

MODEL PEMBELAJARAN MRSA DAN PENGARUHNYA TERHADAP KINERJA PENALARAN MERs DAN KETERAMPILAN PEMODELAN SISTEM KOMPLEKS MAHASISWA

Sumarno¹, Prasetyo², & Muslimin Ibrahim³

^{1&2}Program Studi Pendidikan Biologi, FPMIPATI, Universitas PGRI Semarang, Indonesia

³Program Studi Pendidikan Sains, Pascasarjana, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

E-mail : sumarno@upgris.ac.id

ABSTRAK: Adaptasi struktur diakibatkan interaksi tumbuhan dengan lingkungan, sehingga membutuhkan berpikir sistem dalam memahaminya. Penelitian ini dilakukan untuk menguji dampak instruksional model pembelajaran *Multiple Representations Supported Argumentation* (MRSA) yang melibatkan mahasiswa melakukan penalaran menggunakan multi representasi untuk memfasilitasi keterampilan pemodelan sistem kompleks. Penelitian dilakukan dengan *iterative design* yang melibatkan pengumpulan data dengan instrumen penalaran MERs dan pemodelan sistem kompleks. Penelitian melibatkan 1 dosen model dan 3 dosen mitra serta 135 mahasiswa yang mengikuti perkuliahan struktur perkembangan tumbuhan. Hasil analisis data menunjukkan jumlah mahasiswa yang berpikir kompleks dengan penalaran MERs meningkat hingga 48%, sedangkan jumlah mahasiswa yang mampu memodelkan sistem kompleks dengan kriteria baik meningkat hingga 23%. Hasil uji korelasi antara kinerja penalaran MERs dengan pemodelan sistem kompleks secara umum menunjukkan hubungan positif antara 0,07 hingga 0,61. Bukti-bukti ini menunjukkan instruksional dalam pembelajaran berpengaruh terhadap kemajuan kinerja penalaran MERs serta memberikan dampak terhadap kemajuan pencapaian kemampuan pemodelan sistem kompleks, sehingga mengindikasikan instruksional penalaran dengan MERs efektif untuk melatih berpikir sistem melalui pemodelan sistem kompleks.

Kata Kunci: Kinerja Penalaran MERs, Pemodelan Sistem Kompleks, Berpikir Sistem.

ABSTRACT: Structure adaptation is caused by the interaction of plants with the environment, so it requires system thinking in understanding it. This study was conducted to examine the instructional impact of the *Multiple Representations Supported Argumentation* (MRSA) learning model which involves students doing reasoning using multi representations to facilitate complex system modeling skills. The study was conducted with an iterative design that involves collecting data with MERs reasoning instruments and modeling complex systems. The research involved 1 model lecturer and 3 partner lecturers and 135 students who took part in the structure of plant development. The results of data analysis show the number of students who think complexly with MERs reasoning has increased by 48%, while the number of students who are able to model complex systems with good criteria has increased by 23%. Correlation test results between MERs reasoning performance with complex system modeling in general showed a positive relationship between 0.07 to 0.61. These evidences indicate that instructional learning has an effect on the progress of MERs reasoning performance as well as having an impact on the progress in achieving the ability of modeling complex systems, thus indicating instructional reasoning with MERs is effective for training systems thinking through modeling complex systems.

Keywords: MERs Reasoning Performance, Complex System Modeling, Systems Thinking.

PENDAHULUAN

Sistem-sistem dalam biologi merupakan sistem kompleks yang melibatkan hubungan antar komponen sistem dari tingkat molekuler, sel, jaringan, organ, organisme, populasi hingga ekosistem (Buckley & Quellmalz, 2013). Upaya



untuk memahami sistem kompleks membutuhkan kemampuan penalaran pada sistem kompleks (Jordan, *et. al.*, 2013). Penggunaan penalaran tentang sistem kompleks untuk menganalisis unsur-unsur penting yang bekerja dalam sistem, maupun mensintesis hubungan perubahan atau gangguan dalam satu elemen sistem yang mempengaruhi semua elemen sistem yang lain (Suzuki, *et. al.*, 2015). Namun demikian, mahasiswa mengalami kesulitan membangun pemahaman secara heuristik maupun memahami hubungan kompleks dan mekanisme abstrak dan dinamis dari sistem kompleks (Liu & Hmelo-Silver, 2009). Mahasiswa merepresentasikan penjelasan kausal tunggal dan linear, serta kesulitan mengkonstruksi pengetahuan lintas sistem termasuk menggunakan pemahaman entitas mikroskopis untuk merepresentasikan penjelasan fenomena makroskopis (Sumarno, *et. al.*, 2018).

Fasilitasi penalaran sistem kompleks dalam pembelajaran banyak mendayagunakan lingkungan multi representasi yang melibatkan aktifitas pemodelan sebagaimana dalam pembelajaran *inquiry* berbasis model ekosistem (Eilam, 2012), *Cycles Hypermodel Biologica* pada genetika (Buckley, *et. al.*, 2010; Kim, *et. al.*, 2015), maupun dalam *Problem Posing* dengan strategi yo-yo pada dinamika ekosistem (Verhoeff, *et. al.*, 2013). Namun demikian, pendayagunaan multi representasi pada pembelajaran tersebut belum menyediakan lingkungan pembelajaran yang memberi kesempatan bagi mahasiswa untuk membuat kerangka argumen hubungan dalam sistem yang kompleks (Van Mill, *et. al.*, 2013), meningkatkan penalaran melalui pemeriksaan bukti-bukti berdasarkan data serta pengetahuan yang paling tepat untuk menjelaskan fenomena (Mendonca & Justi, 2014), maupun memeriksa dan mendiskusikan penjelasan kompetitif (*competing explanations*) hasil dari pemodelan maupun penjelasan ilmiah berbasis multi representasi (Park, 2016).

Pembelajaran yang mengkaji sistem kompleks menggunakan multi representasi mengimplikasikan bahwa pembelajaran perlu melibatkan proses penyelidikan berbasis multi representasi dan secara bertahap mengintegrasikan pemahaman sistem yang kompleks secara holistik dari sistem (Kali, *et. al.*, 2013). Pembelajaran dengan lingkungan multi representasi mahasiswa perlu dilibatkan dengan tugas-tugas representasi melalui aktivitas menginterpretasikan, mengintegrasikan, menterjemahkan antar beberapa representasi, maupun membuat representasi atau memodelkan sistem kompleks (Tytler & Prain, 2010; Tsui & Treagust, 2013; Nichols, *et. al.*, 2015). Tugas-tugas tersebut sarat dengan penalaran menggunakan multi representasi (Anderson, *et. al.*, 2013), sehingga hasilnya perlu dinegosiasikan melalui argumentasi ilmiah dalam interaksi sosial (Van Mil, *et. al.*, 2013; Gillies, *et. al.*, 2015; Nichols, *et. al.*, 2016), sehingga terjadi elaborasi yang melibatkan individu-individu secara kolaboratif untuk membangun argumen, eksplanasi, maupun mengevaluasi ide-ide tentang sistem kompleks (Graziano & Ward, 2015). Selain itu melibatkan mahasiswa dengan kerja representasi termasuk pemodelan perlu refleksi untuk pengembangan dan implementasi hasil konseptualisasi (Verhoeff, *et. al.*, 2013).

Rekomendasi tersebut merupakan dasar pengembangan model pembelajaran *multiple representations supported argumentation* (MRSA). Model



pembelajaran MRSA melibatkan mahasiswa dalam penyelidikan, penalaran serta pemodelan sistem kompleks menggunakan multi representasi dan argumentasi secara bertahap. Tahap-tahap model pembelajaran MRSA melibatkan aktifitas belajar dengan multi representasi mulai dari: 1) membangun kesadaran tentang permasalahan pada sistem pada fase orientasi; 2) analisis struktur dan fungsi komponen sistem pada fase eksplorasi; 3) menginterpretasikan hubungan dinamis komponen dan proses dalam sistem pada fase integrasi; 4) membangun kerangka hubungan kompleks antar tingkatan sistem pada fase pemodelan; 5) mewacanakan hasil kerja representasi melalui argumentasi; dan 6) merefleksikan hasil konseptualisasi sistem kompleks (Sumarno, *et. al.*, 2018).

Desain model pembelajaran MRSA dengan aktifitas penalaran berbasis *multiple external representations* (MERs) menuntut keterampilan proses pemodelan. Penalaran berbasis multi representasi dalam pemodelan muncul dalam proses memproduksi atau membangun model maupun menggunakan, atau manipulasi model dalam hal ini adalah proses kompleks (Gilbert & Justi, 2016), untuk memahami fenomena kompleks serta mengeksplorasi kemungkinan hubungan maupun mengembangkan konsep dan untuk menjelaskan dan memprediksi (Svoboda & Passmore, 2013). Berdasarkan hal tersebut, artikel ini bertujuan mendeskripsikan bagaimana dampak penalaran dengan MERs terhadap perkembangan keterampilan pemodelan sistem kompleks pada model pembelajaran MRSA.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan instruksi pemodelan dalam pembelajaran yang melibatkan strategi metakognitif sehingga dapat mencapai kemampuan berpikir sistem. Desain penelitian mengadaptasi pola *iterative* yang melibatkan kolaborasi peneliti dan praktisi digunakan untuk sejauh mana keterlaksanaan dan efektivitas dari instruksi pemodelan dikembangkan (Plomp, 2013). Siklus pengujian dan perbaikan dalam implementasi instruksi pemodelan dilakukan dalam empat iterasi. Setiap iterasi, bagaimana kualitas kinerja mahasiswa melakukan penalaran dengan MERs dan kemampuan pemodelan sistem kompleks oleh mahasiswa dianalisis dan sebagai bahan refleksi dan perbaikan untuk iterasi berikutnya.

Penelitian melibatkan 1 dosen model, 3 dosen mitra, dan 135 mahasiswa calon guru biologi yang memprogram perkuliahan struktur perkembangan tumbuhan, di sebuah perguruan tinggi swasta. Keseluruhan mahasiswa, masing-masing terbagi dalam 30 orang pada iterasi pertama dan 33 orang pada iterasi kedua, serta 30 dan 32 mahasiswa pada iterasi ketiga dan keempat. Setiap mahasiswa hanya berpartisipasi satu kali dalam setiap iterasi dalam penelitian ini. Setiap iterasi pembelajaran dilaksanakan oleh dosen yang berbeda, namun memiliki latar belakang pendidikan dan pengalaman pembelajaran yang relatif sama, yaitu kurang dari 10 tahun. Dosen yang terlibat dalam penelitian ini sebelumnya telah terlibat dalam fokus group diskusi maupun pembelajaran bersama dengan peneliti.



Pada setiap iterasi dilakukan pengumpulan data secara luas dari berbagai sumber yaitu *completed worksheet* dan artefak hasil pemodelan. *Completed worksheet* menyediakan data tentang kinerja mahasiswa menggunakan multi representasi untuk melakukan penalaran sistem kompleks. Kompleksitas penalaran sistem mahasiswa dengan menggunakan multi representasi yang dituliskan pada lembar kerja dinilai dengan bantuan rubrik penilaian kompleksitas penalaran sistem kompleks pada aspek analisis sistem, sintesis sistem, maupun berpikir temporal (Tripto, *et. al.*, 2013). Data kualitas keterampilan pemodelan sistem kompleks diperoleh menggunakan lembar penilaian keterampilan pemodelan sistem kompleks. Kerangka unjuk kerja keterampilan pemodelan sistem kompleks dikembangkan berdasarkan aspek identitas dan spesifikasi model, bentuk interaksi model, dan kerangka hubungan pada model (Mayer & Krajcik, 2015).

Data hasil pemeriksaan kinerja penalaran dengan MERs maupun kualitas pemodelan sistem kompleks dianalisis secara deskriptif kualitatif dianalisis untuk menentukan persentase mahasiswa berdasarkan tingkat kompleksitas penalaran dan kualitas pemodelan. Hasil penskoran kinerja penalaran dengan MERs maupun kualitas pemodelan sistem kompleks juga dilakukan uji korelasi untuk menemukan bagaimana hubungan kinerja penalaran dengan MERs maupun kualitas pemodelan sistem kompleks selama pembelajaran.

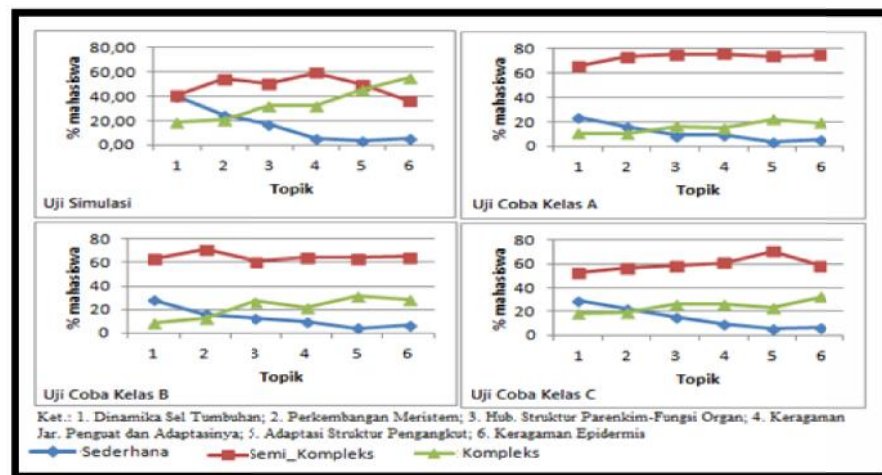
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil analisis kompleksitas penalaran menggunakan MERs dan kualitas keterampilan pemodelan sistem kompleks serta korelasinya disajikan pada paparan berikut.

Kinerja Penalaran dengan MERs

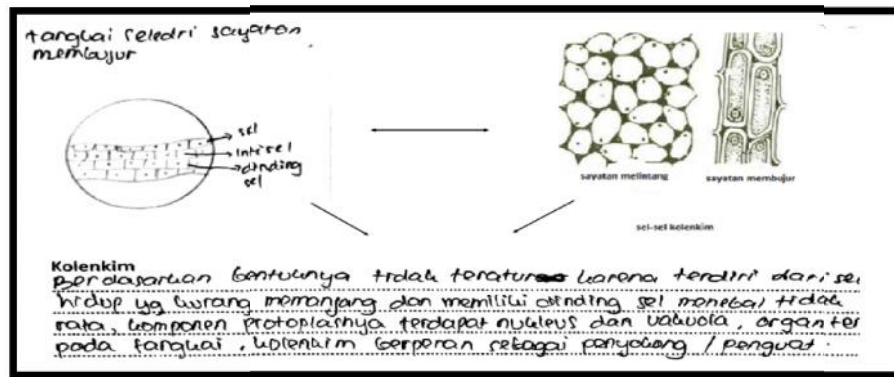
Kinerja penalaran dengan MERs menunjukkan kemajuan kompleksitas penalaran sistem dengan menggunakan multi representasi, sebagaimana disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perkembangan Kompleksitas Penalaran Menggunakan MERs.



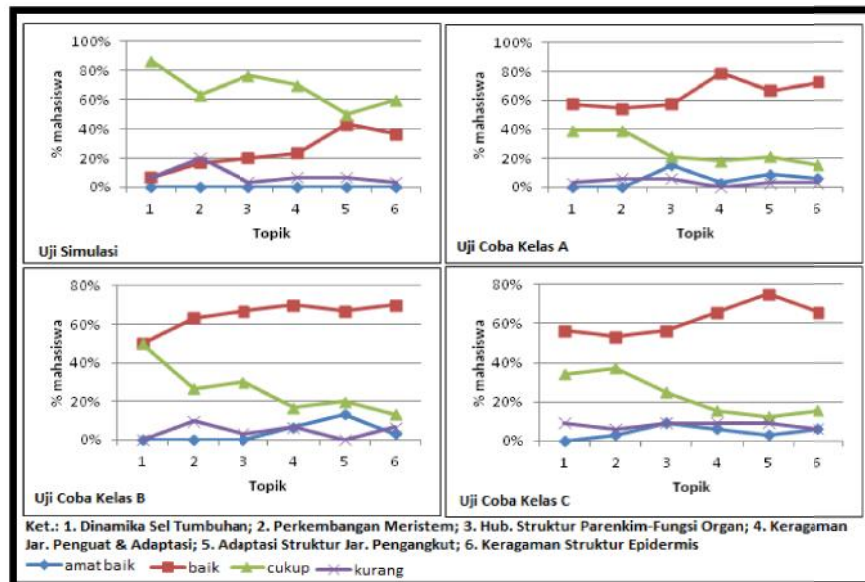
Hasil analisis menunjukkan secara umum terdapat penurunan persentase jumlah mahasiswa yang berpikir sederhana yang diikuti dengan peningkatan persentase jumlah mahasiswa yang berpikir semi-kompleks maupun kompleks. Hasil pemeriksaan artefak kinerja penalaran dengan MERs sebagaimana disajikan pada Gambar 2 menunjukkan, melalui aktifitas penterjemahan lintas mode representasi, dari visualisasi pengamatan mikroskopis, sketsa, model/*photograph* 2D/3D serta teks/verbal pada fase eksplorasi memfasilitasi mahasiswa untuk melakukan penalaran tentang sistem kompleks pada tingkat analisis yaitu mengidentifikasi komponen-komponen sistem pada tingkat mikroskopis, serta mensintesis hubungan struktur-fungsi komponen sistem pada tingkat mikroskopis.



Gambar 2. Hasil Penalaran Lintas Mode Representasi.

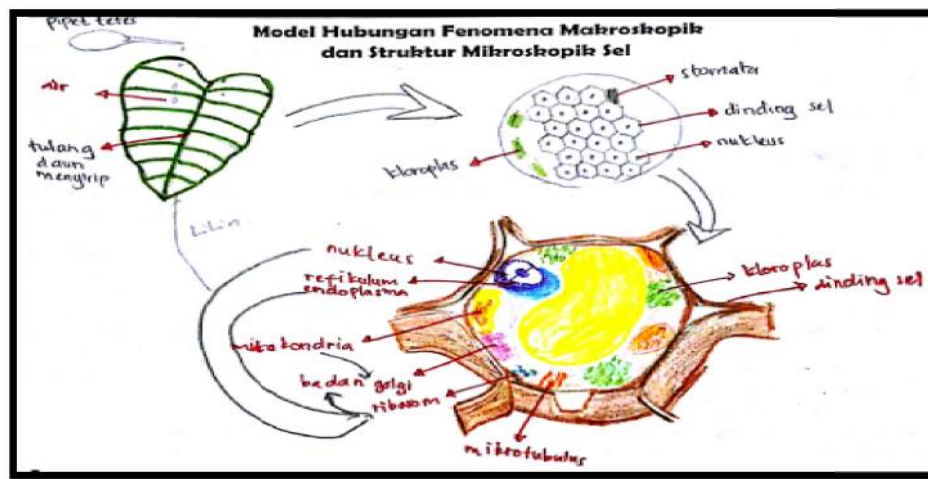
Kualitas Keterampilan Pemodelan Sistem Kompleks

Hasil analisis kualitas pemodelan sistem kompleks direpresentasikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Perkembangan Keterampilan Pemodelan Sistem Kompleks.

Keterampilan pemodelan sistem kompleks mahasiswa menunjukkan perkembangan kemampuan dalam merepresentasikan komponen-komponen sistem baik yang teramati maupun tersembunyi, hubungan antara komponen sistem dalam kerangka hubungan sistem, serta model mampu untuk merepresentasikan secara fungsional sistem. Pemodelan sebagaimana yang direpresentasikan pada Gambar 4 menunjukkan, meskipun model sistem kompleks menunjukkan abstraksi yang rendah, model telah mengilustrasikan hubungan struktur-fungsi secara heuristik serta menunjukkan kompleksitas hubungan antara fakta-fakta yang direpresentasikan secara makroskopis maupun mikroskopis sehingga merepresentasikan suatu konsep hubungan dinamis antara lingkungan dengan perkembangan struktur.



Gambar 4. Hasil Pemodelan Sistem Kompleks pada Dinamika Sistem Sel.

Hubungan Kinerja Penalaran MERs dan Kualitas Pemodelan Sistem Kompleks

Koefisien korelasi antara penalaran MERs dengan keterampilan pemodelan secara umum menunjukkan hubungan yang positif. Hal ini menunjukkan pengalaman menggunakan multi representasi untuk melakukan penalaran mempengaruhi keterampilan untuk memodelkan sistem kompleks.

Tabel 1. Indeks Korelasi Kinerja Penalaran MERs dan Kualitas Pemodelan Sistem Kompleks.

Kelas Pengujian	Topik ^{*)}					
	1	2	3	4	5	6
Uji Simulasi	0.42	0.49	0.25	0.11	0.31	0.35
Uji Coba Kelas A	0.41	0.61	0.03	0.02	-0.03	0.23
Uji Coba Kelas B	0.21	0.12	0.21	0.02	-0.07	0.47
Uji Coba Kelas C	0.32	0.11	0.16	-0.05	0.07	0.21

Keterangan^{*)} : 1) Dinamika sel tumbuhan; 2) Perkembangan sistem; 3) Hubungan struktur parenkim-fungsi organ; 4) Keragaman jaringan penguat & adaptasi; 5) Adaptasi struktur jaringan pengangkut; dan 6) Keragaman struktur epidermis.

Pembahasan

Temuan-temuan tentang kemajuan kompleksitas penalaran dengan MERs, perkembangan kualitas keterampilan pemodelan sistem kompleks maupun hubungan antara keduanya menunjukkan desain instruksional pada model pembelajaran MRSA yang melibatkan mahasiswa terpapar pada ekosistem belajar yang kaya dengan berbagai representasi efektif untuk melatih berpikir sistem. Praktik penalaran dengan MERs mampu memfasilitasi kompleksitas praktik pemodelan ilmiah, termasuk di dalamnya analisis komponen sistem, merepresentasikan hubungan antar komponen sistem, dan mengintegrasikan dalam kerangka hubungan kompleks yang menyediakan penjelasan kausal dari fenomena yang dimodelkan. Praktik penalaran dengan MERs melibatkan mahasiswa menangani berbagai model yang menyajikan fakta tentang fenomena dan struktur, menganalisis fungsi serta mensintesis hubungan dari fenomena, keragaman struktur-fungsi maupun perilaku dinamis sistem dalam dimensi adaptasi.

Pengalaman keterampilan pemodelan sistem kompleks dengan lingkungan kaya MERs berawal dengan mengorientasikan kerangka berpikir mahasiswa untuk terlibat secara bertahap berpikir sistem. Instruksional yang dilakukan dengan melibatkan mahasiswa membangun diagram kerangka hipotetik hubungan fenomena makroskopis yang disajikan dengan mode representasi *konkret* dengan sistem struktur mikroskopis. Penggunaan mode representasi untuk memvisualisasikan kerangka hipotetik model sistem kompleks berakibat pada keterampilan representasional pemodelan, karena ketika mahasiswa mulai menyusun model mereka secara formal, mereka tertantang untuk mengoperasionalkan gagasan yang mereka putuskan penting untuk diekspresikan sebagai model sistem kompleks (Svoboda & Passmore, 2013). Hal ini sesuai dengan pernyataan bahwa penggunaan berbagai representasi makroskopis, *konkret*, maupun abstrak membantu mahasiswa mengorientasikan penalaran pada sistem kompleks (Wang & Tseng, 2018) serta mengarahkan kerangka pemecahan masalah (Hesse, *et. al.*, 2015).

Kemajuan keterampilan pemodelan sistem kompleks mengindikasikan mahasiswa memperoleh keuntungan bagaimana merepresentasikan model sistem kompleks yang menunjukkan kompleksitas hubungan dengan ilustrasi struktur-fungsi dari kegiatan instruksional. Pemodelan sistem kompleks melibatkan membangun hubungan komponen-komponen sistem sehingga menuntut kemampuan analisis dan sintesis sistem. Pengalaman penalaran analisis sistem kompleks dilakukan lintas mode visual, baik *konkret*, sketsa maupun foto pada level mikroskopis, sedangkan pengalaman berpikir sintesis sistem diperoleh dengan melibatkan mahasiswa bekerja dengan representasi simbolik, gambar 2D maupun bagan atau diagram untuk memfasilitasi pengaturan keragaman struktur dan fungsi komponen sistem dalam kerangka organisasi sistem pada tingkat sel atau jaringan. Hasil analisis menunjukkan aktifitas-aktifitas pembelajaran menganalisis dan mengintegrasikan informasi dengan dibantu berbagai representasi mampu memfasilitasi penalaran mahasiswa sehingga mengalami kemajuan tingkat kompleksitasnya. Temuan ini berkonsiderasi dengan menggunakan beberapa



representasi visual menginternalisasi kemampuan berpikir (Renkl & Scheiter, 2017), membantu mahasiswa mengembangkan pemahaman yang koheren (Chiu & Linn, 2014; Schwendimann & Linn, 2016), menantang bagi mahasiswa untuk mengintegrasikan informasi (Ohle, *et. al.*, 2017) maupun membangun kerangka integrasi konseptual hubungan dinamis antara komponen (Stillings, 2012; Tang, *et. al.*, 2014).

Perkembangan keterampilan pemodelan berhubungan praktek pengujian model sistem kompleks yang sekaligus memfasilitasi penalaran temporal yang melibatkan mahasiswa menggunakan MERs untuk praktek argumentasi dengan *stand point* yang dihubungkan dengan adaptasi tumbuhan. Pemanfaatan model dalam argumentasi mampu memfasilitasi mahasiswa menghadirkan bukti-bukti maupun membuat penjelasan dengan model untuk memprediksi perilaku sistem akibat adaptasi dengan lingkungan. Hal ini mengindikasikan penggunaan model untuk mengedepankan bukti-bukti secara argumentatif untuk menyajikan klaim pengetahuan akan berperan dalam pembangunan pengetahuan (Mendonca & Justi, 2014), dimana keterlibatan praktek argumentatif dapat mendorong pemikiran kritis siswa, refleksi, dan evaluasi bukti-bukti dari klaim pengetahuan (Bathgate, *et. al.*, 2015). Inisiasi secara bertahap dari praktek pemodelan tersebut menyediakan pengalaman untuk membangun kerangka hubungan kompleks yang menyediakan penjelasan kausal dari fenomena yang dimodelkan (Mayer & Krajcik, 2015).

Berdasarkan uraian di atas, model MRSA mampu menyediakan praktek penalaran dengan MERs yang sekaligus memfasilitasi kegiatan pemodelan yang dapat mempromosikan penalaran berbasis model dan mengembangkan mekanisme kausal struktur dan perilaku komponen mikroskopis untuk merepresentasikan penjelasan fenomena pada tingkat makroskopis (Cooper, *et. al.*, 2017). Hal ini relevan dengan pendapat bahwa, pengalaman menangani representasi fenomena *konkret* dan membuat diagram hipotetik mengarahkan berimplikasi terhadap kemampuan metamodeling dan sekaligus memfasilitasi praktek pemodelan mulai dari *konkret* hingga abstrak dan penalaran sistem kompleks (Fortus, *et. al.*, 2016). Namun demikian, perlu diuji bagaimana konsistensi kompleksitas penalaran dengan MERs maupun keterampilan pemodelan sistem, karena berdasarkan analisis data menunjukkan bahwa belum banyak mahasiswa yang mampu mencapai level amat baik dalam pemodelan sistem kompleks. Sehingga perlu pengujian desain instruksional pada konteks sistem yang lain (Hokayem & Gotwals, 2016).

SIMPULAN

Instruksional pada model pembelajaran MRSA memfasilitasi mahasiswa melakukan penalaran dengan MERs sekaligus memberikan pengalaman bagaimana menangani model pada tingkat makroskopis hingga mikroskopis, dari *konkret* hingga abstrak serta mengintegrasikan dalam kerangka hubungan kompleks. Pengalaman tersebut memberikan dampak terhadap keterampilan pemodelan sistem kompleks.



SARAN

Perlu dilakukan pengujian pada konteks lain model pembelajaran MRSA serta pengujian konsistensi kompleksitas penalaran dengan MERs maupun keterampilan pemodelan sistem kompleks.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) yang telah mendanai Penelitian Disertasi Doktor serta Ketua Program Studi Pendidikan Biologi yang telah memberikan ijin pelaksanaan penelitian.

DAFTAR RUJUKAN

- Anderson, T. R., Schönborn, K. J., du Plessis, L., Gupthar, A. S., & Hull, T. L. (2013). Identifying and Developing Students' Ability to Reason with Concepts and Representations in Biology. In Treagust, D.F & Tsui, C.Y (Eds). *Multiple Representations in Biological Education* (19-38), Dordrecht: Springer.
- Bathgate, M., Crowell, A., Schunn, C., Cannady, M., & Dorph, R. (2015). The Learning Benefits of Being Willing and Able to Engage in Scientific Argumentation. *International Journal of Science Education*, 37(10), 1590-1612.
- Buckley, B. C., Gobert, J. D., Horwitz, P., & O'Dwyer, L. M. (2010). Looking Inside the Black Box: Assessing Model-Based Learning and Inquiry in BioLogica™. *International Journal of Learning Technology*, 5(2), 166-190.
- Buckley, B. C., & Quellmalz, E. S. (2013). Supporting and Assessing Complex Biology Learning with Computer-Based Simulations and Representations. In Treagust, D.F & Tsui, C.Y (Eds). *Multiple Representations in Biological Education* (247-267). Dordrecht: Springer.
- Chiu, J. L., & Linn, M. C. (2014). Supporting Knowledge Integration in Chemistry with a Visualization-Enhanced Inquiry Unit. *Journal of Science Education and Technology*, 23(1), 37-58.
- Cooper, M. M., Stieff, M., & DeSutter, D. (2017). Sketching the Invisible to Predict the Visible: from Drawing to Modeling in Chemistry. *Topics in Cognitive Science*, 9(4), 902-920.
- Eilam, B. (2012). System Thinking and Feeding Relations: Learning with a Live Ecosystem Model. *Instructional Science*, 40(2), 213-239.
- Fortus, D., Shwartz, Y., & Rosenfeld, S. (2016). High School Students' Metamodeling Knowledge. *Research in Science Education*, 46(6), 787-810.
- Gilbert, J. K., & Justi, R. (2016). *Modelling-Based Teaching in Science Education*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Gillies, R. M., Nichols, K., & Khan, A. (2015). The Effects of Scientific Representations on Primary Students' Development of Scientific Discourse and Conceptual Understandings During Cooperative



- Contemporary Inquiry-Science. *Cambridge Journal of Education*, 45(4), 427-449.
- Graziano, S., & Ward, L. K. (2015). Benefits of Using Social Media and Collaborative Online Platforms in PBL. *International Journal of Cognitive and Language Sciences*, 2(9), 50-61.
- Hesse, F., Care, E., Buder, J., Sassenberg, K., & Griffin, P. (2015). A Framework for Teachable Collaborative Problem Solving Skills. In *Assessment and Teaching of 21st Century Skills*, (37-56). Dordrecht: Springer.
- Hokayem, H., & Gotwals, A. W. (2016). Early Elementary Students' Understanding of Complex Ecosystems: A Learning Progression Approach. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(10), 1524-1545.
- Jordan, R. C., Hmelo-Silver, C., Liu, L., & Gray, S. A. (2013). Fostering Reasoning About Complex Systems: Using the Aquarium to Teach Systems Thinking. *Applied Environmental Education & Communication*, 12(1), 55-64.
- Kali, Y., Orion, N., & Eylon, B. S. (2013). Effect of Knowledge Integration Activities on Students' Perception of the Earth's Crust as a Cyclic System. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 40(6), 545-565.
- Kim, B., Pathak, S. A., Jacobson, M. J., Zhang, B., & Gobert, J. D. (2015). Cycles of Exploration, Reflection, and Consolidation in Model-Based Learning of Genetics. *Journal of Science Education and Technology*, 24(6), 789-802.
- Liu, L., & Hmelo-Silver, C. E. (2009). Promoting Complex Systems Learning Through the Use of Conceptual Representations in Hypermedia. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 46(9), 1023-1040.
- Mayer, K., & Krajcik, J. (2015). Designing and Assessing Scientific Modeling Tasks. In *Encyclopedia of Science Education* (291-297). Dordrecht: Springer.
- Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2014). An Instrument for Analyzing Arguments Produced in Modeling-Based Chemistry Lessons. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(2), 192-218.
- Nichols, K., Gillies, R., & Hedberg, J. (2016). Argumentation-Based Collaborative Inquiry in Science Through Representational Work: Impact on Primary Students' Representational Fluency. *Research in Science Education*, 46(3), 343-364.
- Nichols, K., Hanan, J., & Ranasinghe, M. (2015). Transforming the Social Practices of Learning with Representations: A Study of Disciplinary Discourse. *Research in Science Education*, 43(1), 179-208.
- Ohle, A., McElvany, N., Oerke, B., Schnotz, W., Wagner, I., Horz, H., & Baumert, J. (2017). Development and Evaluation of a Competence Model for Teaching Integrative Processing of Texts and Pictures (BiTe). In *Competence Assessment in Education* (167-180). Cham: Springer.



- Park, S. K. (2016). Exploring the Argumentation Pattern in Modeling-Based Learning About Apparent Motion of Mars. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(1), 87-107.
- Plomp, T. (2013). Educational Design Research. In Plomp, T., & Nieveen, N. (Eds). *An Introduction to Educational Design Research*. Enschede: Netherlands Institute for Curriculum Development.: An Introduction. *Educational Design Research* (11-50). Enschede: Netherlands Institute for Curriculum Development.
- Renkl, A., & Scheiter, K. (2017). Studying Visual Displays: How to Instructionally Support Learning. *Educational Psychology Review*, 29(3), 599-621.
- Schwendimann, B. A., & Linn, M. C. (2016). Comparing Two Forms of Concept Map Critique Activities to Facilitate Knowledge Integration Processes in Evolution Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(1), 70-94.
- Stillings, N. (2012). Complex Systems in the Geosciences and in Geoscience Learning. *Geological Society of America Special Papers*, 486, 7-111.
- Sumarno, Ibrahim, M., & Supardi, Z. I. (2018). Complexity of Student's Argument in Reasoning Plant Tissue System Through Multiple Representations. *International Conference on Mathematics and Science Education (ICMScE 2018)* (pp. 1-6). Bandung, Indonesia: Pascasarjana UPI, Universitas Pendidikan Indonesia.
- Suzuki, K., Yamaguchi, E., & Hokayem, H. (2015). Learning Progression for Japanese Elementary Students' Reasoning About Ecosystems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 167, 79-84.
- Svoboda, J., & Passmore, C. (2013). The Strategies of Modeling in Biology Education. *Science & Education*, 22(1), 119-142.
- Tang, K. S., Delgado, C., & Moje, E. B. (2014). An Integrative Framework for the Analysis of Multiple and Multimodal Representations for Meaning-Making in Science Education. *Science Education*, 98(2), 305-326.
- Tripto, J., Assaraf, O. B. Z., & Amit, M. (2013). Mapping What They Know: Concept Maps as an Effective Tool for Assessing Students' Systems Thinking. *American Journal of Operations Research*, 3(1A), 245-258.
- Tsui, C. Y., & Treagust, D. F. (2013). Secondary Students' Understanding of Genetics Using BioLogica: Two Case Studies. In *Multiple Representations in Biological Education* (pp. 269-292). Springer, Dordrecht.
- Tytler, R., & Prain, V. (2010). A Framework for Re-Thinking Learning in Science from Recent Cognitive Science Perspectives. *International Journal of Science Education*, 32(15), 2055-2078.
- van Mil, M. H., Boerwinkel, D. J., & Waarlo, A. J. (2013). Modelling Molecular Mechanisms: A Framework of Scientific Reasoning to Construct Molecular-Level Explanations for Cellular Behaviour. *Science & Education*, 22(1), 93-118.



-
- Verhoeff, R. P., Boersma, K. T., & Waarlo, A. J. (2013). Multiple Representations in Modeling Strategies for the Development of Systems Thinking in Biology Education. In Treagust, D. F., & Tsui, C. Y., *Multiple Representations in Biological Education*, (331-348). Dordrecht: Springer.
- Wang, T. L., & Tseng, Y. K. (2018). The Comparative Effectiveness of Physical, Virtual, and Virtual-Physical Manipulatives on Third-Grade Students' Science Achievement and Conceptual Understanding of Evaporation and Condensation. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(2), 203-219.

