alotrop karbon, karakteristik grafena, sintesis grafena, cairan ionik, dan eksfoliasi grafit menjadi grafena menggunakan cairan ionik. Setiap konteks mengandung satu atau dua aspek *VNOST*. Potensi simulasi interaktif pada proses eksfoliasi grafit menjadi grafena dalam membangun *VNOST* siswa hanya tiga aspek *VNOST* yang pandangan *realist* yaitu definisi pengetahuan ilmiah, definisi teori ilmiah, dan hubungan sains dengan teknologi. Tiga aspek yang dominan pandangan *has merit* yaitu definisi sains, proses penelitian ilmiah, dan tujuan sains. Sementara untuk aspek definisi teknologi dan tujuan penelitian ilmiah, sebagian siswa memilih pandangan yang *realist* dan sebagian lainnya memilih pandangan yang *has merit*. Pada aspek tujuan sains dan definisi teori ilmiah masih terdapat pandangan *naive*.

**Kata kunci:** *VNOST*, simulasi interaktif, grafena, cairan ionik, interaksi antarmolekul

## **ABSTRACT**

*This research used to produced an interactive simulation in the process of graphite exfoliation into graphene using ionic liquids and their potential to build the view nature of science and technology (VNOST) ability of students. The research model used was the Educational Design Research (EDR) model, which has three stages in conducting research, that is analysis, development, and evaluation. However, this research only reached the development stage. The main focus in this research was the ability of VNOST students that could be built after using interactive simulations that were developed. Participants involved in this research were students of class X from one of the high schools in the city of Bandung, because based on the results of the analysis of the concepts was related to the process of exfoliating graphite into graphene, the material contained in KD 3.5 and 3.7 subjects in class X chemistry. There were six contexts presented in the interactive simulation developed, namely touch screen technology, graphene as a carbon allotroph, graphene characteristics, graphene synthesis, ionic liquid, and exfoliation of graphite into graphene using ionic liquids. Each context contained one or two aspects of VNOST. The potential of interactive simulations in the process of exfoliating graphite into graphene in building students' VNOST abilities were only three aspects of VNOST that were realist views, that was the definition of scientific knowledge, the definition of scientific theory, and the relationship of science and technology. Three dominant aspects of the has merit view were the definition of science, the process of scientific research, and the purpose of science. While for aspects of the definition of technology and the purpose of scientific research, some students choosed a realist view and some others choose a view that has merit. In the aspect of the objectives of science and the definition of scientific theory there were still a naive view.*

**Key word:** VNOST, interactive simulation, graphene, ionic liquid, intermolecular interaction

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR LAMPIRAN .....	ix
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Pembatasan Masalah .....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.6 Struktur Organisasi Skripsi.....	6
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	8
2.1 Literasi Sains .....	8
2.2 <i>View Nature of Science and Technology (VNST)</i> .....	9
2.3 Pemodelan dalam Pembelajaran.....	13
2.4 Simulasi Interaktif .....	13
2.5 Material Grafena.....	18
2.6 Cairan Ionik .....	25
2.7 Aplikasi Cairan Ionik Pada Eksfoliasi Grafit Menjadi Grafena.....	27
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	30
3.1 Desain Penelitian .....	30
3.2 Partisipan .....	30
3.3 Alur Penelitian.....	31
3.4 Prosedur Penelitian.....	33

3.5	Instrumen Penelitian.....	36
3.6	Perolehan Data.....	38
3.7	Teknik Analisis Data .....	38
BAB 4 TEMUAN DAN PEMBAHASAN .....		40
4.1	Konsep-Konsep Kimia SMA yang Digunakan pada Proses Eksfoliasi Grafrit Menjadi Grafena Menggunakan Cairan Ionik.....	40
4.2	Desain Global untuk Membangun <i>VNOST</i> Siswa Melalui Simulasi Interaktif pada Proses Eksfoliasi Grafrit Menjadi Grafena Menggunakan Cairan Ionik.....	58
4.3	Potensi Simulasi Interaktif pada Proses Eksfoliasi Grafrit Menjadi Grafena Menggunakan Cairan Ionik dalam Membangun <i>VNOST</i> Siswa .....	93
BAB 5 SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI .....		97
5.1	Simpulan.....	97
5.2	Implikasi .....	98
5.3	Rekomendasi .....	98
DAFTAR PUSTAKA .....		99

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kerapatan [HMIH] pada rentang suhu 0-90 <sup>0</sup> C .....	28
Tabel 3.1 Format Penggabungan Teks Dasar Konteks dan Konten Proses Eksfoliasi Grafena.....	36
Tabel 3.2 Format Validasi Konsep yang Berhubungan dengan Konteks Eksfoliasi Grafit menjadi Grafena dengan Konten Kimia SMA .....	36
Tabel 3.3 Format Analisis Data <i>VNOST</i> Awal .....	37
Tabel 3.4 Lembar Validasi Desain Global untuk Meningkatkan Aspek <i>VNOST</i> Siswa .....	37
Tabel 3.5 Format Analisis Data <i>VNOST</i> Akhir.....	37
Tabel 4.1 Tujuan Pembelajaran dan Konsep yang Terkait dengan Konteks Teknologi Layar Sentuh.....	43
Tabel 4.2 Tujuan Pembelajaran dan Konsep yang Terkait dengan Konteks Grafena sebagai Alotrop Karbon .....	44
Tabel 4.3 Tujuan Pembelajaran dan Konsep yang Terkait dengan Konteks Karakteristik Grafena.....	46
Tabel 4.4 Tujuan Pembelajaran dan Konsep yang Terkait dengan Konteks Sintesis Grafena.....	47
Tabel 4.5 Tujuan Pembelajaran dan Konsep yang Terkait dengan Konteks Cairan Ionik .....	49
Tabel 4.6 Tujuan Pembelajaran dan Konsep yang Terkait dengan Konteks Eksfoliasi Grafit menjadi Grafena Menggunakan Cairan Ionik sebagai Pelarut .	50
Tabel 4.7 Tujuan Pembelajaran Sebelum dan Sesudah Perbaikan .....	52
Tabel 4.8 Analisis Kompetensi Dasar yang Sesuai dengan Konsep.....	53
Tabel 4.9 Definisi Konsep Menurut Para Ahli.....	54
Tabel 4.10 Definisi Konsep Menurut Para Ahli Hasil Perbaikan .....	57
Tabel 4.11 <i>VNOST</i> awal siswa.....	60



Tabel 4.12 Desain global untuk Aspek Hubungan Sains dan Teknologi dan Aspek Karakteristik Teknologi .....	63
Tabel 4.13 Desain Global untuk Aspek Karakteristik Pengetahuan Ilmiah dan Cara Memperoleh Pengatahuan Ilmiah .....	66
Tabel 4.14 Desain global untuk Aspek Tujuan Sains .....	68
Tabel 4.15 Desain Global untuk Aspek Karakteristik Sains .....	70
Tabel 4.16 Desain Global untuk Aspek Karakteristik Teori Ilmiah .....	72
Tabel 4.17 Desain Global untuk Aspek Tujuan Penelitian Ilmiah.....	75
Tabel 4.18 Analisis Data <i>VNOST</i> Siswa yang Terbangun .....	93

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jumlah publikasi grafena dalam 20 tahun terakhir.....	18
Gambar 2.2 Gambar TEM lembaran grafena.....	19
Gambar 2.3 Grafena adalah material bangunan 2D untuk material karbon dari semua dimensi lainnya. Ini dapat dibungkus ke dalam 0D buckyballs, digulung menjadi nanotube 1D atau ditumpuk menjadi grafit 3D .....	20
Gambar 2.4 Diklinasi positif ( $s = 60^\circ$ ) dan diklinasi negatif ( $s = -60^\circ$ ) dalam grafena.....	21
Gambar 2.5 Skema cacat Stone-Wales .....	21
Gambar 2.6 (A) Ilustrasi skematik proses pengelupasan grafena. Serpihan grafit dikombinasikan dengan sodium cholate (SC) dalam larutan encer. Horn-ultrasonication mengelupas beberapa serpihan lembar grafena yang dienkapsulasi oleh misel SC. (B) Foto $90 \mu\text{g mL}^{-1}$ dispersi grafena dalam SC 6 minggu setelah disiapkan. (C) Skematis yang menggambarkan suatu monolayer SC tertata pada grafena.....	24
Gambar 2.7 Struktur umum cairan ionik umum .....	25
Gambar 2.8 Jenis kation dan anion pada cairan ionik.....	26
Gambar 2.9 Struktur cairan ionik <i>1-hexyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate</i> .....	28
Gambar 3.1 Iterasi siklus desain yang sistematis.....	30
Gambar 3.2 Alur penelitian <i>Educational Design Reserch</i> menurut Wademan ...	31
Gambar 4.1 Desain penempatan pernyataan untuk membangun <i>VNOST</i> siswa..	77
Gambar 4.2 Tampilan halaman indeks.....	78
Gambar 4.3 Tampilan halaman 1 tentang layar sentuh berbahan ITO dan konten <i>VNOST</i> tentang hubungan sains dan teknologi .....	79
Gambar 4.4 Tampilan lanjutan halaman 1 tentang layar sentuh berbahan grafena dan konten <i>VNOST</i> tentang definisi teknologi .....	80
Gambar 4.5 Tampilan halaman 2 tentang unsur karbon dan grafit.....	81

Gambar 4.6 Tampilan lanjutan halaman 2 tentang penorehan grafit pada kertas dan pemodelan tiga dimensi grafena serta konten <i>VNOST</i> tentang cara memperoleh pengetahuan ilmiah .....	82
Gambar 4.7 Tampilan lanjutan halaman 2 tentang grafena dan konten <i>VNOST</i> tentang cara memperoleh pengetahuan ilmiah.....	83
Gambar 4.8 tampilan halaman 3 tentang sifat-sifat grafena .....	84
Gambar 4.9 Tampilan lanjutan halaman 3 tentang ilustrasi kekuatan grafena dan konten <i>VNOST</i> tentang tujuan sains.....	85
Gambar 4.10 Tampilan halaman 4 tentang metode selotip dan konten <i>VNOST</i> tentang definisi sains .....	86
Gambar 4.11 Tampilan lanjutan halaman 4 tentang eksfoliasi kimiawi dan pemodelan senyawa natrium kolat.....	87
Gambar 4.12 Tampilan halaman 5 tentang perbedaan padatan ionik, larutan ionik, dan lelehan ionik .....	88
Gambar 4.13 Tampilan lanjutan halaman 5 tentang cairan ionik dan konten <i>VNOST</i> tentang definisi teori ilmiah .....	89
Gambar 4.14 Tampilan halaman 6 tentang pemodelan tiga dimensi senyawa ionik 1-heksil-3-metilimidazolium heksafluorofosfat dan perbedaannya dengan natrium kolat.....	90
Gambar 4.15 Tampilan halaman 6 tentang proses ekfoliasi grafit menjadi grafena dan konten <i>VNOST</i> tentang tujuan penelitian ilmiah.....	91
Gambar 4.16 Tampilan halaman 6 tentang proses ekfoliasi grafit menjadi grafena dan konten <i>VNOST</i> tentang tujuan penelitian ilmiah.....	91
Gambar 4.17 Tampilan halaman 7 tentang pertanyaan-pertanyaan <i>VNOST</i> dan kolom saran dari siswa .....	92

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Kuesioner <i>View the Nature of Science and Technology (VNOST)</i> . 105	105
Lampiran 2 Penggabungan Teks Dasar Konteks dan Konten Proses Eksfoliasi Grafena.....	116
Lampiran 3 Desain Global Membangun <i>VNOST</i> Siswa Sebelum Validasi.....	128
Lampiran 4 Lembar Validasi Konsep yang Berhubungan dengan Konteks Eksfoliasi Grafit menjadi Grafena dengan Konten Kimia SMA .....	140
Lampiran 5 Lembar Validasi Desain Global untuk Membangun Aspek <i>VNOST</i> Siswa .....	142
Lampiran 6 Surat Izin Penelitian.....	150

## DAFTAR PUSTAKA

- Aditama, N. A. (2018). Pengembangan Buku Pengayaan Pada Topik Grafena Untuk Meningkatkan Literasi Sains Siswa SMA. (*Skripsi*). Pendidikan Kimia, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Akpan, J. P. (2001). Issues Associated with Inserting Computer Simulations into Biology Instruction: A Review of the Literature. *Electronic Journal of Science Education*, 5(3). Diakses dari <http://ejse.southwestern.edu/article/view/7656>
- Antoro, B. (2017). *Gerakan Literasi Sekolah. Dari Pucuk Hingga Akar*. <https://doi.org/10.1017/S0033291700036606>
- Ayesha, N. R., & Andreas, H. (2016). Kajian Warna Pada Interior Kelas Terhadap Kualitas. *Proceeding of Art & Design*, 3(3), 1089–1100.
- Balandin, A. A., Ghosh, S., Bao, W., Calizo, I., Teweldebrhan, D., Miao, F., & Lau, C. N. (2008). Superior Thermal Conductivity of Single-Layer Graphene. *Nano Letters*, 8(3), 902–907. <https://doi.org/10.1021/nl0731872>
- Barke, H. D., Hazari, A., & Yitbarek, S. (2009). *Misconceptions in Chemistry: Addressing Perceptions in Chemical Education*. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-70989-3>
- Blake, P., Brimicombe, P. D., Rahul, R. N., Booth, T. J., Jiang, D., Schedin, F., ... Novoselov, K. S. (2008). Graphene-Based Liquid Crystal Device. *Nano Letters*, 8(6), 1704–1708. <https://doi.org/10.1021/nl080649i>
- Bellinger, G. (2004). Modeling & Simulation: An Introduction, in Mental Model Musings. Diakses dari <http://www.systems-thinking.org/modsim/modsim.htm>.
- Brown, T. L., Lemay, J. H. E., Bursten, B. E., Woodward, P. M., & Murphy, C. J. (2012). *Chemistry: the central science*. (Edisi kedua belas). USA: Pearson Prentice Hall.
- Chamizo, J. A. (2013). Technochemistry: One of the chemists' ways of knowing. *Foundations of Chemistry*, 15(2), 157–170. <https://doi.org/10.1007/s10698-013-9179-z>
- Chang, R. (2010). *Chemistry 10<sup>th</sup> edition*. New York : The McGraw-Hill Companies, Inc
- Das, P. M., Faikhamta, C., & Punsuvon, V. (2018). Enhancing Bhutanese Students' Views of the Nature of Science in Matter and Its Composition and Study of Gas Laws through an Explicit and Reflective Approach. *Science Education International*, 29(1), 20–28.

- De Jong, T., & Van Joolingen, W. R. (1998). Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179–201. <https://doi.org/10.3102/00346543068002179>
- DoD. (1998). *DoD Modeling and Simulation (M&S) Glossary in DoD Manual 5000.59-M*. Arlington, VA, USA: US Department of Defense. Diakses dari <http://www.dtic.mil/whs/directives/corres/pdf/500059m.pdf>
- Dori, D. (2003). Conceptual Modeling and System Architecting. *Communications of the ACM*, 46(10), 62–65.
- Earle, M. J., & Seddon, K. R. (2007). Ionic liquids. Green solvents for the future. *Pure and Applied Chemistry*, 72(7), 1391–1398. <https://doi.org/10.1351/pac200072071391>
- Echeverría, J. (2003). Science, technology, and values: Towards an axiological analysis of techno-scientific activity. *Technology in Society*, Vol. 25, pp. 205–215. [https://doi.org/10.1016/S0160-791X\(03\)00024-1](https://doi.org/10.1016/S0160-791X(03)00024-1)
- Fauzi, A., & Ayub, M. (2014). Molecular Workbench Software as Computer Assisted Instruction to Aid the Learning of Chemistry. *Journal of Educational and Social Research*, 4(3), 373–380. <https://doi.org/10.5901/jesr.2014.v4n3p373>
- Gardner, P. L. (1999). The Representation Of Science-Technology Relationships In Canadian Physics Textbooks. *International Journal of Science Education*, 21(3), 329–347. <https://doi.org/10.1080/095006999290732>
- Geim, A. K. (2011). *Angewandte Random Walk to Graphene ( Nobel Lecture )\*\**. 6966–6985. <https://doi.org/10.1002/anie.201101174>
- Gupta, K. M., & Jiang, J. (2015). Cellulose dissolution and regeneration in ionic liquids: A computational perspective. *Chemical Engineering Science*, 121, 180–189. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2014.07.025>
- Handy, S. T. (2011). *Applications of Ionic Liquids in Science and Technology*. <https://doi.org/10.5772/1769>
- Harris, K. R., Kanakubo, M., & Woolf, L. A. (2006). Temperature and pressure dependence of the viscosity of the Ionic liquids 1-methyl-3-octylimidazolium hexafluorophosphate and 1-methyl-3-octylimidazolium tetrafluoroborate. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 51, 1161–1167.
- Holbrook, J. & Rannikmae, M. (2009). The Meaning of Scientific Literacy. *International Journal of Environmental & Science Education*, 4(3), 275–288. Diakses dari <http://www.ijese.com/>

- Ibadan, B. (1989). *Science for All Americans*. USA: Oxford University Press.  
Diakses dari <http://www.repositorio.cenpat-conicet.gob.ar/bitstream/handle/123456789/448/scienceForAllAmericans.pdf?sequence=1>
- Izquierdo, M., & Aliberas, Y. J. (2004). *Think, Act and Talk In Science's Class*. Barcelona: Universitat Auto noma de Barcelona.
- Kemendikbud. (2015). *Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2015 tentang Penumbuhan Budi Pekerti*. 1–8.
- Khoshouie, E., Ayub, M. A. F., & Mesrinejad, F. (2014). Molecular Workbench Software as Computer Assisted Instruction to Aid the Learning of Chemistry. *Journal of Educational and Social Research*, 4(3), 373–380. <https://doi.org/10.5901/jesr.2014.v4n3p373>
- Kosynkin, D. V., Higginbotham, A. L., Sinitskii, A., Lomeda, J. R., Dimiev, A., Price, B. K., & Tour, J. M. (2009). Longitudinal unzipping of carbon nanotubes to form graphene nanoribbons. *Nature*, 458(7240), 872–876. <https://doi.org/10.1038/nature07872>
- Lakollo, L. (2018). Rekonstruksi Simulasi Interaktif Cairan Ionik Sebagai Pelarut Ionik Pada Proses Pelarutan Selulosa dan Potensinya Untuk Membangun Kemampuan View Of Nature Of Science And Technology Mahasiswa Calon Guru Kimia. (*Tesis*). Sekolah Pascasarjana, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung
- Lederman, N. (2006). Chapter 28. Nature of Science: Past, Present, and Future. *Modern Healthcare*, 19(46), 53,55,57,59.
- Letcher, T. M., & Reddy, P. (2005). Ternary (liquid + liquid) equilibria for mixtures of 1-hexyl-3- methylimidazolium (tetrafluoroborate or hexafluorophosphate) + benzene + an alkane at T=298.2 K and p=0.1 MPa. *Journal of Chemical Thermodynamics*, 37(5), 415–421. <https://doi.org/10.1016/j.jct.2004.05.001>
- Lu, J., Yang, J., Wang, J., Lim, A., Wang, S., & Loh, K. P. (2009). One-Pot Synthesis of Fluorescent Carbon Graphene by the Exfoliation of Graphite in Ionic Liquids. *ACS Nano*, 3(8), 2367–2375. <https://doi.org/10.1021/nn900546b>
- Luo, W., Pelletier, J., Duffin, K., Ormand, C., Hung, W., Shernoff, D. J., ... Furness, W. (2016). *Advantages of Computer Simulation in Enhancing Students ' Learning About Landform Evolution : A Case Study Using the Grand Canyon Advantages of Computer Simulation in Enhancing Students ' Learning About Landform Evolution : A Case Study Using the Grand Ca.* (April). <https://doi.org/10.5408/15-080.1>

- Mariconda, P. R. (2012). Get ready for technoscience: the constant burden of evaluation and domination. *Scientiae Studia*, 10(spe), 151–162. <https://doi.org/10.1590/s1678-31662012000500010>
- Masters, A. F. (2019). Allotropes. Diakses dari <http://www.chemistryexplained.com/A-Ar/Allotropes.html>
- Miyake, N., Shiina, T., Oshiro, M., & Matsuda, Y. (2016). Interactive Simulation Ride. *Journal of Robotics and Mechatronics*, 14(1), 64–67. <https://doi.org/10.20965/jrm.2002.p0064>
- Mouras, S. & Hamwi, A. (1987). New synthesis of first stage graphite intercalation compounds with fluorides. *Journal of Fluorine Chemistry*, 35(24), 572–582. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-1139\(87\)95120-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-1139(87)95120-7)
- Mudzakir, A., Hernani, Widhiyanti, T., & Sudrajat, D. P. (2017). Contribution from philosophy of chemistry to chemistry education: In a case of ionic liquids as technochemistry. *AIP Conference Proceedings*, 1868(August). <https://doi.org/10.1063/1.4995111>
- Novoselov, K. S. (2011). Nobel Lecture: Graphene: Materials in the Flatland. *Reviews of Modern Physics*, 83(3), 837–849. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.83.837>
- Niyogi, S., Bekyarova, E., Bekyarova, E., Itkis, M. E., Itkis, M. E., ... Haddon, R. C. (2006). Solution properties of graphite and graphene. *Journal of the American Chemical Society*, 128(24), 7720–7721. <https://doi.org/10.1021/ja060680r>
- Nuvoli, D., Alzari, V., Scognamillo, S., Mariani, A., Valentini, L., Bon, S. B., ... Illescas, J. (2011). High concentration few-layer graphene sheets obtained by liquid phase exfoliation of graphite in ionic liquid. *Journal of Materials Chemistry*, 21(10), 3428–3431. <https://doi.org/10.1039/C0JM02461A>
- OECD. (2016). *OECD Multilingual Summaries Education at a Glance 2016 OECD Indicators Panorama de la educación 2016 Indicadores de la OCDE*. <https://doi.org/10.1787/eag-2016-en>
- OECD. (2017). *PISA for development assessment and analytical framework reading, mathematics, and science*. OECD Publishing.
- OECD. (2018). *PISA for Development Assessment and Analytical Framework*. <https://doi.org/10.1787/9789264305274-en>
- OMG. (2010). *MDA Foundation Model*. USA: Object Management Group.
- Parobek, D., Shenoy, G., Zhou, F., Peng, Z., Ward, M., & Liu, H. (2016).



- Synthesizing and Characterizing Graphene via Raman Spectroscopy: An Upper-Level Undergraduate Experiment That Exposes Students to Raman Spectroscopy and a 2D Nanomaterial. *Journal of Chemical Education*, 93(10), 1798–1803. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00198>
- Patel, N. V. (2010). Systems design. *Critical Systems Analysis and Design*, 225–240. [https://doi.org/10.4324/9780203400975\\_chapter\\_11](https://doi.org/10.4324/9780203400975_chapter_11)
- Plomp, T. & Nieveen, N. (2013). Educational Design Research Educational Design Research. *Educational Design Research*, 1–206. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3185-5\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3185-5_11)
- Podolefsky, N. S. (2012). Learning Science Through Computer Games And Simulations. In *Studies in Science Education* (Vol. 48). <https://doi.org/10.1080/03057267.2012.720770>
- Podolefsky, N. S., Moore, E. B., & Perkins, K. K. (2013). Implicit Scaffolding In Interactive Simulations: Design Strategies To Support Multiple Educational Goals. *Arxiv*, 1–30. Diakses dari <http://arxiv.org/abs/1306.6544>
- Rahman, T. (2006). Efek Pertanyaan Pengarah dalam Pembelajaran Sains Terhadap Penguasaan Konsep Pada Siswa SLTP. *Educare*, 1(1), 12–18.
- Ray, S. C. (2015). *Applications of Graphene Based Nanomaterials Applications of Graphene and Graphene-Oxide Based Nanomaterials*. Waltham: William Andrew.
- Riana, C. (2009). Media pembelajaran. In *Komputer dan Media Pendidikan* (pp. 1–39). Bandung: CV Wahana Prima.
- Sergei, V. & Dzyuba, M. S. (2002). *Synthesis. Properties, and Applications of Ionic Liquids*.
- Sharon, M. & Sharon, M. (2015). *Graphene An Introduction to the Fundamentals and Industrial Applications* (A. Tiwari, Ed.). United States of America: Scrivener Publishing.
- Shen, B. S. P. (1975). Science Literacy and the Public Understanding of Science. *Communication of Scientific Information*, 52(January), 44–52.
- Singh, V., Joung, D., Zhai, L., Das, S., Khondaker, S. I., & Seal, S. (2011). Graphene based materials: Past, present and future. *Progress in Materials Science*, 56(8), 1178–1271. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2011.03.003>
- Silberberg, M. S. (2010). *Principles of General Chemistry, 2nd edition*. USA: McGraw-Hill.

- Sokolowski, J. A. & Catherine, M. (2009). *Principles of Modeling and Simulation A Multidisciplinary Approach*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Soldano, C., Mahmood, A., & Dujardin, E. (2010). Production, Properties And Potential of Graphene. *Carbon*, 48(8), 2127–2150. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2010.01.058>
- Tairab, H. H. (2001). How Do Pre-Service And In-Service Science Teachers View The Nature Of Science And Technology? *Research in Science and Technological Education*, 19(2), 235–250. <https://doi.org/10.1080/02635140120087759>
- Tala, S. (2013). The Nature of Technoscience (NOTS). Dalam Clough, P. M., Olson, J. K., & Niederhauser, S. D. (Penyunting). *The Nature of Technology*. USA: Sense Publisher.
- TIM GLN Kemendikbud. (2017). *Panduan Gerakan Literasi Nasional*. Diakses dari <http://gln.kemdikbud.go.id/glnsite/wp-content/uploads/2017/08/panduan-gln.pdf>
- Verdía, P., Santamarta, F., & Tojo, E. (2017). Synthesis of (3-Methoxycarbonyl)coumarin in an Ionic Liquid: An Advanced Undergraduate Project for Green Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 94(4), 505–509. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00148>
- Vesterinen, V. M., Aksela, M., & Sundberg, M. R. (2009). Nature of chemistry in the national frame curricula for upper secondary education in Finland, Norway and Sweden. *NorDina: Nordisk tidsskrift i naturefagdidaktikk*.
- Xie, C. & Pallant, A. (2011). The Molecular Workbench Software: An Innovative Dynamic Modeling Tool for Nanoscience Education. *The Advanced Educational Modeling Laboratory*. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-0449-7\\_6](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0449-7_6)
- Yacob, Z. & Liebscher, J. (2011). 1,2,3-Triazolium Salts as a Versatile New Class of Ionic Liquids. In S. Handy (Ed.), *Ionic Liquids-Classses and Properties* (pp. 4–22). Diakses dari <http://www.intechopen.com/books/ionic-liquids-classes-and-properties/1-2-3-triazolium-salts-as-a-versatile-%0Anew-class-of-ionic-liquids>
- Whitten, K. W., Davis, R.E., Peck, M. L., & Stanley G. G. (2014). *Chemistry, 10<sup>th</sup> edition*. USA: Mary Finch.