

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 multilinerly, 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, metasisematik 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 (*system 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.

Sementara itu pada fase pengembangan melibatkan 15 mahasiswa calon guru biologi dan 20 mahasiswa calon guru fisika. Validasi keterbacaan 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), observasi 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, *midlle 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 <i>frame</i> sistem dalam bentuk 2D/3D
4	Mampu memprediksi/retropeksi perilaku sistem akibat interaksi dalam sistem maupun di luar sistem	<p>4. Memprediksi/meretropeksi perilaku yang muncul dari sistem akibat interaksi antar komponen dalam sistem</p> <p>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</p> <p>4. Mengimplementasi pola baru berdasarkan hasil prediksi & retropeksi</p>

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 temuan tersebut, maka keterampilan berpikir sistem berhubungan erat dengan *domain spesific content* sehingga berbeda konten seharusnya berbeda indikator sistem berpikirnya namun seringkali didapati 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).

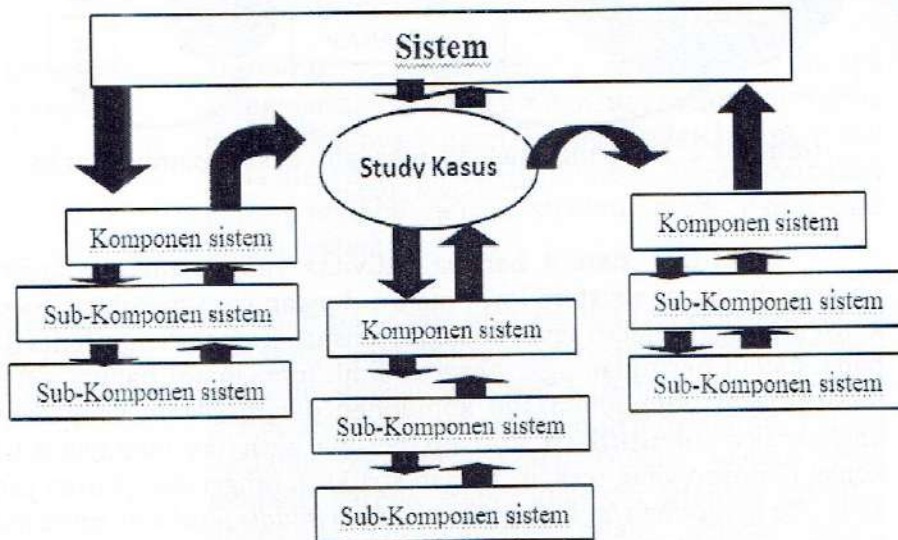
Fase Pengembangan Pendekatan Sistem pada Pembelajaran Sains

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 mengabungkan 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**.



Gambar 2. Kontruksi hasil validasi ahli desain pembelajaran berbasis sistem

Orientasi sistem berupa aktivitas yang mengorientasikan peserta didik pada sistem level makro dengan cara membuat bagan konsep dengan macro level sebagai konsep utama. Pengorientasian pada sistem bertujuan agar peserta didik memahami bahwa sistem tersusun dari komponen/sub komponen dalam sistem yang saling berinteraksi. **Identifikasi konsep** berupa aktivitas mendiskusikan konsep-konsep yang terkait dengan struktur, fungsi dan proses yang ada pada komponen/sub komponen dalam *middle level* dan *micro level* sistem. Tujuannya ialah agar peserta didik memahami beberapa bentuk interaksi antar komponen/sub komponen dalam sistem. Untuk memahami lebih mendalam proses dalam sistem maka peserta didik mengeksplorasi karakteristik sistem berbasis kasus dalam bentuk aktivitas *hands on*, aktivitas hasil mengeksplorasi karakteristik sistem kemudian didiskusikan dalam kelas dalam aktivitas eksplanasi dan terakhir ditutup dengan bentuk evaluasi.

Desain pembelajaran pada **Gambar 2** diujicobakan dalam bentuk *learning cycle* pada dua kelompok mahasiswa. Hasil temuan dari ujicoba Gambar II didapat data seperti pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Temuan hasil ujicoba pembelajaran berbasis sistem

Fase	Temuan
Orientasi sistem	Pada aktivitas orientasi sistem dengan bentuk pembuatan bagan konsep pada setiap awal pertemuan tidak mengalami perubahan signifikan. Temuan: responden cenderung tidak mau

	<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 hands-on 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> (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 Evaluation** 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.

- International Journal of Science Education** 30(4): 543-568.
- Wiener, N. 1965. Perspectives in cybernetics. **Progress in Brain Research** 17: 399-415.
- Weinert, F.E. (2001). *Concept of Competence: A Conceptual Clarification*. In D.S. Rychen and L.H. Salganik (Eds.), *Defining and Selecting key Competencies*. Seattle: Hogrefe & Huber.
- Wilensky, U. and Resnick, M. 1999. Thinking in Levels: A Dynamic systems Approach to Making Sense of the World. **Journal of Science Education and Technology** 8(1): 3-19.

BIOGRAFI PENULIS



Nuryani Y Rustaman merupakan Guru Besar pada Departemen Pendidikan Biologi. Doktor Pendidikan IPA diraih tahun 1990, dan Jabatan Guru Besar Tetap FPMIPA UPI tahun 2001. Selain sebagai staf pengajar di Departemen Pendidikan Biologi FPMIPA, juga sebagai pengajar dan pembimbing mahasiswa Pendidikan IPA Sekolah Pascasarjana UPI.



Meilinda adalah Lektor pada Departemen Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sriwijaya yang menempuh pendidikan sarjana di Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sriwijaya dan Pascasarjana Program Magister & Doktor di Fakultas PMIPA, Universitas Pendidikan Indonesia (UPI)