



INOVASI MATEMATIKA, IPA, KOMPUTER, DAN PEMBELAJARANNYA

(SUMBANGSIH PEMIKIRAN FPMIPA UPI UNTUK INDONESIA)

**Penyunting:
Topik Hidayat
Judhistira Aria Utama**

Penyunting:
Prof. Topik Hidayat, M.Si., Ph.D.
Dr. Judhistira Aria Utama, M.Si.

**INOVASI MATEMATIKA, IPA,
KOMPUTER, DAN PEMBELAJARANNYA**
(SUMBANGSIH PEMIKIRAN FPMIPA UPI
UNTUK INDONESIA)

SANKSI PELANGGARAN PASAL 113
UNDANG-UNDANG NOMOR 28 TAHUN 2014
TENTANG HAK CIPTA

- (1) Setiap orang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau denda paling banyak Rp100.000.000,00 (seratus juta rupiah)
- (2) Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau izin pencipta atau pemegang hak cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi pencipta sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat 1 huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)
- (3) Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau izin pencipta atau pemegang hak cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi pencipta sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat 1 huruf a, huruf b, huruf e, dan/ atau huruf g untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1.000.000.000,00 (Satu milyar rupiah)
- (4) Setiap orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat 3 yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (Empat milyar rupiah)



**INOVASI MATEMATIKA, IPA,
KOMPUTER, DAN PEMBELAJARANNYA**
(SUMBANGSIH PEMIKIRAN FPMIPA UPI
UNTUK INDONESIA)

Penyunting:
Prof. Topik Hidayat, M.Si., Ph.D.
Dr. Judhistira Aria Utama, M.Si.



UPI PRESS

UPT Penerbitan dan Percetakan - Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. Dr. Setiabudi No.229 Bandung 40154 Indonesia

Website: <http://upipress.upi.edu> | E-mail: upipress@upi.edu

INOVASI MATEMATIKA, IPA, KOMPUTER,
DAN PEMBELAJARANNYA
(SUMBANGSIH PEMIKIRAN FPMIPA UPI UNTUK INDONESIA)

Copyright © 2020, Topik Hidayat, & Judhistira Aria Utama – UPI Press

Penyunting : Topik Hidayat
Judhistira Aria Utama
Penata letak : Yadi Mulyadi
Desain sampul : Cahyo Puji Asmoro
Rijal Ramdani

Diterbitkan oleh:

UPI Press

LPT Penerbitan dan Percetakan - Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. Dr. Setiabudi No.229 Bandung 40154 Jawa Barat

Telp. (022) 2533 163 Ext.4502 | Hp. +62 87823617694 | Hp.+62 82130550434

Website: <http://upipress.upi.edu> | E-mail: upipress@upi.edu

Cetakan Pertama, Juli 2020

ukuran Sampul: 15,5 cm x 23 cm

ISBN 978-623-7776-50-5



Penerbit UPI Press, Anggota IKAPI dan APPTI

(Ikatan Penerbit Indonesia dan Asosiasi Penerbit Perguruan Tinggi Indonesia)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini termasuk dalam bentuk atau tertulis dari penerbit.
(Isi di luar tanggung jawab penerbit)

PENGANTAR
KEVIT

Mewakili para penerbit buku "Inovasi Matematika Mengantar, perpelenggang yang sebelumnya... (terhatahan dalam... (setidawr baik di pe... (oleh karena itu, k... (perpelenggaran sem... (dalam (online) atau... (buku bunga rampai... (memilih salah satu... (kemampuannya masi...

Saya sangat men... (MSKES 2020 untuk... (bunga rampai ini. Te... (terabah meskipun d... (karyanya juga tidak a... (berbeda. Buku bunga... (para dosen dan pene... (matematika, IPA, kom...

Terakhir, saya me... (para kontributor, pen... (yang telah membuat... (yang telah ditetapkan... (yang telah membantu... (kami berharap bahwa... (akan dapat diselengga... (tahun sebelumnya.

Terima kasih banyak.

PENGANTAR WAKIL REKTOR BIDANG RISET, KEMITRAAN, DAN USAHA UPI

Mewakili pimpinan UPI, saya sangat menyambut baik penerbitan buku Bunga Rampai MSCEIS 2020 yang diberi judul, "Inovasi Matematika, IPA, Komputer, dan Pembelajarannya". Memang, penyelenggaraan seminar di UPI tahun ini berbeda dari yang sebelumnya. Di tengah wabah Covid-19, ada beberapa keterbatasan dalam mempersiapkan seminar karena kebijakan *lockdown* baik di pemerintah pusat maupun daerah di Indonesia. Oleh karena itu, kami membuat beberapa kebijakan terkait penyelenggaraan seminar di UPI, yaitu seminar dapat berjalan secara daring (*online*) atau kegiatan seminar diganti dengan penerbitan buku bunga rampai (*book chapter*). Panitia seminar di UPI dapat memilih salah satu dari dua pilihan di atas sesuai dengan kemampuannya masing-masing.

Saya sangat menghargai keputusan yang diambil oleh panitia MSCEIS 2020 untuk memilih opsi kedua, yaitu penerbitan buku bunga rampai ini. Tentunya semangat berkarya kita tidak akan berubah meskipun di tengah wabah Covid-19 ini, dan kualitas karyanya juga tidak akan berkurang meskipun format kegiatannya berbeda. Buku bunga rampai ini bisa dianggap sebagai kontribusi para dosen dan peneliti di FPMIPA UPI untuk kemajuan bidang matematika, IPA, komputer dan pembelajarannya di Indonesia.

Terakhir, saya mengucapkan selamat kepada penyunting buku, para kontributor, pengarah tata letak, dan pimpinan FPMIPA UPI yang telah membuat buku bunga rampai ini terbit sesuai rencana yang telah ditetapkan. Terima kasih juga kepada Penerbit UPI Press yang telah membantu proses penerbitan buku bunga rampai ini. Kami berharap bahwa di masa yang akan datang, seminar yang sama akan dapat diselenggarakan secara luring (*offline*), seperti tahun-tahun sebelumnya.

Terima kasih banyak.

Bandung, Juni 2020

Prof. Dr. Didi Sukyadi, M.A.

PENGANTAR DEKAN FPMIPA UPI

Alhamdulillah, buku Bunga Rampai MSCEIS 2020 yang berjudul "Inovasi Matematika, IPA, Komputer, dan Pembelajarannya", pada akhirnya terselesaikan pada waktunya untuk kemudian dapat dipersembahkan kepada masyarakat MIPA dan pendidikan MIPA serta mereka yang memerlukan. Karya dosen FPMIPA UPI yang tercipta pada masa *Work From Home (WFH)* di tengah pandemi COVID-19 ini menunjukkan bahwa kreatifitas tidak akan terhenti dikarenakan musibah yang sedang terjadi, bahkan dapat dihasilkan karya sebagai sumbangsih terhadap dunia pendidikan. Semoga musibah ini segera berakhir dan kita semua dapat kembali berkarya dan berkreaitifitas dalam suasana normal.

Inovasi ilmu MIPA dan Pendidikan MIPA menjadi kajian utama pada buku ini, dimana para dosen FPMIPA telah menjadikannya sebagai wadah untuk menuangkan ide-ide inovatif dan pengalaman terbaik dibidangnya, untuk kemudian disampaikan kepada masyarakat agar dapat dimanfaatkan. Tujuan dari kajian inovatif ini tentunya untuk meningkatkan kualitas bidang ilmu MIPA dan Pendidikan MIPA. Dilibatkannya para Guru Besar untuk memberikan sumbangan pemikiran pada buku ini, merupakan salah satu bentuk kepedulian FPMIPA terhadap peningkatan kualitas ilmu MIPA dan pendidikan MIPA.

Buku Bunga Rampai MSCEIS 2020 ini terdiri dari beberapa kajian terkait inovasi bidang Matematika, Fisika, Kimia, Biologi, Komputer, dan pendidikan MIPA. Para penulis memberikan kontribusi pada buku ini, mulai dari kajian yang bersifat teoritis, fundamental, sampai kepada yang aplikatif yang dapat dijadikan sebagai alternatif dalam menentukan rujukan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan sesuai dengan bidangnya.

Ucapan terimakasih tak terhingga kepada para penulis dan tim penyunting yang telah berupaya mewujudkan buku Bunga Rampai ini dalam waktu yang relatif singkat. Suatu pemikiran yang adaptif dan kreatif dengan mengganti acara seminar internasional MSCEIS 2020 yang tidak dapat diselenggarakan karena kondisi pandemi COVID-19, menjadi penulisan buku Bunga Rampai ini.

Akhirnya, semoga buku Bunga Rampai ini bermanfaat bagi perkembangan Ilmu MIPA dan pendidikan MIPA.

Bandung, Juni 2020

Siti Fatimah, M.Si., Ph.D.

PENGANTAR PENYUNTING

Buku Bunga Rampai MSCEIS 2020 ini disusun sebagai upaya substitutif dari penyelenggaraan seminar internasional MSCEIS 2020 (*Mathematics, Science, and Computer Science Education International Seminar 2020*), yang terhenti karena adanya pandemi Covid-19. Kata "MSCEIS 2020" tetap melekat dan tertulis secara eksplisit sebagai tanda bahwa *event* tahunan FPMIPA UPI ini tetap terselenggara walaupun dalam bentuk sebuah buku. Bentuk buku Bunga Rampai ini dipilih mengingat bahwa masih jarang penerbitan buku Bunga Rampai atau yang sejenisnya, apalagi di bidang Matematika, IPA (Sains), dan Komputer yang tersusun secara kolektif.

Bunga Rampai MSCEIS 2020 ini merupakan kumpulan berbagai tulisan ilmiah hasil riset maupun pengalaman atau ulasan (*review*) baik yang bersifat dasar (*fundamental*), teoritis dan praktis/aplikatif termasuk berbagai kreatifitas dan inovasi ilmu pengetahuan dan teknologi, serta pembelajaran MIPA dan komputer di Indonesia untuk dapat dijadikan referensi alternatif dalam menyelesaikan masalah-masalah dan rekomendasi lainnya terkait dengan lingkungan, sumber daya alam, teknologi informasi, komputer, keanekaragaman hayati, pangan, nano teknologi, obat-obatan (*farmasi*), pendidikan dan bidang lainnya. Buku ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu **Inovasi Matematika, IPA, dan Komputer** dan **Inovasi Pembelajaran Matematika, IPA, dan Komputer**. Kalau yang pertama itu mencakup bidang murni (*pure*), sedangkan yang kedua dalam bidang pembelajarannya. Buku ini diharapkan dapat dimanfaatkan oleh akademisi (bidang MIPA dan Komputer), guru MIPA dan Komputer, praktisi pendidikan, pengamat pendidikan, ilmuwan lepas, pemerintah, industri, dan lain-lain termasuk didalamnya para *citizen scientists*.

Akhirnya, kami sebagai penyunting ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua penulis, yang notabene adalah para staf pengajar di lingkungan FPMIPA UPI, yang telah berkontribusi dalam penyusunan buku Bunga Rampai ini. Kami berharap penerbitan buku ini dapat dijadikan sebagai salah satu sumbangsih pemikiran para akademisi di FPMIPA UPI untuk masyarakat Indonesia.

Bandung, Juni 2020

Prof. Topik Hidayat, M.Si., Ph.D.

Dr. Judhistira Aria Utama, M.Si.

Pengantar Makal Revisi
Pengantar Dekan FPMIPA
Pengantar Penyunting

BAGIAN 1 - INOVASI
KOMPUTER

1. Peranan larva bio
mengkonversi B
organik
(Rayan Sanjaya, M.Si.)
2. Identifikasi tanaman
berbasis kode batang
(Topik Hidayat,
Nurcahyo Widyodan)
3. Peran masyarakat
Bandung sebagai kota
(Hertien Koosbandia)
4. Pemanfaatan serat pe
fisiologi generatif pad
(Hernawati)
5. Senyawa metabolit se
Zanthoxylum rheso (R
(Saskia Teja Widya,
Musthapa)
6. Perlakuan awal bioma
garam fatty-imidazoloni
hidrolisis enzimatis sel
(Ahmad Mudzakir, Iqbal
Ratu, Iqbal Musthapa, dan

DAFTAR ISI

Pengantar Wakil Rektor Bidang Riset, Kemitraan, dan Usaha UPI	Hal v
Pengantar Dekan FPMIPA UPI	vi
Pengantar Penyunting	viii

BAGIAN 1 ~ INOVASI MATEMATIKA, IPA, DAN KOMPUTER

1 Peranan larva <i>black soldier fly</i> <i>Hermetia illucens</i> dalam mengkonversi gulma menjadi biomasa dan bahan organik (Yayan Sanjaya, Mimin Nurjhani, dan Suhara)	3
2 Identifikasi tanaman buah timun apel secara <i>in silico</i> berbasis kode batang DNA (Topik Hidayat, Delian Junior, Kusdianti, dan Nurcahyo Widyodaru Saputro)	15
3 Peran masyarakat dalam pengembangan kota Bandung sebagai kota hijau (Hertien Koosbandiah Surtikanti)	26
4 Pemanfaatan serat pangan untuk mengatasi gangguan fisiologi generatif pada manusia (Hernawati)	41
5 Senyawa metabolit sekunder dan aspek farmakologi <i>Zanthoxylum rhetsa</i> (Roxb.)D.C. (Saskia Teja Widya, Gun Gun Gumilar, dan Iqbal Musthapa)	59
6 Perlakuan awal biomassa ampas tebu menggunakan garam fatty-imidazolinium untuk peningkatan kinerja hidrolisis enzimatis selulosa (Ahmad Mudzakir, Iqbal Musthapa, dan Noor Azizah)	82
7 Herbonoaceutical gelatin dari <i>Mucuna pruriens</i> dan aktivitasnya sebagai antiparkinson (Ratnaningsih Eko Sardjono, Safira Pinaka Pramestika Ratu, Iqbal Musthapa, dan Fitri Khoerunnisa)	108

- | | | |
|---|---|-----|
| 8 | Pemanfaatan bahan alam Indonesia sebagai fortifikan antioksidan yoghurt
(Florentiana Maria Titin Supriyanti) | 124 |
| 9 | Implementasi model matematis Kastner dalam problematika visibilitas hilal
(Judhistira Aria Utama) | 139 |

**BAGIAN 2 ~ INOVASI PEMBELAJARAN
MATEMATIKA, IPA, DAN KOMPUTER**

- | | | |
|----|---|-----|
| 10 | Potret pembelajaran geometri untuk mahasiswa calon guru matematika
(Al Jupri) | 153 |
| 11 | Berpikir reflektif dan implementasinya terhadap kemampuan pemecahan masalah statistika
(Dadan Dasari) | 169 |
| 12 | Menggapai tujuan pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan melalui pembelajaran matematika
(Dadang Juandi) | 187 |
| 13 | Metafora: alat berfikir matematik dalam peningkatan mutu pembelajaran
(Jarnawi A. Dahlan) | 205 |
| 14 | Karakteristik bernalarnya orang yang belajar matematika
(Kusnandi dan Rohati) | 229 |
| 15 | Pendekatan pembelajaran <i>open-ended</i> berbantuan <i>Geogebra</i> untuk meningkatkan <i>spatial ability</i> , berpikir kritis, dan <i>self-concept</i> matematis siswa
(Nanang Priatna, Ririn Sispiyati, dan Fitriani Agustina) | 246 |
| 16 | Peran matematikawan dalam pendidikan matematika: sebuah refleksi perkuliahan
(Rizky Rosjanuardi) | 265 |
| 17 | Pemberdayaan masalah dalam pembelajaran matematika: mengantisipasi tantangan abad ke-21
(Tatang Herman) | 283 |
| 18 | Pendidikan lingkungan untuk pembangunan berkelanjutan: implementasi pendidikan lingkungan untuk meningkatkan literasi keberlanjutan
(Wahyu Surakusumah) | 296 |

28	Penerapan inkuiri terbimbing dalam meningkatkan literasi tumbuhan abad 21 (Sariwulan Diana, Eva Faozia Rahma, Ana Ratna Wulan, dan Topik Hidayat)	317
29	Peran dan proses berpikir sistem dalam pendidikan sains (Nuryani Rustaman dan Meilinda)	333
30	Representasi <i>nature of science</i> (NOS) dalam buku teks kimia SMA (Hernani, Ahmad Mudzakir, dan Annisa Mustika Pertiwi)	353
31	Pengembangan <i>project-based three key skills</i> untuk membangun kreativitas mahasiswa (Wawan Wahyu dan Tuszie Widhiyanti)	379
32	Pengembangan modul berbasis intertekstual pada konsep kesetimbangan kelarutan untuk meningkatkan kecakapan representasi (Wiji, Ani Siti Wiryani, dan Sri Mulyani)	396
33	Pengembangan instrumen tes dan non-tes dalam pembelajaran kimia (Wiwu Siswaningsih, Habi Maulana Yusuf, dan Dini Dwi Apriani)	411
34	<i>Conceptual change laboratory</i> (cclab) untuk rekonstruksi konsepsi melalui aktivitas lab (Andi Suhandi, Yunina Surtiana, Ilma Husnah, Kurnia L. Putri, Achmad Samsudin, Parsaroan Siahaan, dan Wawan Setiawan)	324
35	Pengembangan perkuliahan pendidikan fisika untuk pembangunan berkelanjutan sebagai bentuk implementasi kurikulum <i>education for sustainable development</i> (Dadi Rusdiana, Agus Fany Chandra Wijaya, dan Amsor)	442
36	Analisis miskonsepsi siswa pada materi momentum dan impuls melalui penerapan <i>interactive conceptual instruction</i> dengan bantuan simulasi komputer (Ika Kaniawati, Grace Triyani, Agus Danawan, Iyon Suyana, Achmad Samsudin, dan Endi Suhendi)	461
37	Internalisasi nilai-nilai karakter melalui pembelajaran bumi dan antariksa (Winny Liliawati)	487

- 29 Tantangan dan peluang penerapan *digital pedagogy* di kota Bandung, Indonesia 503
(Enjang Ali Nurdin)
- 30 *Machine learning* dan *data analysis: model, software,* 514
dan implementasi
(Lala Septem Riza)
- 31 Multimedia sebagai media pembelajaran untuk siswa 530
berkebutuhan khusus
(Munir dan Lala Septem Riza)
- 32 Studi evaluatif pemberdayaan SPOT dalam konteks 545
merdeka belajar dan mengatasi pembelajaran pada
masa pandemi covid-19 (implementasi di Universitas
Pendidikan Indonesia)
(Wawan Setiawan)

BAGIAN

1

BAGIAN

1

**INOVASI MATEMATIKA,
IPA, DAN KOMPUTER**

PERAN DAN PROSES BERPIKIR SISTEM DALAM PENDIDIKAN SAINS

Nuryani Y. Rustaman^{1*}, Meilinda²

¹Departemen Pendidikan Biologi, Universitas Pendidikan Indonesia,
Bandung

²Departemen Biologi, Universitas Sriwijaya, Palembang

*E-mail: nuryanirustaman@upi.edu

ABSTRACT

Lack of references in bahasa inspires the authors to introduce this writing based on literature and empirical studies. Due to its coverage, level, general/specific levels of system thinking it is not easy to understand and to develop it in implementing into instructional design in science. Students from physics and biology education in two universities from South Sumatra and West Java involved in the study, especially during validation of student worksheet and instruments. Developmental type II research design was used in conducting research collaboratively between the two universities. Indicators and media were developed based on system thinking framework with certain focus. Results from exploration phase was then used to develop media in development phase. Research findings show that system thinking is really needed in overcoming the problem faced by prospective teachers from both subject majors (Physics and Biology) from those universities. In fact it was badly needed to think multilinearly, as there was interaction between the component and its subcomponents as it is known as "emergent processes", and they tend system oriented. Refining of instruments and developing media for further study should be planned more likely to empower the IC/IT media to make the instruction meaningful and more enjoyable.

Keywords: *indicators in Science, instruments, system based science instruction, system thinking*

PENDAHULUAN

Masih langkanya rujukan tentang berpikir sistem dalam bahasa Indonesia, selain buku "Jaring-jaring Kehidupan atau *Web of Life*" yang ditulis oleh Firtjoef Capra (2001) mendorong disiapkan tulisan ini berdasarkan hasil pengkajian dan studi empiris selama beberapa tahun. Tulisan disajikan dengan mengetengahkan kajian literatur

sekaligus hasil studi empiris yang melibatkan pendekatan berpikir sistem bahkan kompetensi sistem. Dalam tulisan ini dikaji peran berpikir sistem dan proses atau cara berpikir sistem dalam pembelajaran sains pada level makro dan level mikro dalam topik tertentu yang cakupannya luas yaitu perubahan iklim. Namun diberikan juga contoh-contoh spesifik pada topik Fisika, Biologi dan *framewok* studi asesmen internasional (PISA). Keterbatasan jumlah halaman menyebabkan tulisan ini sangat singkat dan terkandung niat untuk menuliskannya berupa buku yang dapat menjadi sumber rujukan bagi para peneliti muda yang berminat.

Berpikir sistem atau kompetensi sistem sangat berperan dalam pembelajaran sains dan diperlukan bahkan dalam membuat rancangan berupa indikator untuk instrumen dan penyiapan media pembelajarannya. Bekal kemampuan berpikir atau kemampuan sistem sangat penting untuk pengembangan berpikir yang lebih tinggi. Penalaran atau berpikir operasional yang sudah banyak digunakan selama ini tampaknya belum memadai untuk dapat mengembangkan penalaran *beyond* penalaran formal menurut Piaget (1972), masih diperlukan penalaran post formal, metasistematis formal dan penalaran lainnya untuk dapat memahami, menerapkan dan mengembangkan kemampuan berpikir atau penalaran lainnya dalam pembelajaran sains, termasuk dalam mempelajari *density*, genetika, dan evolusi (pembuatan *cladogram*). Bahkan dalam hubungannya dengan STEM *Education Movement* (NGSS, 2012), *Education for Sustainable Development* (ESD) dan *Sustainable Developmental Goals* (SDGs). Menurut UNESCO (2017) berpikir sistem diperlukan dan perlu dikembangkan dalam membekali kompetensi abad ke 21. Berpikir sistem menjadi component dan salah satu kompetensi yang harus dicapai dalam membekali generasi mendatang untuk dapat survive hidup di abad ke 21. Apakah kekhasan indikator berpikir sistem dihubungkan dengan berpikir sistem dalam pembelajaran sains?

Berpikir tentang suatu sistem dalam literatur-literatur internasional dikenal dengan nama *system thinking* atau berpikir sistem. Istilah berpikir menunjukkan proses kognitif (Lucken & Sommer, 2010), sementara istilah "kompetensi sistem" diperkenalkan untuk memperluas tujuan berpikir tentang sistem dalam pendidikan sehingga bukan hanya pada aspek kognitif saja tetapi pada kemampuan penyelesaian masalah serta keterampilan vokasional dan *attitude* yang terhubung dengan sistem (Weinert, 2001). Dengan kata lain "kompetensi sistem" lebih luas dan tidak setara dengan "berpikir sistem".

Berpikir sistem berawal dari penelitian sains ketika Paul Weiss mengamati respon kupu-kupu terhadap cahaya dan gravitasi (Laszlo & Krippner, 1998; Drack & Apfalter, 2007). Menurut Weiss, regulasi dan adaptasi merupakan reaksi khas dari organisme, meskipun keduanya merupakan proses yang rumit namun keberadaannya cukup untuk membuat organisme dikenali sebagai suatu sistem. Pada saat itu gagasan Weiss mengalami kontradiksi karena pada kenyataannya seseorang dapat mendeskripsikan berbagai fenomena kehidupan hanya dari sisi fisika atau kimia tanpa harus melibatkan sistem.

Berbeda dengan Weiss, Bertalanffy mendefinisikan *General System Thinking* (GST) sebagai sarana untuk mengintegrasikan berbagai ilmu pengetahuan alam dan ilmu sosial dengan mengembangkan prinsip-prinsip pemersatu keilmuan sehingga peta pengetahuan tidak hanya lengkap tetapi juga konsisten dan koheren (Laszlo & Krippner, 1998). Berdasarkan hal tersebut maka Bertalanffy menyatakan bahwa sistem memiliki ciri-ciri tertentu. Pertama, sistem memiliki identitas sebagai sebuah sistem yang ditandai dengan batasan yang jelas dan berbeda dengan lingkungannya. Kedua, sistem terdiri dari komponen-komponen yang disebut juga bagian dari sistem (*sistem parsial*) dengan karakter yang sama dengan karakter sistemnya secara umum tetapi juga dapat berbeda misalnya pada sistem sel terdapat mitokondria ataupun inti sel sebagai bagian dari sistem. Ketiga, komponen-komponen sistem melakukan fungsi dalam sistem tempat komponen tersebut berada. Keempat, komponen-komponen yang berada dalam sistem saling berinteraksi satu sama lain. Kelima, sistem ada yang bersifat terbuka dan tertutup (Bertalanffy, 1972).

Prinsip yang berbeda dengan GST ialah berpikir sistem dinamis (Forrester, 2001). Teori berpikir sistem dinamis bersifat terbuka dan sangat dinamis dengan indikator: a) sebuah sistem terbuka dapat mengatur dirinya sendiri dalam sebuah siklus kehidupan dan sifat yang muncul dari sistem merupakan hasil interaksi antar-komponen (sistem parsial); b) selama masa hidupnya suatu sistem terbuka akan berusaha mencapai keseimbangan sementara, setelahnya akan ada fase transisi yang tidak seimbang dan menyebabkan prediktabilitas di masa depan menjadi sangat terbatas. Fase transisi yang tidak seimbang ini disebut dengan fase *Chaos* (Forrester, 1994). Kondisi ini akan terus bersiklus dalam sistem yang dinamis.

Sains tidak hanya sistem yang tertutup dan kaku, dinamisasi sistem sangat mungkin terjadi. Oleh karena itu menggunakan

indikator GST saja tidak cukup. Sementara itu sistem dinamis cenderung mengabaikan struktur dan fungsi, karena struktur dan fungsi tidak bersifat menetap dan selalu mengalami perubahan untuk mencapai keseimbangan (Boersma *et al.*, 2011; Meilinda *et al.*, 2015 & 2018). Berdasarkan hal tersebut maka perlu ada upaya membuat indikator berpikir-sistem yang khas pada bidang sains.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain *developmental research* tipe II yang berfokus pada pengembangan program pembelajaran dengan menerapkan prinsip penelitian pengembangan berupa merefleksikan gambaran spesifik saat produk dikembangkan (Richey & Klein, 2005; Tracey, 2009). Penelitian ini dilakukan berdasarkan asumsi bahwa teori dan solusi dalam pembelajaran dapat diselesaikan dan dicari solusinya dengan *developmental research* (Akker *et al.*, 2006; Gravemaijer & Cobb, 2006; Verhoeff *et al.*, 2008).

Developmental research tipe II hanya terdiri dari fase eksplorasi, fase pengembangan dan fase evaluasi. Fase eksplorasi bertujuan untuk mengeksplorasi teori dan kondisi empiris dari bidang yang akan dikembangkan, membatasi domain permasalahan belajar dan pembelajaran serta membangun ide yang paling memungkinkan untuk dilakukan. Dari fase eksplorasi dikaji data terkait. Berdasarkan hal tersebut hal yang dieksplorasi pada penelitian ini adalah kajian teori tentang berpikir sistem dan indikatornya untuk pembelajaran sains (menjawab pertanyaan pertama tentang bagaimana indikator berpikir sistem pada pembelajaran sains). Data yang didapat dari fase eksplorasi, dianalisis dan dijadikan masukan untuk mendesain media pembelajaran yang dapat meningkatkan keterampilan berpikir sistem. Pada fase pengembangan media pembelajaran yang dihasilkan dari kajian pada fase eksplorasi yang diujicobakan pada 15 mahasiswa biologi dan 20 mahasiswa fisika. Temuan dari hasil ujicoba dijadikan *feedback* untuk merevisi desain media pembelajaran sehingga fase ini juga disebut sebagai *cycle process* karena merupakan akumulasi dari ujicoba lapangan dalam jumlah responden yang terbatas (Gravemeijer & Cobb, 2006).

Partisipan dan Tempat Penelitian

Fase eksplorasi pada penelitian ini melibatkan 17 guru sains pada salah satu MGMP di Provinsi Sumatera Selatan dan 53 mahasiswa calon guru IPA semester VI di salah satu LPTK di Sumatera Selatan.

mentara itu pada fase pengembangan melibatkan 15 mahasiswa guru biologi dan 20 mahasiswa calon guru fisika. Validasi terhadap bacaan media pembelajaran Buku Kerja Mahasiswa (BKM) melibatkan 10 mahasiswa pendidikan biologi dan pendidikan fisika semester VI di salah satu Universitas negeri di Jawa Barat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian membahas temuan pada fase eksplorasi menjawab pertanyaan tentang Berpikir sistem dan Sistem dalam pembelajaran sains). Sementara fase pengembangan membahas tentang pengembangan indikator berpikir sistem dan pembelajaran berbasis sistem pada pembelajaran sains yang bertujuan meningkatkan keterampilan berpikir sistem mahasiswa.

Mengukur dan mengembangkan indikator berpikir sistem cukup sulit karena berpikir sistem bukan suatu keterampilan berpikir yang general tetapi sangat terikat dengan *domain spesific content*. Sebagian besar menggunakan peta konsep karena berpikir sistem berkaitan erat dengan mental model siswa. Namun kelemahan peta konsep ialah lebih menekankan pada struktur dan fungsi agak sulit untuk mengukur proses dalam sistem (Branstadter, 2012; Tripton *et al.*, 2013). Beberapa peneliti melengkapi dengan metode lain seperti soal pilihan ganda dan soal berpola (Lucken & Sommer, 2010), wawancara dan wawancara (Hogan, 2000; Verhoeff *et al.*, 2008), studi kasus (Connel & Remington, 2012; Dauer, 2014), *repertory grid* (Keynan *et al.*, 2013), bahkan skala Likert (Assaraf & Orion, 2010). Berdasarkan hasil ekplorasi ini maka soal berpikir sistem yang dikembangkan dalam soal pilihan ganda beralasan. Pemilihan pengembangan instrumen dalam bentuk pilihan berganda memiliki beberapa alasan, diantaranya dapat digunakan secara luas, mudah dievaluasi meskipun dapat dijawab dengan menebak, sementara berpikir sistem membutuhkan penalaran. Oleh sebab itu soal dikembangkan dalam bentuk pilihan berganda

Hasil Studi Literatur tentang Sistem pada Pembelajaran Sains

Dari hasil eksplorasi kajian literatur tentang sistem pada pembelajaran sains didapati data bahwa sains mempelajari tentang kehidupan makhluk hidup dan lingkungan di sekitarnya sebagai suatu sebuah sistem (Rustaman, 2012; Rustaman, 2019). Dengan kata lain belajar sains berarti belajar tentang sistem. Terdapat 12 karakter sistem dalam kehidupan (*living system*) yaitu polarity; keteraturan/*chaos*, *autonomy/dependen*, *upgrading energy/degrading*,

movement/ quiscence, adaptasi dan persistensi, variasi individual/*conformity*, kompleksitas/sederhana, batasan yang terbuka/tertutup, memiliki leveling (perangkingan/persamaan nilai, persepsi sematik/ sintatik, storage dan reproduksi ataupun perpindahan informasi (Schaefer, 1986). Sementara itu PISA (OECD, 2012) menyatakan bahwa ada tujuh hierarki dalam *living system* yaitu sel, organ, sistem organ, individu, populasi, ekosistem dan biosfer, selain sistem lingkungan, sistem fisika, dan sistem bumi dan antariksa (Rustaman, 2019). Hal lainnya adalah sistem memiliki karakter sirkuler berupa "*Input-throught-output-feedbackloop*" dalam lingkungan yang dinamis, memiliki batasan yang jelas dan berbeda dengan lingkungan (Bertalanffy, 1968; Hainess, 1999; Ossimitz *et al.*, 2000).

Meski berpikir sistem memiliki karakter umum (sistem tertutup dan sistem terbuka), sesungguhnya tidak ada sistem alami yang mutlak tertutup (Berthalanffy, 1972; Rustaman, 2019). Sistem tertutup bersifat holistik, tidak dapat tereduksi tanpa mengubah pola dari sistem tersebut. Melalui mekanisme umpan balik, sistem yang tertutup dapat mengatur dirinya sendiri, mengubah karakternya dan mengorganisasi dirinya sendiri (Wiener, 1964), sedangkan sistem terbuka sangat dinamis dan selalu berusaha mencapai keseimbangan dalam waktu yang terbatas (Ossimitz *et al.*, 2000). Meski demikian keseimbangan dalam sistem bersifat sementara karena sistem terbuka akan sangat dipengaruhi oleh komponen dari luar yang menyebabkan terganggunya keseimbangan atau disebut fase *chaos*.

Untuk mengajarkan sains berbasis karakter sistem perlu memperhatikan beberapa hal. Hal-hal tersebut di antaranya: 1) menggunakan kerangka sistem; 2) memperhatikan level dalam sistem; 3) memulai dari level sistem yang paling atas dan kontekstual (dalam bentuk kasus) menuju level sistem di bawahnya yang lebih abstrak; 4) menggunakan bantuan simulasi komputer untuk membantu menampilkan karakter sistem yang dinamis; 5) Mengacu pada indikator berpikir sistem berupa menonjolkan struktur, fungsi dan interaksi antar-komponen dalam sistem

Untuk mengajarkan sains sebagai sebuah sistem, dibutuhkan kerangka sistem dari konteks yang akan diajarkan. Kerangka sistem digunakan agar peserta didik memiliki paradigma sistem. Pada bidang sains ada beberapa kerangka sistem yang sering digunakan seperti sistem bumi dan sistem ekologi (Schaefer, 1989; Mayer, 1995; Orion, 2007; Evagorou *et al.*, 2009; Leiba *et al.*, 2012), Sistem sel (Verhoeff *et al.*, 2008; Riess & Mischo, 2010), sistem organ (Tripto *et al.*, 2011;

Raved & Yarden, 2014) atau hukum sebab dan akibat yang saling berinteraksi dalam hukum Newton dan pemodelan listrik statis dan *density* (Perkins & Grotzer, 2001; Rakbamrung *et al.*, 2015).

Meskipun sistem dibagi ke dalam dua kelompok besar namun berbeda sistem akan berbeda karakternya (Klir, 2001). Tidak seperti organisasi sekolah, organisasi pada sains memiliki konsep *level*. *Level* pada sains membuat sistem pada sains tidak memiliki identitas sendiri tetapi selalu menjadi parsial dari sistem di atasnya (Bertalanffy, 1968; Schaefer, 1989; Wilensky & Resnick, 1999) misalnya sel bagian dari jaringan, dan jaringan merupakan bagian dari organ beda dengan sistem organisasi sekolah dimana guru bukan bagian dari kepala sekolah. Pada bidang kimia, sistem dibagi dalam level makroskopik, mikroskopik dan simbolik (Gilbert & Treagust, 2009), dalam biologi sering digunakan sistem organisasi kehidupan, sedangkan dalam penelitian Meilinda *et al.* (2019) pada pembelajaran perubahan iklim, perubahan iklim dibagi dalam level yaitu *makro level* berupa sistem iklim, *middle level* berupa komponen-komponen sistem iklim yaitu atmosfer, biosfer, litosfer, geosfer, kriosfer dan humanosfer sedangkan *micro level* berupa sub komponen dari komponen sistem iklim.

Menggunakan simulasi komputer untuk membantu menampilkan karakter sistem yang dinamis merupakan rekomendasi dari beberapa peneliti (Ossimits, 2000; Connel *et al.*, 2012; Assaraf & Orion, 2010; Forrester, 2001; Hogan 2000). Penggunaan bantuan komputer diperlukan untuk memahami pengaruh elemen di dalam ataupun di luar sistem terhadap perubahan pola dan karakter sistem (Evagorou *et al.*, 2009). Dari studi empiris (Meilinda *et al.*, 2019) penggunaan komputer dalam bentuk media animasi di awal pembelajaran untuk membentuk *frame* sistem pada konteks perubahan iklim.

Dalam pembelajaran sains dengan pendekatan sistem harus diperhatikan komponen-komponen penyusun sistem berupa struktur, fungsi dan interaksinya pada sistem karena sistem terbentuk dari komponen-komponen yang memiliki struktur dan fungsi yang saling berinteraksi (Hmelo-Silver & Prefer, 2004; Lucken & Sommer, 2010). Keempat karakter tersebut adalah hasil eksplorasi aspek yang perlu diperhatikan dalam mengajarkan sistem dalam bidang pendidikan sains.

Hasil Studi Empiris

Fase Pengembangan Indikator Berpikir Sistem Bidang IPA

Berdasarkan hasil dari fase eksplorasi teori berpikir sistem maka dikembangkan indikator berpikir sistem ini menggunakan framework Boersma *et al.* (2013) yang dikembangkan dalam fase pengembangan dalam empat indikator dengan masing-masing terdiri dari 3 sub indikator seperti pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Indikator Berpikir Sistem

No	Indikator Berpikir Sistem	Sub Indikator Berpikir Sistem
1	Mampu mengenali struktur dan peran dari komponen dan sub komponen dalam system	1. Mengidentifikasi komponen, sub komponen serta fungsinya dalam system
		1. Mengidentifikasi hubungan struktur dan fungsi antar komponen sistem pada level sistem yang sama
		2. Memetakan konsep-konsep dalam sistem pada level yang spesifik
2	Mampu menganalisis interaksi komponen dan sub komponen dalam system	1. Menganalisis hubungan antar konsep pada level yang berbeda
		2. Mengorganisasi komponen dan sub komponen, proses, dan interaksi terjadi diantaranya dalam <i>frame work system</i>
		2. Mengidentifikasi proses umpan balik yang terjadi diantara komponen dan sub komponen dalam system
3	Mampu menganalisis pola/pemodelan dalam sistem	3. Membuat generalisasi pola yang dibentuk oleh sistem
		3. Mmerancang sebuah pola interaksi dari komponen-komponen yang dapat dideteksi keberadaannya pada sistem yang tertutup
		3. Membuat/mengembangkan pemodelan yang menggambarkan kedudukan seluruh komponen dan

sub komponen dalam *frame* sistem dalam bentuk 2D/3D

- | | | | |
|---|--|----|---|
| 4 | Mampu memprediksi/retropeksi perilaku sistem akibat interaksi dalam sistem maupun di luar system | 4. | Memprediksi/meretropeksi perilaku yang muncul dari sistem akibat interaksi antar komponen dalam system |
| | | 1 | |
| | | 4. | Memprediksi/retropeksi akibat yang muncul dari adanya intervensi terhadap sistem yang menyebabkan hilang atau bertambahnya komponen/ sub komponen dalam sistem dengan menggunakan pemodelan atau pola yang telah dirancang sebelumnya |
| | | 2 | |
| | | 4. | Mengimplementasi pola baru berdasarkan hasil prediksi & retropeksi |
| | | 3 | |

Berpikir sistem merupakan kemampuan dari seseorang untuk melihat dan berpikir tentang karakter sistem dari suatu fenomena sehingga definisi ringkas dari *system thinking* ialah keterampilan berpikir tentang sebuah sistem dari sebuah fenomena. Berdasarkan kemampuan tersebut, maka keterampilan berpikir sistem berhubungan erat dengan *domain specific content* sehingga berbeda konten seharusnya berbeda indikator sistem berpikirnya namun seringkali terdapat anggapan bahwa apapun karakter sistemnya indikator berpikir sistemnya tetap sama, anggapan ini dikenal dengan nama *effect export* atau *effect context* (Hahlweg, 1983).

Berdasarkan prinsip bahwa keterampilan berpikir sistem merupakan keterampilan yang *domain spesifik content* maka indikator yang dikembangkan pada Tabel 1 hanya dapat digunakan pada sistem yang memiliki karakter yang sama dengan tujuan pengembangan indikator yaitu sistem iklim. Soal-soal berpikir sistem pada konteks perubahan iklim telah dikembangkan (Meilinda *et al.*, 2018) dengan nama CCSTI (*Climate Change System Thinking Instrument*) dengan Cronbach alpha masing-masing indikator 0,686, 0,605, dan 0,648 dan nilai *Content Validity Ratio* (CVR) $\geq 0,736$. yang terdiri dari masing-masing terdiri dari 5, 18 dan 13 soal.

Berdasarkan penelitian terdahulu (Meilinda *et al.*, 2018) ketika peserta didik memiliki kemampuan berpikir sistem dengan

baik maka mereka akan memahami konten dengan baik meskipun tidak mempelajari setiap komponen secara spesifik, tetapi tidak sebaliknya. Hal ini terjadi karena kemampuan berpikir sistem yang baik membuat peserta didik dapat menguasai struktur, fungsi dan proses setiap komponen dengan baik (Hahlweg, 1983; Chi, 2005).

Hal lain yang didapat dari penelitian lainnya (Meilinda *et al.*, 2019) ialah berpikir sistem tidak terlalu tergantung pada kemampuan penalaran formal karena penalaran formal merupakan perkembangan kognitif dari usia balita sampai dengan 11-15 tahun dalam bentuk sistem logis yang tunggal atau asumsi yang *linier* (Reese & Overton 1970, Piaget, 1972), sedangkan berpikir sistem membutuhkan penalaran yang *multilinier*. Penalaran yang *multilinier* mulai berkembang pada orang dewasa yang sudah mulai mempertimbangkan berbagai interaksi dalam sistem, logika sistem dan kemampuan memilih sistem tertentu dalam situasi tertentu (Piaget, 1972; Sinnott, 1998; Cartwright *et al.*, 2009). Kemampuan penalaran tersebut dinamakan *post formal operational* dengan tingkat perkembangan berupa *systematic reasoning*, *meta systematic reasoning*, *paradigmatic reasoning* dan *cross paradigmatic reasoning* (Common *et al.*, 1982; Common, 2008).

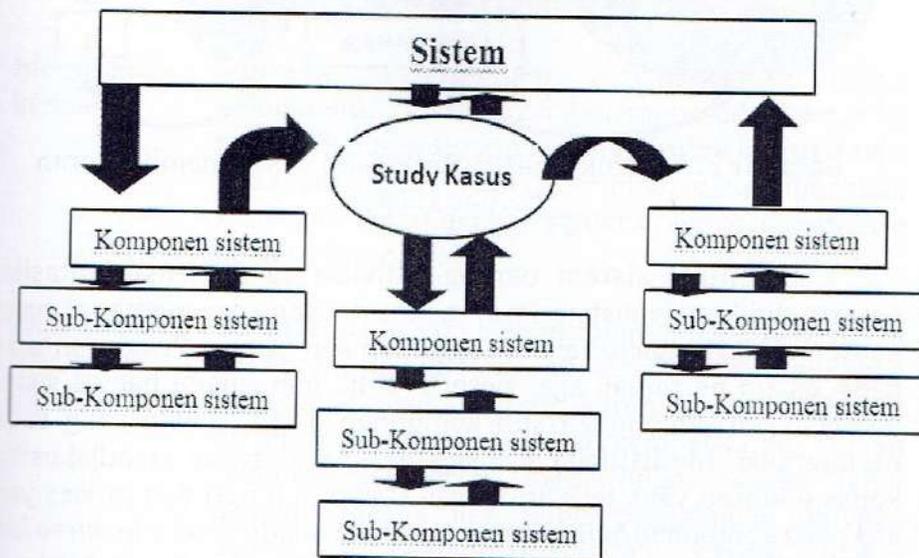
Fase Pengembangan Pendekatan Sistem pada Pembelajaran Sains

Pendekatan yang menggunakan karakter sistem pada pembelajaran sains berbeda dengan pendekatan pembelajaran Sains yang selama ini dilakukan di sekolah. Pendekatan pembelajaran sains di sekolah merupakan pendekatan reduksi yang berupaya mempelajari Sains dengan cara memisahkan satu komponen dengan komponen lainnya (Lucken & Sommer, 2010). misalnya mempelajari jantung struktur dan fungsi jantung tanpa berupaya menghubungkannya dengan paru-paru. Pembelajaran Sains dengan menggunakan karakter sistem disebut pendekatan sistem. Berdasarkan kajian jurnal di fase eksplorasi, pendekatan sistem dapat dibedakan menjadi berorientasi sistem dan berbasis sistem

Orientasi sistem dalam pembelajaran berupa mempelajari masing-masing komponen sistem kemudian mengorientasi peran komponen tersebut terhadap sistem. Contohnya studi Sheparson (2012) yang mengorientasikan komponen atmosfer, biosfer, hidrosfer, geosfer dan kriosfer pada sistem iklim sebagai *framework* sistemnya. Pada beberapa artikel penelitian pembelajaran yang mempelajari fenomena yang muncul akibat interaksi komponen atau sub komponen dikenal dengan nama "*emergent processes*" (Willensky,

1999; Chi, 2005), dan *emergent processes* cenderung berorientasi sistem.

Konstruksi awal pembelajaran berbasis sistem memiliki dua karakter yaitu mengorientasikan peserta didik pada sistem dengan cara membuat bagan konsep berbasis sistem dan menunjukkan peserta didik pada *system leveling* dengan cara mereka diminta untuk mempelajari *macro level, middle middle, micro level* lalu kembali ke *macro level* dengan desain seperti **Gambar 1**.



Gambar 1. Kontruksi awal desain pembelajaran berbasis sistem

Hasil validasi ahli, desain awal dari kontruksi pembelajaran pada Gambar 1 tidak memperlihatkan interaksi antar komponen dan sub komponen dalam sistem. Hasil masukan dari validator ahli maka kontruksi berikutnya dari model pembelajaran berbasis sistem memasukkan karakter interaksi antar komponen dan sub komponen dalam sistem dalam bentuk menggabungkan dua atau tiga komponen atau sub komponen yang berbeda dalam satu kali pertemuan dalam bentuk wacana kontekstual yang melibatkan interaksi dua atau tiga komponen dalam sistem. Contohnya pada sistem iklim sebagai *macro level* disajikan wacana tentang hujan yang melibatkan komponen hidrosfer, atmosfer dan matahari. Perubahan besar pada kontruksi awal mengubah desain pembelajaran seperti pada **Gambar 2**.

	<p>mengubah dan memperkaya bagan konsep yang mereka buat meskipun setiap kali pertemuan mereka mempelajari konsep-konsep baru. Bagan konsep yang mereka buat lebih cenderung hanya menekankan pada struktur dan fungsi, tidak memperlihatkan interaksi sistem seperti yang diinginkan. Tindak lanjut: Media animasi dan video direvisi berbantuan komputer untuk mengorientasikan responden pada sistem</p>
Identifikasi konsep	<p>Temuan: responden cenderung hanya mengidentifikasi struktur dan fungsi, tidak berusaha mengaitkannya dengan sistem. Tindak lanjut: revisi pada identifikasi konsep ditambah menghubungkan konsep tersebut dengan struktur, fungsi dan proses dalam system</p>
Eksplorasi dan studi kasus	<p>Temuan pada saat fase eksplorasi berupa kegiatan <i>hands on I</i> adalah: Responden sulit menghubungkan kegiatan dengan tutjuaan, karena tidak membaca petunjuk praktikum sebelum pembelajaran; Tujuan kegiatan eksplorasi memerlukan waktu lebih panjang, karena tidak punya pengalaman aktivitas <i>hands-on</i>; Responden tidak tepat dalam menghubungkan aktivitas eksplorasi dengan kasus yang harus dicari solusinya. Studi kasus terpisah dari eksplorasi.</p>
Eksplanasi	<p>Temuan: presentasi terbagi menjadi hasil eksplorasi <i>hands-on</i> dan studi kasus, karena ketidakmampuan menghubungkan aktivitas eksplorasi dengan studi kasus yang perlu dicarika solusinya. Tindak lanjut: Studi kasus dihilangkan agar aktivitas terfokus pada eksplanasi hasil eksplorasi saja.</p>
Evaluasi	<p>Temuan: pemahaman responden tentang komponen penyusun sistem yang saling berinteraksi sehingga perubahan satu/beberapa komponen/sub komponen akan mengakibatkan perubahan pada sistem → mereka tidak dapat memahami proses terjadinya interaksi dan perubahan yang dinamis</p>

tersebut. Diduga hal ini terjadi karena mereka tidak mempelajari bentuk-bentuk interaksi yang lain dari komponen/sub komponen dalam sistem. **Tindak lanjut:** fase evaluasi diubah menjadi fase elaborasi sebagai bagian akhir pembelajaran agar mereka mengelaborasi lebih banyak bentuk-bentuk interaksi dalam sistem.

Temuan pada **Tabel 2** menunjukkan bahwa responden melakukan proses orientasi sistem berupa pembuatan bagan konsep pada fenomena-fenomena sains seperti pemanasan global, perubahan iklim atau *deforestasi*, karena mereka cenderung tetap tidak mengubah signifikansi bagan konsep yang dibuat (hanya menggambarkan konsep dalam bentuk sebab, akibat dan dampak) meskipun telah diperkaya konten materi yang terkait. Diduga kondisi ini terjadi karena pengalaman belajar dan kemampuan mereka dalam mengintegrasikan pengetahuan dalam sebuah sistem, mempengaruhi kemampuan membuat bagan konsep berbasis sistem (Willensky & Resnick 1999; Rakbamrung *et al.*, 2015).

Pengalaman belajar kasus-kasus sains dalam bentuk sebab, dampak dan akibat dari fenomena-fenomena sains (sejak SD hingga SMA) membuat peserta sulit mengubah frame berpikir mereka, karena adanya struktur dan proses yang berinteraksi dalam komponen/sub komponen sistem. Dengan kata lain pendekatan reduksi dalam bentuk sebab, dampak dan akibat pada pembelajaran fenomena sains menjadi kendala untuk peserta didik memahami *body of knowledge* dari fenomena tersebut (Willensky & Resnick 1999; Rakbamrung *et al.*, 2015), kondisi ini dinamai oleh Capra (2001) sebagai *shifting paradigm*.

Dari **Tabel 2** juga ditemukan bahwa responden tidak mampu menghubungkan konsep yang diidentifikasi sebagai struktur, fungsi dan proses dengan konteks sistem. Kemampuan mendefinisikan struktur dan fungsi atmosfer tidak sejalan dengan kemampuan menghubungkan hal tersebut dengan konteks iklim (Meilinda, 2018) atau memahami konsep dan struktur sel beserta organel-organel tetapi tidak mampu menghubungkannya dengan konteks *breastfeeding* (Verhoeff *et al.*, 2008). Temuan ini juga serupa dengan temuan penelitian lain yang membandingkan bagan konsep pada *novice* dan *expert* tentang ekosistem perairan (Hmelo-silver & Pfefer, 2004) bahwa jumlah konsep struktur pada *novice* dan *expert* tidak berbeda signifikan namun konsep tentang fungsi dan perilaku sistem,

expert menunjukkan keunggulan dengan jumlah konsep yang lebih signifikan daripada *novice* padahal mengidentifikasi sebatas struktur saja tidak akan membawa orang mampu memahami sistem (Ackoff, 1994; Lucken & Sommer, 2010; Narayan *et al.*, 2007).

Temuan-temuan pada fase ujicoba menjadi masukan untuk memperbaiki sintaks pembelajaran berbasis sistem untuk pembelajaran Sains. Sintaks bukan hanya menekankan pada berparadigma sistem, menekankan pergerakan antara level pada sistem, mengeksplorasi interaksi antar-komponen dan sub komponen dalam sistem tetapi juga memasukkan karakter sistem yang memiliki struktur, fungsi dan interaksi yang timbal balik dan dinamis. Perbaikan ini mempengaruhi fase kedua dari pembelajaran berbasis sistem pada pembelajaran Sains bukan hanya berupa mengidentifikasi konsep penting dalam sistem tetapi mengidentifikasi konsep dalam struktur, fungsi dan interaksi komponen/sub komponen dalam sistem serta mengaitkan semua konsep tersebut dengan aktivitas sistem.

SIMPULAN

Berpikir sistem merupakan kemestian dalam pembelajaran sains karena sains merupakan sistem namun demikian berbeda sistem berbeda pula karakternya. Berdasarkan hal tersebut maka penelitian ini mengembangkan berpikir sistem khusus bidang sains dalam empat indikator, yaitu: 1) mengenali struktur dan peran dari komponen dan sub komponen dalam sistem, 2) menganalisis interaksi komponen dan sub komponen dalam sistem, 3) menganalisis pola/pemodelan dalam sistem, 4) memprediksi/retrospeksi perilaku sistem akibat interaksi di dalam dan di luar sistem.

Untuk meningkatkan kemampuan berpikir sistem diperlukan desain pembelajaran yang memperhatikan dua hal, yaitu struktur kurikulum dan sintaks pembelajaran yang berbasis sistem. Sintaks pembelajaran berbasis sistem merupakan upaya mengubah paradigma peserta didik dari berpikir yang *split* menuju berpikir yang holistik. Perubahan paradigma (*shifting paradigm*) ini menuntut kesadaran sedini mungkin dari peserta didik tentang adanya sistem dalam konten dan konteks yang mereka pelajari. Untuk itu karakter pembelajarannya seyogianya memperhatikan empat karakter yaitu: 1) mengorientasikan peserta didik pada sistem yang digunakan dalam pembelajaran, 2) menekankan adanya *leveling*, 3) mengenalkan interaksi komponen/ subkomponen dalam sistem, serta 4) mengaitkan struktur, fungsi dan perilaku komponen/sub komponen dalam sistem.

REFERENSI

- Ackoff, R. 1994. Systems thinking and thinking systems. **System Dynamics Review** 10(2-3): 175-188.
- Akker, V.D.J., Gravemenijer, K., McKenney, S., and Nieveen, N.(Eds). 2006. *Educational design research*. Routledge
- Assaraf, O. and Orion, N. 2010. Four case studies, six years later: Developing system thinking in junior high school and sustaining them over time. **Journal of Research in Science Teaching** 47(10): 1253-1280.
- Bertalanffy, V. 1968. *General System Theory: Foundation, Development, Application*. New York: Georg. Braziller.
- Bertalanffy, V. 1972. The History general and status of general systems theory. **The Academy of Management Journal** 15(4): 407-426.
- Boersma, K., Waarlo, A., and Klaassen, K. 2011. The feasibility of systems thinking in biology education. **Journal of Biological Education** 45(4): 190-197.
- Brandstadler, K., Harms, U., and Großschedi, J. 2012. Assessing system thinking through different concep-mapping practices. **International Journal of Science Education** 34(14): 2147-2170.
- Cartwright, K., Tyree, S., and Gavin, A. 2009. Reliability and validity of the complex postformal thought questionnaire: Assessing adults' cognitive development reliability and validity of the complex postformal thought questionnaire. *Assessing Adults Cognitive Development (Agust)* .
- Capra, F. 2001. *Jaring-jaring Kehidupan: Visi Baru Epistemologi dan Kehidupan*. Yogyakarta: Fajar Pustaka Baru
- Chi, M. 2005. Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. **Journal of the Learning Sciences** 14(2): 161-199.
- Commons, M. L. 2008. Introduction to the model of hierarchical complexity and its relationship to postfformal action. **World Futures** 64(5-7): 305-320.
- Commons, M. L., Richards, F., and Kuhn, D. 1982. Systematic and metasystematic reasoning: A case for levels of reasoning beyond piaget's stage of formal operations. **Child Development** 53(4): 10-58.
- Connell, K. Y., Remington, S. M., and Armstrong, C. 2012. Assessing system thinking skills in two undergraduate sustainability course: A comparison of teaching strategies. **Journal of Sustainability**

Education 3: 1-15.

- Dauer, J. 2014. *Systems Thinking with Biology Models*. [http: digitalcommons.unl.edu/dberspeakers/54](http://digitalcommons.unl.edu/dberspeakers/54) (25 Januari 2016).
- Drack, M. and Apfalter, W. 2007. Is Paul A. Weiss' and Ludwig von Bertalanffy's system thinking still valid today? **Systems Research and Behavioral Science** 24(5): 537-546.
- Evagoroua, M., Korfiatis, K., Nicolaou, C., and Constantinou, C. 2009. An investigation of the potential of interactive simulations for developing system thinking skills in elementary school: a case study with fifth- and sixth grades. **International Journal of Science Education** 32(5): 655-674.
- Forrester, J. 1994. System dynamics, systems thinking, and soft OR. **System Dynamics Review** 10(2): 245-256.
- Forrester, J. 2001. System dynamics: the foundation under systems thinking. **Change** 1(3): 1-3.
- Gilbert, J. and Treagust, D. F. 2009. Towards a coherent model for macro submicro and symbolic representations in chemical educational. In *Multiple representations in chemical education (pp 333-350)*, Springer, Dordrecht.
- Gravemeijer, K. and Cobb, P. 2006. Design research from a learning design perspective, in Van den Akker, J. et al.(Eds). *Educational Design Research*, New York: Routledge.
- Hahlweg, K. 1983. *The Evolution of Science: A System Approach*. Western University: (Online) diunduh dari <http://ir.lib.uw.c/digitizestheses%0A>.
- Hmelo-Silver, C., Marathe, S., and Liu, L. 2004. Comparing expert and novice understanding of a complex system from the perspective of structures, behaviors, and functions. **Cognitive Science** 28(1):127-138.
- Hogan, K. 2000. Assessing students' systems reasoning in ecology. **Journal of Biological Education** 35(1): 22-28.
- Keynan, A., Assaraf, O., and Goldman, D. 2014. The repertory grid as a tool for evaluating the development of students ecological system thinking abilities. **Studies in Educational Evoluation** 41: 90-105.
- Klir, G. 2001. *Facets of systems science(Vol.7)*. Binghamton, New York: Springer science Business Media.
- Leiba, M., Zuzovsky, R., Mioduser, D., Benayahu, Y., and Nachmias, R. 2012. Learning about ecological systems by constructing qualitative models with dynalearn. **Interdisciplinary Journal of E-Learning and Learning Objects** 8: 14-20.
- Lucken, M. and Sommer, C. 2010. System competence- Are elementary

- students able to deal with a biological system? **Nordic studies in Science Education** 6(2): 125-143.
- Mayer, V. 1995. Using the earth system for integrating the science curriculum. **Science Education** 79(4): 375-391.
- Meilinda, Rustaman, N.Y., and Firman, H. 2015. *Research trends and application of systems thinking in science education*. Bandung: Proceeding International Seminar on Mathematics, Science, and Computer Science Education (Octobe. 17, 2015).
- Meilinda, Rustaman, N.Y., Firman, H., and Tjasyono, B. 2018. Development and validation of climate system thinking instrument (CCSTI) for measuring system thinking on climate change content. **Journal of Physic Conference Series** 1013(1): 012046.
- Meilinda, Rustaman, N. Y., Firman, H., and Tjasyono, B. 2019. Does system thinking in climate change content needs formal operational? **Journal of Physics: Conference Series** 1157(2): 022065
- Next Generation Science Standard (NGSS). 2013). Appendix G: Cross-cutting Concept, Retrieved at March 17, 2013 from <http://ngss.org>
- Narayan, P., Wu, P., Campbell, D., and Walker, R. 2007. *An intelligent control architecture for unmanned aerial systems (UAS) in the national system (NAS)*.
- OECD. 2014. PISA 2012 Technical Report.
- Orion, N. 2007. A holistic approach for science educational for all. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education** 3(2): 111-118.
- Ossimitz, G., Davidsen, P., Ford, D., and Mashayekhi, A. 2000. Teaching System Dynamics And System Thinking in Austria And Germany. **Proceedings of the 18th International Conference of the System Dynamics Society** 161.
- Perkins, D. and Grotzer, T. 2001. Models and Moves; The Role of Causal and Epistemic Complexity in Students' Understanding of Science David. *In American Educational Research Association annual conference* , Cambridge, Massachusetts.
- Piaget, J. 1972. Intellectual evolution from adolescence to adulthood. **Human Development** 15(1): 1-12.
- Rakbamrung, P., Thepnuan, P., and Nujenjit, N. 2015. Use of a System Thinking Learning Force and Motion Concept in Physics for Nurse Course. **Procedia- Social and Behavioral Sciences** 197(2):126-134.

- Raved, I. and Yarden, A. 2014. Developing seventh grade students systems thinking skills in the context of the human circulatory system. **Frontiers in Public Health** 2(12): 1-11.
- Reese, H. and Overton, W. 1970. *Models of Development and Theories of Development*. In *Life-Span Development Psychology* (pp 115- 145), New York: Academic Press INC. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-293850-4.50011-X>
- Richey, R. and Klein, J. 2005. Developmental research methods: creating knowledge from instructional design and development practice. **Journal of Computing in Higher Education** 16(2): 23-38.
- Richmond, B. 1994. System dynamics/ system thinking; let's just get on with it. **International System Dynamics Conference** 25: 1-8.
- Riess, W. and Mischo, C. 2010. Promoting systems thinking through biology lessons. **International Journal of Science Education** 32(6): 705-725.
- Rustaman, N. Y. 2019. *Proses Berpikir Sistem dalam Pendidikan Biologi*. Makalah Utama pada symposium "Symbiont" yang diselenggarakan oleh Pendidikan Biologi, Universitas Ahmad Dahlan di Yogyakarta, tanggal 31 Agustus 2019.
- Rustaman, N.Y. 2012. *Berpikir Sistem*. Modul 3 untuk Program S2 Pendidikan IPA bagi PGSD. Universitas Terbuka
- Schaefer, G. 1989. *Systems thinking in biology education*. Science and Technology Education Series: Vol 53.
- Shepardson, D. 2012. Conceptualizing climate change in the context of a climate system: implications for climate and environmental education. **Environmental** 1-18.
- Sinnott, J. 1998. *The Development of logic in adulthood: Postformal thought and its applications*. The Plenum series in adult development and aging.
- Tracey, M. 2009. Design and development research: a model validation case. **Educational Technology Research & Development** 57(4): 553-571.
- Tripton, J., Assaraf, O., and Amit, M. 2013. Mapping What They Know: Concept Maps as an Effective Tool for Assessing Students' Systems Thinking. **American Journal of Operations Research** 3(1): 245-258.
- UNESCO. 2017. *Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives*. Paris: UNESCO.
- Verhoeff, R., Waarlo, A., and Boersma, K. 2008. Systems modelling and the development of coherent understanding of cell biology.