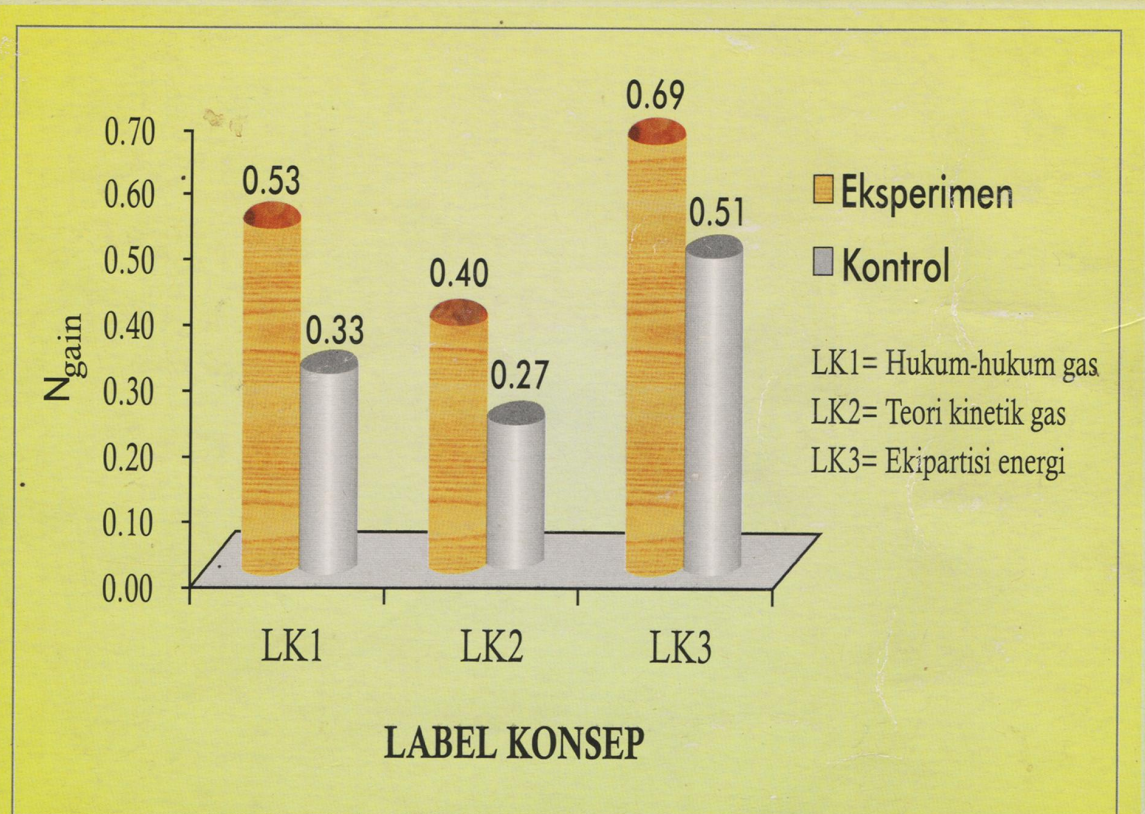


Jurnal

Penelitian Pendidikan IPA



Diterbitkan oleh:

Program Studi Pendidikan IPA

Sekolah Pascasarjana Universitas Pendidikan Indonesia

Bekerjasama dengan Himpunan Sarjana Pendidikan IPA Indonesia



Penyunting Ahli :

Liliasari*

*Prodi Pendidikan IPA Sekolah Pascasarjana UPI

Penggunaan Multipel Representasi pada Penyusunan Argumen untuk Meningkatkan Penguasaan Konsep Fisika Kuantum

Abdurrahman

Pendidikan MIPA, FKIP Universitas Lampung.

Abstract: *This study was aimed to enhance pre-service physics students' quantum physics concepts mastery through multiple representations-based instructions. In the learning process students were involved in using the Science Writing Heuristic (SWH) approach where they are engaged to use the argument structure of claims, evidence, and reflections in completing the written report on their group discussions and investigations. The quasi experiment One-Group Pretest-Posttest Design has been used. The research results indicated that students who constructed their arguments by embedded multiple representations also constructed well arguments and enhanced their quantum physics concepts mastery significantly.*

Key words: multiple representations, arguments, quantum physics concepts mastery

Pendahuluan

Pendidikan sains memiliki peran strategis dalam meningkatkan kualitas sumber daya manusia Indonesia. Sebagai bagian dari masyarakat dunia, kita tidak dapat lepas dari pengaruh perkembangan dan produk sains berupa teknologi yang semakin luar biasa. Dunia yang kita diami ini, akan senantiasa terus dipenuhi dengan produk sains yang membuat setiap orang membutuhkan pengetahuan dan cara berpikir ilmiah tentang sains (NRC, 2003). Dengan demikian, sains yang sarat akan kegiatan berpikir dapat menjadi wahana untuk meningkatkan kualitas sumber daya manusia (SDM) Indonesia, terutama untuk membangun keterampilan berpikirnya. Pembentukan keterampilan ini sangat menentukan dalam membangun kepribadian dan pola tindakan insan Indonesia, oleh karena itu modus pemberdayaan pembelajaran sains harus dikembangkan pada pembekalan keterampilan berpikir tingkat tinggi (Liliasari, 2007).

Pendidikan sains juga dapat membantu seseorang untuk mengembangkan pemahaman dan kebiasaan berpikir, sehingga mereka memiliki sejumlah kemampuan untuk menjamin kelangsungan hidupnya (Rutherford & Ahlgren, 1990). Sehubungan dengan upaya ini, guru dan calon guru sains sebagai ujung tombak pendidikan sains perlu dibangun keterampilan berpikirnya (Liliasari, 2005).

Fisika sebagai bagian dari sains, memiliki catatan panjang dan penuh keberhasilan dalam menciptakan pengetahuan baru yang diaplikasikan pada berbagai pengalaman manusia dalam skala luas dan mendorong pengembangan teknologi. Fisika adalah jantung informasi baru dan teknologi komunikasi yang telah mengubah kehidupan kita secara drastis dalam dekade terakhir. Dari pandangan global dan historis, fisika, sebagai suatu mata pelajaran, sungguh luar biasa sukses dalam sejumlah bidang, menyediakan secara instan metode lebih generik dalam analisis menyelesaikan masalah kompleks dalam kehidupan manusia. Namun fisika, sebagai mata pelajaran di sekolah,

belum mendapatkan tanggapan atau respon yang baik dari peserta didik. Oleh karena itu, fisikawan atau guru bahkan peminat fisika umumnya mempunyai masalah sangat besar dalam upaya menyajikan fisika secara lebih bermakna dan membuat generasi muda tertarik belajar fisika (Euler, 2004).

Para pendidik fisika baik di sekolah menengah maupun di perguruan tinggi menghadapi sebuah kenyataan bahwa fisika merupakan mata pelajaran tidak menarik dan tidak diminati, terutama topik fisika modern atau fisika kuantum. Di pihak lain ilmu pengetahuan dan teknologi modern saat ini berkembang sebagai hasil dari pengembangan dan penelitian ilmu fisika, terutama pada topik tersebut (Zollman, 2002). Fisika kuantum merupakan basis utama kita untuk memahami alam semesta, namun terkadang kebanyakan perkuliahan atau pembelajaran konsep ini berupaya untuk mengabaikannya (Hobson, 1996). Fisika kuantum sebenarnya dapat menjadi suatu bidang kajian yang sangat menarik bagi siswa, namun kebanyakan mereka menganggap fisika kuantum merupakan materi fisika yang sangat abstrak dan secara konseptual sulit dipahami (Asikainen et.al, 2005).

Terdapat dua kendala yang membuat fisika tidak memiliki daya tarik di mata siswa. Pertama, ternyata masih banyak guru yang penguasaan konten fisiknya belum begitu memuaskan, terutama penguasaan konsep fisika kuantum. Berdasarkan penelitian Bao dan Redish (2003) banyak guru-guru fisika yang penguasaan konsep fisika berada dalam level sangat rendah. Kedua, tingkat pengetahuan dan keterampilan guru dalam mengembangkan pembelajaran fisika yang menarik dan inovatif masih menjadi halangan dalam kesuksesan pembelajaran di kelas (Eylon & Bagno, 2006). Padahal Bao dan Redish (2003) menyatakan bahwa walaupun topik fisika kuantum termasuk kajian yang sangat abstrak dan sulit dipahami, tetapi sebenarnya dikembangkan dari konsep-konsep fisika klasik dan kaya akan representasi yang dapat menjadi daya tarik siswa untuk mempelajarinya.

Fisika sebagai sebuah mata pelajaran, dalam menguasainya membutuhkan pemahaman dan kemampuan cara representasi yang berbeda-beda untuk konsep yang sedang dipelajari. Namun, ketidakmampuan siswa menggunakan pemahaman multimode (multicara) memahami konsep fisika tampaknya telah menjadi halangan/batas pemahaman mereka menguasai konsep (Gunel et.al, 2006). Dengan kata lain kemampuan penguasaan konsep fisika sangat berkaitan dengan bagaimana menggunakan berbagai bahasa sains dalam pembelajaran fisika seperti kata (oral dan menulis), visual (gambar, grafik, simulasi), simbol dan persamaan, aktivitas *hands-on*, gerak-gerik tubuh (*gesture*), bermain peran, presentasi dan lain-lain, yang akan memungkinkan mahasiswa mempelajari fisika melalui pengembangan kemampuan mental berpikir dengan baik, inilah yang dinamakan pendekatan *multimodal* representasi (Waldrip, 2008; 2010).

Sejauh ini multipel representasi memainkan peranan penting dalam membantu siswa mengkonstruksi pemahaman mendalam dalam mempelajari sains (Ainsworth, 2006). Berbagai penelitian sebelumnya yang memfokuskan pada kemampuan siswa menggunakan multipel representasi dalam aktivitas menulis dalam konteks inkuiri sains, menunjukkan bahwa menulis teks, termasuk argumen mengenai sains, sangat membantu mereka dalam memahami konsep sains yang mereka pelajari dan mengembangkan kemampuan literasi sains (Lemke, 1998; Osborne, 2005; Waldrip et al, 2010; Hand and Choi, 2010).

Sebagai pengembangan dari penelitian sebelumnya, penelitian ini mencoba untuk menguji kehandalan penggunaan multipel representasi yang digunakan mahasiswa calon guru fisika dalam menyusun argumen sebagai sebuah representasi. Argumen yang dibuat menggunakan pendekatan *Science Writing Heuristic* (SWH) (Keys et al. 1999) yang sudah dilengkapi dengan *template* (lihat table 1). *Template* SWH adalah bentuk format penulisan semi struktur yang mengarahkan penulisan argumen mahasiswa untuk melaporkan hasil diskusi dan investigasi kelompok dengan menggunakan komponen argumen seperti pertanyaan (*questions*), klaim (*claims*), fakta/data (*evidence*), dan refleksi (*reflection*) dalam pembelajaran fisika kuantum. Penelitian ini memfokuskan pada kreativitas dan aktivitas mahasiswa dalam penyusunan komponen argumen klaim (*claims*) dan fakta/data (*evidence*), dan refleksi (*reflection*) yang melibatkan multipel representasi.

Tabel 1. Template SWH untuk mahasiswa (Keys et al, 1999)

| <i>Phase</i> | <i>Questions related to phase</i> |
|---------------------------|--|
| <i>Beginning ideas</i> | <i>What are my questions?</i> |
| <i>Tests</i> | <i>What did I do?</i> |
| <i>Observations</i> | <i>What did I see?</i> |
| <i>Claims</i> | <i>What can I claim?</i> |
| <i>Evidence</i> | <i>How do I know? Why am I making these claims?</i> |
| <i>Reading/Reflection</i> | <i>How do my ideas compare with others? How have my ideas changed?</i> |

Metode

Penelitian ini menggunakan metode kuasi eksperimen. Desain penelitian digunakan adalah *One-Group Pretest-Posttest Design* (Gall et al. 2003). Dengan menggunakan desain ini, terlebih dahulu dipilih dari satu kelas sebanyak 19 orang mahasiswa menjadi kelompok eksperimen tanpa kelompok kontrol (pembanding). Selanjutnya kelompok eksperimen mahasiswa ini mendapatkan pre-tes sebelum perlakuan, kemudian terlibat dalam pembelajaran berbasis multipel representasi dengan aktivitas menulis argumen, setelah itu dilakukan post-tes. Efek dari perlakuan ditentukan dengan membandingkan skor pre-tes dan post-tes. Dua topik fisika kuantum yang menjadi bahasan utama adalah Efek Fotolistrik dan Model Atom Bohr. Penulisan argumen dilakukan mahasiswa sebagai laporan diskusi konsep esensial dan investigasi kelompok melalui aktivitas laboratorium virtual melalui simulasi *on-line* gejala kuantum dari <http://phet.colorado.edu>. Keseluruhan argument diberikan skor berdasarkan rubrik yang dikembangkan oleh Hand and Choi (2010). Penghargaan kelompok sebagai ciri utama pembelajaran kooperatif dilakukan dengan pemberian skor sesuai dengan rubrik yang dikembangkan secara holistik oleh Hand and Choi tersebut.

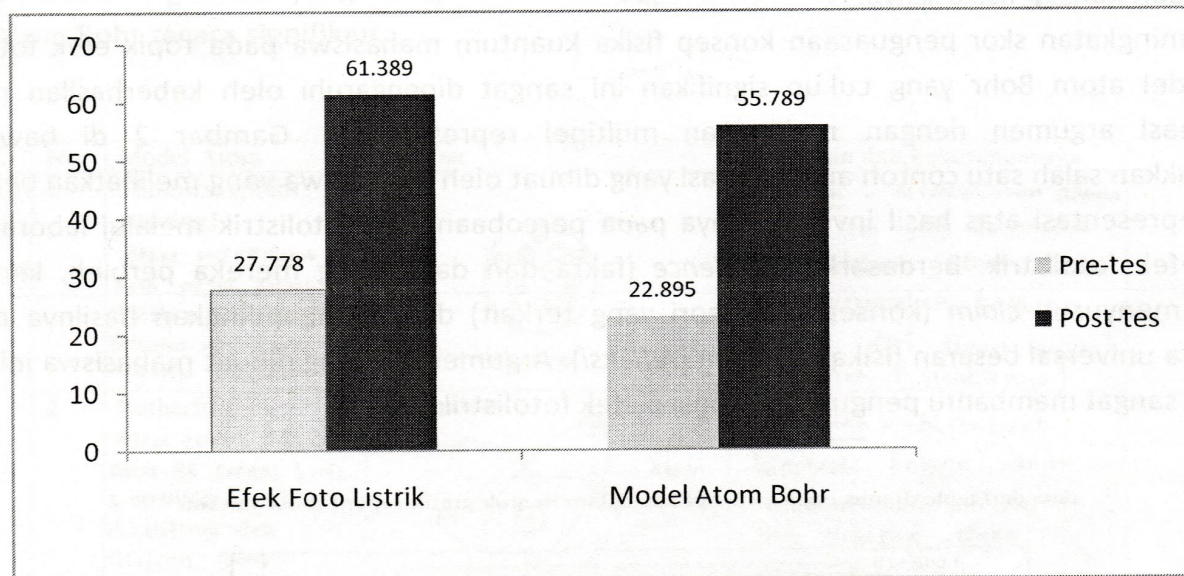
Tabel 2 Matrik penskoran argument secara holistik
(Diadaptasi dari Hand and Choi, 2010)

| Point | Criteria |
|-------|--|
| 2 | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Very weak argument</i> • <i>Unstable questions, invalid claims, and unreliable evidence</i> • <i>Very weak connection between questions, claims, and evidence</i> • <i>Do not flow smoothly from one are to another</i> |
| 4 | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Weak argument</i> • <i>May be Unstable questions, invalid claims, unreliable evidence may not have reflection</i> • <i>Week connection between questions, claims, and evidence</i> • <i>May not flow smoothly from one are to another</i> |
| 6 | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Moderate argument</i> • <i>May be significant questions, adequate claims, and appropriate evidence and reflection</i> • <i>Moderate connection between questions, claims, and evidence</i> • <i>May flow smoothly from one are to another</i> |
| 8 | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Powerful/enriched argument</i> • <i>Significant questions, valid claims, and strong evidence and meaningful reflection</i> • <i>Strong connection between questions, claims, and evidence</i> • <i>Flow nicely from one are to another</i> |
| 10 | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Very powerful/enriched argument</i> • <i>Essential questions, very sound claims, and very strong evidence and very meaningful reflection</i> • <i>Very strong connection between questions, claims, and evidence</i> • <i>Flow very nicely from one are to another</i> |

Hasil dan Pembahasan

Proses pembelajaran fisika kuantum berbasis multipel representasi dalam penelitian ini telah berhasil melibatkan mahasiswa dalam berbagai pengalaman belajar yang memberikan kesempatan kepada mereka mempelajari konsep-konsep fisika kuantum melalui penyajian dan pengembangan berbagai format representasi seperti representasi verbal baik oral (melalui diskusi dan presentasi) maupun tulisan (menulis sejumlah argumentasi tentang hasil kajian konsep fisika kuantum), representasi visual baik yang bersifat statik (gambar, grafik, tabel, atau diagram) maupun yang bersifat dinamik (simulasi dan animasi gejala kuantum), representasi simbolik dan matematika, serta aktivitas laboratorium *virtual*.

Gambar 1. di bawah ini menunjukkan perbandingan rata-rata skor pre-tes dan post-tes pada konsep efek fotolistrik dan model atom Bohr. Kenaikan skor yang cukup signifikan dari pre-tes ke post test berturut-turut sebesar 33,6 untuk konsep efek fotolistrik dan 32,9 untuk konsep model atom Bohr, menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis multipel representasi efektif untuk meningkatkan penguasaan konsep fisika.



Gambar 1. Skor pre-tes dan post-tes konsep Efek Fotolistrik dan Model Atom Bohr

Uji *U Mann Whitney* perbedaan skor pre-tes dan post-tes untuk kedua topik menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p=0.000$). Hasil ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis multipel representasi efektif dalam meningkatkan penguasaan konsep efek fotolistrik dan model atom Bohr mahasiswa calon guru fisika secara signifikan.

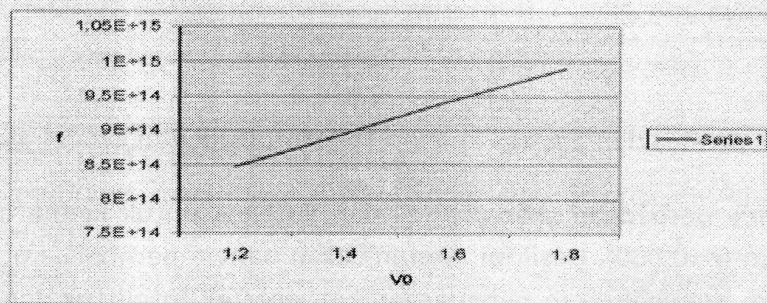
Keberhasilan pembelajaran berbasis multirepresentasi pada konsep-konsep sains dan fisika telah cukup banyak dilaporkan oleh berbagai peneliti lainnya. Keterlibatan siswa dalam membuat dan membangun mode representasi dalam pembelajaran sains, membantu mereka meningkatkan keterampilan inkuiri sains, termasuk pengembangan literasi sains (Waldrip *et al*, 2006). Hasil penelitian ini juga didukung oleh beberapa penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa multipel representasi sangat membantu siswa atau mahasiswa dalam meningkatkan penguasaan konsep. Gunel *et al* (2007) telah mengeksplorasi efektivitas representasi verbal menulis dan presentasi siswa sekolah menengah tentang konsep fisika kuantum khususnya topik efek fotolistrik dan model atom Bohr. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa siswa yang menggunakan format representasi menulis presentasi berupa slide *power point* dan menyajikannya pada siswa lain memiliki skor rata-rata post test yang lebih baik dari kelompok siswa yang membuat format representasi verbal berupa laporan rangkuman hasil telaah terhadap konsep-konsep tersebut melalui berbagai referensi.

Heuvelen dan Zou (2001) dalam penelitiannya tentang konsep usaha energi pada mahasiswa fisika dasar yang melibatkan mahasiswa pada berbagai format representasi seperti verbal, gambar, *bar-chart*, dan representasi matematika, melaporkan bahwa pembelajaran berbasis multipel

representasi dapat meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam menyelesaikan masalah-masalah fisika dan meningkatkan pencapaian konsep secara signifikan. Podolefsky dan Finkelstein (2007) telah mengeksplorasi kemampuan siswa dalam membuat analogi konsep-konsep gelombang elektromagnetik (EM) sebagai bagian dari keterampilan membangun format representasi fisika dan menunjukkan bahwa analogi sebagai bagian dari format representasi dapat meningkatkan penguasaan konsep fisika siswa.

Peningkatan skor penguasaan konsep fisika kuantum mahasiswa pada topik efek fotolistrik dan model atom Bohr yang cukup signifikan ini sangat dipengaruhi oleh keberhasilan mereka mengkreasi argumen dengan melibatkan multipel representasi. Gambar. 2 di bawah ini menunjukkan salah satu contoh argumentasi yang dibuat oleh mahasiswa yang melibatkan beberapa mode representasi atas hasil investigasinya pada percobaan efek fotolistrik melalui laboratorium virtual efek fotolistrik. Berdasarkan *evidence* (fakta dan data) yang mereka peroleh, kemudian mereka menyusun *claim* (konsep dan teori yang terkait) dan membandingkan hasilnya dengan konstanta universal besaran fisika kauntum (*refleksi*). Argumentasi yang dibuat mahasiswa ini cukup baik dan sangat membantu penguasaan konsep efek fotolistrik.

data dari table di atas dapat ditampilkan dalam bentuk grafik seperti di bawah ini.



Grafik 4.1 energi kinetik elektron fotolistrik

Grafik di atas menunjukkan bahwa tegangan pemberhenti berbanding lurus dengan frekuensinya. Konstanta Planck dapat ditentukan dari grafik dengan mengidentifikasi kemiringan grafik yang terbaca dari persamaan regresi sebagai $(\frac{h}{e})$ sehingga diperoleh:

$$\frac{e}{h} = \frac{\Delta V}{\Delta \nu} = \frac{(0,9901 - 0,9434)10^{15}}{0,2}$$

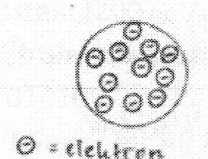
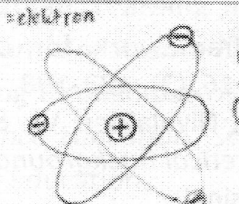
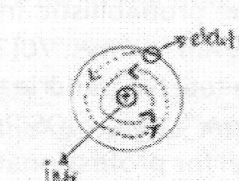
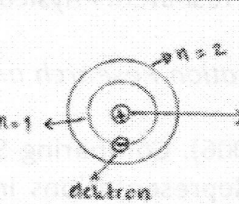
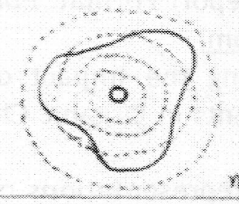
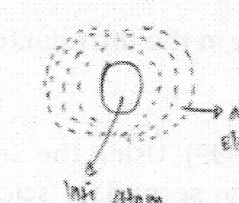
$$\frac{e}{h} = \frac{0,0467 \times 10^{15}}{0,2} = 0,2335 \times 10^{15}$$

$$h = \frac{1,6 \times 10^{-19}}{0,2335 \times 10^{15}} = 6,85 \times 10^{-34} \text{ js}$$

Nilai h yang dihasilkan dari percobaan ini hampir mendekati tetapan planck yang bernilai $6,626 \times 10^{-34}$ js. Dari percobaan ini, selain dapat menentukan nilai h, dapat ditentukan pula nilai frekuensi ambang (f_0) dengan menggunakan persamaan garis lurus.

Gambar 2. Contoh argumen yang ditulis mahasiswa (meliputi claim, evidence, dan refleksi) pada konsep efek foto listrik dengan melibatkan representasi verbal, grafik, dan matematika

Gambar 3 di bawah ini memperlihatkan bagaimana mahasiswa menyusun argumennya tentang konsep model atom Bohr dibandingkan dengan model-model atom lainnya yang memungkinkan mahasiswa memahami model atom Bohr secara komprehensif. Tiga mode representasi digunakan dalam membangun argumen tersebut, yaitu verbal (teks), gambar, dan simbolik, yang menunjukkan bahwa mahasiswa calon guru fisika mempunyai kemampuan menyusun struktur sebuah argument yang cukup baik, sehingga mampu meningkatkan penguasaan konsep model atom Bohr secara signifikan.

| No | Model Atom | Gambar | Kelebihan dan kekurangannya |
|----|--|---|---|
| 1 | Thomson (plum pudding) Atom merupakan bola pejal bermuatan positif & didalamnya tersebar muatan negatif elektron. |  | <u>Kelebihan</u> = mencubukikan adanya partikel lain yang bermuatan negatif dalam atom. Berarti atom merupakan bagian terkecil dari suatu unsur (langka & sebatikannya) |
| 2 | Rutherford Atom terdiri dari inti atom yg sangat kecil & bermuatan positif, dikelilingi oleh elektron yang bermuatan negatif. |  | <u>Kelebihan</u> = Membuat hipotesis bahwa atom tersusun dari inti atom dan elektron yang mengelilingi inti |
| 3 | Classical Solar System elektron mengelilingi inti dg garis & yg semakin kecil & akhirnya elektron masuk ke dalam inti. |  | <u>Kelemahan</u> = kesimpulan model atom ini bukan benar karena atom akan memancarkan energi dan akhirnya bertemu dg inti |
| 4 | Bohr "elektron" mengelilingi inti pada lintasan tertentu yang disebut kulit elektron / tingkat energi. |  | <u>Kelebihan</u> : Atom terdiri dari beberapa kulit untuk tempat berpindahnya elektron <u>Kelemahan</u> : Tidak dapat menjelaskan efek Zeeman dan efek Stark. |
| 5 | De Broglie |  | <u>Kelemahan</u> : hanya berlaku untuk atom hidrogen <u>Kelebihan</u> = cukup menjelaskan lintasan energi & spektrum warna dari perpindahan elektron dari setiap kulit |
| 6 | Schrodinger (Mekanika kuantum) Inti atom dikelilingi oleh awan elektron |  | <u>Kelemahan</u> : Persamaan gelombang Schrodinger hanya dapat diterapkan secara eksak untuk partikel dalam kotak & atom dengan elektron tunggal |

Gambar 3. Contoh argumen yang ditulis mahasiswa (meliputi claim dan evidence) pada konsep model atom bohr dengan melibatkan representasi verbal, simbolik, dan gambar (pictorial)

Kesimpulan

Dalam penelitian ini telah dilakukan implementasi strategi pembelajaran fisika kuantum berbasis multipel representasi bagi mahasiswa calon guru fisika. Melibatkan mahasiswa dengan berbagai format representasi fisis seperti verbal, visual, simbolik, matematika, dan aktivitas *hands-on* dalam menulis argumentasi dan presentasi, serta aktivitas laboratorium virtual, telah mampu meningkatkan penguasaan konsep fisika kuantum secara signifikan. Pembelajaran fisika kuantum berbasis multipel representasi pada studi ini juga berimplikasi pada pentingnya pembekalan sejumlah pengetahuan dasar keguruan seperti *Content Knowledge (CK)*, *pedagogical content knowledge (PCK)* dan *pedagogical knowledge (PK)* bagi mahasiswa calon guru fisika melalui pembelajaran fisika yang inovatif, salah satunya dengan menerapkan pembelajaran berbasis multipel representasi.

Daftar Rujukan

- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations *Learning and Instruction* 16, (3), 183-198.
- Asikainen, M., Hirvonen, P. E., Heikkinen, M., Nivalainen V., & Viiri, J. (2005). *A novel quantum physics course for physics teachers: theoretical background*. The report of cooperation project between Universities of Joensuu and Helsinki.
- Bao, L. and Redish, E. F. (2003). Understanding probabilistic interpretation of physical systems: A prerequisite to learning quantum physics. *Am. J. Phys.* 70(3):210-217.
- Euler, M. (2004). The role of experiment in the teaching and learning of physics. *Proceedings of the international school of physics "Enrico Fermi"*. Italia : IOS Press.
- Eylon and Bagno. (2006). Research-design model for professional development of teachers: Designing lessons with physics education research. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research* 2, 020106 (2006).
- Gall, M.D., Gall, J.P., & Borg, W.R. (2003). *Education Research an Introduction*. (7th Edition). Pearson Education. Inc.
- Gunel, M., Brian Hand, & Sevket Gunduz. (2006). Comparing Student Understanding of Quantum Physics When Embedding Multimodal Representations into Two Different Writing Formats: Presentation Format Versus Summary Report Format. *Published online 20 July 2006 in Wiley Inter Science*. (www.interscience.wiley.com)
- Hand, Brian. & Choi, Aeran (2010). Examining the Impact of Student Use of Multiple Modal Representations in Constructing Arguments in Organic Chemistry Laboratory Classes. *Res Sci Educ* (2010) 40:29–44: Springer.
- Heuvelen, Van & X. L. Zou,. (2001). Multiple representations of work-energy processes. *American Journal of Physics* 69 (2), 184 (2001)
- Hobson, Art. (1996). Teaching Quantum Theory in the Introductory Course. *The Physics Teacher* April 1996, pp. 202-210.
<http://phet.colorado.edu>.
- Keys, C. W., Hand, B., Prain, V., & Collins, S. (1999). Using the Science Writing Heuristic as a tool for learning from laboratory investigations in secondary science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 1065–1084.
- Lemke, J. (1998). Multiplying meaning: Visual and verbal semiotics in scientific text. In J. R. Martin & R. Veel (Eds.). *Reading science* (pp.87-113). London: Routledge.

- Liliasari (2005). Membangun Keterampilan Berpikir Manusia Indonesia melalui Pendidikan Sains. *Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar Pendidikan IPA, Uinversitas Pendidikan Indonesia*. Bandung : Tidak diterbitkan.
- Liliasari. (2007). Scientific Concepts and Generic Science Skill Relationship in The 21st Century Science Education. *Proceeding The 1st International Seminar on Science Education*. Science Education Program. Bandung : Graduate Scholl Indonesia University of Education.
- NRC. (2003). *National Science Education Standards : Standards for Science Teacher Preparation*. Washington DC: National Academy Press.
- Osborne, J. (2005). The role of Argument in Science Education. In Boersma, K et al. (Eds), *Research and The Quality of Science Education*. (pp. 367-380). Dordrecht: Springer.
- Podolefsky , N. D and Noah D. Finkelstein.(2007). Analogical scaffolding and the learning of abstract ideas in physics: An example from electromagnetic waves. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research* 3, 010109-2007.
- Rutherford, J.I. & Ahlgren, A. (1990). *Science for All Americans*. Oxford: Oxford University Press, Inc.
- Waldrip, B, Prain, V & Carolan, J. (2006). Learning Junior Secondary Science through Multi-Modal Representations. *Electronic Journal of Science Education*. Preview Publication for Vol. 11, No. 1
- Waldrip, B. (2008). Improving learning through use of representations in science. *Proceeding The 2nd International Seminar on Science Education*. Science Education Program. Bandung :Graduate School Indonesia University of Education.
- Waldrip, B., Prain, V., & Carolan, J. (2010). Using multi-modal representations to improve learning in Junior Secondary Science. *Res. Science Education* (2010) 40:65-80
- Zollman, D. A., Rebello, N. S. and Hogg, K. (2002). Quantum mechanics for everyone: Hands-on activities integrated with technology. *Am. J. Phys.* 70(3):252-259.