

## KERANGKA KERJA BERPIKIR SISTEM MENGGUNAKAN ILMU PENGETAHUAN ALAM SEBAGAI PENGETAHUAN KONTEN SISTEM KOMPLEKS

**Rannaa Setianingrum**

Program Studi Pendidikan IPA, FKIP, Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa,  
Indonesia

E-Mail : [rannaa22@gmail.com](mailto:rannaa22@gmail.com)

**ABSTRAK:** Pemahaman sistem yang kompleks merupakan tujuan penting bagi pembelajaran IPA, sehingga membutuhkan pemahaman mendalam tentang pengetahuan sistem kompleks sebagai materi pelajaran yang seharusnya diajarkan di sekolah. Analisis dilakukan untuk menemukan dimensi sistem kompleks dan relevansinya dengan karakteristik berpikir sistem dalam konteks IPA. Kerangka kerja berpikir sistem pada materi pembelajaran IPA dibangun berdasarkan dimensi sistem kompleks dan berpikir sistem. Hasil konseptualisasi kerangka berpikir sistem diharapkan memberikan cara untuk memilih materi pembelajaran IPA sebagai *content knowledge* sistem kompleks dan berkontribusi untuk pembelajaran sistem kompleks yang memfasilitasi berpikir sistem.

**Kata Kunci:** Berpikir Sistem, Sistem Kompleks, Konten Pembelajaran IPA.

**ABSTRACT:** Understanding complex systems is an important goal for science learning, so it requires a deep understanding of complex systems knowledge as a subject matter that should be taught in schools. The analysis was conducted to find the dimensions of complex systems and their relevance to the characteristics of systems thinking in the context of science. The systems thinking framework in science learning materials is built based on the dimensions of complex systems and systems thinking. The results of the conceptualization of systems thinking framework are expected to provide a way to select science learning materials as content knowledge of complex systems and contribute to complex systems learning that facilitates systems thinking.

**Keywords:** Systems Thinking, Complex Systems, Science Learning Content.



**Biocaster : Jurnal Kajian Biologi** is Licensed Under a CC BY-SA [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

### PENDAHULUAN

Dekade terakhir penelitian yang melaporkan tentang upaya memahami materi IPA dengan pendekatan sistem kompleks meningkat. Penelitian-penelitian tersebut telah melaporkan tentang fasilitasi dan pengembangan pemikiran sistem siswa untuk memahami sistem kompleks terkait dengan topik IPA yang berbeda, seperti tubuh manusia sebagai sistem (Tripto *et al.*, 2017), ekosistem (Jordan *et al.*, 2014), dan pada topik sel (Verhoeff *et al.*, 2013), serta struktur perkembangan tumbuhan (Sumarno *et al.*, 2019). Sistem yang kompleks dicirikan sebagai sistem dengan struktur *hierarki* yang terdiri dari subsistem dan komponen serta menunjukkan perilaku alamiah maupun rekayasa fungsi sehingga mempengaruhi sub sistem atau komponen lainnya serta pengaruh sebab-akibat tersebut menciptakan rangkaian peristiwa dalam pengoperasian sistem secara keseluruhan dan menimbulkan perubahan perilaku struktur dan fungsi secara keseluruhan





(Ma'ayan, 2017), (Tripto *et al.*, 2016). Suatu sistem telah digambarkan sebagai kompleks jika menampilkan karakteristik memiliki banyak komponen yang saling berinteraksi; perilaku komponen akan memberikan pengaruh baik umpan balik positif maupun negatif; bersifat terbuka serta mengakibatkan sifat *emergen* yang muncul tanpa kendali *central* dan pola yang timbul menunjukkan keteraturan maupun ketidak teraturan (Verhoeff *et al.*, 2018).

Berpikir sistem dianggap sebagai alat penting memahami sistem kompleks. Proses memahami sistem kompleks merupakan alat konseptual yang mengubah persepsi seseorang tentang sistem yang kompleks dan berimplikasi pada cara belajar yang baru, yakni dengan menduga terdapat paradigma teoretis baru bila melihat fenomena fisik yang baru (Gillissen *et al.*, 2019). Berpikir sistem dibutuhkan untuk memahami berbagai komponen dan bagaimana perilaku dan interaksi yang terjadi pada sistem maupun antar sistem, berpikir secara *hierarkis* dan *heuristik* hubungan interaksi antar berbagai level organisasi (Vattam *et al.*, 2011).

Materi pembelajaran IPA atau sering dikenal sebagai *biological content knowledge* umumnya mengacu pada fakta, konsep, teori, dan prinsip-prinsip yang diajarkan dan dipelajari dalam pembelajaran IPA. Upaya untuk memudahkan siswa menalar tentang system, guru perlu menggunakan karakteristik sistem secara *eksplisit* selama kegiatan belajar mengajar (Tripto *et al.*, 2016). Namun demikian tampaknya ada kekurangan pada *pedagogi* yang memberikan pedoman yang jelas bagi guru untuk mengimplementasikan pemikiran sistem dalam pembelajaran (Gilissen *et al.*, 2020). Memfasilitasi peserta didik memahami IPA sebagai system kompleks membutuhkan perhatian terhadap isu-isu dari perubahan konseptual dan untuk membangun konsep hubungan kausalitas kompleks, *non-linearitas*, dan keacakan (Jacobson *et al.*, 2019). Hal ini berimplikasi terhadap *content knowledge* guru untuk membelajarkan IPA sebagai sistem kompleks.

Berdasarkan paparan diatas maka tulisan ini berupaya untuk memaparkan bangunan kerangka yang dapat digunakan oleh guru untuk memahami dan memperoleh *content knowledge* yang dibutuhkan dalam membelajarkan IPA sebagai sistem kompleks. Agar memperoleh pemahaman yang relevan maka dilakukan analisis terhadap konsepsi sistem kompleks untuk memperoleh karakteristik sistem IPA sebagai sistem kompleks, analisis berpikir sistem yang digunakan untuk memahami sistem IPA sebagai sistem kompleks dan konseptualisasi dimensi-dimensi kerangka *content knowledge* sistem kompleks.

## METODE

Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi IPA sebagai sistem kompleks dan berpikir sistem pada materi IPA sebagai *content knowledge*. Sumber informasi yang berkaitan dengan sistem kompleks maupun berpikir sistem yang dihubungkan dengan kerangka materi IPA sebagai sistem maka digunakan antara lain : jurnal ilmiah, hasil-hasil penelitian dalam bentuk tesis maupun disertasi, serta sumber-sumber yang relevan lainnya.

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian deskriptif yang berfokus pada penjelasan sistematis tentang fakta yang diperoleh saat penelitian dilakukan





(Sanusi, 2016). Data diperoleh melalui penelitian kepastakaan atau *library research*, yakni pengumpulan data atau karya tulis ilmiah yang bertujuan dengan obyek penelitian atau pengumpulan data yang bersifat kepastakaan, atau telaah yang dilaksanakan untuk memecahkan suatu masalah tentang karakterisasi materi IPA sebagai sistem kompleks maupun kerangka kerja berpikir sistem menggunakan materi IPA yang bertumpu pada penelaahan kritis dan mendalam terhadap bahan-bahan pustaka yang relevan.

Langkah-langkah dalam penelitian meliputi 3 tahapan; 1) pengorganisasian yakni mengorganisasikan literatur-literatur yang akan digunakan. Literatur yang digunakan terlebih dahulu di-*review* kesesuaian informasi dengan karakterisasi materi IPA sebagai sistem kompleks maupun kerangka kerja berpikir sistem menggunakan materi IPA. Pada tahapan ini penulis melakukan pencarian ide, tujuan, dan simpulan dari beberapa literatur dimulai dari membaca abstrak, pendahuluan, metode serta pembahasan serta mengelompokkan literatur berdasarkan kategori berpikir sistem, karakteristik materi IPA maupun sistem kompleks; 2) sintesis. Pada tahap sintesis menyatukan hasil organisasi literatur menjadi suatu ringkasan agar menjadi satu kesatuan yang padu, dengan mencari keterkaitan antar literatur; dan 3) identifikasi. Pada tahap identifikasi penulis mengidentifikasi karakteristik berpikir sistem maupun materi IPA sebagai *content knowledge* sistem kompleks serta materi IPA sebagai bahan berpikir sistem. Hasil identifikasi selanjutnya dianalisis untuk memperoleh kerangka *content knowledge* sistem IPA sebagai sistem kompleks.

Analisis dan interpretasi data menggunakan metode analisis isi. Analisis isi dipilih untuk memperoleh inferensi yang valid maupun dapat dikaji kembali berdasarkan konteks penelitian (Ahmad, 2018). Analisis isi dilakukan dengan proses memilih, membandingkan, menggabungkan dan memilah berbagai informasi sebagai data penelitian hingga ditemukan relevansi. Pengecekan antar pustaka dilakukan untuk menjaga reliabilitas proses pengkajian serta mencegah maupun mengatasi mis-informasi. Data hasil penelitian selanjutnya dideskripsikan untuk mengkarakterisasi materi IPA sebagai sistem kompleks maupun kerangka kerja berpikir sistem menggunakan materi IPA.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Upaya untuk memudahkan dalam sintesis kerangka kerja berpikir *system* dengan materi pembelajaran, maka penyajian hasil dan pembahasan hasil kajian disajikan dalam karakterisasi obyek IPA sebagai sistem kompleks, kerangka kerja berpikir sistem dan konseptualisasi

### **Karakterisasi Obyek IPA sebagai Sistem Kompleks**

Karakterisasi sistem IPA sebagai sistem kompleks pernah diajukan pada pengkaji pembelajaran sistem IPA (Verhoeff *et al.*, 2013), namun demikian untuk memperoleh pemahaman yang lebih *komprehensif*, khususnya pemahaman tentang perilaku dinamis sistem IPA maka pengkajian karakteristik sistem kompleks. Memahami IPA sebagai sistem, maka harus memeriksa dinamika fungsi pada tingkat seluler hingga organisme, bukan karakteristik struktur sebagai bagian terisolasi sistem seluler hingga organism (Eilam & Reisfeld, 2017).





Dengan demikian, mengkarakterisasi sistem IPA sebagai sistem kompleks, yaitu dari perspektif komponen penyusun sistem, fungsi dari komponen, hubungan fungsional, serta kedinamisan proses (Hmelo-Silver *et al.*, 2017), (Tripto, *et al.*, 2016), dan dengan mengadaptasi kerangka kerja memahami karakteristik kompleksitas IPA (Dauer & Dauer, 2016). Hasil kajian karakterisasi sistem IPA sebagai sistem kompleks disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Karakteristik Sistem IPA Berdasarkan Karakterisasi Sistem Kompleks dengan Perspektif Komponen, Hubungan Fungsional, dan Kedinamisan Sistem.**

Perspektif	Karakteristik Sistem Kompleks	Karakteristik Sistem IPA Sebagai Sistem Kompleks
Komponen Sistem	Sistem terdiri dari komponen atau sub sistem dari kategori yang sama atau berbeda, yang berarti bahwa sistem tidak hanya memiliki identitas tersendiri, tetapi juga merupakan sistem parsial dari sistem yang lebih tinggi.	Komponen sistem IPA adalah bagian dari sistem yang lebih tinggi. Tingkatan sistem IPA dapat dikategorikan sebagai tingkat organisasi IPA (misalnya tingkat seluler hingga ekosistem). Objek IPA dapat dilihat sebagai sistem dengan lingkungan internal dan eksternal yang dipisahkan oleh batas sistem. Tidak semua sistem IPA memiliki batas sistem jelas. Sel dan organisme pada umumnya memiliki batas sistem yang jelas, namun populasi dan ekosistem umumnya tidak memiliki.
Hubungan Fungsional	Komponen sistem maupun sub sistem melakukan fungsi bagi sistem dan berinteraksi antar komponen atau sub sistem	Komponen sistem IPA melakukan fungsi tertentu seperti organ organisme melakukan fungsi tertentu bagi kehidupan organisme, organel sebagai komponen sistem sel melakukan fungsi tertentu bagi kehidupan sel. Komponen sistem IPA saling berinteraksi, misalnya interaksi komponen ekosistem antara predator dan mangsanya, interaksi organel-organel menjalankan proses tertentu. Komponen sistem IPA berinteraksi secara kontinyu karena saling ketergantungan dan bersifat non linear, misalnya hubungan antar komponen biotik sebagaimana tercermin dalam jejaring makanan.
Dinamis	Sistem memiliki mekanisme sistem pengaturan sendiri, yang berarti terdapat mekanisme umpan balik atau siklus hidup di mana sifat-sifat yang muncul dihasilkan dari interaksi antar komponen (atau sub sistem) selama hidupnya sehingga	Sistem IPA merupakan sistem terbuka yang mengalami pertukaran materi, energi dan informasi secara terus menerus. Sistem IPA sebagai sistem terbuka senantiasa mencapai keseimbangan, misalnya keseimbangan ekosistem atau pada tingkat sel disebut homeostasis.





berada dalam *ekuilibrium* untuk satu atau beberapa periode waktu yang terbatas.

Sistem IPA menunjukkan *ekuilibrium* untuk periode waktu tertentu (struktur jaringan akan tetap bila masih relevan dengan kondisi lingkungan) Sistem IPA merupakan sistem yang mampu melakukan pengorganisasian sendiri, menunjukkan reproduksi pada beberapa tingkat organisasi IPA dan adaptasi dalam perjalanan *evolusi*.

### Kerangka Kerja Berpikir Sistem

Kemampuan berpikir sistem berimplikasi terhadap pemahaman sistem kompleks sehingga berimplikasi pula peningkatan penekanan penggunaan berpikir sistem (Gilissen *et al.*, 2020). Proses memahami sistem kompleks merupakan alat konseptual yang mengubah persepsi seseorang tentang sistem yang kompleks dan berimplikasi pada cara belajar yang baru, yakni dengan menduga terdapat *paradigma teoretis* baru bila melihat fenomena fisik yang baru (Schuler *et al.*, 2018), (York, *et al.*, 2019). Berpikir sistem mencerminkan pengakuan tidak hanya hubungan kausal tunggal yang bekerja pada sistem, menganalisis interaksi pada tingkat mikro dan makro, serta memahami bahwa perubahan kecil ditingkat mikro dapat memiliki efek yang signifikan pada tingkat makro (Stillings, 2012), (Fanta *et al.*, 2019). Peserta didik mengalami kesulitan untuk membangun pemahaman secara *heuristik* dari sistem yang kompleks serta memahami hubungan kausalitas yang kompleks serta mekanisme yang abstrak dan dinamis (Hmelio-Silver *et al.*, 2015), (Gilissen *et al.*, 2020). Dengan demikian pengetahuan tentang berpikir sistem dibutuhkan untuk bisa membelajarkan sistem kompleks.

Beragam determinasi terkait dengan berpikir sistem, sehingga perlu analisis untuk mengkarakterisasi berpikir sistem. Perbandingan karakter berpikir sistem dari berbagai ahli disajikan dalam Tabel 2.

**Tabel 2. Perbandingan Karakteristik Berpikir Sistem.**

Ahli	Ben-Zvi Assaraf	Rosenkranzer	Verhoeff
Determinasi Berpikir Sistem	Kemampuan untuk memahami dan menginterpretasikan sistem kompleks.	Secara eksplisit dideterminasikan sebagai kerangka berpikir sistem	Berpikir sistem adalah kemampuan untuk menghubungkan berbagai tingkat organisasi IPA dari <i>perspektif heuristik</i> , seperti organisme, kompleks dan komposit, terdiri dari banyak bagian yang berinteraksi, yang mungkin lebih kecil, seperti sel-sel dalam organisme
Kerangka Berpikir Sistem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mengidentifikasi komponen dan proses suatu sistem</li> <li>• mengidentifikasi hubungan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kemampuan untuk mengidentifikasi elemen penting dari sistem dan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mampu 'berpikir di tingkat organisasi IPA'</li> <li>• Mampu memilih perspektif sistem tertentu dan menggunakan deskripsi karakteristik sistem berikut</li> </ul>



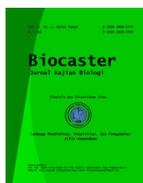


- |   |  |  |
|---|--|--|
| <p>sederhana antar komponen sistem</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• mengidentifikasi hubungan dinamis dalam suatu sistem</li><li>• mengorganisir komponen sistem, proses dan interaksinya, dalam kerangka kerja relasi</li><li>• mengidentifikasi siklus materi dan energi dalam suatu sistem</li><li>• mengenali dimensi tersembunyi suatu sistem (yaitu, memahami fenomena melalui pola dan keterkaitan yang tidak mudah dilihat)</li><li>• membuat generalisasi tentang sebuah sistem</li><li>• berpikir secara temporal (yaitu, menggunakan retrospeksi dan prediksi).</li></ul> | <p>saling ketergantungan yang beragam antara elemen-elemen ini.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• mengenali dimensi dinamika waktu, untuk membangun model dan untuk membuat penjelasan berdasarkan model itu.</li><li>• kemampuan untuk mengenali, menggambarkan dan memodelkan (misalnya, menyusun, mengatur) aspek kompleks realitas sebagai sistem.</li></ul> | <p>sebagai pedoman untuk memahami fenomena IPA</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Mampu berpikir bolak balik antara model sistem dengan objek dan proses IPA kongkrit</li></ul> |
|---|--|--|

Menggunakan istilah dari (Rosenkranzer *et al.*, 2017), bahwa cara berpikir sistem dapat dikategorikan dalam dua dimensi yaitu berpikir sistem struktural dan prosedural. Berpikir sistem struktural adalah kemampuan untuk mengidentifikasi elemen yang relevan dengan sistem dan keterkaitannya, sekaligus menentukan kerangka sistem. Ini mengacu pada analisis struktur dasar suatu sistem, yang berarti dapat menentukan komponen atau objek yang memperhitungkan identitas sistem. Dengan demikian, pemikiran sistem struktural dicirikan oleh kemampuan untuk membedakan sistem yang relevan dari sistem sekitarnya lainnya secara tepat, berpikir di tingkat organisasi IPA serta didasarkan pada kemampuan mengidentifikasi komponen penting dari sistem dan saling ketergantungan yang beragam antara komponen-komponen ini.

Berpikir sistem prosedural adalah kemampuan untuk memahami proses dinamis dan terkait *emergence* dari struktur sistem, terutama yang terjadi di dalam sistem dan subsistem. Elemen dan subsistem yang berinteraksi ini dapat dianggap sebagai tingkat *mikroskopis* yang terkait secara kausal dengan tingkat *makroskopis* dari sifat sistem kompleks yang sering terjadi secara bersamaan dan





dengan kausalitas tidak langsung. Pola berpikir sistem *prosedural* di atas direpresentasikan oleh mengidentifikasi dinamika pertukaran materi, energi, dan informasi, mengenali dimensi dinamis fenomena melalui pola dan keterkaitan yang tidak mudah dilihat serta membuat generalisasi tentang sebuah sistem dan memilih perspektif sistem tertentu dan menggunakan deskripsi karakteristik sistem berikut sebagai pedoman untuk memahami fenomena IPA serta berpikir secara temporal maupun memodelkan dan berpikir bolak-balik berpikir bolak balik antara model dengan objek dan proses sistem IPA.

### **Konseptualisasi Konten IPAdengan Kerangka Berpikir Sistem Kompleks**

Mengkonseptualisasikan *content knowledge* untuk pembelajaran sistem kompleks perlu diorientasikan pada karakteristik IPA sebagai sistem kompleks dan berpikir sistem. Konseptualisasi kerangka *content knowledge* untuk pembelajaran sistem kompleks dilakukan berdasarkan aspek-aspek pengetahuan, yaitu pengetahuan deklaratif, prosedural dan kondisional (Yasir *et al.*, 2020). Hal ini mempertimbangkan bahwa pengetahuan tentang berbagai jenis pengetahuan memiliki implikasi instruksional karena berbagai jenis pengetahuan dipelajari secara berbeda (Herlanti *et al.*, 2019). Pengetahuan deklaratif melibatkan item informasi yang saling terkait satu sama lain. Dalam konteks sistem kompleks seorang guru harus memiliki pengetahuan terkait sistem kompleks untuk melihat bagaimana pengetahuan sistem kompleks siswa sesuai karakteristik sistem kompleks. Pengetahuan prosedural melibatkan serangkaian tindakan otomatis yang mengarah pada kinerja tugas dan berhasil sehingga guru harus memperhatikan bahwa siswa mereka menampilkan kinerja berpikir sistem lebih efisien yaitu lebih akurat, karena prosedur berpikir sistem mereka menjadi lebih otomatis.

Pengetahuan bersyarat melibatkan pengetahuan tentang kapan dan mengapa menerapkan pengetahuan deklaratif dan prosedural. Dengan demikian, guru harus memiliki pengetahuan kondisional untuk menentukan kapan, dalam kondisi apa dan mengapa serta dengan konteks apa membelajarkan sistem kompleks. Konseptualisasi kerangka *content knowledge* terkait dengan sistem IPA sebagai sistem kompleks selanjutnya disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3. Kerangka *Content Knowledge* Sistem IPA Sebagai Sistem Kompleks.**

Aspek Pengetahuan	Karakteristik Sistem Kompleks IPA	Dimensi Berpikir Sistem	
		Struktural	Prosedural
Deklaratif	Teori sistem, karakteristik sistem IPA, hierarki sistem IPA dan perspektif sistem IPA.	Determinasi berpikir sistem dan kerangka berpikir sistem.	
Prosedural	Mendeterminasikan sebuah sistem IPA sebagai sistem kompleks.	Cara mengidentifikasi komponen sistem dan mengenali hubungan saling ketergantungan antara komponen atau subsistem.	Cara merepresentasikan dan memodelkan dan mengorganisasikan komponen dan hubungan sebagai sistem kompleks prosedural mengidentifikasi





		proses dinamis secara koheren baik vertikal maupun horisontal dan terkait waktu kemunculan dari struktur sistem, terutama yang terjadi di dalam sistem dan subsistem membuat generalisasi tentang sebuah sistem berpikir secara temporal yaitu, retrospeksi dan prediksi.
Kondisional	Menilai apakah suatu sistem IPA pada kondisi tertentu merupakan sistem kompleks menilai mengapa sistem IPA perlu dikaji sebagai sistem kompleks.	Menilai berpikir sistem yang relevan untuk sistem IPA menilai model yang relevan dan representatif dari sistem kompleks menilai apakah model sistem kompleks berguna untuk memproses suatu masalah sesuai kondisi, memberikan penjelasan, membuat prediksi serta dapat digunakan untuk berpikir bolal-balik model dengan objek dan proses sistem IPA.

## SIMPULAN

Karakterisasi obyek IPA menunjukkan karakteristik sistem kompleks yang menunjukkan struktur *hierarki* penyusun sistem dan memiliki hubungan fungsional sehingga memiliki perilaku yang dinamis. Hasil konseptualisasi kerangka *content knowledge* dengan dimensi aspek-aspek pengetahuan menunjukkan guru harus memiliki pengetahuan deklaratif, prosedural dan kondisional tentang karakteristik kompleksitas sistem IPA dan berpikir sistem. Konseptualisasi kerangka *content knowledge* memberikan kontribusi untuk kerangka berpikir system dalam pembelajaran IPA sebagai sistem kompleks oleh guru.

## SARAN

Saran dapat diberikan yaitu pengetahuan konten IPA berupa system kompleks sehingga perlu dikaji dengan menggunakan kerangka keterampilan berpikir system. Mempelajari IPAmenuntut penggunaan berpikir sistem baik dalam dimensi struktural maupun prosedural untuk memahami sistem IPA sebagai sistem kompleks.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami tujukan kepada LPPM Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa yang membiayai penelitian sehingga terlaksananya penelitian seputar pembelajaran untuk memfasilitasi berpikir sistem.

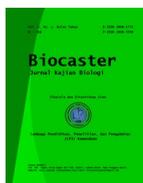




## DAFTAR RUJUKAN

- Ahmad, J. (2018). Desain Penelitian Analisis Isi (*Content Analysis*). *Research Gate*, 5(9), 1-20.
- Dauer, J., and Dauer, J. (2016). A Framework for Understanding the Characteristics of Complexity in Biology. *International Journal of STEM Education*, 3(13), 1-8.
- Eilam, B., and Reifeld, D. (2017). A Curriculum Unit for Promoting Complex System Thinking: The Case of Combined System Dynamics and Agent Based Models for Population Growth. *Journal of Advances in Education Research*, 2(2), 39-60.
- Fanta, D., Braeutigam, J., and Riess, W. (2019). Fostering Systems Thinking in Student Teachers of Biology and Geography—an Intervention Study. *Journal of Biological Education*, 54(3), 226-244.
- Gilissen, M.G.R., Knippels, M.C.P.J., and Joolingen, W.R.V. (2020). Bringing Systems Thinking Into the Classroom. *International Journal of Science Education*, 42(8), 1253-1280.
- Gilissen, M.G.R., Knippels, M.C.P.J., Verhoeff, R.P., and Joolingen, W.R.V. (2019). Teachers' and Educators' Perspectives on Systems Thinking and its Implementation in Dutch Biology Education. *Journal of Biological Education*, 54(5), 485-496.
- Herlanti, Y., Zulfiani., Hutagalung, F.D., and Sigit, D.V. (2019). Metacognitive Attitude and Knowledge of Biology Teacher Candidates. *Advanced Science Letters*, 25(1), 138-142.
- Hmelo-Silver, C.E., Jordan, R., Eberbach, C., and Sinha, S. (2017). Systems Learning with a Conceptual Representation: A Quasi-Experimental Study. *Instructional Science*, 45(1), 53-72.
- Hmelo-Silver, C.E., Liu, L., Gray, S., and Jordan, R. (2015). Using Representational Tools to Learn About Complex Systems: A Tale of Two Classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(1), 6-35.
- Jacobson, M.J., Levin, J. A., and Kapur, M. (2019). Education as a Complex System: Conceptual and Methodological Implications. *Educational Researcher*, 48(2), 112-119.
- Jordan, R.C., Brooks, W.R., Silver, C.H., Eberbach, C., and Sinha, S. (2014). Balancing Broad Ideas with Context: an Evaluation of Student Accuracy in Describing Ecosystem Processes After a System-Level Intervention. *Journal of Biological Education*, 48(2), 57-62.
- Ma'ayan, A. (2017). Complex Systems Biology. *Journal of the Royal Society Interface*, 14(134), 1-9.
- Rosenkranzer, F., Hörsch, C., Schuler, S., and Riess, W. (2017). Student Teachers' Pedagogical Content Knowledge for Teaching Systems Thinking: Effects of Different Interventions. *International Journal of Science Education*, 39(14), 1932-1951.
- Sanusi, A. (2016). *Metodologi Penelitian Bisnis*. Jakarta: Salemba Empat.





- Schuler, S., Fanta, D., Rosenkraenzer, F., and Riess, W. (2018). Systems Thinking Within the Scope of Education for Sustainable Development (ESD)—a Heuristic Competence Model as a Basis for (Science) Teacher Education. *Journal of Geography in Higher Education*, 42(2), 192-204.
- Stillings, N. (2012). Complex Systems in the Geosciences and in Geoscience Learning. *Special Paper of the Geological Society of America*, 486(1), 97-111.
- Sumarno, Ibrahim, M., and Supardi, Z. (2019). Impacts of Reasoning Stimulation with Multiple Representations Supported by Argumentation Towards the Achievement of System Thinking. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14(2), 553-561.
- Tripto, J., Assaraf, O.B.Z, Snapir, Z., and Amit, M. (2016). The ‘What is a System’ Reflection Interview as a Knowledge Integration Activity for High School Students’ Understanding of Complex Systems in Human Biology. *International Journal of Science Education*, 38(4), 564-595.
- \_\_\_\_\_. (2017). How is the Body's Systemic Nature Manifested Amongst High School Biology Students. *Instructional Science*, 45(1), 73–98.
- Vattam, S.S., Goel, A.K., Rugaber, S., Hmelo-Silver, C.E., Jordan, R., Gray, S., and Sinha, S. (2011). Understanding Complex Natural Systems by Articulating Structure-Behavior- Function Models. *Journal of Educational Technology & Society*, 14(1), 66-81.
- Verhoeff, R.P., Boersma, K.T., and Waarlo, A.J. (2013). Multiple Representations in Modeling Strategies for the Development of Systems Thinking in Biology Education. In *Multiple Representations in Biological Education* (pp.331-348). Springer.
- Verhoeff, R.P., Knippels, M.C.P.J., Gilissen, M.G.R., and Boersma, K.T. (2018). The Theoretical Nature of Systems Thinking. Perspectives on Systems Thinking in Biology Education. *Frontiers in Education*, 3(40), 1-11.
- Yasir, M., Fikriyah, A., Qomaria, N., and Al-Haq, A.T. (2020). Metacognitive Skill on Students of Science Education Study Program: Evaluation from Answering Biological Questions. *JPBI (Jurnal Pendidikan IPA Indonesia)*, 6(1), 157-164.
- York, S., Lavi, R., Dori, Y.J., and Orgill, M. (2019). Applications of Systems Thinking in STEM Education. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2742-2751.

