

DEVELOPMENT OF SCIENCE TEXTBOOK BASED ON SCIENTIFIC LITERACY FOR SECONDARY SCHOOL

A. Rusilowati*, S. E. Nugroho, S. M. E. Susilowati

Postgraduate Program, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Received: 20 Mach 2016. Accepted: 20 June 2016 . Published: July 2016

ABSTRACT

The purpose of this research is to develop scientific literacy-based science text books and to determine the characteristics, validity, readability, as well as the effectiveness of the textbooks. The study started with product development and then continued by feasibility test and readability test. Feasibility test was done with the respondent of lecturer and science teachers of VII, VIII, IX grade at SMP N at Central Java. Readability test used cloze test that filled by VII, VIII, and IX grade students at that schools. The data analysis was done with percentage discription and t-test. The study results in feasibility test showed that the developed literacy science textbook has average score 90,74%. It means the literacy science textbook is suitable. Based on the readability test result, science literacy textbook is easy to learn. The average of score of cloze test was 88,14%. The effectiveness of the developed science textbook was classified as an effective stimulant to increase students' scientific literacy.

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan buku ajar IPA berbasis literasi sains, menentukan karakteristik, kevalidannya, tingkat keterbacaan, dan keefektifannya. Penelitian pengembangan ini dimulai dengan analisis kebutuhan, penyusunan tema, pengembangan buku ajar, uji kevalidan dan keterbacaan buku yang telah dikembangkan. Validasi dilakukan oleh dosen dan guru IPA kelas VII, VII, IX. Uji validitas, tingkat keterbacaan dan keefektifan buku dilakukan di SMP N di Jawa Tengah. Subjek ujicoba adalah siswa kelas VII, VIII, IX. Teknik analisis data menggunakan deskriptif persentase untuk uji kevalidan dan keterbacaan, dan uji t untuk keefektifan. Hasil validasi menunjukkan seluruh buku yang dikembangkan adalah valid dengan rata-rata skor 90,74% berada pada kategori sangat valid. Skor rata-rata tingkat keterbacaan sebesar 88,14% beradapada kategori mudah dipahami. Buku ajar yang dikembangkan efektif untuk meningkatkan kemampuan literasi sains.

© 2016 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: science textbook; scientific literacy

INTRODUCTION

Understanding and using science concepts in daily life problems and simple technology is the goal of science education. Based on that goal, education must focus on scientific literacy as stated by *National Research Council* (1996). Science education has been applied in Indonesia for years, but the result for Indonesia in international level especially for scientific literacy is still poor. Based on Hayat & Yusuf (2011) and the OECD (2015), the *Programme*

for International Student Assesment (PISA) results for Indonesian students scientific literacy are as follow in Table 1. All the results were under international mean score that is 500.

Table 1. The Score and Rank of Indonesian Student Scientific Literacy at PISA

Year	Score	Rank
2000	393	38 from 41 countries
2003	395	38 from 40 countries
2006	393	50 from 57 countries
2009	383	60 from 65 countries
2012	383	64 from 65 countries

*Correspondence Address:
Gedung A Kampus Bendan Ngisor Semarang 50233
E-mail: rusilowati@yahoo.com

Scientific literacy defined by OECD (*Organization for Economic Co-operation and Development*) as an ability to conclude and to solve problem about nature and interaction between nature and society (Nbina & Obomanu, 2010). The factors that influence student's scientific literacy result are the textbook selection and the lowness of student's scientific literacy (Rusilowati, Susilowati & Nugroho, 2015). Textbook is the learning source that connected directly to the students. A science textbook that based on scientific literacy must has some basics categories (Chiapetta, Filman & Sethna, 1991). Those basics categories are science as the body of knowledge, science as the investigative nature, science as a way of thinking, and Interaction of science, technology and society. Rusilowati, Susilowati & Nugroho (2015) added in interaction category with environment.

1. *Science as the body of knowledge.*
This category typifies most textbook and presents information to be learned by the reader. Textbook materials in this category are presents facts, concepts, principles, laws, hypotheses, theories, models and asks student to recall knowledge or information.
2. *Science as the investigative tools of nature.*
This category reflects the active aspects of inquiry and learning, which involves the student in the methods and processes of science such as observing, measuring, classifying, inferring, recording data, making calculations, experimenting, etc.
3. *Science as a way of thinking.*
This aspects of the nature of science represent thinking, reasoning, and reflection, where the student is told about how the scientific enterprise operates.
4. *Interaction of science, environment, technology, and society.*
This aspects of scientific literacy pertains to the application of science and how technology helps or hinders humankind.

Scientific literacy content on the science textbook that used in common schools especially for secondary school had not balance (Yuliyanti & Rusilowati, 2014). It's appropriate to the Hastiti's study result (2014) and Rusilowati (2013), that the contains of the scientific literacy aspects have been include in textbook, but the proportion of each aspects have not balanced. The available textbook in only concentrate in *science as a body of knowledge* aspect. This aspect present fact, concepts, principles, laws,

hypothesis, theory, model and questions and has biggest percentage, 58.24%. Student's scientific literacy can be raised by presenting the science material which interrelated with technology and society issues. One of the present issue which connect with science in society is pollution (Subiantoro, Ariyanti & Sulisty, 2013). It is obvious that the development of science textbook which encourage students to have the literacy science skills is essential to do.

METHODS

This study was used Research and Development (R&D) procedure that has been modified as potential and problem, data collecting, product design, product validation, product revision, initial product try-out, product revision, product try-out, and product revision as a final product. The product of this study is science textbook based on scientific literacy for secondary schools. Product try-out conducted in Junior High School at Central of Java. The subject of product try-out shown at Table 2.

Table 2. Subject of Product Try-out

Code of Textbook	Grade/N	School
A	VII/32	SMP N 1 Magelang
B	VII/32	SMP N 1 Purwokerto
C	VII/32	SMP N 1 Sidareja Cilacap
D	VIII/32	SMP N 24 Semarang
E	VIII/34	SMP N 1 Purwodadi
F	VIII/33	SMP N 1 Welahan Jepara
G	IX/35	SMP N 1 Boyolali
H	IX/32	SMP N 1 Ambarawa
I	IX/33	SMP N 2 Pekalongan

Based on the literatures study, the potential and problem of the research are the lowness of student scientific literacy in international level and the lack of science textbook that developed based on scientific literacy aspects at school. Data of science curriculum for secondary school and scientific literacy aspects as collected before designing the product. Product design was validated by validator.

The assessment of validity done by lecturer at Universitas Negeri Semarang and science teacher as in Table 2. Feasibility textbook

uses questioner based on National Council of Standard Education or Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) in Indonesia. The readability level of the textbook was measured by Cloze Test at Junior High School student. The textbook effectiveness was measured using pretest and posttest, with *pretest-posttest control group design* as the research design. Experimental and control group in this study are student at VII, VIII, and IX grade. The experimental group uses developed science textbook and the control group uses regular science textbook provided by the BSNP for VII, VIII, and IX grade that published by National Educational Department or Departemen Pendidikan Nasional in 2013.

Benchmark of validity categories of science literacy textbook is more than 80%. The score readability of cloze test the developed science textbook is more than 37% from each respondents. The science literacy textbook effectiveness showed that the gain of each scientific literacy aspects in experimental group with gain factor at least 0.3. Based on statistics test of both group, the result showed that statistically of the gain factor and posttest of the scientific literacy of experimental group higher than the control group's one.

RESULTS AND DISCUSSION

Results of this study are characteristics, feasibility, readability, and effectiveness of sci-

ence textbook based on scientific literacy are as follows.

Characteristics of Science Textbook Based on Scientific Literacy

The developed science textbook contains scientific literacy aspects completely. Product of the studies are nine theme of science textbook. Three theme science textbooks for each grade. Table 3 is shown the themes of product of developed science literacy textbook.

The balance proportion of the scientific literacy aspects are showed by the indicators for each aspect in every material in textbook. The aspect of science as the body of knowledge has 40% of indicators from all indicators in one material. The others aspects, science as the investigative nature, science as a way of thinking, and interaction of science, environment, technology and society have 20% of indicators for each.

Science materials are presents as integrated subject, and in this product the integration type of the materials uses *connected* model. This model relates one main topic to the next topic, one concept to the other concept, one skill to the other skill and today's work to the tomorrow's work in the study (Fogarty, 1991). Materials of science textbook are construct of some indicators. The indicators are construct of four scientific literacy aspect. Table 4 is shown the sample of indicators for construct of the material textbook theme Matter Changes in

Table 3. Theme of Science Textbook Based on Scientific Literacy

Grade	Theme	Code
VII	Knowing of Heat (Asyiknya Mengenal Kalor)	A
	Motion (Asyiknya Mempelajari Gerak)	B
	Matter Changes in Environment (Pencemaran Lingkungan dan Pemanasan Global)	C
VIII	Force Application for life (Apilkasi Gaya dalam Kehidupan)	D
	Energy and Application for Life (Apilkasi Konsep Energi dalam Kehidupan)	E
	Sound and Optic in Technology (Bunyi dan Optika dalam Teknologi)	F
IX	Electricity in Life (Listrik dan Kehidupan)	G
	Electricity for Organism and Universe (Kelistrikan pada Makhluk Hidup dan Alam Semesta)	H
	Navigation System (Sistem Navigasi)	I

Environment (Puspaningtyas, Rusilowati, Nugroho, 2015).

Indicators for construct of the other material textbook theme were constructed of four scientific literacy aspects like the Matter Changes in Environment theme.

Textbook characteristics are contain all of four scientific literacy aspects and has a balance proportion of scientific literacy aspects. Four scientific literacy aspects presented on main part in textbook, they are “Let’s go to Learn” or “Ayo Belajar (in Indonesian language)”, “Let’s go to Try” or “Mencoba Yuk (in Indonesian language)”, “Let’s go to Scientific Thinking” or “Ayo Berpikir Ilmiah (in Indonesian language)”, and “Science in Life” or “Sains dalam Kehidupan (in Indonesian language)”. “Ayo Belajar” is representation of *Science as the body of knowledge*. “Mencoba Yuk” is representation of *Science as the investigative nature*, “Ayo Berpikir Ilmiah” is representation of *Science as a way of thinking*, and “Sains dalam Kehidupan” is representation of *Interaction of Science, Invironment, Technology and Society*). Main parts of this textbook presented at Figure 1.

Especially for representation of *Interaction of Science, Technology and Society*, in this textbook conducted with environmental (Rusilowati, Susilowati & Nugroho, 2015). Schroeder, et al. (2009) were said that effectiveness of textbook looked at a content of science literacy, interested, colourful, and familiar format with student. This development of textbook to conducted with content of science lit-

eracy, interested, colourful, familiar format, and propotional of science literacy aspect is balance.



Figure 1. Feature of Science Textbook Based on Scientific Literacy (the picture of feature courtesy at internet)

Feasibility of Science Textbook Based on Scientific Literacy

Feasibility textbook aspects was used questioner based on BSNP. There aspects of feasibility are content, language, graphic, and science literacy content. Results of score feasibility textbook by validator presented at Table 5.

Table 4. Indicators to Construct Material Textbook by Scientific Literacy Theme Matter Changes in Environment.

Scientific Literacy	Indicators
Science as the body of knowledge	Mention the characteristics of material in student’s environment. Define and differentiate physics changes and chemistry changes from phenomenon in the environment. Mention the signs of chemistry changes. Differentiate mixture and non-mixture.
Science as the investigative nature	Mention the signs of chemical reaction in simple experiment. Doing mixture separation based on physics and chemistry characteristics.
Science as a way of thinking	Describe the idea development of dynamite making. Describe cause and effect from physics changes and chemistry change in rain phenomenon.
Interaction of science, environment, technology and society	Describe the work steps and benefit of water distillation technology Describe the use of science as problems solution for humankind (artificial rain technology)

The balance proportion showed on the percentage indicators for each aspect. The first aspect (Science as a way of thinking) has 40% number of all indicators, and the other aspect has 20% for each. The balance proportion of scientific literacy aspects for science textbook is 2:1:1:1. This design conducted using Wilkinson (1999) statement.

Feasibility test result was shown on Table 5. From the data, the average feasibility result got percentage >81.25%. It means the developed science textbook classified as a very feasible learning source. The result showed that the textbook as the product was well developed. The developing process was pointed from Guidance of Development of Textbook or Panduan Pengembangan Bahan Ajar that published by Department of National Educational in Indonesia or Depdiknas (2008). One of the important point for textbook development according to Department of National Educational in Indonesia or Depdiknas (2008) is that the material must be derived from competences that will be achieved. Those competences were shown as the indicators or learning objectives.

Science as the body of knowledge on this book makes the student to have compe-

tences of mentioning the characteristics of material; defining and differentiating physics and chemistry changes of environment phenomena; mentioning the chemistry changes features; and differentiating mixture and non-mixture. The other theme, competences student's are: sort the position of living creature in the food chain; describe the effects of Greenhouse Effect in life and global warming phenomenon; mention the Greenhouse Gases and the emitter technologies; mention the activity that cause the ozone layer damaged; mention the effect of Ultraviolet Radiation, mention the activity that can reduce the ozone layer damage, etc.

Science as the investigative of nature on Matter Changes in Environment theme encourage the student to have some competences. They are of mention the signs of chemical reaction in simple experiment and doing mixture separation based on physics and chemistry characteristics. Competences for Pollution and Global Warming materials are: describe the unbalance ecosystem effects; doing water filtration from grey waste water into clean water through simple experiment, and conclude the main cause of pollution based on the showed data.

Table 5. Result of Score Feasibility of Science Textbook

Theme	Validator	Content Feasibility (%)	Presentation Feasibility (%)	Language Feasibility (%)	Graphic Feasibility (%)	Science Literacy Content (%)	Average (%)	Category
A	1	87,50	86,30	88,50	89,60	88,00	89,22	Very Feasible
	2	87,50	93,80	86,50	93,80	89,80		
B	3	95,31	98,75	94,23	97,73	96,30	90,42	Very Feasible
	4	95,31	92,50	98,08	100,00	98,15		
C	5	89,71	80,00	92,31	88,46	90,74	87,34	Very Feasible
	6	85,29	85,00	84,62	86,54	90,74		
D	7	89,71	92,50	88,46	88,46	87,04	90,84	Very Feasible
	8	86,76	88,75	100,0	92,31	94,44		
E	9	90,63	90,00	90,38	90,91	87,96	91,73	Very Feasible
	10	95,31	88,75	98,08	97,73	84,26		
F	11	87,50	87,50	84,61	84,46	86,11	88,01	Very Feasible
	12	98,44	98,75	76,92	86,54	88,89		
G	13	95,59	95,00	88,46	88,46	87,94	88,70	Very Feasible
	14	89,71	87,50	80,77	86,54	87,04		
H	15	86,25	88,84	85,27	94,17	85,12	83,81	Very Feasible
	16	86,25	89,84	85,27	94,17	81,12		
I	17	94,12	90,00	88,46	94,23	89,81	90,04	Very Feasible

Student Competences' of Science as a way of thinking describe the idea development of dynamite making and cause and effect from physics changes and chemistry change in rain phenomenon. In Pollution and Global Warming theme, the competences student's are: describe the cause and effect from Acid Rain phenomenon; mention the activity that can reduce Acid Rain phenomenon; and describe the mechanism of Sea Water Increasing as the effect of global warming.

Example of the competences student's of Interaction of science, technology and society are describe the work steps and benefit of water distillation technology; and describe the use of science as problems solution for humankind (artificial rain technology). In Pollution and Global Warming theme, the competences are: describe the effects of air conditioning technology into global warming phenomenon; mention the use of technology to decrease the cause of global warming; analyze the society culture to the pollution, etc.

Readability of Science Textbook Based on Scientific Literacy

Data of the readability textbook were collected by test cloze. The data were shown in Table 6. Readability test result showed positive score that got percentage average > 57% that is 81.97%. Higher percentage is 98.25% and lowest is 61.93% for each person. It means the developed textbook was easy to read and to learn. Some of the result was means some correspondent that having difficulty to learn the developed science textbook. One of those difficulties is their lack of vocabulary. This result is connect with Essem Educational Limited (2007). They said the textbook readability was influenced by text format, ability reader, difficulty of vocabulary, structure text, and syntax.

Good readability was easy to read. It means the good quality of textbook. It's a accordance with Devetak & Vogrinc (2013) statement. They said that the textbook quality looked at word, sentences, and text.

Effectiveness of Science Textbook Based on Scientific Literacy

Effectiveness of the developed science textbook classified as an effective stimulant to increase students' scientific literacy. It's showed on the gain factor and posttest score of experimental group that higher than the control group. The result of effectiveness textbook shown at Table 7. From the data, the learning

strategies that used in experimental group and control group were the same. The effectiveness result showed by gain score from pretest to posttest, at the theme A, B, and C. The strategy teaching that used in gain score were Cooperative Learning, Direct Instruction.

Table 6. Average of Readability Index of Textbook

Theme	Readability Index (%)	Category
A	72,43	Easy to read
B	71,80	Easy to read
C	80,05	Easy to read
D	88,42	Easy to read
E	91,51	Easy to read
F	89,53	Easy to read
G	76,60	Easy to read
H	89,80	Easy to read
I	77,55	Easy to read
Average	81,97	Easy to read

The experimental group were used the Science Textbook Based on Literacy, and the control group were used non Science Textbook Based on Literacy. The Direct Instruction gain was better than the Cooperative Learning. But the average gain of science literacy learning achievement students' experimental group better than control group. The average score gain of experimental group in this research which classified as middle category and score gain of control group which classified as low category.

On the other hand, effectiveness result showed by posttest, at the theme G, H, and I. The teaching strategy that used in posttest score were Demonstration, Discussion, and Experiment. The experimental group were used the Science Textbook Based on Literacy, and the control group were used non Science Textbook Based on Literacy. The average posttest of science literacy achievement of students in experiment group is better than those in control group. The average posttest score of the experimental group in this research belongs to middle category.

Another factor that supports the effectiveness of developed science textbook is the learning strategy that used in the learning process. The learning strategies that used in experimental group were same with control group. It's chosen because the learning strategy which

Table 7. Result of Effectiveness of Textbook

Code of Textbook	Method of Teaching		Gain Factor*)	
	Experimental Group	Control Group	Experimental Group	Control Group
A	Cooperative Learning + Science Textbook Based on Literacy	Cooperative Learning + Non Science Textbook Based on Literacy	0.60	0.30
B	Direct Instruction + Science Textbook Based on Literacy	Direct Instruction + Non Science Textbook Based on Literacy	0.63	0.42
C	Cooperative Learning + Science Textbook Based on Literacy	Cooperative Learning + Non Science Textbook Based on Literacy	0.37	0.18
Posttest*)				
G	Demonstration, + Science Textbook Based on Literacy	Demonstration, + Non Science Textbook Based on Literacy	72.45	64.24
H	Discussion + Science Textbook Based on Literacy	Discussion Eksperiment + Non Science Textbook Based on Literacy	69.95	58.50
I	Eksperiment + Science Textbook Based on Literacy	Eksperiment + Non Science Textbook Based on Literacy	70.38	55.64

*) Note: maximum score of gain factor is 1.00 and maximum of posttest is 100.00

start with reading and integrated with scientific literacy textbook using would a positive effect on student's learning result. It was appropriate with a study result of Taslidere and Eryilmaz (2010) that an integration of reading and scientific literacy textbook using was more effective to increase student's learning result than other learning strategy.

The result of this research was appropriate with a study result of Budiningsih, Rusilowati, Marwoto (2015) the average enhancement of science literacy learning achievement students' experimental class better than control class, and the average science literacy learning achievement of experiment students better than control class. The result is also appropriate with a study result of Shwartz, Ben-Zvi & Hofstein (2006). That an teaching program using scientific literacy textbook was more effective to increase student's learning result of Chemistry than other learning strategy.

CONCLUSION

Based on results and discussion above, it can be concluded that the developed science textbook has a complete scientific literacy aspects that presented on the main part of the textbook. They are "Let's go to Learn" or "Ayo Belajar (in Indonesian language)", "Let's go to Try" or "Mencoba Yuk (in Indonesian language)", "Let's go to Scientific Thinking" or "Ayo Berpikir Ilmiah (in Indonesian language)", and "Science in Life" or "Sains dalam Kehidupan (in Indonesian language)". Developed science textbook also has a balance proportion of scientific literacy aspects that showed at the percentage of indicators for each aspect. The first aspect (*Science as a way of thinking*) has 40% number of all indicators, and the other aspect has 20% for each.

The feasibility test result of developed science textbook is > 81.25%. It is mean that science textbook is very feasibility. The reada-

bility science textbook is 81.97%. It means the developed textbook was easy to read and to learn. The Effectiveness of the developed science textbook classified as an effective stimulant to increase students' scientific literacy. It's showed on the score gain and score posttest of experimental group which science textbook based on science literacy, that higher than the control group's score gain and score posttest. Both of them show that the developed science textbook is feasible, readable, and effective.

REFERENCES

- Budiningsih, T. Y., Rusilowati, A., Marwoto, P. (2015). Pengembangan Buku Ajar IPA Terpadu Berorientasi Literasi Sains Materi Energi dan Suhu. *Journal of Innovative Science Education*, 4(2), 34-40
- Chiapetta, E.L, Filman, D.A., & Sethna. G.H. (1991). A Method to Quantify Major Themes of Scientific Literacy in Science Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(8), 713-725.
- Depdiknas. (2008). *Panduan Pengembangan Indikator Pembelajaran*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional
- Devetak, I. & Vogrinc. J. (2013). The Criteria for Evaluating The Quality of The Science Textbook. *Critical Analysis of Science Textbooks*, 3-15.
- Fogarty, R. (1991). *The Mindful School: How to Integrate the Curricula*. Palatine, Illinois: IRI/Skylight Publishing. Inc.
- Hastiti, N.A. (2014). *Analisis Buku Ajar Mata Pelajaran IPA SMP Kelas VII Berdasarkan Literasi Sains di Kota Semarang*. Skripsi. FMIPA Universitas Negeri Semarang.
- Hayat, B. & Yusuf, S. (2011). *Benchmark Internasional Mutu Pendidikan*. Jakarta: Bumi Aksara
- National Research Council. (1996). *Science Education Standards*. Washington, DC: The National Academy Press
- Nbina, J. B., & Obomanu, B. J. (2010). The meaning of scientific literacy: A model of relevance in science education. *Academic Leadership Journal*, 8(4), 166-176.
- OECD. (2003). *Literacy Skills for The World of Tomorrow – Further results from PISA 2000*. Chapter 1 : Programme for International Student Assessment and non-OECD countries. Paris : OECD.
- Puspaningtyas, A. A., Rusilowati, A. & Nugroho S. E. (2015). Science Textbook Development Based on Scientific Literacy Aspects Theme Matter Changes in Environment. *Paper*. Presented at International Conference on Science and Science Education. UKSW. Indonesia
- Rusilowati, A. (2013). Analisis buku ajar IPA yang digunakan di Semarang Berdasarkan Muatan Literasi Sains. *Makalah*. Disampaikan pada Seminar Nasional dalam rangka Dies Natalis Ke- 49 Universitas Negeri Semarang. Semarang, 22 Maret 2014.
- Rusilowati, A. , Susilowati, S. M. E., Nugroho, S. E. (2015). Pengembangan Buku IPA Berbasis Literasi Sains sebagai Upaya Menyejajarkan Kemampuan Siswa di Kancah Internasional. *Laporan Penelitian*. Semarang: LP2M Unnes
- Yuliyanti, T.E. & Rusilowati, A., (2014). Analisis Buku Ajar Fisika SMA Kelas XI Berdasarkan Muatan Literasi Sains di Kabupaten Tegal. *UnnesPhysics Education Journal*. 3(2), 68-72.
- Schroeder, M., Mckeough, A., Graham, S., Stock, H., & Bisanz, G. (2009). The contribution of trade books to early science literacy: In and out of school. *Research in Science Education*, 39(2), 231-250.
- Shwartz, Y., Ben-Zvi, R., & Hofstein, A. (2006). The Use of Scientific Literacy Taxonomy for Assessing the Development of Chemical Literacy Among High-School Students. *Chemistry Education Research and Practice*. 7(4), 203-225.
- Subiantoro, A.W, Ariyanti, N. A., & Sulistyono. (2013). Pembelajaran Materi Ekosistem dengan Socio-Scientific Issues dan Pengaruhnya Terhadap Reflective Judgement Siswa. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 2(1), 41-47.
- Taslidere, E. & Eryilmaz, A. (2012). The Relative Effectiveness of Integrated Reading Study and Conceptual Physics Approach. *Research in Science Education*, 42(2), 181-199.
- Wilkinson, J. (1999). A Quantitative Analysis of Physics Textbooks for Scientific Literacy Themes. *Research in Science Education*, 29(3), 385-399.

IMPROVING CONCEPT MAPPING SKILL THROUGH INQUIRY INSTRUCTION

S. Gumilar*¹, W. Setiawan²

¹Department of Elementary School Education,
Sekolah Tinggi Keguruan dan Ilmu Pendidikan Sebelas April, Indonesia

²Department of Computer Science Education
Indonesia University of Education, Indonesia

Received: 20 February 2016. Accepted: 1 May 2016. Published: July 2016

ABSTRACT

The purpose of this research was to analyze implementation of inquiry instruction for improving concept mapping skill. The subject of the research was student on grade 10 in islamic senior high school in subang district. Method of research used was quasy experiment with matching control group pretest-posttest design. Instruments used in this research were test and concept map about electricity. The treatment of experiment group was the combination of virtual-real experiment and virtual experiment, while control group was only real experiment method. The result of analyzing data showed that the average of normalized gain $\langle g \rangle$ was in low criteria. Significant test of three averages normalized gain using analysis of varians (anova) showed that virtual-real experiment method was more significant in improving mapping concept skill than those virtual experiment and real experiment only.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan pembelajaran inkuiri dalam meningkatkan ketrampilan membuat peta konsep. Subjek penelitian yang digunakan adalah siswa kelas X pada salah satu Sekolah Menengah Atas Islam Terpadu di Kabupaten Subang. Metode penelitian yang digunakan adalah *Quasy experiment* dengan desain penelitian *matching control group pretest-posttest*. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah tes dan peta konsep mengenai kelistrikan. Kelas eksperimen dalam penelitian ini memperoleh perlakuan kombinasi metode eksperimen nyata-virtual dan virtual saja, sedangkan kelas kontrol memperoleh perlakuan metode eksperimen nyata saja. Hasil perhitungan rata-rata gain $\langle g \rangle$ yang ternormalisasi menunjukkan bahwa peningkatan kemampuan membuat peta konsep berada pada kriteria rendah. Hasil uji signifikansi ketiga rata-rata $\langle g \rangle$ menggunakan *analysis of varians* (ANOVA) menunjukkan bahwa metode eksperimen nyata-virtual lebih signifikan dalam meningkatkan keterampilan membuat peta konsep dibandingkan dengan metode eksperimen virtual saja dan nyata saja.

© 2016 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: inquiry; mapping concept

INTRODUCTION

The concept of electricity has special characteristic that it has abstract concept. This is similar to the stating of phrase Choi and Chang (2004) that the subject has an abstract concept such as current, potential difference, and energy-burning electricity. Abstractness this concept also makes a lot of students have difficulty understanding (Mustafa, Baser & Son-

er, 2011). Many students do not understand very well about the concept of direct current electric circuits. Difficulties often encountered such an understanding of the law of conservation of charges, relationship current with potential difference, and the amount of the potential difference in the circuit series, parallel, and mixed (Engelhardt & Beichner, 2004)

Abstract characteristics of the subject require an appropriate learning for its teaching process. Of course, it can be done by providing a meaningful learning to the students so

*Correspondence Address:

Jl. Anggrek Situ No.19 Sumedang
E-mail: ayirusgumilar@gmail.com

to grow a good understanding of the concepts learned.

One of the indicators to see poor understanding of students can be seen when a lot of students have not been able to figure the concepts that have been studied. Weak illustration of this concept is certainly as a result of the meaningfulness of the learning has not been reached. One major indicator of the significance of learning can be seen when students are able to create meaningful relationships of concepts. This meaningful relationship of concepts can be seen in the form of a mapping concept showing the concepts learned. Novak, Coffey & Carnot. (2003) states that in any meaningful learning process students are able to relate the concept with other concepts. One of the benchmarks used to determine meaningful learning process experienced by students that it can be seen from the ability to create a mapping concept. Through mapping concept, the significance of the concept of the student will be shown in several aspects such as *cross-link, hierarchy, propositions, and examples* are presented. In the fact, during this time, it is not yet fully trained to the students. Whereas with the ability to create mapping concept, students will be able to pack the structure overview from the general concepts to specific based on what they have learned.

One of learning methods that it is emphasized in meaningful learning is experiment method. Experiment method is a way to service subject of learning where students are active experiencing and proving themselves about what they have learned. According to form of experiment, it can be divided by experiment of idea, computer (virtual), and real experiment (Druxes, 1986). The form of experiment implemented in learning is virtual and real experiment.

The real experiment has unique advantage such as to connect student really and actively to real object (Fiesel & Rossa, 2005). Bara (Zacharia, 2011) states that real experiment was a base form from learning process and was remember consciously. Zacharia (2011) also states that via real experiment student can gain their experience through many investigations, use scientific tool truly, collect, write, and analyze data really. More than that, real experiment can give opportunity in error measurement rised naturally from experiment that it has done.

Besides having advantage, there are some limitations when real experiments met-

hod is applicated in learning such as requires a longer time, have little mobility and range, limited in place and time, need high cost for buying equipment of experiments, as well as more expensive the cost of maintenance and procurement (Saepuzaman, 2011).

The development of technology contributes to field of education. Several studies were done through the virtual laboratory experiments. This provides a positive impact on learning as it builds skills, attitudes, and understanding of the concept. According to Triona and Klahr (Zacharia, 2011), there are many advantages in using of virtual experiment in learning that it is easier, safer, cost efficient, minimizing uncertainty, minimize the space and time, and flexible and fast enough to display the data more accurately.

Some other advantages of virtual experiments were obtained from several studies such as provide the skills to make efficient the time and make more simple object model that it is easy to learn, provide rich information and a diverse picture in the form of verbal, numeric, image, concept and graphs of the environment, engage students in changing the variables that it is not real, provide feedback quickly about the uncertainty in the students and provide an opportunity to repeat the same experiment as soon as possible, facilitate learning by focusing attention students more directly the phenomenon, involves students to visualize objects and process normally beyond perception and simplify it, engage the students to perform experiments more widely, quickly and easily and provide experience with many examples, give students experience on what real experiments are difficult or expensive to do (Zacharia, 2011).

Table 1. Involving instruction based inquiry with combination virtual-real experiment to aspect of mapping concept

Instruction based inquiry	Aspect of mapping concept
Problem	Giving example
Formulating hypothesis	Constructing proposition
Collecting Data (Real experiment method)	Constructing proposition
Analyzing Data	Training proposition Training crosslink
Making conclusion (Virtual experiment as reinforcement)	Training hierarchy Training example

Based on the advantages of both the experimental method in above, they are appeared to provide meaningful learning experiences for students during the learning process. Moreover, the learning process is applied based inquiry learning by combining two experimental methods. Through the learning students will find a number of concepts through a series of experiments were performed, either real or abstract concept. Ideally, in the end the students will be able to describe the concept as a whole through the relationship of the concept with other concepts expressed in the mapping concept skill.

Table 1 shows how the frame of the phases of inquiry instruction with a combination of real-virtual experiment method trains aspects of mapping concept. The final goal of course achieve meaningfulness of student learning both for real or abstract concept illustrated by an increasing in the ability of students mapping concept.

METHOD

This research used true experiment method with matching control group pretest-posttest design (Fraenkel & Wallen, 2007). The design of research was chosen because of its suitability for testing effect of an independent variable treatment research that it is real-virtual experiment based inquiry instruction on the dependent variable that it is the ability to make a mapping concept. In this research, a mapping concept is used as a skill tested and instrument test.

Table 2. Scheme of Matching Control Group Pretest-Posttest Design

Group	Pretest	Treatment	Posttest
Experiment I	T_1	VRE	T_2
Experiment II	T_1	VE	T_2
Control	T_1	RE	T_2

Note: *virtual-real experiment (VRE)*, *real experiment (RE)*, and *virtual experiment (VE)*.

The population of this research was students at tenth grade of Islamic senior high school. There were four total groups in population. While the sample of the research include three group of male and female, group X-1 (male), X-2 (male), and X-2 (female). Each group consists of 27 students, so the total sample in this study was 81 students of seni-

or high school. Technique of sampling that it is used was purposive sampling of the population that it was taken based on purpose of researcher.

The instrument developed in this research was a standard mapping concept created by the researcher. Tests ability of student to create a mapping concept was obtained from project mapping concept students. Assessment of the project mapping concept of students was assessed with a standard mapping concept created by the researcher. Standard mapping concept made reference to the assessment of mapping concept was developed by Novak and Gowin (1984) which it includes the hierarchy, crosslink, propositions, and examples. The rating of quality of mapping concept according to Novak, Coffey & Carnot (2003) can be seen as shown in Table 3.

Table 3. Quality for criteria of assessing mapping concept by Novak

Aspect	Quality of value
Hierarchy	5 for valid hierarchy
Crosslink	10 for valid crosslink
Proposition	1 for valid proposition
Example	1 for valid example

To determine the significance of increasing the ability to make a mapping concept was done by some data analysis techniques such as Kolomogorov Smirnov test (KS) and Levene, normalized gain $\langle g \rangle$, analysis of variance (ANOVA) or Kruskal Whallis and Tukey's HSD or Average Rank.

RESULT AND DISCUSSION

The results obtained include the enhancement of ability to make a mapping concept of students in general and the enhancement in every aspect of the mapping concept.

Enhancement of mapping concept skill

A general description of the enhancement in the ability to make a mapping concept is done by calculating the normalized gain $\langle g \rangle$. Table 4 shows that the greatest value of the normalized gain $\langle g \rangle$ of VRE group is 0.21. Then the data for gain of VE and RE are 0.17 and 0.12. Although each of average $\langle g \rangle$ is different for each other, all of them are in the low category according to Hake criteria (1998).

Table 4. Enhancement of mapping concept skill for all criteria

Group	N	<g>	Category
VRE	27	0.21	Low
VE	27	0.17	Low
RE	27	0.12	Low

Testing the significance of the enhancement in mapping concept skill in this research is done using Kruskal Wallis test. It is because the data are not normally distributed. The result of significance test looks like in table 5.

Table 5. Result of significant *Kruskal Wallis (KW) test* of enhancement of mapping concept skill

Group	N	<g>	Ave Rank	KW H(p)
VRE	27	0,21	58,0	
VE	27	0,17	47,8	29, 51
RE	27	0,12	23,0	(0,00)
Total	81		41,0	

Based on calculations of Kruskal Wallis test shows the value $H = 29.51$ ($p < 0.05$). This shows that the average <g> for each group different from another. To see the most significant value normalized gain <g> can be seen from the value ave rank. The value of ave rank VRE (58.0) is greater than the total value ave rank (41.0), this indicates that <g> VRE significantly different compared to the others. In other words, it also shows that the combination of virtual-real experiment method (VRE) based inquiry instruction can improve significantly the ability to create a mapping concept of physics than virtual experiment methods (VE) and the real experiment (RE).

The findings of the result of study were not surprising because the combination of virtual-real experiment give more experience to the students. Repetition of inquiry-based virtual experiment will reinforce what has been obtained from real experiments based inquiry. This is also machth with the findings of previous studies showing that instruction based inquiry with virtual-real experiments (VRE) provide a more significant enhancement of understanding concepts and mastery of concepts (Zacharia 2010; Saepuzaman 2011). Some of the factors caused VRE provides a significant enhancement in the ability to make a mapping concept than the other is *the value of experien-*

tial learning, repetition of meaningful activities, learning activities that match the characteristics of the subject matter, and accommodating students' cognitive level.

Basically, VRE learning bridges the value of the learning experience more meaningful in enhancing the ability to make a mapping concept than VE and RE learning. It was caused in a real experiment of VRE learning presenting early framework related direct experience of students regarding the investigation of real objects. This is consistent with the expression Fiesel and Rossa (2005) which states that the real experiment presenting the initial experience for students who are active and tangible to work with objects. Initial framework formed by the real experience will be combined with the match modeling that appropriate to real experience through the activity of virtual experiments. Finally, students had value of meaningful learning experience comprehensively in the formation of the basic framework of knowledge.

Meanwhile, factor of the repetition of inquiry activities presented in VRE was a cause of increasing the ability to make a mapping concept more significant than any other study (VE and RE). Through real experiment method based inquiry instruction, learning experience of student will last longer. As confirmed by Bara (Zacharia, 2011) that the real experiment is a conscious process of remembering. By doing virtual experiments based inquiry through the investigation of the same phenomenon make replanting process of memory through meaningful experiences that they were presented. This will effect to enhance in the mapping concept skill that it was significantly different compared from VE and RE learning that they present only one phenomenon investigated.

In addition to the two factors in above, another factor why VRE is more significant increase the mapping concept skill because of presenting learning activities that it is match to the subject matter. The subject matter in the electrical circuit has abstract concepts (Choi and Chang, 2004), and it is difficult to understand (Mustafa, Baser & Soner, 2011) presented through real learning framework and modeling. Real experiment based inquiry instruction gives a real picture of the conditions studied through investigation of the senses such as shape, texture, and characteristics of object. Then modeling gives new ideas how an abstract concept is modeled through virtual experiments based inquiry intruction. Obviously this gives a new idea about the clarity of the

abstract concepts to become more apparent (Zacharia, 2011).

Another factor influencing the VRE based inquiry learning in facilitating enhancement of the ability to make a mapping concept more significant is the nature of learning that it can accommodate students' cognitive level. Giving real experiment to students early, teaching students investigates from simple to concrete phenomena. Then step to abstract phenomena perceived more difficult, provision of virtual experiment makes the phenomenon seem more visible so as to accommodate the students' cognitive level to understand more complex concepts (Zacharia, 2011).

The above results indicate that enhancement of ability to make a mapping concept of the overall concept for all classes increased, but it was in low category. One reason why it is happened because of lack information to dig knowledge from student uses test of mapping concept. Although the results of statistical tests showed that the average mapping concept of VRE significantly different compared to the others. The low value of the increased ability to make a mapping concept because students are not given stimulus can dig existing concepts in cognitive structure during the tests the ability to make a mapping concept done.

Although many studies use mapping concept as a tool to measure instruction based inquiry (Stodart 2000; Himangsu, 2012). It seems meaningfulness of learning through an indicator measuring the ability to make a mapping concept should be given the same stimulus in the form of questions such tests in general. Thus, the mapping concept skill students will be explored in expressing what is in the cognitive structure students. This differs from the measurement of understanding of the concept in general, providing information in early. In that case, students are stimulated to emerge the structure of knowledge but it does not apply to the ability to make a mapping concept when it is only given guidance to pour what is in the cognitive structure. It clearly appears that the meaningfulness of learning which is illustrated by an enhancement in the ability to make a mapping concept is lower than the meaningfulness of learning as measured by a common test. This does not mean that VRE based inquiry instruction or the other (VE and RE) does not facilitate the meaningfulness of learning which is reflected through the ability to create mapping concept.

Other factors associated with a lower

enhancement in the ability to make a mapping concept are the difficulty to emerge or explore the cognitive structure of students that are embedded in the memory of students. Basically the students have experienced some kind of meaningful learning through VRE, VE, and RE based instruction. Digging the understanding of the cognitive structure of the student would be very difficult without the stimulus from the outside. This is as Gelder (2005) mentions that the memory needed to emerge up the information associated with the memory.

Enhancement of mapping concept skill per aspect

Results of processing data on the average normalized gain $\langle g \rangle$ for each aspect can be seen in Table 5.

Table 5. Normalized gain of mapping concept skill per aspect of mapping concept

Group	$\langle g \rangle$	$\langle g \rangle$ per aspect			
		Hi	Cr	Pr	Ex
VRE	0,21	0,56	0,00	0,32	0,00
VE	0,17	0,52	0,00	0,22	0,00
RE	0,12	0,49	0,00	0,19	0,01

Note: *Hierarchy (Hi)*, *Crosslink (Cr)*, *Proposition (Pr)*, dan *Example (Ex)*

Based on the data, the all groups have normalized gain in low category. The normalized gain of hierarchy aspect for all groups was in medium in the Hake's category (1999). The group of VRE had the biggest average value ($\langle g \rangle = 0.56$). While aspects of the crosslink ($\langle g \rangle = 0.00$) for the all group are in a lower category, the same thing happened to aspects of the example ($\langle g \rangle = 0.00$ and crosslink $\langle g \rangle = 0.01$). For aspects of proposition, the group of VRE was in the medium category ($\langle g \rangle = 0.32$) and other classes are in the low category. The above data shows that the the group of VRE provide a higher enhancement in quantity compared to the other classes in the enhancement the ability to create mapping concept in aspects of hierarchy and propositions.

The result of processing data shows that enhancement of the ability to create a mapping concept for each instruction to be in the low category. The ability to create mapping concept can be analyzed based on aspects of forming a mapping concept such as hierarchy, crosslink, proposition, and example. In the aspect of hierarchy and propositions, VRE based inquiry

instruction has normalized gain with medium quality and the highest compared with other aspects while the crosslink aspects and examples do not show any enhancement in the value of normalized gain for all classes.

Basically inquiry instruction (VRE, VE, and RE) can facilitate the formation of hieraki aspect in the ability to make a mapping concept. This is caused the investigation of systematic inquiry (Gulo, 2002). Enhancement of the highest aspect hierarchy was indicated by VRE compared to other learning. Factors affecting it relates to the systematic investigation process repeated. In the process of VRE students acquire, analyze and conclude data. The process is one of examples how the investigation of particular concepts led to the conclusion that it was a general concept. In addition through real experiment based inquiry, the process is performed again by students through virtual experiments. This is what makes learning VRE better in improving aspects of the hierarchy than other.

While aspects of the proposition shows the different qualities between VRE compared with VE and RE. VRE has modest enhancement of quality while others have a lower quality of improvement. This occurs because the process of VRE based inquiry provide planting concept that they can accommodate the cognitive aspects of from the concrete to the abstract concept (Zacharia, 2011). In contrast to two aspects in above, aspects of crosslink and examples are not improving. One of the factors associated with it is focused the study on the investigation of the concept. By the time student works in the inquiry, the formation of propositions and systematic knowledge structure is formed through a number of stages of the learning activities. But the relationship bridge broader and far concept was not achieved optimally. So on this side, part of leap the linking process of the concept of creativity from a different domain is not reached. The leap of creativity is the basis for training crosslink (Novak, Coffey & Carnot, 2003). On the other hand, focused on the efforts of the investigation of concepts ignore example aspects for concepts that are not investigated so that the impact on the optimalitation aspect of example in the ability to create mapping concept of students. In addition, no appearance of example aspects was because students can not pull the significance of any problems that are shown at the beginning of learning.

CONCLUSION

From the results of data processing and analysis can be concluded that improving the ability to make a mapping concept as one indicator of meaningful learning can be enhanced through the implementation of combination of virtual-real experiment based inquiry instruction.

Suggested for researchers in education field who want to use mapping concept as an evaluation tool to determine the meaningfulness of learning, students should be given directives in the form of questions that can stimulate the excavation of the concept.

REFERENCES

- Choi, K. & Chang, C. (2004). The Effects of Using the Electric Circuit Model in Science Education. *Journal of the Korean Physical Society*. 44,(6), 1341-1348.
- Druxes, H. (1986). *Kompendum Didaktik Fisika*. Bandung: Remadja Karya.
- Engelhardt, P. & Beichner, R. (2004). Students understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, 72(1), 98-115.
- Feisel, L. D. & Rosa, A. J. (2005). The role of the laboratory in undergraduate engineering education. *Journal of Engineering Education*. 94(1), 121-130.
- Fraenkel, J. R. & Wallen. (2007). *How to Desain and Evaluate research in Education*. New york: Mc Graw-Hill International Edition.
- Gelder, V. (2005). Teaching critical thinking some lessons from cognitive science. *Journal College teaching*. 53(1), 41-48.
- Gulo, W. (2002). *Stategi Belajar Mengajar*. Jakarta: PT Gramedia Widiaswara Indonesia.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-Engagement Versus Tradisional Methods : A Six-Thousand-Student Survey of Mechanics Tes Data For Introductory Physics Course. *American Journal Physics*. 66(1), 64-74.
- Himangshu, S. (2012). Mapping conceptping in the teaching of physical science: assessment of real world applications of wave energy by pre-service teachers negotiating concept understanding. *Proceeding of the fifth international Conference on Mapping Conceptping*.
- Mustafa, B., & Soner, D. (2011). The effectiveness of computer supported versus real laboratory inquiry learning environments on the understanding of direct current electricity among pre-service elementary school teachers. *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 6(1), 47-61.
- Novak, J. D, Coffey, J. W. & Carnot, M. J. (2003).

- A Summary of Literature Pertaining to the Use of Mapping concepting Techniques and Technologies for Education and Performance Support: The Institute for Human and Machine Cognition.
- Novak, J. D. & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to Learn*. England: Cambridge University Press.
- Saepuzaman, D. (2011). Penerapan Model Pembelajaran Inkuiri Dengan Kombinasi Eksperimen Nyata Virtual Pada Materi Rangkaian Listrik Arus Searah Untuk Meningkatkan Penguasaan Konsep dan Keterampilan Proses Sains Siswa SMA. Tesis Tidak diterbitkan. Bandung: Sekolah Pascasarjana Universitas Pendidikan Indonesia.
- Stoddart, T. (2000). Mapping concept as Assessment in Science Inquiry Learning-A Report of Methodology. *The International Journal of Science Education*, 22(12), 1221-1246.
- Zacharia, C. (2011). Blending Physical and Virtual Manipulatives: An Effort to Improve Students' Conceptual Understanding Through Science Laboratory Experimentation. *Journal Science Education*, 96(1), 21-47.
- Zacharia, C. (2010). Implementing A Blended Combination of Physical And Virtual Laboratory Manipulatives To Enhance Students' Learning Through Experimentation In The Domain of Light and Color. Cyprus: Learning in Science Group, Educational Sciences, University of Cyprus.

PENINGKATAN HASIL BELAJAR FISIKA DENGAN MENERAPKAN MODEL PEMBELAJARAN ADVANCE ORGANIZER BERBANTU ANIMASI KOMPUTER

R. G. Hatika*

Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Pasir Pengaraian, Indonesia

Diterima: 12 Februari 2016. Disetujui: 28 Mei 2016. Dipublikasikan: July 2016

ABSTRAK

Dalam usaha mendapatkan hasil belajar siswa yang baik maka tenaga pendidikan harus mempunyai strategi dalam melakukan pembelajaran. Salah satu model pembelajaran yang dapat digunakan yaitu *Advance Organizer*. Dalam hal menunjang penggunaan suatu model, maka diperlukannya penggunaan media pembelajaran tertentu, salah satu media yang dapat digunakan yaitu media animasi komputer. Sampel penelitian diambil berdasarkan *Sampling Jenuh*. Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah desain kelompok *Two group posttest only*. Hasil analisis daya serap dalam kategori baik, ketuntasan belajar secara klasikal sudah tuntas dan efektivitas pembelajaran adalah efektif. Ini berarti bahwa penggunaan model *Advance Organizer* berbantu animasi komputer adalah efektif digunakan dalam melihat hasil belajar fisika siswa SMA Rambah Hilir baik ditinjau melalui daya serap, ketuntasan belajar dan efektivitas pembelajarannya.

ABSTRACT

In an effort to get the good results of student learning the teacher must have strategies for learning. One model of learning that can be used is *Advance Organizer*. In terms of supporting the use of a single model, there is a need for the use of specific instructional media. The media that can be used is computer animation media. The design used in this research was the group design of two group posttest only. The results of the analysis of absorption was in good, classical learning completeness has been completed and the effectiveness of learning was effective. This means that the use of model *Advance Organizer* assted computer animation is effective in view student learning outcomes of physics at SMA Rambah Hilir well reviewed through absorption, mastery learning and learning effectiveness.

© 2016 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: advance organizer; computer animation; learning outcomes of physics

PENDAHULUAN

Fisika merupakan salah satu cabang IPA yang mendasari perkembangan teknologi maju dan konsep hidup harmonis dengan alam, meskipun demikian, masih banyak siswa yang menganggap bahwa fisika merupakan mata pelajaran yang sulit baik dalam penggunaan rumus dan memahami konsep fisika itu sendiri (Budiyanto, 2008).

Belajar fisika bukan hanya sekedar tahu matematika, tetapi lebih jauh anak didik diharapkan mampu memahami konsep yang terkandung

di dalamnya, menuliskannya ke dalam parameter-parameter atau simbol-simbol fisis, memahami permasalahan serta menyelesaikannya secara matematis (Sugiharti, 2005).

Dalam usaha mendapatkan hasil belajar siswa yang baik maka tenaga pendidikan harus mempunyai strategi dalam melakukan pembelajaran. Strategi merupakan pola umum rentetan kegiatan yang harus dilakukan untuk mencapai tujuan (Asril, 2011). Cara yang ditetapkan sebagai hasil kajian strategi dalam proses pembelajaran disebut metode.

Salah satu model pembelajaran yang dapat digunakan yaitu *Advance Organizer*. Model pembelajaran *Advance Organizer* di-

*Alamat Korespondensi:

Jl. Tuanku Tambusai Desa Rambah, Kab. Rokan Hulu, Riau 28557
E-mail: rindigenesa@gmail.com

yakini dapat memperkuat struktur kognitif dan meningkatkan penyimpanan informasi baru. Tujuan dari *Advance organizer* menurut Ausubel adalah menjelaskan, mengintegrasikan dan menghubungkan materi baru dalam tugas pembelajaran dengan materi yang telah dipelajari sebelumnya (Joyce, Weil & Calhoun, 2011). Penelitian yang dilakukan oleh Shihusa dan Fred (2009) mendapati bahwa penggunaan model pembelajaran *Advance Organizer* dapat meningkatkan motivasi belajar siswa. Hasil kajian Rahayu (2012) menyatakan bahwa model *advance organizer* efektif meningkatkan aktivitas dan hasil belajar kimia siswa. Peneliti Taswan, Nugroho & Hartono (2014) melaporkan bahwa model *advance organizer* berpengaruh untuk meningkatkan kemampuan analisis-sintesis fisika siswa.

Aqib (2013) berpendapat bahwa dalam hal menunjang penggunaan suatu model, maka diperlukannya penggunaan media pembelajaran tertentu. Pada awalnya media pembelajaran hanya dianggap sebagai alat untuk membantu guru dalam kegiatan mengajar. Alat-alat bantu ini dimaksudkan untuk memberikan pengalaman lebih konkret, memotivasi serta mempertinggi daya serap dan daya ingat siswa dalam belajar.

Menurut Peoples penggunaan media yang relevan akan menjadikan proses pembelajaran berlangsung efektif dan efisien. Seluruh pengetahuan yang kita peroleh didapatkan dari 75% melihat, 13% dari mendengar dan 12% dari mengecap, mencium dan meraba (Aqib, 2013).

Dalam hal menunjang penggunaan model tersebut, maka salah satu media yang dapat digunakan yaitu media animasi komputer. Animasi komputer dapat mempermudah guru dalam menyampaikan bahan dari suatu materi. Pemberian animasi ini bertujuan untuk memberikan ketertarikan siswa agar tidak bosan dan dapat membuat proses belajar menjadi lebih hidup, interaktif dan tidak membosankan apabila digunakan secara efektif dan efisien dalam pembelajaran (Astuti, 2013). Oleh karena itu, perlu dilaksanakan kajian tentang pengaruh model *Advance Organizer* berbantu animasi komputer terhadap hasil belajar kognitif siswa.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh model *Advance Organizer* berbantu animasi komputer terhadap hasil belajar kognitif siswa melalui tiga aspek yaitu daya serap siswa, ketuntasan klasikal dan efektivitas pembelajaran pada siswa SMA N 3

Rambah Hilir.

METODE

Populasi dalam penelitian ini adalah Seluruh kelas X di SMA N 3 Rambah Hilir yang terdiri atas dua kelas yaitu, XA dan XB. Sampel dari penelitian ini adalah kelas XA dan XB SMA N 3 Rambah Hilir dengan jumlah siswa masing-masing yaitu 27 siswa. Penentuan sampel penelitian ini dilakukan menggunakan teknik *sampling* jenuh.

Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah desain kelompok *Two group posttest only*. Sebelum soal instrumen dipergunakan dalam penelitian, soal instrumen tersebut diuji cobakan terlebih dahulu pada siswa yang telah memperoleh materi yang berkenaan dengan penelitian ini. Uji coba ini dilakukan untuk mengetahui apakah instrumen tersebut telah memenuhi syarat instrumen yang baik atau belum, yaitu validitas dan reliabilitas. Teknik analisis data meliputi uji normalitas *Liliefors* dan uji homogenitas.

Hasil uji normalitas *Liliefors* didapatkan bahwa data penelitian terdistribusi normal pada taraf signifikansi 5 % dengan nilai signifikansi bagi kelas eksperimen sebesar 0,14 dan bagi kelas control sebesar 0,13.

Hasil uji homogenitas juga mendapati bahwa data penelitian adalah homogen dengan nilai F_{hitung} (1,026) lebih kecil dari F_{tabel} (1,85)

Sebelum kedua kelas diberi perlakuan dilakukan analisis data tes awal (pretest). Proses belajar mengajar pada penelitian ini dilakukan sebanyak tiga kali pertemuan. Pada kelas eksperimen mulai diberlakukannya model pembelajaran *Advance Organizer* berbantu animasi komputer sedangkan pada kelas kontrol hanya menggunakan model konvensional yaitu ceramah. Dalam penerapan model *Advance Organizer* berbantu animasi komputer ini, siswa dapat lebih memahami keterkaitan materi sehingga terciptanya belajar bermakna. Proses terakhir dari penelitian ini adalah dengan dilakukannya post test.

Model pembelajaran *advance organizer* menurut Joyce and Weil (2009) terdiri dari tiga fase sebagai sintaks pembelajarannya, yaitu (1) Presentasi *advance organizer*, pada tahap ini aktivitas yang dikembangkan adalah mengklarifikasi tujuan-tujuan pembelajaran, mempresentasikan *advance organizer* yang dalam penelitian ini berbantu animasi komputer, dan menumbuhkan kesadaran pengetahuan yang relevan; (2) Presentasi tugas atau materi pembelajaran, dan (3) Penguatan struk-

tur kognitif, tahap ini bertujuan untuk mengaitkan materi belajar yang baru dengan struktur kognitif siswa.

Sebelum dimulainya pembelajaran, siswa diminta untuk membuat slide persentasi terkait materi yang telah dibagikan, slide yang dibuat harus berbantu animasi komputer yang mendukung materi. Slide yang berbantu animasi komputer ini digunakan sebagai *advance organizer* di kelas. Pada pertemuan pertama, siswa melakukan persentasi terhadap materi yang telah mereka dapati berbantu animasi komputer dan dilakukan diskusi kelompok untuk memperkuat kemampuan kognitif siswa. Pada pertemuan berikutnya guru memberikan ekspositori sehingga siswa dapat menerima penguatan konsep materi tersebut.

Advance organizer menjadi metode pembelajaran yang efektif meningkatkan kemampuan berpikir disebabkan empat hal : (1) *advance organizer* mengaktifkan kembali konsep yang relevan dalam struktur kognitif pebelajar, (2) konsep abstrak yang relevan itu merupakan tempat untuk mengaitkan ide baru (*ideational scaffolding*), (3) konsep yang rinci dan konkret yang terdapat dalam materi yang akan dipelajari (*learning task*) diterima oleh siswa ke dalam struktur kognitifnya, (4) dengan menggunakan kemampuan intelektualnya, serta kemampuan menghubungkan konsep baru dan lama, siswa selanjutnya memahami isinya, karena bahan yang dipelajari menjadi bagian baru dari struktur kognitif siswa, sedangkan konsep yang tidak terpakai akan hilang ke dalam alam bawah sadar siswa. Dengan demikian, siswa dapat memahami bahan baru dengan lebih baik (Apriono, 2009; Daniel, 2005).

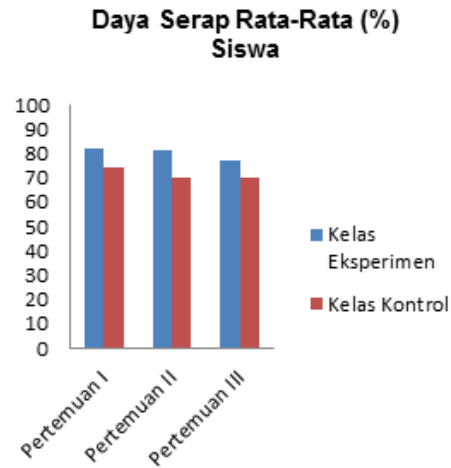
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil belajar melalui model pembelajaran *Advance Organizer* berbantu animasi komputer pada materi usaha dan energi dianalisis melalui daya serap, ketuntasan belajar siswa yang terdiri dari ketuntasan individu dan ketuntasan klasikal materi pelajaran, serta efektivitas pembelajaran.

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa rata-rata daya serap siswa untuk setiap pertemuan berbeda. Rata-rata daya serap siswa tertinggi adalah pada materi pertemuan I (TP 1-5) yaitu sebesar 82% dengan kategori baik pada kelas eksperimen dan 74.2 % dengan kategori baik pada kelas kontrol. Hal ini menyatakan bahwa rata-rata siswa menguasai sebagian besar (82% bagi kelas eksperimen dan 74.2 % bagi

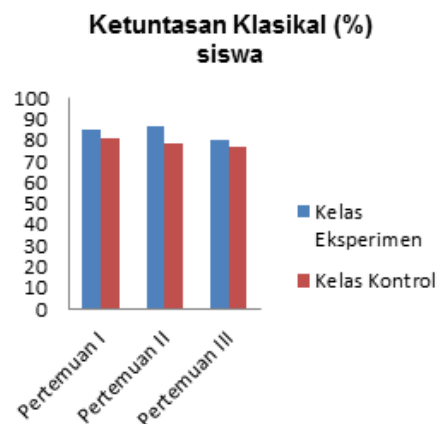
kelas kontrol) materi perkuliahan yang diajarkan.

Rata-rata daya serap pada materi pertemuan II (TP 6-8) mengalami penurunan menjadi 81.1% masih dengan kategori baik dan 70 % bagi kelas kontrol. Pada materi pertemuan III (TP 9-13) menjadi 77% dengan kategori baik bagi kelas eksperimen dan 70 % bagi kelas kontrol. Rata-rata daya serap siswa pada materi perkuliahan didapatkan 80.0% bagi kelas eksperimen dan 71.4% bagi kelas kontrol.



Gambar 1. Daya Serap Rata-Rata (%) Siswa

Terjadinya peningkatan daya serap meski dituntut tingkat pemahaman pada tiap pertemuan semakin tinggi, dan juga karena mengharuskan siswa lebih aktif dalam berfikir dan aktif, giat, cermat serta tepat dalam melakukan percobaan berbantuan media multimedia dan didalam diskusi kelompok pada tiap pertemuan namun dikarenakan bantuan animasi komputer dapat memberikan pemahaman yang lebih bagi siswa.



Gambar 2. Ketuntasan Klasikal (%) Siswa

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa pada kelas eksperimen materi pertemuan I hasil belajar siswa dinyatakan tuntas dengan persentase 85.2%. Materi pertemuan II dan III hasil belajar siswa dinyatakan tuntas dengan persentase masing-masing 86.3% dan 88.1%. Secara klasikal ketuntasan belajar siswa dinyatakan tuntas dan untuk ketuntasan klasikal hanya 86.53% dengan kategori tuntas. Pada kelas kontrol materi pertemuan I, II, dan III hasil belajar siswa adalah 80.6%, 78.2%, dan 77.2 %. Ini bermakna bahwa ketuntasan klasikal pada kelas kontrol adalah sebesar 78.7 % dengan kategori tidak tuntas. Secara klasikal tingkat ketuntasan belajar siswa dinyatakan tuntas jika persentase materi pelajaran yang dicapai minimal 85% (Depdikbud,1994).

Berdasarkan daya serap siswa, dapat juga ditentukan efektivitas pembelajaran seperti yang terlihat pada tabel berikut. Pada Tabel 1 dan Tabel 2 didapati bahwa kelas dengan model pembelajaran *Advance Organizer* berbantu animasi komputer efektif digunakan sedangkan bagi kelas kontrol masih cukup efektif.

Tabel 1. Efektivitas Pembelajaran siswa Kelas Eksperimen

Uraian Materi Pokok	Daya Serap Rata-rata (%)	Kategori
Pertemuan I	82	Efektif
Pertemuan II	81.1	Efektif
Pertemuan III	77	Cukup Efektif
Efektivitas Pembelajaran	80.03	Efektif

Tabel 2. Efektivitas Pembelajaran siswa Kelas Kontrol

Uraian Materi Pokok	Daya Serap Rata-rata (%)	Kategori
Pertemuan I	74.2	Cukup Efektif
Pertemuan II	70	Cukup Efektif
Pertemuan III	70	Cukup Efektif
Efektivitas Pembelajaran	71.4	Cukup Efektif

Berdasarkan hasil analisis terhadap efektivitas pembelajaran, maka dapat dikatakan bahwa pembelajaran menggunakan

Advance Organizer berbantu animasi komputer efektif digunakan yaitu dengan persentase keefektifan sebesar 80.03%.

Hasil dari penelitian ini sesuai dengan penelitian terkait sebelumnya yang dilakukan oleh Namira, Kusumo & Prasetya (2014) yang menyatakan bahwa Penggunaan strategi metakognitif berbantu *Advance Organizer* efektif meningkatkan hasil belajar siswa kelas eksperimen pada aspek kognitif, afektif dan psikomotorik secara signifikan.

Hasil yang diperoleh sejalan juga dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh Tasiwan, Nugroho & Hartono (2014) yang menyatakan bahwa siswa mengalami peningkatan kemampuan analisis-sintesis dalam aspek menguraikan, mengkategorikan, mengidentifikasi, merumuskan pernyataan, merekonstruksi, menentukan konsep, dan menganalisis konsep.

Ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Rofiqoh dan Mara (2012) dimana diperoleh hasil bahwa siswa yang diajarkan dengan model pembelajaran *advance organizer* berbasis peta konsep dapat meningkatkan aktivitas belajar siswa dari pada model pembelajaran *advance organizer* tanpa peta konsep. Hal ini disebabkan siswa pada model pembelajaran *advance organizer* berbasis peta konsep diharuskan membuat kesimpulan menggunakan peta konsep sehingga siswa menjadi lebih aktif.

Model pembelajaran *Advance Organizer* sangat menuntut untuk mengasah pengetahuan awal siswa sehingga dapat mempermudah siswa untuk menghubungkan ke pengetahuan atau materi yang akan mereka pelajari hal ini sesuai dengan teori menurut Ausubel, berguna tidaknya materi lebih tergantung pada persiapan pembelajar dan pengolahan materi tersebut dari pada sekedar menerapkan metode presentasi saja. Jika pembelajar mengawalinya dengan persiapan yang tepat, jika materi dikelola secara solid, pembelajaran yang bermanfaat pun pada akhirnya akan muncul (Joyce & Weil, 2009).

SIMPULAN

Simpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah bahwa hasil belajar fisika siswa menggunakan model *advance organizer* berbantu animasi komputer dilihat melalui 3 aspek yaitu daya serap siswa, ketuntasan klasikal dan efektivitas pembelajaran mendapati bahwa analisis daya serap dalam kategori baik

(80.03%), ketuntasan belajar secara klasikal sudah tuntas (86.53%) dan efektivitas pembelajaran adalah efektif (80.03%). Ini berarti bahwa penggunaan model *Advance Organizer* berbantu animasi computer adalah efektif digunakan dalam melihat hasil belajar fisika siswa SMA N 3 Rambah Hilir.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriono, D. (2009). *Advance Organizer: Konsep, Komponen Model, dan Implementasi dalam Pembelajaran PPKn. Prospektus Volume 7 No. 2.*
- Aqib, Z. (2013). *Model-Model, Media, Dan Strategi Pembelajaran Kontektual (Inovatif).* Bandung: Yrama Widya
- Asril, Z. (2011). *Microteaching Disertai Dengan Pedoman Pengalaman Lapangan.* Jakarta: PT Rajagrafindo Persada.
- Astuti, W. W. (2013). Efektifitas Penggunaan *Virtual Laboratory* Pada Mata Pelajaran Fisika di SMA N 1 Tanjung Batu. Skripsi tidak diterbitkan. Inderalaya: Universitas Sriwijaya.
- Athhhibby, A. R. (2010). Perancangan Media Pembelajaran Fisika Berbasis Animasi Komputer Untuk Sekolah Menengah Atas Pokok Bahasan Hukum-Hukum Newton Tentang Gerak. Skripsi Ilmu Pendidikan.
- Budiyanto, J. (2008). *Fisika Untuk SMA/MA Kelas XII.* Jakarta: Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.
- Daniel, K. J., & Polloway, S. P. E. D. (2005). *Advance organizers: Activating and Building Schema* for more Successful learning in students with disabilities. *Lynchburg College Journal Special Education*, 201(4), 1-22.
- Joyce, B. & Weil, M. (2009). *Model-model Pengajaran.* Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Joyce, B., Weil, M., & Calhoun, E. (2011). *Models Of Teaching (Model-Model Pengajaran).* Jakarta: Pustaka Pelajar.
- Namira, Z. B., Kusumo, E., & Prasetya, A. T. (2014). Keefektifan Strategi Metakognitif Berbantu *Advance Organizer* Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Kimia Siswa. *Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia.* 8(1), 1271-1280.
- Rahayu, S. (2012). Pengembangan Model Pembelajaran *Advance Organizer* Untuk Meningkatkan Aktivitas Dan Hasil Belajar Siswa Pokok Bahasan Koloid. *Journal Of Innovative Science Education*, 1(1). 29-35.
- Rofiqoh, H. H. & Mara, B. H. (2012). Efek Model Pembelajaran *Advance Organizer* Berbasis Peta Konsep Dan Aktivitas Terhadap Hasil Belajar Fisika Siswa. *Jurnal Penelitian Inovasi Pembelajaran Fisika.* 4(2), 32-37.
- Sugiharti, P. (2005). Penerapan Teori Multiple Intelligence dalam Pembelajaran Fisika. *Jurnal Pendidikan Penabur*, 5(4), 29-42.
- Shihusa, H. & Fred, N.K. (2009). Using *Advance Organizers* to Enhance Students Motivation in Learning Biology. *Eurasia Journal Of Mathematics, Science and Technology Education.* 5(4), 413- 420.
- Tasiwan., Nugroho, S.E., & Hartono. (2014). Pengaruh *Advance Organizer* Berbasis Proyek Terhadap Kemampuan Analisis –Sintesis Siswa. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 10(1), 1-7.

PENGARUH MULTIMEDIA INTERAKTIF DAN GAYA BELAJAR TERHADAP PENGUASAAN KONSEP KALOR SISWA

Gunawan^{1*}, A. Harjono¹, Imran²

¹Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP Universitas Mataram, Indonesia

²Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP Universitas Samawa, Indonesia

Diterima: 12 Februari 2016. Disetujui: 28 Mei 2016. Dipublikasikan: July 2016

ABSTRAK

Dalam penelitian ini telah dikembangkan multimedia interaktif pada konsep kalor. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh multimedia interaktif dan gaya belajar terhadap penguasaan konsep kalor siswa. Penelitian dilaksanakan dalam tiga tahapan, yaitu studi pendahuluan, pengembangan desain, dan pengujian model. Pada tahap pengujian model digunakan metode kuasi eksperimen. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan ANAVA dengan dua faktor, yaitu model pembelajaran dan gaya belajar. Gaya belajar siswa dibagi menjadi empat kategori berdasarkan model VARK Fleming, yaitu Visual, Auditori, Read, dan Kinestetik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata penguasaan konsep siswa yang belajar menggunakan multimedia interaktif lebih tinggi dibandingkan siswa yang belajar tanpa multimedia. Penguasaan konsep kalor siswa juga dipengaruhi oleh gaya belajar, dimana siswa dengan gaya belajar visual memiliki penguasaan konsep yang lebih tinggi dibandingkan siswa dengan gaya belajar lainnya.

ABSTRACT

In this research, we have developed interactive multimedia on heat concepts. This research aimed to analyze the effect of interactive multimedia and learning styles towards students' understanding on heat concepts. The research was conducted in three stages: a preliminary study, development, and testing of models. Testing phase of the model used a quasi-experimental method. Data were analyzed using ANOVA with two factors, namely learning models and learning styles. Students' learning styles were divided into four categories based on the model VARK Fleming; Visual, Auditory, Read, and Kinesthetic. The results showed that the average of students' understanding who learned using interactive multimedia was still higher than students who learned without interactive multimedia. Students' understanding on heat concepts were affected by learning styles, in which students with visual learning styles had higher understanding on heat concepts than students with any other learning styles.

© 2016 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: interactive multimedia; learning styles; heat concepts

PENDAHULUAN

Beberapa hasil penelitian menunjukkan adanya karakteristik khusus yang lebih efektif dalam desain multimedia pembelajaran agar sesuai dengan kebutuhan belajar siswa. Karakteristik ini didasarkan pada teori kognitif multimedia pembelajaran oleh Mayer. Beberapa karakteristik desain multimedia pembelajaran ini telah dirumuskan dan terbukti berhasil menunjukkan keunggulan multimedia dalam

meningkatkan hasil belajar (Butcher, 2006; Mayer, Bove, Bryman, Mars & Tapangco, 1996; Moreno & Mayer, 1999; Moreno & Mayer, 2005). Secara spesifik, Gunawan (2008) menemukan bahwa peningkatan penguasaan konsep elastisitas mahasiswa yang mengikuti pembelajaran dengan multimedia interaktif lebih tinggi dibandingkan dengan mahasiswa yang belajar tanpa multimedia interaktif. Beberapa penelitian di atas memberikan informasi bahwa penambahan aset visual lebih baik dibandingkan penggunaan aset verbal saja. Hal ini menunjukkan pentingnya penggunaan multimedia dalam pembelajaran.

*Alamat Korespondensi:

Jln. Majapahit No. 62 Mataram 83125, Nusa Tenggara Barat
E-mail: gunawan@unram.ac.id

Multimedia pembelajaran fisika telah berkembang pesat dalam berbagai bentuknya. Beberapa diantaranya dapat diakses di internet. Terdapat sejumlah multimedia yang dikembangkan pada berbagai materi fisika yang berbeda. Meskipun demikian, masih ada beberapa materi tertentu yang belum tersedia atau belum didukung dengan multimedia yang sesuai. Salah satunya multimedia pembelajaran untuk materi kalor kelas X SMA.

Konten-konten multimedia pembelajaran yang berkembang umumnya tidak sesuai dengan teori kognitif multimedia pembelajaran. Ketidaksihesuaian ini memberikan kesenjangan antara hasil penelitian yang telah dilakukan berpuluh-puluh tahun dengan konten yang tersedia saat ini. Berangkat dari hal ini, perlu dikembangkan sebuah multimedia pembelajaran interaktif fisika SMA pada materi kalor yang sesuai dengan teori kognitif multimedia pembelajaran.

Keberhasilan pembelajaran dengan multimedia sangat bergantung desain multimedia yang diterapkan. Pembelajaran akan memberikan hasil yang lebih baik jika didesain sesuai cara manusia belajar. Ada beberapa teori yang mendasari desain multimedia pembelajaran, yaitu: teori *dual channel*, teori *limited capacity*, dan teori *active learning* (Mayer, 2003). Teori *dual channel* menjelaskan bagaimana informasi verbal dan gambar diproses secara berbeda menjadi sebuah pengetahuan. Teori *limited capacity* yang menyatakan jumlah informasi yang dapat diproses pada tiap jalur sangat terbatas. Sedangkan, teori pembelajaran aktif menyatakan bahwa pembelajaran akan bermakna ketika siswa melakukan proses kognitif aktif termasuk perhatian pada kata dan gambar yang relevan, mengorganisasikannya menjadi representasi kata dan gambar yang koheren, dan menyatukan satu sama lain bersama pengetahuan awal siswa.

Siswa sebagai pengguna multimedia pembelajaran harus melakukan interaksi yang memadai untuk tercapainya tujuan pembelajaran. Interaksi siswa dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satunya adalah kecenderungan gaya belajar siswa. Berbagai model teoritis tentang gaya belajar banyak berkembang. Salah satunya adalah model Fleming & Mills (1992), yang membagi gaya belajar menjadi empat model, yaitu visual, auditori, read, dan kinestetik (VARK). Setiap kategori memiliki kecenderungan tersendiri dalam mengolah suatu informasi. Gaya belajar VARK ini dapat diuji dengan menggunakan kuesioner VARK

yang dapat diperoleh secara *online* dari situs resminya. Siswa yang memiliki gaya *visual*, *auditori*, *read*, dan kinestetik memiliki perbedaan dalam kecenderungan cara mendapatkan informasi.

Dalam penelitian ini, telah dikembangkan multimedia pembelajaran pada materi kalor. Multimedia pembelajaran yang dikembangkan telah disesuaikan dengan teori kognitif yang berkembang. Multimedia tersebut telah diuji secara empiris untuk menentukan pengaruhnya dalam pembelajaran ditinjau dari gaya belajar siswa. Dalam artikel ini akan dibahas tiga masalah utama yaitu: (1) pengaruh penggunaan multimedia pembelajaran yang dihasilkan terhadap hasil belajar siswa pada konsep kalor, (2) pengaruh gaya belajar siswa terhadap hasil belajar siswa pada pembelajaran menggunakan multimedia, dan (3) interaksi gaya belajar dan strategi yang digunakan terhadap hasil belajar siswa.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan yang terdiri dari tiga tahapan, yaitu tahap studi pendahuluan, tahap pengembangan desain, dan tahap pengujian model. Pada tahap pengujian model, metode yang digunakan adalah penelitian kuasi eksperimen. Populasi penelitian ini adalah siswa kelas X SMA Negeri 3 Mataram. Pemilihan sampel dilakukan secara *purposive sampling*, dan diambil dua dari 13 kelas yang ada. Kedua kelas tersebut dipilih berdasarkan kesamaan kemampuan awal dan tingkat variasi kemampuan siswa dalam kelas. Kemampuan siswa dilihat dari nilai raport kelas X semester I pada mata pelajaran fisika.

Salah satu dari dua kelas tersebut digunakan sebagai kelas eksperimen. Kelas ini diajarkan dengan menggunakan model *direct instruction* dengan bantuan multimedia pembelajaran interaktif kalor. Kelas lain merupakan kelas kontrol diajarkan dengan menggunakan model *direct instruction* tanpa multimedia interaktif. Penguasaan konsep siswa pada kedua kelas diukur setelah satu kompetensi dasar selesai diajarkan (empat pertemuan). Gaya belajar siswa diukur sekali sebelum kegiatan pembelajaran yang pertama dilaksanakan.

Instrumen penelitian yang digunakan untuk memperoleh data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah:

Angket gaya belajar siswa, mengacu pada VARK *Questionnaire Version 7.1*. Instru-

men ini terdiri dari tiga jenis: *standard*, *for younger people*, dan *for athletes*. Jenis yang digunakan adalah *for younger people* yang dapat diakses secara online melalui <http://www.vark-learn.com/english/page.asp?p=younger>. Kuesioner terdiri dari 16 pertanyaan yang berkaitan dengan keseharian siswa. Hasil angket ini nantinya dapat diinput online untuk mengetahui gaya belajar tiap siswa.

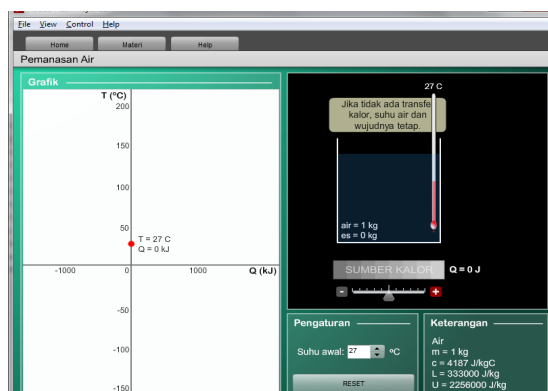
Tes penguasaan konsep kalor berbentuk essay yang digunakan untuk mengukur kemampuan siswa menjawab soal pada materi kalor. Tes dibuat agar dapat mengukur komponen C1 sampai C6 siswa.

Data dianalisis dengan menggunakan uji ANAVA. Uji ANAVA dilakukan untuk membandingkan rata-rata tiap perlakuan Campbell, Shadis & Cook (2002). Uji ANAVA adalah salah satu uji parametrik yang mengasumsikan normalitas, homogenitas dan independensi data. Oleh karena itu, sebagai prasyarat pengujian sebelumnya dilakukan uji normalitas kelompok pada data *post-test* dengan menggunakan statistik Kolmogorov-Smirnov. Selain itu, dilakukan juga pengujian homogenitas varian kelompok dengan menggunakan statistik Levene (Peck, 2012).

Setelah dilakukan uji ANAVA, jika terdapat pengaruh dilakukan uji lanjut (Post Hoc) dengan menggunakan uji Tukey HSD. Uji ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan tiap kelompok jika hasil uji ANAVA menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan. Keseluruhan analisis ini akan dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak SPSS versi 20.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian pengembangan ini telah dikembangkan multimedia pembelajaran interaktif pada materi kalor untuk pembelajaran di Sekolah Menengah Atas (SMA). Multimedia pembelajaran ini mencakup beberapa konsep diantaranya termometer, pemuai, kalor jenis, hubungan kalor dan suhu, asas Black, dan perpindahan kalor. Setiap konsep memiliki simulasi interaktif yang mengizinkan dan memungkinkan pengguna mengubah variabel tertentu untuk mengetahui pengaruhnya terhadap variabel lainnya. Multimedia interaktif ini dikembangkan berdasarkan prinsip desain multimedia dari teori kognitif pembelajaran multimedia Mayer. Gambar 1 berikut merupakan salah satu contoh tampilan produk yang dikembangkan.



Gambar 1. Contoh Tampilan Multimedia

Pada Gambar 1 di atas dapat dilihat contoh tampilan simulasi pemanasan dan pendinginan pada air. Ada beberapa nilai yang bisa diubah seperti suhu awal, jumlah kalor yang diberikan, sehingga suhu mengalami peningkatan dalam proses pemanasan atau sebaliknya. Di bagian lain tampilan ditampilkan grafik hubungan antara suhu dan kalor.

Multimedia interaktif yang dikembangkan meliputi beberapa materi pokok yang sekaligus dijadikan menu utama program. Pada setiap materi disediakan beberapa animasi dan simulasi interaktif untuk mendukung proses pembelajaran. Animasi dan simulasi dengan mengeksplorasi keuntungan multimedia interaktif pada tiap konsep. Pada konsep termometer, dibuat simulasi interaktif yang memungkinkan pengguna melihat secara *real-time* perbandingan skala pada masing-masing jenis termometer. Pada eksperimen secara langsung, jika kita ingin membandingkan hasil pengukuran suhu zat tertentu dalam setiap jenis skala termometer maka kita harus mengumpulkan keempat jenis termometer dan melakukan pengukuran suhunya yang membutuhkan waktu lebih lama. Pada konsep lain seperti pemuai, kalor jenis, hubungan kalor dan suhu, perpindahan kalor, dan asas Black, pengguna diberikan kebebasan untuk mengubah suatu variabel dan melihat langsung pengaruhnya terhadap variabel lain. Pembelajaran dengan multimedia ini diharapkan dapat membantu siswa menemukan sendiri konsep dan prinsip penting dalam fisika.

Multimedia interaktif yang dikembangkan ini secara umum memiliki persamaan dengan multimedia lain, diantaranya komponen multimedia yang terdiri dari teks, gambar, animasi, simulasi, video, dan audio. Sedangkan perbedaannya terletak pada prinsip desain yang disesuaikan dengan prinsip desain dan teori kognitif multimedia, tidak terlalu banyak

teks, serta sistem navigasi yang disesuaikan dengan struktur pokok materi yang sedang dipelajari siswa.

Multimedia dikembangkan untuk menjadi alat bantu pembelajaran fisika di kelas baik oleh guru maupun siswa. Multimedia dibuat agar dapat digunakan secara mandiri oleh siswa dengan bantuan lembar kerja siswa (LKS). Namun demikian, secara umum multimedia ini juga dapat dijadikan media presentasi oleh guru di kelas. Multimedia interaktif ini digunakan dalam pembelajaran dengan model pembelajaran langsung (*direct instruction*). Pembelajaran kalor dilaksanakan dalam lima pertemuan, masing-masing dilaksanakan selama 90 menit. Kegiatan inti pembelajaran dibantu dengan multimedia interaktif dengan lembar kerja siswa untuk mengarahkan siswa menemukan konsep secara mandiri.

Penguasaan Konsep Siswa

Data penguasaan konsep siswa yang telah dianalisis menggunakan statistik deskriptif dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Rata-rata Penguasaan Konsep Siswa

Kelas	Gaya Belajar	Rata-rata	N
Kontrol	Visual	74.95	8
	Auditori	55.14	14
	Read/Write	63.16	10
	Kinestetik	62.77	10
	Total	62.64	42
Eksperimen	Visual	79.65	8
	Auditori	61.00	9
	Read/Write	65.54	12
	Kinestetik	60.98	9
	Total	66.36	38

Sebagai prasyarat uji statistik parametrik, data penguasaan konsep siswa kemudian diuji normalitas dan homogenitasnya. Uji normalitas dilakukan pada taraf kesalahan 5%. Karena hasil uji menunjukkan signifikansi $0,200 > 0,05$ pada kelas eksperimen dan juga $0,200 > 0,05$ pada kelas kontrol, dapat disimpulkan bahwa data penguasaan konsep pada kedua kelas terdistribusi secara normal. Uji homogenitas varian dilakukan dengan uji Levene menggunakan SPSS. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada taraf kesalahan 5%, dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan varian antarkelas karena nilai signifikansi

$0,84 > 0,05$. Dengan demikian, varian data dikatakan bersifat homogen.

Hasil Uji ANAVA

Uji ANAVA dilakukan pada variabel terikat penguasaan konsep dengan variabel bebas model pembelajaran (MP) dan gaya belajar (GB). Hasil uji ANAVA dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Hasil Uji ANAVA

Sumber*	Jumlah Kuadrat Type III	df	F	Sig.
MP	150.240	1	.605	0.439
GB	3656.670	3	4.908	0.004
MP*GB	166.483	3	.223	0.880

Keterangan* MP=Model Pembelajaran; GB=Gaya Belajar; MP*GB = Interaksi Model Pembelajaran dan Gaya Belajar.

Dari Tabel 2 di atas dapat diketahui bahwa perbedaan perlakuan yang digunakan dalam penelitian ini tidak berpengaruh terhadap hasil belajar siswa ($\text{sig} = 0,439 > 0,05$). Kelas eksperimen belajar menggunakan model *direct instruction* dengan multimedia interaktif, sedangkan kelas kontrol diajarkan menggunakan model *direct instruction* tanpa multimedia. Selain itu, hasil uji tersebut juga menunjukkan bahwa perbedaan gaya belajar berpengaruh terhadap hasil belajar siswa ($\text{sig} = 0,004 < 0,05$). Diketahui juga bahwa tidak terdapat interaksi antara model yang digunakan dengan gaya belajar terhadap hasil belajar siswa ($\text{sig}=0,880 > 0,05$).

Uji lanjutan perlu dilakukan karena terdapat variabel yang berpengaruh terhadap hasil belajar. Uji Tukey HSD digunakan sebagai *post hoc* analisis ini. Tabel 3 memperlihatkan hasil uji lanjut Tukey HSD yang telah dilakukan.

Tabel 3. Hasil Uji Post Hoc Tukey HSD

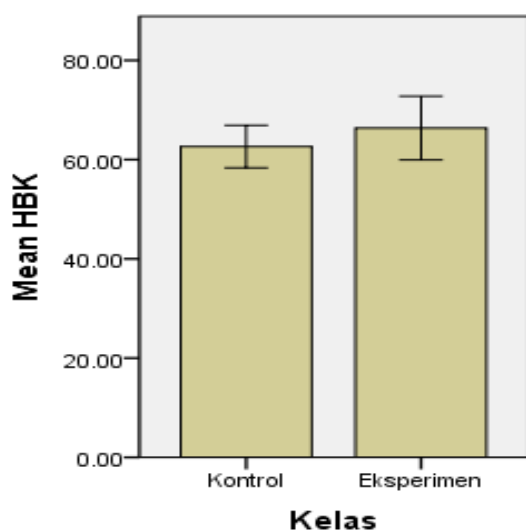
(I) GB	(J) GB	Beda Rerata (I-J)	Std. Error	Sig.
V	Auditori	19.87*	5.13	.001
	Read/Write	12.84	5.18	.072
	Kinestetik	15.38*	5.35	.027
A	Visual	-19.86*	5.13	.001
	Read/Write	-7.02	4.70	.446
	Kinestetik	-4.49	4.89	.795

R	Visual	-12.84	5.18	.072
	Auditori	7.02	4.70	.446
	Kinestetik	2.54	4.93	.955
K	Visual	-15.38*	5.35	.027
	Auditori	4.49	4.89	.795
	Read/Write	-2.54	4.93	.955

*. Berbeda signifikan pada taraf 5%

Pengaruh Multimedia Interaktif Kalor Terhadap Penguasaan Konsep Siswa

Uji ANAVA pada data penguasaan konsep siswa menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara penguasaan siswa kelas eksperimen dan kontrol ($\alpha=0.05$, $\text{sig}=0.439$). Arti dari hasil ini adalah jika dianggap bahwa gaya belajar siswa sama, maka tidak terdapat perbedaan signifikan pada kelas yang diajarkan dengan multimedia interaktif dengan kelas kontrol yang belajar secara konvensional. Hasil ini tidak sesuai dengan beberapa penelitian terdahulu yang membuktikan bahwa pembelajaran dengan bantuan multimedia lebih efektif dibandingkan pembelajaran tanpa bantuan multimedia (Wahyudin, Sutikno & Isa, 2010; Widiyatmoko, 2012).



Gambar 2. Rata-Rata Penguasaan Konsep Kelas Eksperimen dan Kontrol

Dalam pelaksanaannya di lapangan ternyata penggunaan multimedia interaktif kalor ini di kelas eksperimen memiliki beberapa kendala. Kendala tersebut dialami mulai pada tahap persiapan, tahap pelaksanaan pembelajaran, serta tahap evaluasi. Pada tahap persiapan, kelas eksperimen membutuhkan

waktu ekstra dibandingkan kelas kontrol. Waktu ekstra tersebut digunakan untuk mempersiapkan laptop, pemasangan LCD, serta mulai menjalankan aplikasi. Waktu yang diperlukan sekitar sepuluh sampai lima belas menit. Hal ini sedianya tidak menjadi kendala jika sekolah sudah memiliki laboratorium komputer sendiri dengan perangkat yang siap digunakan, sehingga pembelajaran dapat dimulai tepat pada waktunya sesuai rencana pembelajaran.

Pada pelaksanaan kegiatan pembelajaran, kelas kontrol diajarkan dengan model *direct instruction* dengan penekanan pada kegiatan tutorial dalam mengerjakan soal. Pada tahap awal siswa diberikan penjelasan tentang materi, kemudian guru memberikan contoh permasalahan yang terkait, dilanjutkan dengan latihan soal. Setelah itu, guru memberikan latihan soal yang lebih sulit kepada siswa untuk dikerjakan. Di tahap akhir guru bersama siswa membahas soal-soal tersebut. Pada kelas eksperimen, siswa belajar dengan model yang sama dengan didukung multimedia interaktif. Multimedia interaktif tersebut diakses secara mandiri oleh siswa, khususnya pada tahapan tutorial dan latihan mengerjakan soal. Setiap siswa bekerja sesuai dengan petunjuk yang ada pada lembar kerja yang dibagikan. Pada tahap akhir, guru dan siswa membahas tentang jawaban siswa di lembar kerja.

Perbedaan yang paling nampak di kedua kelas ini adalah kelas eksperimen bekerja lebih mandiri dibandingkan kelas kontrol. Hal ini disebabkan siswa dapat melakukan kontrol terhadap aktivitas belajarnya, dapat menerima umpan balik lebih cepat, dan dapat memutuskan sudah sejauh mana tingkat pemahamannya (Gunawan, 2015). Kelas eksperimen yang belajar menggunakan multimedia interaktif juga mendapatkan informasi visual lebih banyak dibandingkan kelas kontrol. Sedangkan kelas kontrol mendapatkan tutorial mengerjakan soal lebih banyak dibandingkan kelas eksperimen.

Temuan yang sangat menarik dalam penelitian ini, hasil belajar siswa pada konsep kalor pada kedua kelas tidak berbeda secara signifikan. Meskipun rata-rata hasil belajar siswa kelas eksperimen masih lebih tinggi dibandingkan siswa pada kelas kontrol. Berdasarkan analisis yang dilakukan, salah satu faktor yang mempengaruhi hasil ini adalah jenis evaluasi yang digunakan. Dari 10 soal yang digunakan untuk mengukur hasil belajar siswa, sembilan soal diantaranya merupakan soal hitungan matematis. Siswa pada kedua kelas mengalami peningkatan kemampuan yang sama dalam

menjawab soal dengan tipe ini.

Temuan ini diperkuat hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan Gunawan., Harjono, Sahidu & Sutrio (2014), yang menemukan bahwa mahasiswa pada kelas yang diajarkan dengan bantuan multimedia pembelajaran interaktif cenderung unggul dalam menjawab soal yang bersifat konseptual dibandingkan soal hitungan matematis. Mereka lebih mampu menjawab pertanyaan tentang soal-soal prosedural yang terkait konsep yang sedang dipelajari dibandingkan soal-soal dengan persamaan matematis yang dominan. Pada soal dengan hitungan matematis, penggunaan multimedia pembelajaran tidak memperlihatkan pengaruh signifikan karena umumnya tidak memberikan hasil yang berbeda signifikan dibandingkan pembelajaran konvensional.

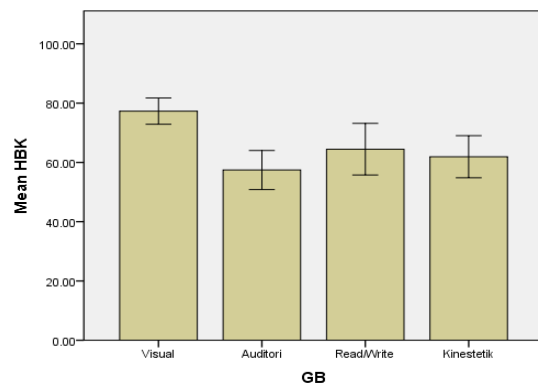
Beberapa penelitian lain dengan penjelasan berbeda juga menemukan bahwa tidak ada perbedaan hasil belajar secara signifikan antara kelompok kontrol dengan eksperimen yang menggunakan multimedia pembelajaran (Da'lij, 2008; Cheng, Cheng & Chen, 2012). Chu (2014) menyatakan, tanpa perlakuan yang tepat, media yang terkenal efektif bisa mengecewakan atau bahkan memberi efek negatif pada hasil belajar siswa. Dalam penelitiannya, Chu (2014) menemukan hasil belajar kelompok kontrol lebih baik secara signifikan daripada kelompok eksperimen.

Hal ini mengindikasikan bahwa guru ataupun dosen yang akan menggunakan multimedia dalam pembelajarannya masih tetap dituntut menjelaskan secara sistematis persamaan-persamaan penting terkait konsep yang sedang dipelajari. Hal ini akan berimplikasinya pada semakin baiknya pemahaman siswa pada konsep tersebut. Begitupun pertimbangan pada pemilihan model pembelajaran yang tepat. Hal ini dimaksudkan untuk lebih mudahnya pencapaian tujuan pembelajaran yang ditargetkan. Pengalaman penelitian yang dilakukan menunjukkan perlu adanya pertimbangan ekstra pada hal-hal teknis terkait pembelajaran dengan multimedia interaktif yang dilakukan.

Pengaruh Gaya Belajar Terhadap Hasil Belajar

Pada hasil uji statistik ANAVA untuk hipotesis terkait pengaruh gaya belajar terhadap penguasaan konsep kalor diperoleh nilai $\alpha = 0,05$ dengan $\text{sig} = 0,004$. Berdasarkan hasil tersebut, dapat diketahui bahwa gaya belajar siswa memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil belajar siswa. Hasil ini sesuai

dengan beberapa penelitian terdahulu. Cano-Garcia & Hughes (2000) menyebutkan adanya korelasi positif antara gaya belajar dengan hasil belajar siswa. Vaishnav (2013), juga menyebutkan adanya pengaruh gaya belajar yang signifikan terhadap hasil belajar siswa. Ketika diadakan uji lanjut terhadap masing-masing komponen gaya belajar, ditemukan bahwa komponen visual menunjukkan peningkatan yang paling tinggi dibandingkan gaya belajar lain, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3 berikut.



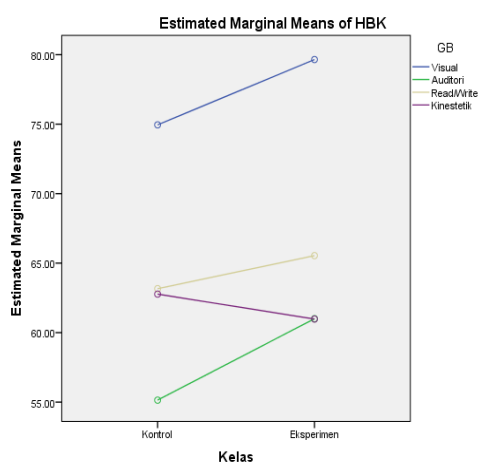
Gambar 3. Perbandingan Nilai pada Masing-Masing Gaya Belajar

Dari Gambar 3 tersebut dapat diketahui bahwa meskipun multimedia interaktif merupakan media yang dapat mengakses keempat jenis gaya belajar siswa. Namun, jika dilihat lebih dekat, media ini paling banyak memberikan ruang untuk siswa dengan gaya belajar visual. Siswa dengan gaya belajar visual cenderung menggunakan indra penglihatan untuk mempelajari segala hal. Oleh karena itu, mereka bisa dibantu dengan penyajian bahan ajar dalam bentuk grafik, gambar atau memaksimalkan pilihan warna. Semua poin tersebut telah dimuat dalam media yang dikembangkan dalam penelitian ini. Dalam penelitian yang dilakukan Kassim (2013), yang telah meneliti hubungan antara gaya belajar, kemampuan berpikir kreatif dan bahan pembelajaran multimedia diperoleh hasil yang mengindikasikan kemampuan visual yang tinggi diperoleh setelah menggunakan multimedia.

Interaksi Model Pembelajaran dengan Gaya Belajar

Uji ANAVA pada data hasil belajar menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara gaya belajar dan model yang digunakan dalam pembelajaran pada hasil belajar siswa

($\alpha=0.05$, $\text{sig}=0.880$). Grafik interaksi model yang digunakan terhadap gaya belajar dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Interaksi Gaya Belajar dengan Model

Hasil ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan, gaya belajar berpengaruh terhadap hasil belajar siswa dan pengaruh ini tidak bergantung pada model yang digunakan. Dapat kita lihat pada Gambar 4 di atas, keempat garis hampir semuanya sejajar yang secara keseluruhan menunjukkan tidak adanya interaksi. Temuan yang menarik pada bagian ini adalah siswa dengan gaya belajar kinestetik memiliki kemiringan negatif sedangkan gaya belajar lain positif. Ini mengindikasikan bahwa siswa dengan gaya belajar kinestetik yang diajarkan dengan multimedia interaktif kalor memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan yang diajarkan dengan metode ceramah berbantuan lembar kerja siswa. Multimedia pembelajaran, khususnya multimedia interaktif kalor ini, dikembangkan untuk mengakomodasi penyampaian pengetahuan maupun informasi secara visual dan verbal. Hal ini sekaligus menjadi kelemahan multimedia interaktif ini, karena belum dapat memberikan keuntungan tersendiri bagi siswa dengan gaya kinestetik.

Menurut Fleming (2014), peserta didik dengan gaya belajar kinestetik cenderung mudah belajar berdasarkan latihan dan pengalaman langsung. Walaupun kecenderungan ini juga dimiliki oleh siswa dengan gaya belajar lainnya. Siswa dengan gaya belajar kinestetik lebih diuntungkan jika penyampaiannya materi melalui pengalaman, contoh, dan latihan yang dikaitkan langsung dengan realita. Video, simulasi, dan demonstrasi dari objek sebenarnya lebih menguntungkan siswa dengan gaya

belajar kinestetik dibandingkan animasi/simulasi yang tidak terkait langsung dengan realita. Mereka akan lebih terbantu dengan contoh konkret dari kehidupan nyata. Sehingga meskipun dibuat dalam multimedia, contoh-contoh yang diberikan tidak boleh tidak terkait sama sekali dengan kehidupan nyata siswa.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah disampaikan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan multimedia pembelajaran kalor tidak berpengaruh signifikan terhadap penguasaan konsep siswa. Banyak faktor yang mempengaruhi hal ini, seperti tahap persiapan pada kelas eksperimen yang membutuhkan cukup banyak waktu, belum terbiasanya siswa belajar mandiri dengan komputer, dan jenis evaluasi yang dominan merupakan soal hitungan matematis.

Gaya belajar berpengaruh terhadap hasil belajar siswa secara signifikan. Uji lanjut menunjukkan bahwa siswa dengan gaya belajar visual memperoleh hasil belajar yang lebih baik dari siswa dengan gaya belajar lain. Selain itu, dalam penelitian ini juga ditemukan tidak terdapat interaksi antara model pembelajaran yang digunakan terhadap gaya belajar siswa. Ini menunjukkan bahwa pengaruh gaya belajar tidak bergantung pada model pembelajaran yang digunakan.

Dalam penelitian ini juga dapat diketahui bahwa siswa dengan gaya belajar kinestetik tidak begitu diuntungkan dengan penggunaan multimedia pembelajaran kalor secara total di dalam kelas. Peneliti menyarankan pengembangan dalam dua hal: (1) penggunaan strategi berbeda sehingga siswa dengan gaya kinestetik bisa lebih optimal belajar dengan multimedia pembelajaran kalor; (2) modifikasi multimedia pembelajaran kalor agar sesuai dengan gaya belajar kinestetik, misalnya menggunakan teknologi *touchscreen*, penambahan video dari kehidupan sehari-hari, dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Butcher, K. R. (2006). Learning from text with diagrams: Promoting mental model development and inference generation. *Journal of Educational Psychology*, 98(1), 182.
- Campbell, D. T., Shadish, W. R., & Cook, T. D. (2002). *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Generalized Causal Inference*. U.S.A: Houghton Mifflin.
- Cano-Garcia, F., & Hughes, E. H. (2000). Learn-

- ing and thinking styles: An analysis of their interrelationship and influence on academic achievement. *Educational Psychology*, 20(4), 413-430.
- Cheng, Y. H., Cheng, J. T., & Chen, D. J. (2012). The effect of multimedia computer assisted instruction and learning style on learning achievement. *WSEAS transactions on information science and applications*, 9(1), 1-33.
- Chu, H. C. (2014). Potential Negative Effects of Mobile Learning on Students' Learning Achievement and Cognitive Load A Format Assessment Perspective. *Educational Technology & Society*, 17(1), 332-344.
- Da'alj, M. (2008). The Impact of The Use of Software Decision Math Produced Locally on Collection of The Average Second Grade Students in Riyadh. Master Thesis. Riyadh: King Saud University.
- Fleming, N. & Mills, C. (1992). Not another Inventory, Rather a Catalyst for Reflection, to Improve the Academy. Vol. 11, 137.
- Fleming, N. (2014). The VARK Questionnaire. <http://www.vark-learn.com/english/page.asp?p=younger>. Diakses pada 30 Maret (2014).
- Gunawan. (2008). Model Pembelajaran Berbasis Multimedia Interaktif Untuk Meningkatkan Penguasaan Konsep Calon Guru Pada Materi Elastisitas. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 2(1), 11-21.
- Gunawan. (2015). *Model Pembelajaran Sains Berbasis ICT*. Mataram: FKIP Unram Press.
- Gunawan., Harjono, A., Sahidu, H., & Sutrio. (2014). Penggunaan Multimedia Interaktif dalam Pembelajaran Fisika dan Implikasinya pada Penguasaan Konsep Mahasiswa. *Jurnal Pijar MIPA*. 9(1), 15-19.
- Kassim, H. (2013). The relationship between learning styles, creative thinking performance and multimedia learning materials. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 97, 229-237.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia Learning*. New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2003). The promise of multimedia learning: using the same instructional design methods across different media. *Learning and instruction*, 13(2), 125-139.
- Mayer, R. E., Bove, W., Bryman, A., Mars, R., & Tangco, L. (1996). When less is more: Meaningful learning from visual and verbal summaries of science textbook lessons. *Journal of educational psychology*, 88(1), 64-73.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (1999). Multimedia-supported metaphors for meaning making in mathematics. *Cognition and instruction*, 17(3), 215-248.
- Moreno, R., & Valdez, A. (2005). Cognitive load and learning effects of having students organize pictures and words in multimedia environments: The role of student interactivity and feedback. *Educational Technology Research and Development*, 53(3), 35-45.
- Peck, R. (2012). *Introduction to Statistics and Data Analysis*. Boston: Brooks/Cole.
- Vaishnav, R. S. (2013). Learning Style and Academic Achievement of Secondary School Students. *Voice of Research*. 1(4), 1-4.
- Wahyudin, Sutikno, & Isa. (2010). Keefektifan Pembelajaran Berbantuan Multimedia Menggunakan Metode Inkuiri Terbimbing untuk Meningkatkan Minat dan Pemahaman Siswa. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 6(1), 58-62.
- Widiatmoko, A. (2012). Pengembangan Perangkat Pembelajaran IPA Fisika Dengan Pendekatan Physics-Edutainment Berbantuan CD Pembelajaran Interaktif. *Journal of Primary Education*, 1(1), 38-44.

RADIATION SAFETY ANALYSIS OF NEUTRON COLIMATOR BASED ON NICKEL MATERIAL FOR PIERCING RADIAL BEAMPORT UTILIZATION OF KARTINI RESEARCH REACTOR

Widarto¹, T. Trikasjono², F. Akbar²

¹Center for Accelerator Science and Technology-National Nuclear Energy Agency of Indonesia

²Nuclear Technology School of Higher Learning-National Nuclear Energy Agency of Indonesia

Received: 2 May 2016. Accepted: 15 June 2016 . Published: July 2016

ABSTRACT

Radiation safety analysis of nickel material neutron colimator (as requirement) for piercing radial beamport utilization of Kartini research reactor has been done before the neutron colimator installed. The neutron collimator made of nickel material with cylindrical geometry which is 156 cm length. The inside and outside diameter are 16 cm and 19 cm respectively with mean cylindrical thickness is 1.5 cm. Irradiation process to the neutron collimator begin when the reactor being operated for 6 (six) hours per day and assumed optimum at 100 kW power level. Results of the analysis showed that gamma dose rate which was generated by collimator at a distance of 50 cm from the end of the collimator is $1.5328e^{-03}$ mr/hours. The dose rate is still below the dose limit value which was required by Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN) is 1 mr/hours. It can be concluded that utilization neutron colimator of nickel material which installed at the radial piercing beamport of Kartini Reactor is safely.

ABSTRAK

Telah dilakukan kajian analisis keselamatan paparan radiasi terhadap kolimator neutron (sebagai persyaratan) sebelum dipasang pada beamport tembus radial reaktor kartini. Kolimator neutron terbuat dari bahan nikel berbentuk silinder panjang 156 cm dengan diameter dalam 16 cm dan diameter luar 19 cm sehingga tebal silinder 1.5 cm. Proses iradiasi terhadap kolimator neutron terjadi pada saat reaktor dioperasikan pada suatu daya dan diasumsikan optimal pada daya 100 kw selama 6 jam dalam satu hari. Hasil analisis menunjukkan laju dosis gamma yang dihasilkan kolimator pada jarak 50 cm dari ujung kolimator sebesar $1.5328e^{-03}$ mr/jam. Laju dosis tersebut masih dibawah nilai batas dosis yang ditetapkan oleh bapeten sebesar 1 mr/jam, sehingga penggunaan kolimator tersebut dalam batas aman

© 2016 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: dose rate; neutron collimator; piercing radial beamport; radiation

INTRODUCTION

The development of nuclear technology utilization is increasing in various field such as industry, medicine, agriculture and research. Besides the benefit of nuclear technology utilization contained potential risk to human live and environment. So that it need to maintain and analyze radiation safety for workers, society, and environment. There are two methods

for monitoring to provide protection to human live by exposure of radiation, namely the monitoring of radiation exposure on the workplace and the monitoring of radiation exposure to personnel who work in potential radiation facility (Trikasjono, 2008).

Research reactors are used as neutron generators in contrast to power reactors in which energy production is the prime issue. Detailed radiation transport calculations are performed using Monte Carlo neutral particle transport code (MCNP) to optimise the nuclear

*Correspondence Address:

Jl. Babarsari, Depok, Sleman, Yogyakarta, 55281
E-mail: widarto_widarto@yahoo.com

facility shield design. Neutron and capture gamma dose rates at the accessible areas are estimated (Sunny & Subbaiah, 2014). To make neutrons available outside the reactor core, beam ports are designed around the core. These beam ports can be characterized by neutron flux level which is useful for neutron beam application in a reactor. The neutron and gamma flux variation was studied as a function of different orientations of beam tubes and optimally minimum information is produced to understand neutron beam design and use (Yasmeen & Mahmood, 2016). The advantage of using a TRIGA reactor for BNCT is its stability and reliability in addition to the high neutron intensity and low background radiation of the treatment beam (Savolainen et al., 2013)

For radiation safety purpose, requires radiation personal dose limit value assigned by Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN). According to regulation by The Head of BAPETEN State No. 4 2013, the personal radiation dose limit value is average effective dose of 20 mSv of five-year period, so the dose accumulated in 5 years should not exceed 100 mSv. While effective radiation dose limit value for community is 1 mSv per year (BAPETEN, 2013).

To improve the utilization of the Kartini research reactor, one of irradiation facility that is radial piercing beamport will be used for in vivo/in vitro neutron irradiation test facility as a basic research for developing Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) method. By installing neutron collimator of nickel material in the radial piercing beamport to optimizing the neutron flux (Wahyono et al., 2012). Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) has been advocated for many decades as an innovative form of radiotherapy that, in principle, has the potential to be the ideal form of treatment for many types of cancers (Moss 2014). The BNCT has been performed using research reactors which are usually located at place far from hospitals. At Kyoto University Research Reactor Institute (KURRI), more than 450 clinical studies of boron neutron capture therapy (BNCT) have been performed using a research reactor as of December 2013 (Tanaka et al., 2014). In BNCT method, it is needed a neutron source which is produced neutron flux that is suitable for BNCT system. BNCT neutron flux may be produced from a neutron Beam Shaping Assembly (BSA) design. BSA is a system tool that is used to produce the neutron flux corresponding to the flux of neutrons for BNCT therapy (Rasouli,

Masoudi, & Kasezas, 2012; Faghihi & Khalili, 2013).

Before the neutron collimator inserted in the radial piercing beamport, it should be carried out to analysis especially radiation safety aspect, because assume when the collimator in the beamport will be radioactive material because of neutron interaction when the reactor operated at power level. By the analysis of radiation safety aspect it can be used for basic requirement developing utilization of the Kartini research reactor (Karmanto, 2016).

A major release of radioactivity to the environment is always of concern, owing to potential acute and long-term health effects. Evidence from historic events confirms that any major uncontrolled release of radiation should be cause for immediate response and scientific assessment of potential health effects (WHO, 2013).

Radiation Effect to Human Live

The main biological effects of radiation is damaging the cells and tissues of the human body. Type the biological effects of radiation can be classified into two types, namely (Umbara, 2011):

1. Stochastic radiation effects severity is not dependent on the size of the dose and the probability of no specific threshold dose.
2. Deterministic radiation effects severity is dependent on large doses.

Collimator

Determination of mass the collimator of nickel is useful for determining of radiation exposure when the collimator activated by neutron since inserting in the beamport and being activation process when the reactor is operated at power level. Figure 1. Indicate dimension of cylindrical collimator form with with size of length is 156 cm, outside diameter (r_o) is 19 cm and inside diameter (r_i) is 16 cm, mean the thickness of collimator is 1,5 cm (Arrozaqi, Widiharto, & Sardjono, 2013).

Neutron Activation.

Neutron activation is reaction between material atomic nuclei with neutron when the material put on the neutron field. By neutron activation the nuclei will nucleus in an excited state condition and radioactive emit particles weather α , β , γ or α and γ , β and γ simultaneously. Activities of material that has been activated can be determined using equation (1) (Suparman, 2011).

$$A = \sum_{act} \phi V (1 - e^{-\lambda t_i}) \quad (1)$$

A = activity (Bq)
 \sum_{act} = macroscopic crosssection (cm^{-1})
 ϕ = neutron flux ($\text{n cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)
 V = volume of materials (cm^3)
 λ = decay time (s^{-1})
 t_i = irradiation time (s)

After irradiation process the nuclei material will emmite radiation activity with spesific decay time and value of activity as formula (2) follow (Awaludin, 2009).

$$A_t = A_0 e^{-\lambda t_d} \quad (2)$$

A_t = decay activity (Bq)
 A_0 = initial activity (Bq)
 λ = decay time (s)
 t_d = delay time (s)

Dose Rate

Figure 1. is indicate the neutron collimator which will be inserted to radial piercing beamport with cyllindrical form. When the neutron collimator inserted to beamport while reactor operated, it can be assumed that the collimator will be radioactive material. Radiation activity of the collimator should be determine for safety analysis report related with radiation workers, public and environment.

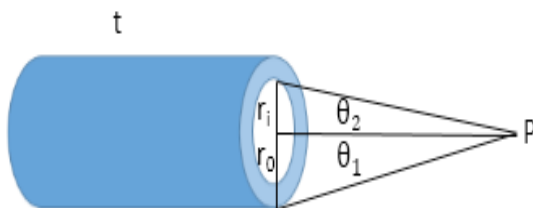


Figure 1. cyllindrical neutron collimator.

Determination dose rate assume that closed position at the distance of point P where area worker done can be calculated by formula (3) follow (Stabin, 2007):

$$D = \Gamma C_v 2\pi \{ [-\ln(\cos\theta_1)] - [-\ln(\cos\theta_2)] \} \quad (3)$$

where :

Γ = gamma factor ($\text{R.m}^2/\text{Ci.hours}$)
 C_v = activity (Ci/m^3)
 t = length of cilinder (cm)
 r_i = cyllinder inside diameter (cm)
 r_o = cyllinder outside diameter (cm)

METHOD

Research Materials.

Figure 2 indicate dimension and technical specification of neutron colimator made of nickel material with total length 156 cm separated to 12 segments as follow,

Neutron colimator made of nickel material with cyllindrical dimension and size specification as follow (Mujiyono, Mukhamad, & Leman, 2014):

Total length	(h)	= 156 cm
Inside diameter	(r_i)	= 16 cm
Outside diameter	(r_o)	= 19 cm
Segmen length	(p)	= 13 cm
Total segmen	(n)	= 12 segmen
Mass each segmen (m)		= 8 kg
Total mass	(m_t)	= 96 kg

Neutron colimator made of nickel material with cyllindrical dimension and size specification as follow (Mujiyono et al., 2014):

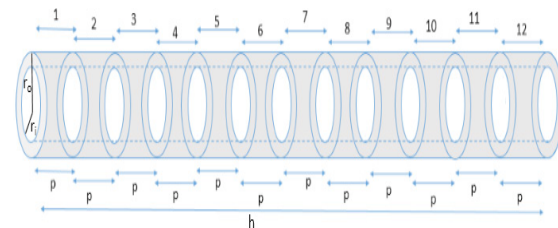


Figure 2. Dimension of neutron collimator

Total length	(h)	= 156 cm
Inside diameter	(r_i)	= 16 cm
Outside diameter	(r_o)	= 19 cm
Segmen length	(p)	= 13 cm
Total segmen	(n)	= 12 segmen
Mass each segmen (m)		= 8 kg
Total mass	(m_t)	= 96 kg

The nickel purity data of collimator material is arround 95 % which used to manufactured the neutron collimator obtained from studies conducted by KKhoirunisa & Widarto (2015) with the title "Analysis of Type And Elements Content In Neutron Collimator Materials Before And After Manufacturing Using Neutron Activation Analysis Method (NAA)" (Khoirunisa & Widarto, 2015).

Neutron Flux

Neutron flux data along the radial pearcing beamport of Kartini Research Reactor which is operates at 100 kW was studied by Sardjono et al, (2014) titled "Current Status of Boron Neutron Capture Therapy Technology Development and Application With Compact

Neutron Generator” (Widarto, 2014).

Data Analysis Technique

Equation (1) was used to determined the activity of each collimator elements when irradiation process take place. In determining the activity of each collimator elements after irradiation process was stopped we used equation (2). In determining the dose rate generated by collimator used equation (3).

RESULT AND DSCUSSION

Elements of Neutron Collimator

Research conducted by Khairunnisa, (2015) with the title “ Analysis of Type And Elements Content In Neutron Collimator Materials Before And After Manufacturing Using Neutron Activation Analysis Method (NAA)” were obtained the collimator elements before and after manufacturing. Table 1 shows the concentration of constituent elements of neutron collimator after manufacturing.

Tabel 1. Collimator Elements Concentration

Elements	Concentration (mg/g)
Ni-65	6.6506E-02
Mn-56	3.8558E-03
Cr-51	5.3670E-04
Hg-197m	1.5047E-04
W-187	1.6252E-05
Co-60	4.4206E-05
Cu-64	1.7392E-05

Based on neutron collimator homogeneity, the mass of each neutron collimator elements in each segment is same. By using equation (1), it will obtain the mass of each neutron collimator elements in each segment. Table 2 shows the mass of each neutron collimator elements in each collimator segment.

Neutron Flux of The Piercing Radial Beamport

Research conducted by Widarto et al, (2014) titled “Current Status of Technology Development and Application of Boron Neutron Capture Cancer Therapy With Compact Neutron Generator” calculated that the quantity of the thermal and fast neutron flux along the piercing radial beamport when the reactor Kartini operated at a power of 100 kW shown in Table 3. Figure 3 shows the dimensions of the

neutron collimator (Novitasari, 2015).

Table 2. Mass of Collimator Elements in Each Segment

Elements	Mass (gram)
Ni-65	5.3205E-01
Mn-56	3.0846E-02
Cr-51	4.2936E-03
Hg-197m	1.2037E-03
W-187	1.3002E-04
Co-60	3.5365E-04
Cu-64	1.3913E-04

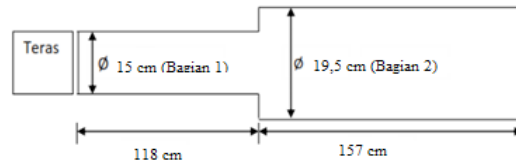


Figure 3. Radial Dimension Translucent Beamport

Table 3. Thermal And Fast Neutron Flux Along The Piercing Radial Beamport

Distance (cm)	Neutron Flux (n cm ⁻² s ⁻¹)	
	Thermal	Fast
0	1.3264E+09	1.3130E+09
25	4.1366E+08	3.3393E+08
50	4.0303E+08	3.9220E+08
75	1.0511E+08	8.3272E+07
100	2.0128E+07	1.4682E+07
120	8.3678E+06	3.3553E+06
140	8.3082E+06	1.5311E+06
160	3.0194E+06	3.1597E+06
180	5.9255E+06	4.5900E+05
200	5.2844E+06	4.7344E+05
220	3.6433E+06	1.2849E+06
240	4.4010E+06	5.2958E+05
260	3.0691E+06	9.8243E+05

Based on Table 3 data, it can be made a relationship between the beamport length and neutron flux. Figure 4 shows the relationship between the beamport length and thermal neutron flux, while Figure 5 shows the relationship between beamport length with fast neutron flux.

Equation (4) shows the distribution of thermal neutron flux, where the thermal neutron flux expressed in y-axis and x-axis specifies the beamport length.

$$y = 1.298 \times 10^9 e^{-0.0342x} \tag{4}$$

Based on Figure 5, it was obtained the equation (5) where fast neutron flux expressed in y-axis and x-axis specifies the beamport length.

$$y = 1.283 \times 10^9 e^{-0.0384x} \tag{5}$$

Thermal Neutron Flux Mapping

Collimator will be placed on the piercing radial beamport at a 118 cm distance from the reactor core. Figure 6 shows the placement of the neutron collimator in piercing radial beamport of Kartini Research Reactor.

Neutron flux which is interacting with the neutron collimator are thermal neutron flux (Ger-

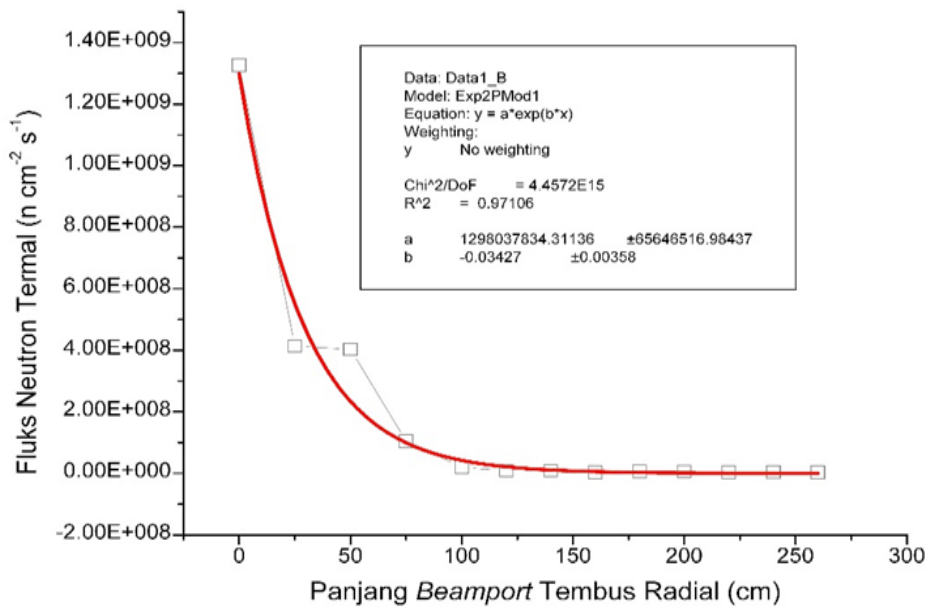


Figure 4. Graph Of Relationship Between The Beamport Length And Thermal Neutron Flux

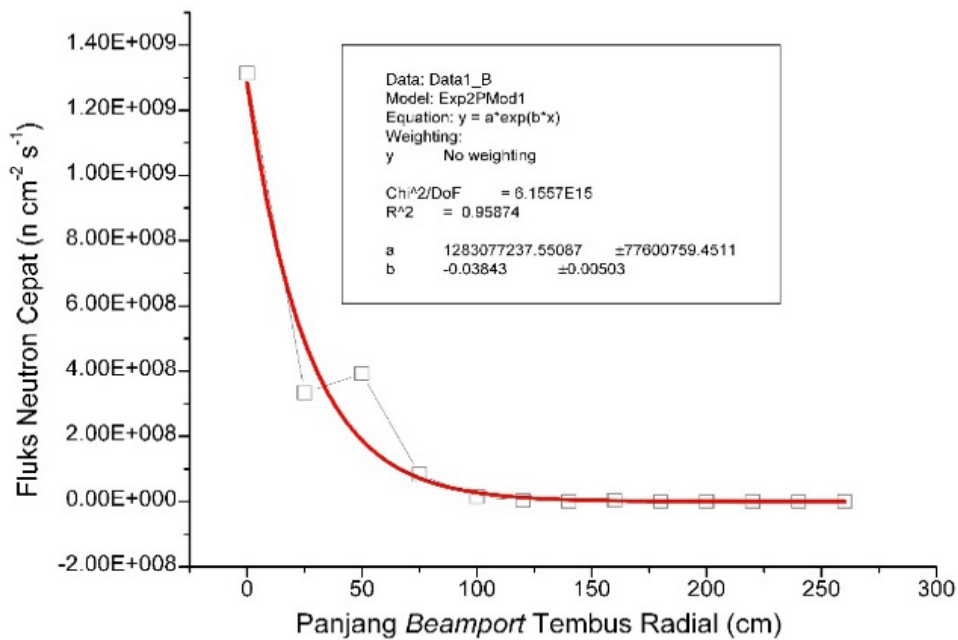


Figure 5. Graph of Beamport length Vs Fast Neutron Flux

hard, 1976). The magnitude of the thermal neutron flux which interacts with neutron collimator vary in each neutron collimator segments. The magnitude of the thermal neutron flux which interacts in each segments of collimator can be determined using equation (4). Table 4 shows the magnitude of the thermal neutron flux which interacts with each collimator segments (where length of each collimator segment separated with X_1 and X_2). So, each collimator segment length is $X_2 - X_1 = 13$ cm, and number of collimator segment is 12 segment. It mean that the total of collimator length is 12×13 cm = 156 cm.

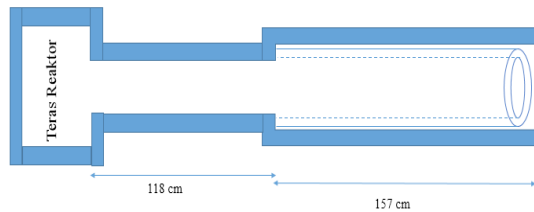


Figure 6. Placement of Collimator in Piercing Radial Beamport

Table 4. Thermal Neutron Flux in Each Collimator Segments

Segments	Length (cm)		Thermal neutron flux (ncm ⁻² s ⁻¹)
	x_1 (cm)	x_2 (cm)	
1	118	131	2.2942E+07
2	131	144	1.4708E+07
3	144	157	9.4289E+06
4	157	170	6.0447E+06
5	170	183	3.8751E+06
6	183	196	2.4843E+06
7	196	209	1.5926E+06
8	209	222	1.0210E+06
9	222	235	6.5454E+05
10	235	248	4.1961E+05
11	248	261	2.6901E+05
12	261	274	1.7245E+05

Collimator Dose Rate While Irradiation

The activity of each collimator elements is an activity accumulation of each collimator segments. Table 5 shows the amount activity of every collimator elements in the irradiation time.

The results are shown in Table 5 shows that the longer irradiation time, so that the activity of each collimator elements will be greater.

When the collimator is irradiated, each collimator elements will be activated. It will

become radioactive and emit radiation. Table 6 shows the magnitude of the dose rate produced by the collimator at a 50 cm distance from the end of the collimator. The total dose rate which is produced from neutron collimator is accumulated dose rate from each neutron collimator elements.

Table 5. Collimator Elements Activities in the Irradiation time

Elements	Activities (Ci)		
	ti = 2 hours	ti = 4 hours	ti = 6 hours
Ni-65	5,4251E-06	8,5547E-06	1,0360E-05
Mn-56	4,4649E-07	7,0749E-07	8,6006E-07
Cr-51	2,1143E-08	4,2242E-08	6,3297E-08
Hg-197m	4,3165E-08	8,3888E-08	1,2231E-07
W-187	1,5413E-09	2,9957E-09	4,3682E-09
Co-60	6,9119E-12	1,3824E-11	2,0735E-11
Cu-64	1,0606E-09	2,0119E-09	2,8651E-09

Table 6. Collimator Dose Rate in Irradiation Time

Elements	Dose rate (mR/hours)		
	ti = 2 hours	ti = 4 hours	ti = 6 hours
Ni-65	6,3609E-04	1,0030E-03	1,2147E-03
Mn-56	1,6256E-04	2,5759E-04	3,1314E-04
Cr-51	1,9492E-07	3,8943E-07	5,8353E-07
Hg-197m	1,2964E-06	2,5195E-06	3,6734E-06
W-187	1,9978E-07	3,8831E-07	5,6621E-07
Co-60	3,7335E-09	7,4669E-09	1,1200E-08
Cu-64	5,5171E-08	1,0465E-07	1,4903E-07
Total	8,0040E-04	1,2640E-03	1,5328E-03

The results are shown in Table 6 shows that the longer irradiation time, dose rate generated by neutron collimator will be greater.

Based on Table 6 data, it can be made the relationship between the irradiation time and the dose rate. Figure 7 until Figure 13 shows the relationship between the irradiation time and the dose rate for each collimator elements.

Based on Figure 7, it was obtained the equation (6) where irradiation time expressed to x-axis and y-axis expressed the dose rate.

$$y = 1.5x10^{-3}(1 - e^{-0.275x}) \tag{6}$$

Based on Figure 8, it was obtained the equation (7) where irradiation time expressed to x-axis and y-axis expressed the dose rate.

$$y = 3.9x10^{-4}(1 - e^{-0.268x}) \quad (7)$$

Based on Figure 9, it was obtained the equation (8) where irradiation time expressed to x-axis and y-axis expressed dose rate.

$$y = 9x10^{-5}(1 - e^{-1.05x10^{-3}x}) \quad (8)$$

Based on Figure 10, it was obtained the equation (9) where irradiation time expressed to x-axis and y-axis expressed dose rate.

$$y = 2x10^{-5}(1 - e^{-0.029x}) \quad (9)$$

Based on Figure 11, it was obtained the equation (10) where irradiation time expressed to x-axis and y-axis expressed the dose rate.

$$y = 3.5457x10^{-6}(1 - e^{-0.029x}) \quad (10)$$

Based on Figure 12, it was obtained the equation (11) where irradiation time expressed to x-axis and y-axis expressed the dose rate

$$y = 1.2467x10^{-4}(1 - e^{-1.501.10^{-5}x}) \quad (11)$$

Based on Figure 13, it was obtained the equation (12) where the irradiation time expressed to x-axis and y-axis expressed the dose rate.

$$y = 5.3502x10^{-7}(1 - e^{-0.054x}) \quad (12)$$

Collimator Dose Rate after 6 Hours Irradiation

After irradiated for 6 hours was stopped, the activity of each collimator elements were decay. The total activity of each collimator elements are accumulation of each collimator elements activities. Table 7 shows the amount of every collimator elements activity after 6 hours irradiation time, whereas Table 8 shows the dose rate generated by a collimator at a distance of 50 cm from the end of the collimator after irradiated for 6 hours. The total dose rate which is generated by neutron collimator is accumulated dose rate of each collimators elements in each segments.

Table 7. Collimator Elements Activities After Irradiated for 6 Hours

Elements	Activity (Ci)		
	td = 3hours	td = 6hours	td = 9hours
Ni-65	4.5394E-06	1.9890E-06	8.7148E-07
Mn-56	3.8438E-07	1.7179E-07	7.6778E-08
Cr-51	6.3099E-08	6.2902E-08	6.2706E-08
Hg-197m	1.1207E-07	1.0270E-07	9.4105E-08
W-187	4.0042E-09	3.6706E-09	3.3647E-09
Co-60	2.0734E-11	2.0733E-11	2.0732E-11
Cu-64	2.4336E-09	2.0671E-09	1.7558E-09

The results are shown in Table 7 states that the longer delay time, the lower activity of each collimator elements.

Table 8. Collimator Dose Rate After Irradiated for 6 hours

Ele-ments	Dose rate (mR/hours)		
	td = 3 hours	td = 6 hours	td = 9 hours
Ni-65	5.3224E-04	2.3321E-04	1.0218E-04
Mn-56	1.3995E-04	6.2547E-05	2.7954E-05
Cr-51	5.8171E-07	5.7989E-07	5.7808E-07
Hg-197	3.3661E-06	3.0845E-06	2.8264E-06
W-187	5.1903E-07	4.7578E-07	4.3613E-07
Co-60	1.1200E-08	1.1199E-08	1.1199E-08
Cu-64	1.2659E-07	1.0753E-07	9.1333E-08
Total	6.7680E-04	3.0001E-04	1.3408E-04

The results are shown in Table 8 shows that the longer the delay time, the smaller the dose rate generated collimator elements.

Based on Table 8 data, it can be made the relationship between the delay time and the dose rate of each collimator elements. Figure 14 until Figure 20 shows the relationship between the delay time and the dose rate of each collimator elements.

Based on Figure 14, it was obtained the equation (13) where delay time expressed to x-axis and y-axis expressed the dose rate

$$y = 1.21x10^{-3}e^{-0.275x} \quad (13)$$

Based on Figure 15, it was obtained the equation (14) where delay time expressed to x-axis and y-axis expressed the dose rate.

$$y = 3.1x10^{-4}e^{-0.268x} \quad (14)$$

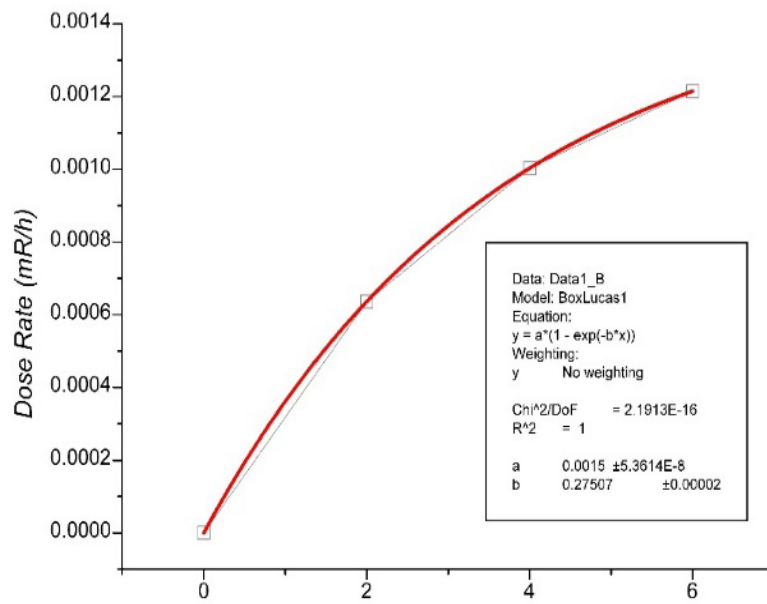


Figure 7. Graph of Irradiation Time Vs Dose Rate of Ni-65

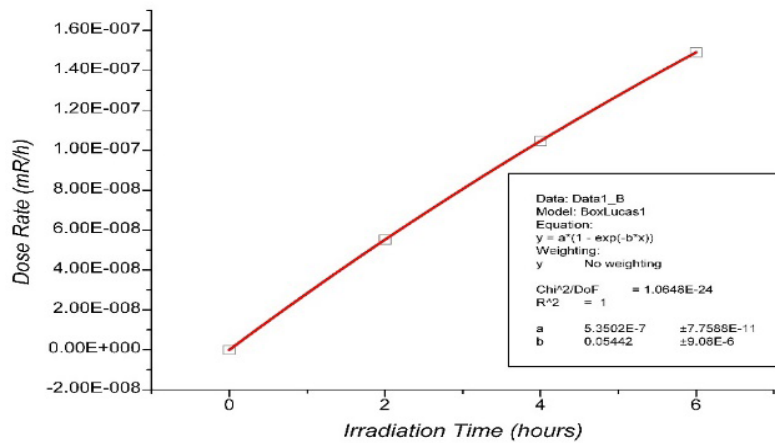


Figure 8. Graph of Irradiation Time Vs Dose Rate of Mn-56

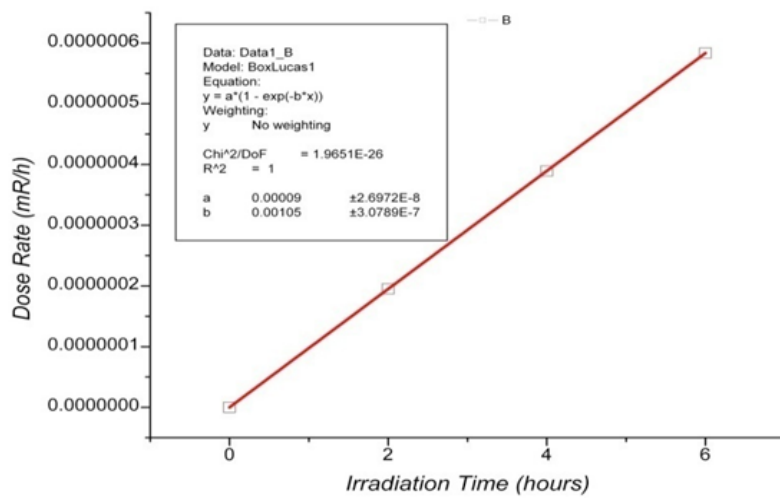


Figure 9. Graph of Irradiation Time Vs dose rate of Cr-51

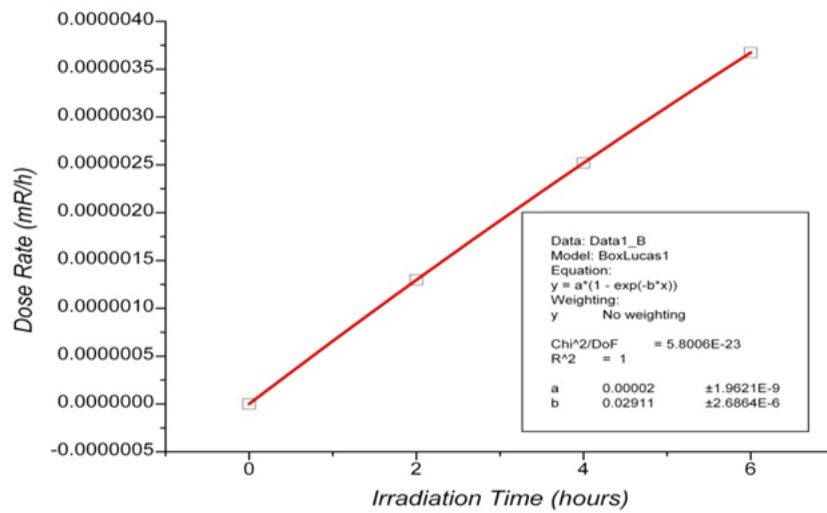


Figure 10. Graph of Irradiation Time vs dose rate of Hg-197m

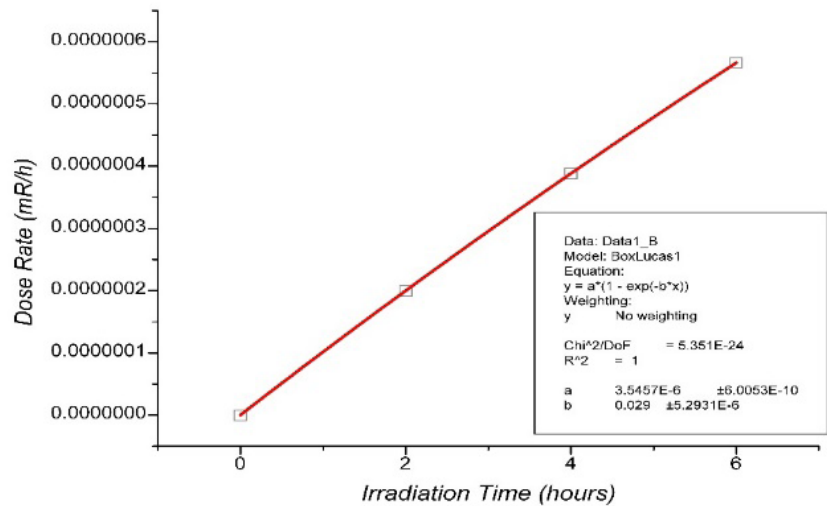


Figure 11. Graph of Irradiation Time Vs Dose Rate of W-187

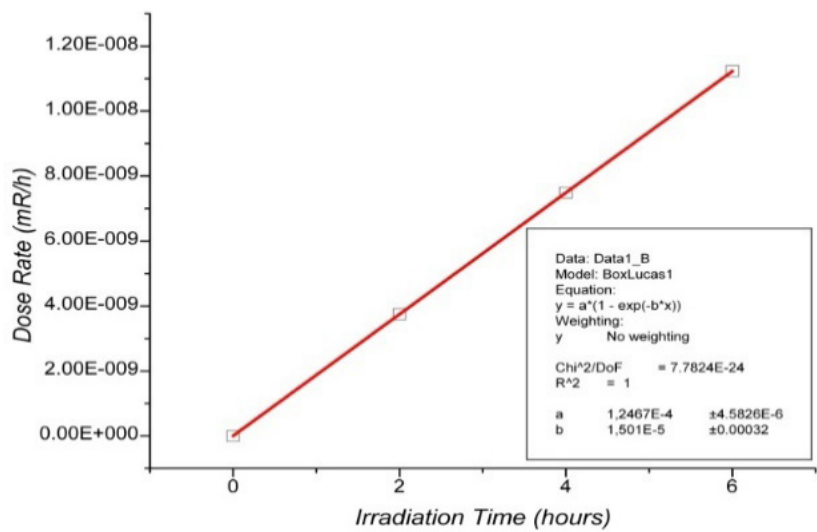


Figure 12. Graph of Irradiation Time vs Dose Rate of Co-60

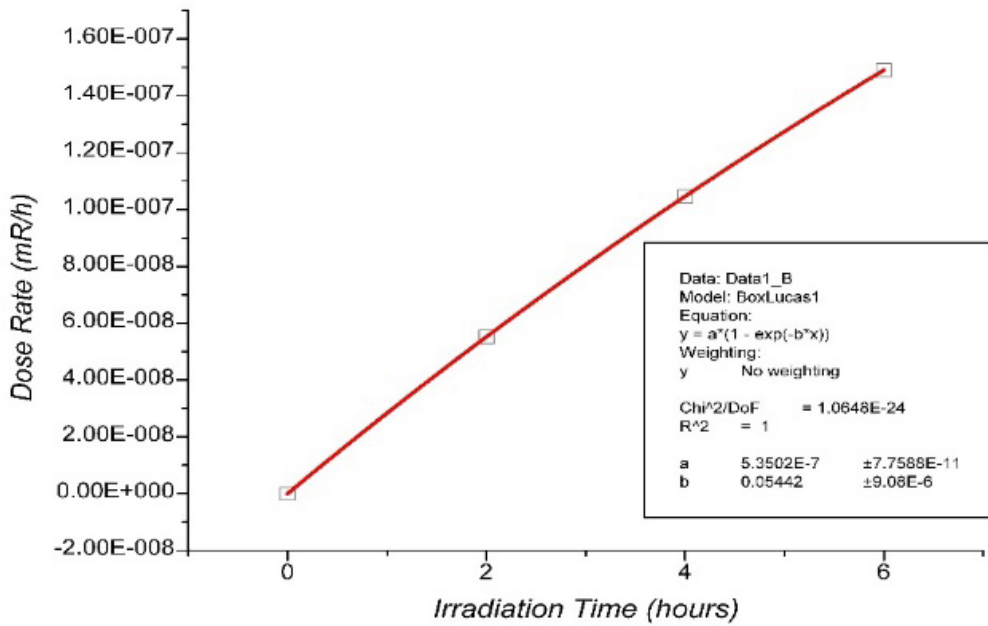


Figure 13. Graph of Irradiation Time Vs Dose Rate of Cu-64

Based on Figure 16, it was obtained the equation (15) where delay time expressed to x-axis and y-axis expressed the dose rate.

$$y = 5.8353 \times 10^{-7} e^{-1.04 \times 10^{-3} x} \quad (15)$$

Based on Figure 17, it was obtained the equation (16) where delay time expressed to x-axis and y-axis expressed the dose rate.

$$y = 3.6734 \cdot 10^{-6} e^{-0,029x} \quad (16)$$

total dose rate calculated at deley time (*td*) for 0 hours (suddenly irradiated), 3 hour, 6 hour and 9 hour. Further more for safety aspect such as requirement by regulatory, should be calculated by assumed that dose rate for distance 50 cm from the collimator . The result of Dose Rate of Collimator After Irradiated for 6 hour could be shaw as Table 9.

Total dose rate generated by the neutron collimator has ben calculated when irradiated by neutron for 6 (six) hour, assumed at 50 cm distance and with various delay time (*td*) for 0 hour (sudenly irradiated) is 1.5328E-03 mR/hour, for 3 hour is 6.7680E-04, for 6 hour is 3.0001E-04 and for 9 is 1.3408E-04 (Akbar, 2015).

Table 9. Dose Rate of Collimator After Irradiated for 3, 6, and 9 hours.

Element	Dose rate (mR/jam)			
	td = 0 hour	td = 3 hour	td = 6 hour	td = 9 hour
Ni-65	1.2147E-03	5.3224E-04	2.3321E-04	1.0218E-04
Mn-56	3.1314E-04	1.3995E-04	6.2547E-05	2.7954E-05
Cr-51	5.8353E-07	5.8171E-07	5.7989E-07	5.7808E-07
Hg-197	3.6734E-06	3.3661E-06	3.0845E-06	2.8264E-06
W-187	5.6621E-07	5.1903E-07	4.7578E-07	4.3613E-07
Co-60	1.1231E-08	1.1230E-08	1.1230E-08	1.1229E-08
Cu-64	1.4903E-07	1.2659E-07	1.0753E-07	9.1333E-08
Total	1.5328E-03	6.7680E-04	3.0001E-04	1.3408E-04

According to safety aspect requiremet authorized by regulatory body (Badan Pengawas Tenaga Nuklir) is 1 mR / h). Its could be concluded that utilization of the neutron colimator made of Nickel when inserted in the radial piercing beamport is safely, because the dose rate which generated by neutron collimator is much lower than dose rate requirements regulatory.

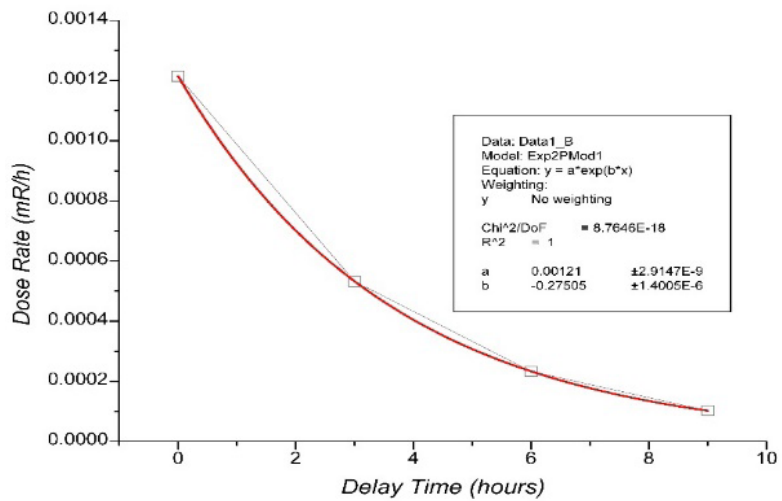


Figure 14. Graph of Delay Time Vs Dose Rate of Ni-65

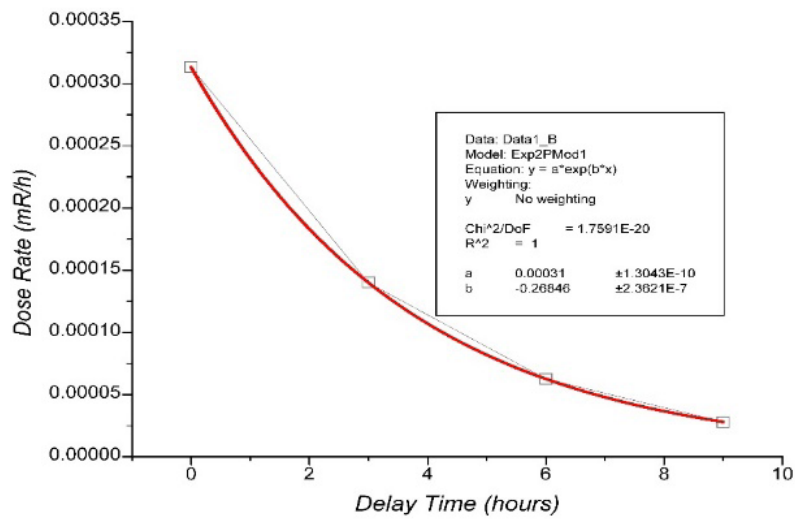


Figure 15. Graph of Delay Time Vs Dose Rate of Mn-56

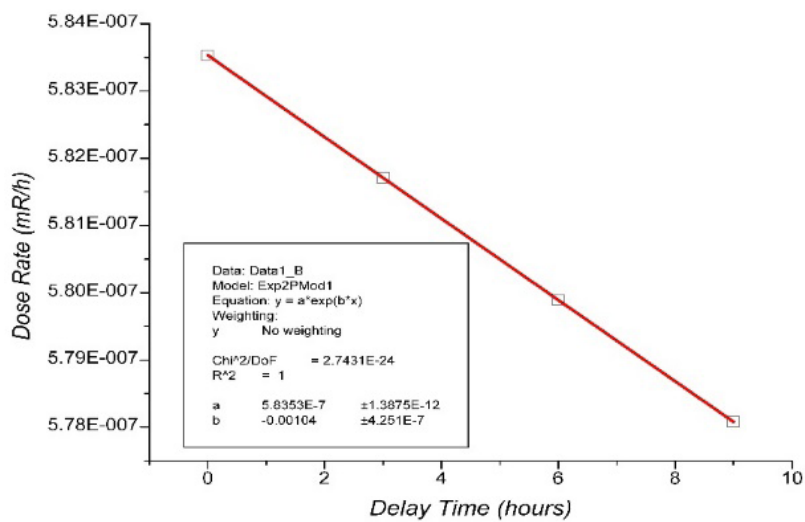


Figure 16. Graph of Delay Time Vs Dose Rate of Cr-51

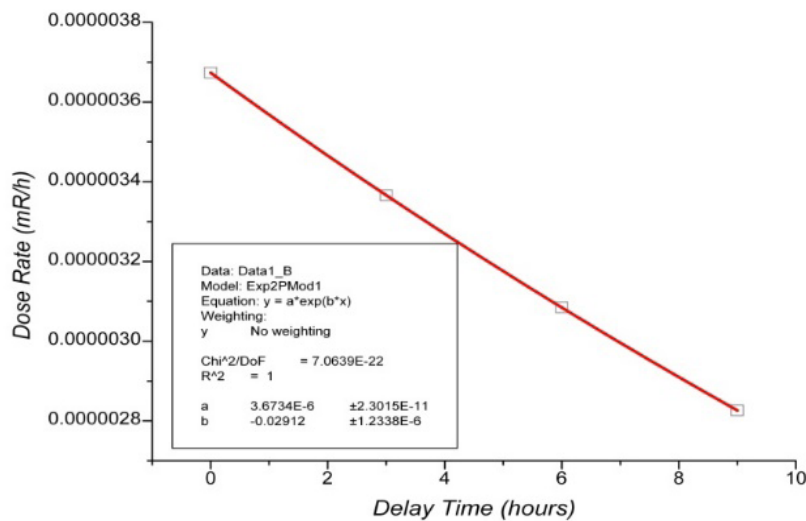


Figure 17. Graph of Delay Time Vs Dose Rate of Hg-197m

CONCLUSION

The total dose rate generated by neutron collimator at a distance of 50 cm from the end of the collimator after 6 (six) hours irradiation for delay time (td) 0 hour (suddenly irradiated) is 1.5328E-03 mR/hour, for 3 hour is 6.7680E-04, for 6 hour is 3.0001E-04 and for 9 is 1.3408E-04 mR / h. The dose rate are much lower than the dose limit which authorized by Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN) i.e. 1 mR / hour. 1.5328E-03 its means that utilization of the neutron collimator is safely.

Remarks

It is required α and β spectroscopy to study both α and β radiation which is may occur from collimator elements activity.

ACKNOWLEDGEMENT

We would like to said thanks to INSIN-as Research Coordinator of BNCT (Prof. Ir. Y. Sardjono) and all members who is supporting the accomplishment of this project, especially for Center of Science and Accelertor Technology (PSTA-BATAN) for the opportunities given to perform this work.

REFERENCES

- Akbar, F. (2015). Analisis Keselamatan Radiasi Kolimator Bahan Nikel Pada Beamport Tembus Radial Reaktor Kartini. Tugas Akhir Jurusan Teknik Fisika. Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir.
- Arrozaqi, M. I. M., Widiharto, A., & Sardjono, Y. (2013). Perancangan Kolimator Di Beamport Tembus Reaktor Kartini Untuk Boron Neutron Capture Therapy. *Doctoral Dissertation*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
- Awaludin, R. (2009). *Pembuatan Nanopartikel Emas Radioaktif dengan Aktivasi Neutron*. Kawasan Puspipstek Serpong-Tangerang: PRR-BATAN
- BAPETEN. (2013). *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir*. Jakarta: Badan Pengawas Tenaga Nuklir.
- Faghihi, F., & Khalili, S. (2013). Beam Shaping Assembly of a D-T Neutron Source for BNCT and its Dosimetry Simulation in Deeply-seated Tumor. *Radiation Physics and Chemistry*, 89, 1-13.
- Gerhard, E. (1976). *Neutron Activation Tables*. Weinheim Nem York: Verlag Chemie
- Karmanto, E. E. (2016). *Sistem Manajemen Pengoperasian, Perawatan, Modifikasi, dan Utilisasi Reaktor Kartini*. Yogyakarta: PSTA-BATAN
- Khoirunisa & Widarto. (2015). *Analisis Kandungan Elements Pada Bahan Kolimator Neutron Sebelum Dan Setelah Manufaktur Menggunakan Metode AAN*. Yogyakarta: STTN-BATAN.
- Moss, R. L. (2014). Critical review, with an optimistic outlook, on Boron Neutron Capture Therapy (BNCT). *Applied Radiation and Isotopes*, 88, 2-11.
- Mujiyono., Mukhamad, A. F. H., & Leman, A. (2014). *Manufaktur Collimator BNCT Berbahan Nikel dengan Metode Gravity Casting dan Analisis Potensi Centrifugal Casting Sebagai Metode Alternatif*. Yogyakarta: Jogja Bangkit Publisher.
- Novitasari., I. S. (2015). Analisis Fluks Neutron Pada Beamport Tembus Radial Reaktor Kartini Un-

- tuk Fasilitas Uji in Vivo Dan In Vitro Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)*. Skripsi. Yogyakarta: Jurusan FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Rasouli, F. S., Masoudi, S. F., & Kasesaz, Y. (2012). Design of a model for BSA to meet free beam parameters for BNCT based on multiplier system for D-T neutron source. *Annals of Nuclear Energy*, 39(1), 18-25.
- Savolainen, S., Kortensniemi, M., Timonen, M., Reijonen, V., Kuusela, L., Uusi-Simola, J., Salli, E., Koivunoro, H., Seppala, T., Lonroth, N., Valimaki, N., Hivonen, H., Kutiluoto, V., Seren, T., Kuronen, A., Heikkinen, S., Kosunen, A., and Auterinen, I. (2013). *Physica Medica. European Journal of Medical Physics*, 29, 233-248.
- Sardjono, Y., Widarto, Pudjorahardjo, J.S., Triatmoko, I.M., Susilowati, A.D. (2014). *Status Saat Ini Pengembangan Teknologi Dan Aplikasi Boron Neutron Capture Cancer Therapy Dengan Compact Neutron Generator, Buku Status Boron Neutron capture Therapy di Indonesia*. Yogyakarta: Jogja Bangkit Publisher.
- Stabin, M. G. (2007). *Radiation Protection and Dosimetry*. New York: Springer.
- Sunny, C. S., & Subbaiah, K. V. (2004). Shield structure optimisation studies for the west beam port of the KAMINI reactor. *Annals of Nuclear Energy*, 31(12), 1403-1413.
- Suparman, L. Y. (2011). Penentuan Karakteristik Distribusi Fluks Neutron Thermal Fasilitas Iradiasi Lazy Susan (LS) Arah Horizontal Reaktor Kartin. Skripsi. Yogyakarta: Jurusan FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Tanaka, H., Y. Sakurai, M. Suzuki, S. Masunaga, T. Mitsumoto, Y. Kinashi, M. Narabayashi, Y. Nakagawa, T. Watanabe, N. Fujimoto, A. Maruhashi, N. Kondo, K. Ono. (2014). Evaluation of thermal neutron irradiation field using a cyclotron-based neutron source for alpha autoradiography, *Applied Radiation and Isotopes*, 88, 153-156
- Trikasjono, T. (2008). Studi Penerimaan Dosis Eksterna Pada Pekerja Radiasi di Kawasan Batan Yogyakarta, Prosiding Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta.
- Umbara, R. H. (2011). *Pedoman Keselamatan dan Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong (Revisi 1)*. Tangerang Selatan: PUSPIPTEK Serpong.
- Yasmeen, R., & Mahmood, M. S. (2016). Design study of neutron beam facility around TRIGA research reactor core. *Annals of Nuclear Energy*, 91, 203-205.
- Wahyono, P. I. (2012). *Laporan Analisis Keselamatan (Rev.7)*. Yogyakarta: PTAPB-BATAN.
- WHO. (2013). *Health Risk Assessment: from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami*. Switzerland: WHO Press.

PENGUKURAN KUALITAS CITRA DIGITAL *COMPUTED RADIOGRAPHY* MENGGUNAKAN PROGRAM PENGOLAH CITRA

D. R. Ningtias^{1*}, S. Suryono¹, Susilo²

¹Jurusan Fisika, FSM, Universitas Diponegoro, Indonesia

²Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Diterima: 11 Maret 2016. Disetujui: 20 Mei 2016. Dipublikasikan: Juli 2016

ABSTRAK

Penelitian yang telah dilakukan adalah pembuatan dan penghitungan kualitas citra digital menggunakan program *Modulation Transfer Function* (MTF) pada sistem *Computed Radiography* (CR) untuk kegiatan Quality Control (QC). MTF dapat digunakan untuk menganalisis resolusi spasial citra digital secara akurat. Pada penelitian ini menggunakan phantom yang terbuat dari tembaga berukuran 15x15 cm dengan ketebalan 1 mm. Phantom dieksposi dengan variasi tegangan 50 kV, 60 kV, 70 kV dan 81 kV dan masing-masing dilakukan variasi arus. Data yang diperoleh berupa file citra digital radiografi format DICOM yang kemudian dilakukan analisis kualitas citranya menggunakan PC diluar sistem CR dengan metode MTF. Metode ini sangat efisien dalam melakukan QC resolusi spasial secara kuantitatif sehingga dapat digunakan untuk menilai kualitas pesawat CR. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan yang digunakan, maka kualitas citra semakin baik dengan arus optimal pada rentang 4-8 mAs dengan rata-rata nilai resolusi spasial 7,26 lp/mm.

ABSTRACT

The research was analyzing of digital image quality by using Modulation Transfer Function (MTF) on Computed Radiography (CR) system for Quality Control (QC). MTF can be used for analyzing digital image spatial resolution accurately. The research used phantom that made of 15x15 cm² copper and 1 mm thickness. The phantom was expounded with voltage variations by 50 kV, 60 kV, 70 kV dan 81 kV and each of them have been taken by variations of the current. The the image quality of data obtained in the form of radiography digital image files with DICOM format were then analyzed using PC out of CR system with methode of MTF. This methode is really efficient for QC spatial resolution quantitatively and so it can be used for assesing the quality of CR. The measurement results showed that the higher the voltage, the better image quality with optimal current was on the range between 4-8 mAs with the average value of MTF 7,26 lp/mm.

© 2016 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: digital image; spatial resolution; MTF

PENDAHULUAN

Beberapa keunggulan dari sistem citra digital dibandingkan dengan konvensional antara lain menekan biaya operasional karena tidak lagi menggunakan film serta meningkatkan jangkauan dinamis dari citra yang diperoleh. Dengan menggunakan sistem digital dalam kebutuhan, maka dapat dilakukan perbaikan citra

melalui perangkat komputer sehingga mampu menegakkan diagnosa (Mah, Samei, & Peck, 2001). Dalam dunia medis, perangkat diagnostik digital seperti CR merupakan salah satu modalitas utama dalam melakukan diagnosa awal. Namun petugas radiasi kurang memperhatikan pelaksanaan QC pada CR, sehingga mengakibatkan kurang maksimalnya citra yang didapatkan untuk pemeriksaan (Samei et al., 2001). Kesalahan prosedur maupun analisis pada QC yang kurang akurat akan berdampak pada kesalahan dalam diagnosa. Melalui studi

*Alamat Korespondensi:

Kampus Undip Tembalang Semarang, Indonesia
E-mail: rahayud77@st.fisika.undip.ac.id

penelitian terkait dengan kualitas citra analog, kini telah dikembangkan penelitian mengenai kualitas citra yang disesuaikan dengan sistem digital (Samei, Ranger, Dobbins, & Chen, 2006; Suryono, Kusminarto, Suparta, & Sugiarto, 2015).

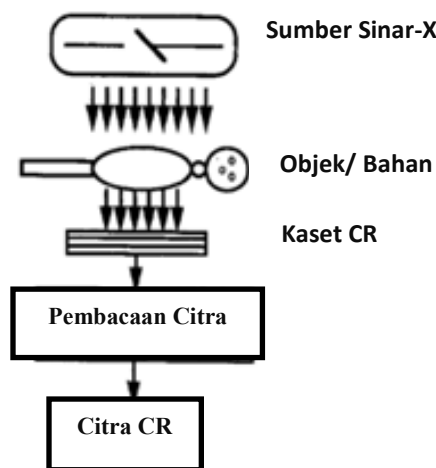
QC merupakan hal yang sangat penting sebagai kegiatan mengetahui kualitas kinerja pesawat diagnostik yang digunakan. Supaya efisien, maka kegiatan QC harus dilakukan secara sederhana (Mah, Samei & Peck, 2001). Kualitas citra dapat dievaluasi secara digital melalui beberapa parameter seperti rasio sinyal, jarak dan homogenitas. Parameter ini dapat dilakukan dengan analisis kualitatif pada citra (Busch, 2005). Secara kuantitatif dapat dilakukan uji resolusi kontras, resolusi spasial maupun penghapusan noise (Yaffe & Rowlands, 1997).

Penghitungan resolusi kontras pada citra digital yang telah dilakukan selama ini menghasilkan nilai analisis citra digital yang kurang maksimal dengan konsekuensi hasil diagnosis kurang baik. Selain itu, dengan menggunakan metode tersebut dosis yang diberikan kepada pasien jauh lebih tinggi dikarenakan memiliki ketelitian yang rendah (Muhogora, Msaki, & Padovani, 2014). Pada penelitian lain, hasil analisis resolusi spasial tidak mampu menghitung ketelitian citra pada resolusi tinggi dan tidak mampu menunjukkan dua respon spasial sekaligus yang ditunjukkan melalui grafik hubungan antara frekuensi spasial dengan kontras (Suryono, 2011). Perlu dilakukan inovasi baru QC citra digital secara lebih detail, yang dapat menghitung dua karakteristik sekaligus, yaitu mengetahui detail dan kontras secara bersamaan. Kedua karakteristik tersebut dapat dianalisis menggunakan cara MTF (Paech *et al.*, 2007). Dengan menggunakan MTF, kualitas sebuah citra digital dapat diketahui secara kuantitatif dan efisien (Petkovic *et al.*, 2014).

MTF dapat digunakan untuk menentukan tingkat kualitas citra dalam ruang frekuensi pada berbagai macam pencitraan dengan kondisi yang telah disesuaikan (Richard, Husarik, Yadava, Murphy, & Samei, 2012; Samei, 2003). Analisis nilai resolusi spasial dapat dilakukan dengan menggunakan pemrograman perangkat lunak MATLAB. Nilai resolusi spasial didapatkan dari menurunkan/ diferensial *Edge Spread Function* (ESF) dan *Line Spread Function* (LSF) (Cunningham, & Fenster, 1987). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas citra digital menggunakan penghitungan resolusi spasial dengan metode MTF

berbasis MATLAB. Dengan melakukan analisis kualitas citra sederhana ini, diharapkan mampu membantu kinerja petugas medis untuk melakukan diagnosa secara akurat sehingga mampu menegakkan diagnosa.

Computed Radiography (CR) merupakan sistem radiografi yang dapat mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital sehingga mudah diproses dengan pengolahan citra, untuk menangani ketidakstabilan kualitas citra dari kekeliruan dalam pencahayaan (Artz, 1997). Pada prinsipnya, CR merupakan proses digitalisasi menggunakan *image plat* yang memiliki lapisan kristal *photostimulable* (Korner *et al.*, 2007). Sinar-X yang keluar dari tabung akan mengenai bahan/objek yang memiliki densitas berbeda satu sama lain. Sinar-X kemudian diserap seluruhnya atau sebagian oleh bahan. Bagian bahan yang memiliki densitas tinggi akan lebih banyak menyerap sinar-X yang kemudian diteruskan dan ditangkap oleh *image plat*. Siklus pencitraan CR dasar mempunyai tiga langkah, yaitu: (i) pemaparan, (ii) *readout*, dan (iii) menghapus (Susilo, *et al.*, 2013). Pada proses pembacaan (*readout*) di dalam *reader* ini, sinar-X yang disimpan dalam *image plat* diubah menjadi sinyal listrik oleh laser untuk selanjutnya dapat menghasilkan citra (radiograf) sehingga dapat dilakukan pemrosesan citra digital (Artz, 1997). Proses pengambilan citra CR dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema sistem CR dari ekspos sinar-X hingga mendapatkan citra (Artz, 1997)

Resolusi spasial merupakan kemampuan suatu sistem pencitraan untuk menggambarkan sebuah objek secara teliti dalam dua dimensi spasial pada citra (Caroll, 2011). Letak objek yang berdekatan tersebut dapat diperlihatkan secara terpisah dan paling baik menggunakan resolusi spasial. Pada objek yang

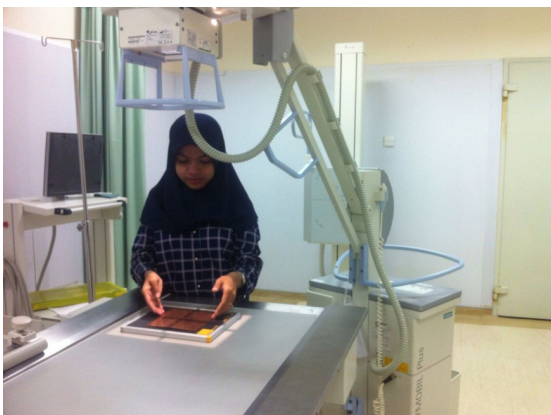
sama, dua titik dapat dipisahkan satu sama lain (Bushberg, Seibert, Leidholdt, & Boone, 2002). Hasil dari pencitraan yang linier umumnya ditandai menggunakan MTF dalam domain frekuensi (Fan, Cao, & Bai, 2013). Oleh karena itu, MTF dikenal sebagai respon frekuensi spasial (Petkovic *et al.*, 2014), menggunakan penghitungan resolusi spasial, maka nilai kualitas citra digital dapat diketahui secara kuantitatif.

METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini dimulai dengan mempersiapkan alat dan bahan, kemudian melakukan pengambilan citra digital menggunakan *mobile X-Ray* yang dibaca dengan perangkat CR. Setelah didapatkan citra selanjutnya dilakukan penghitungan detail dan kontras menggunakan pemrograman MATLAB.

Penelitian ini menggunakan *phantom* tembaga ukuran 15x15 cm dan ketebalan 1 mm. *Phantom* dirancang khusus untuk penelitian yang telah disesuaikan dengan densitas tulang manusia. Adapun kemurnian tembaga pada *phantom* yang digunakan mencapai 98%. Peralatan yang digunakan meliputi *mobile X-Ray* sebagai sumber sinar-X, perangkat CR dan program pengolah citra MATLAB untuk penghitungan detail dan kontras citra.

Langkah awal penelitian ini adalah memosisikan *phantom* tembaga diatas kaset CR yang diletakkan diatas meja dengan jarak antara sumber – film (FFD) adalah 90 cm. Posisi peletakan *phantom* bisa dilihat pada Gambar 2.

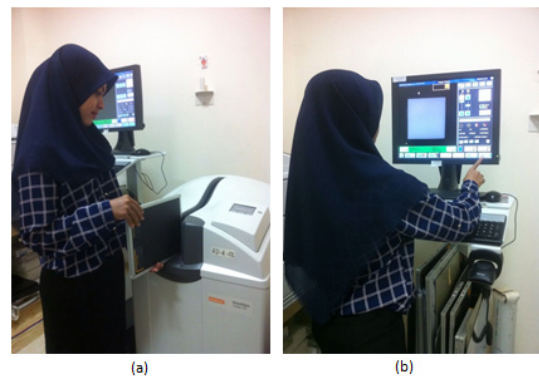


Gambar 2. Meletakkan *phantom* tembaga di atas kaset CR

Setelah mengatur posisi *phantom*, selanjutnya dilakukan pengaturan tegangan dan

arus pada *mobile X-Ray*. Pada penelitian ini digunakan variasi tegangan 50 kV, 60 kV, 70 kV dan 81 kV dengan memvariasikan arus pada masing-masing tegangan. Variasi arus yang digunakan yaitu 1,6 mAs; 2 mAs; 4 mAs; 8 mAs; 16 mAs dan 32 mAs. Untuk masing-masing variasi arus pada tegangan yang digunakan dilakukan pengeksposan sebanyak 1x saja.

Kaset CR yang digunakan pada tahap eksposi tersebut kemudian dilakukan *scanning* dan pembacaan pada *workstation* sistem CR. Citra laten yang ditangkap oleh kaset CR ketika eksposi sinar-X dibaca dengan laser *scanner* pada *image reader*. Dengan *image reader* didapatkan gambaran dalam waktu yang singkat, dibuat untuk mendapatkan citra yang berkualitas serta untuk meminimalkan radiasi yang diterima pasien. Bayangan laten tersebut kemudian diubah menjadi cahaya tampak lewat *scanning* laser terhadap *Photo Stimulable Phospor* (PSP) pada *image reader*. Cahaya tampak tersebut kemudian ditangkap, digandakan dan diperkuat intensitasnya menjadi sinyal listrik. Sinyal-sinyal listrik inilah yang direkonstruksi menjadi citra radiograf sehingga dapat dilihat melalui layar monitor. Proses *scanning* dan pembacaan tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. (a) *Scanning* kaset CR yang telah dieksposi, (b) Pembacaan kaset CR pada sistem CR

Citra radiografi digital tersebut kemudian disimpan dalam sistem CR berupa *file* citra dengan format DICOM. *File* citra yang disimpan dalam sistem CR selanjutnya disalin kedalam CD untuk kemudian dilakukan penghitungan kualitas citra detail dan kontrasnya menggunakan program pengolahan citra MATLAB. Metode penghitungan yang digunakan adalah metode MTF, dengan menggunakan metode MTF tersebut dapat diketahui nilai kontras dan detail dari citra digital radiografi. Sehingga mampu

digunakan dalam kegiatan QC resolusi spasial citra pada sistem CR. Secara skematis, pengukuran kualitas citra digital CR ditunjukkan pada Gambar 4.

Algoritma yang digunakan pada pengukuran kualitas citra digital CR menggunakan program MTF adalah sebagai berikut:

1. Mulai
2. Input citra digital CR

```
img1=img;
img1=imcomplement(img);
imshow(img1,[])
```
3. Penentuan ROI

```
[x, y] = getpts;
a=x;
b=y;
xs=a;
ys=b;
rect=[xs-25 ys-25 100 50];
ROI=(imcrop(img,rect));
ps=150/1780;
```
4. Proyeksi ROI (ESF)

```
esf=sum(ROI,1)/size(ROI,1); %% rerata
subplot(3,2,3)
plot(x,esf,'.');
```
5. Komputasi nilai LSF

```
A2=p(1);
A1=p(2);
A0=p(3);
sigma=sqrt(-1/(2*A2));
mu=A1*sigma^2;
A=exp(A0+mu^2/(2*sigma^2));
lsf = A*exp(-(x-mu).^2/(2*sigma^2)); %%
persamaan gaussian
hold on
plot(x,lsf,'-g');
```
6. Analisis nilai resolusi spasial

```
f=fft(lsf); %% FFT LSF
mtf=abs(f);
%% normalisasi
mtf=mtf/(max(mtf));
subplot(3,2,5)
x=0:(size(mtf,2)-1);
plot(x,mtf);
```
7. Selesai

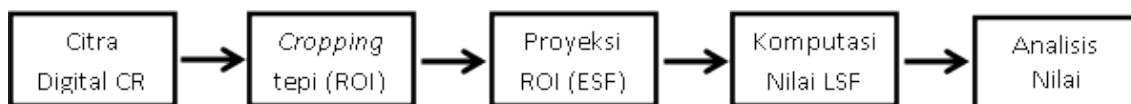
Nilai resolusi spasial diperoleh melalui akuisisi tepi citra dengan cara *cropping* atau menentukan *Region of Interest* (ROI), yang kemudian disebut dengan *Edge Spread Function* (ESF). ESF atau fungsi sebaran tepi adalah respon sistem untuk tepi pada kontras citra

dengan frekuensi tinggi dan merupakan proyeksi dari ROI yang telah didapatkan. ESF kemudian didiferensialkan sehingga menghasilkan nilai *Line Spread Function* (LSF). Dari nilai LSF dapat menjelaskan informasi berkaitan dengan resolusi spasial citra yang dapat diketahui melalui FWHM (*Full Width at Half Maximum*) yaitu lebar setengah puncak dari grafik amplitudo terhadap posisi. Nilai LSF yang didapatkan selanjutnya dilakukan normalisasi ke nol untuk kemudian dapat menentukan nilai resolusi spasial dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk satu dimensi. Besarnya nilai FFT dapat dinormalisasikan menjadi 1 untuk nilai awal (frekuensi nol). Pembacaan kurva MTF yang telah didapatkan yaitu dengan menarik hubungan antara kontras (sumbu y) kurva dengan detail frekuensi dalam *lp/mm* (sumbu x). Disini diambil nilai 0,5 pada sumbu kontras yang merupakan rerata dari normalisasi (frekuensi nol). Efek tersebut dapat dikompresikan dengan faktor penskalaan frekuensi yang sesuai dan disajikan dalam bentuk grafik MTF.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan citra digital dari *phantom* tembaga berukuran 15x15 cm dengan ketebalan 1 mm dilakukan dengan menggunakan *mobile X-Ray* sebagai sumber sinar-X. Eksposi atau paparan pada penelitian ini menggunakan variasi tegangan tabung sebanyak empat kali yaitu 50 kV, 60 kV, 70 kV dan 81 kV. Masing-masing tegangan dilakukan variasi arus sebanyak enam kali yaitu 1,6 mAs; 2 mAs; 4 mAs; 8 mAs; 16 mAs dan 32 mAs dengan FFD = 90 cm. Variasi tegangan yang digunakan pada penelitian ini dari 50 kV hingga 81 kV dikarenakan pada rentang tegangan tersebut merupakan tegangan optimum yang dianjurkan untuk dilakukan uji kualitas pesawat diagnostik (Kemenkes, 2009). Dan juga pada rentang tersebut merupakan tegangan yang digunakan untuk eksposi tulang pada pasien. Sementara arus yang biasa digunakan untuk kegiatan QC yaitu bergantung pada ketebalan objek yang dieksposi.

Setiap variasi arus pada masing-masing variasi tegangan, dilakukan eksposi terhadap *phantom* tembaga sebanyak satu kali. Sete-



Gambar 4. Skema penghitungan nilai resolusi spasial citra CR menggunakan MTF.

lah dilakukan eksposi selanjutnya dilakukan pembacaan atau *scanning* dengan perangkat CR merk Kodak tipe *DirectView Classic*. Data eksposi yang diperoleh berupa file radiograf *phantom* tembaga yang disimpan dalam format DICOM pada sistem CR. File citra digital radiograf yang diperoleh tersebut selanjutnya disalin kedalam CD dan kemudian dilakukan analisis menggunakan PC dengan perangkat lunak MATLAB, analisis ini dilakukan di luar sistem CR. Analisis yang dilakukan yaitu mengukur kualitas resolusi spasial citra digital radiograf dengan menggunakan metode MTF. Program MTF yang Citra digital dalam format DICOM ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Citra digital *phantom* tembaga sistem CR (A) 50 kV; 1,6 mAs; (B) 70 kV; 4 mAs dan (C) 81 kV; 32 mAs

Prosedur pertama dalam melakukan penghitungan resolusi spasial citra menggunakan metode MTF adalah menentukan ROI melalui tepi citra digital. Setelah dilakukan *cropping* bagian tepi citra *phantom* (ROI), akan muncul proyeksi citra tersebut dalam bentuk grafik ESF. Pada program, fungsi ESF diturunkan atau didiferensialkan sehingga muncul nilai FWHM yang berupa LSF. Sebaran titik ESF kemudian dilakukan penghalusan atau *smoothing*, yaitu diambil nilai rerata pada setiap *pixel* sehingga mengasilkan garis yang lebih rapi. Setelah menurunkan fungsi ESF, maka didapatkan grafik LSF yang bisa dilihat nilai FWHM nya.

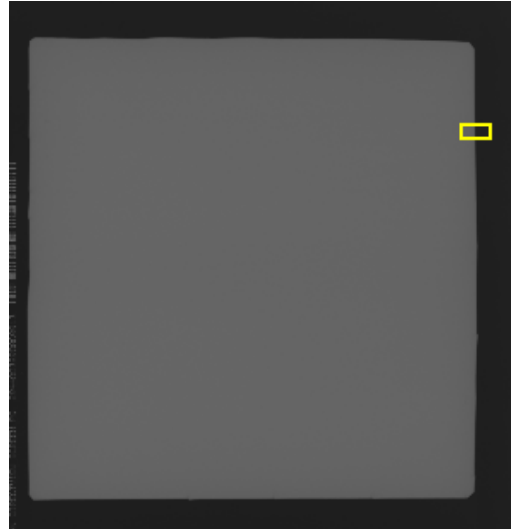
Nilai FWHM ini dapat diperoleh dengan menggunakan model Gaussian, yaitu semua fungsi penyebaran merupakan hasil dari beberapa komponen fungsi penyebaran yang dinyatakan sebagai:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x^2+y^2)/(2\sigma^2)}$$

dimana $f(x)$ merupakan fungsi sebaran titik (PSF), merupakan standar deviasi, x merupakan posisi dan y merupakan nilai maksimal dari x .

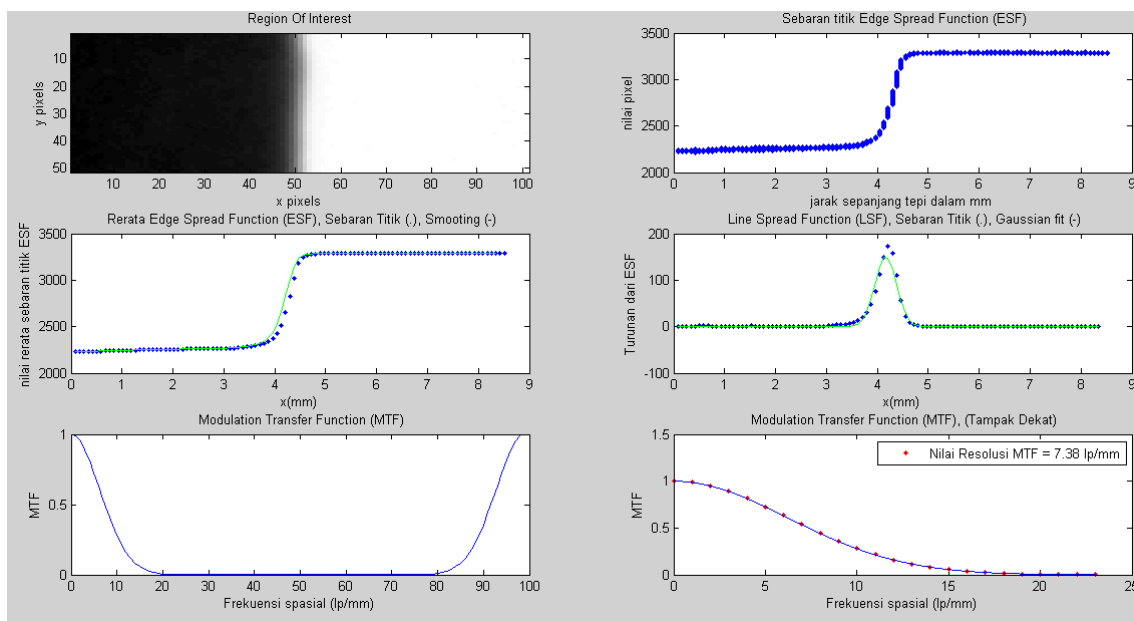
Distribusi Gaussian tersebut juga menunjukkan fungsi probabilitas densitas terhadap distribusi normal. Pada penentuan ROI

citra digital radiografi, dilakukan *cropping* tepi citra dengan ukuran 10x100 *pixel* seperti pada Gambar 6. Gambar 7 merupakan hasil dari program pengolahan citra MATLAB yang digunakan.



Gambar 6. *Cropping* tepi citra digital radiografi

Gambar 7 bagian pertama menunjukkan gambar *Region of Interest* yang merupakan hasil *cropping* dari citra digital CR. Perbandingan antara bagian citra yang menyerap sinar-X dengan *background* yang ditembus sinar-X adalah 50 *pixel* dan 50 *pixel*. Dari Gambar ROI hingga Gambar LSF merupakan fungsi spasial, maka dari itu dilakukan FFT sehingga menjadi fungsi frekuensi dan dapat dianalisis secara kuantitatif. FFT digunakan karena pada penelitian ini menggunakan MTF dengan perbandingan 50 atau 0,5 dari nilai normalisasi (frekuensi nol) FFT (Caroll, 2011). Pada grafik Gaussian (nilai FWHM pada LSF), dilakukan *Fast Fourier Transform* (FFT) sehingga menghasilkan grafik hubungan frekuensi spasial terhadap MTF. Metode MTF dapat dihitung dari nilai PSF atau LSF yang telah diukur dengan *phantom* dan ditunjukkan melalui sebuah kurva sebagai fungsi dari frekuensi spasial. Jika terdapat nilai resolusi spasial dalam ruang frekuensi rendah, hal ini menandakan bahwa sistem pencitraan mereproduksi frekuensi rendah tanpa distorsi atau dengan kata lain citra tersebut memiliki resolusi rendah. Karakteristik MTF adalah kemampuan menginformasikan perbedaan yang halus dalam kontras citra sehingga dihasilkan citra dengan *noise* yang rendah. MTF mampu memberikan informasi terkait dengan citra digital, yakni memberikan keterangan secara lengkap pada kejelasan sebuah citra secara efisien



Gambar 7. Gambar pemrograman MTF berbasis MATLAB

(Estribeau & Magnan, 2004).

Penghitungan nilai resolusi spasial sebagai analisis kualitas resolusi spasial citra digital sangat efisien dan efisien, terutama jika digunakan untuk kegiatan *Quality Control* (QC) pada perangkat sinar-X. Dari variasi tegangan dan arus yang digunakan, diperoleh nilai resolusi spasial yang cukup tinggi yaitu rentang 6,81 *lp/mm* sampai dengan 7,49 *lp/mm*. Nilai resolusi spasial optimal untuk mengetahui tingkat kualitas citra radiodiagnostik adalah 4 *lp/mm* sampai dengan 8 *lp/mm* (Caroll, 2011). Satuan resolusi spasial yang digunakan adalah *lp/mm* (*line pair per milimeter*), hal ini menunjukkan jumlah pasangan garis per 1 mm pada tiap ukuran *pixel* citra digital.

Berdasarkan Tabel 1, pada tegangan 50 kV, citra yang paling baik terdapat pada arus tabung 32 mAs. Dikarenakan pada arus tersebut kontras citra terlihat baik ditandai dengan nilai resolusi spasial yang mendekati batas nilai optimal tertinggi dibandingkan dengan arus 1,6 mAs sampai dengan 16 mAs. Arus 8 mAs pada tegangan 60 kV sudah menunjukkan kualitas citra yang baik, sementara pada tegangan 70 kV arus 4 mAs sampai dengan 32 mAs menghasilkan citra dengan kualitas baik. Namun pada tegangan 81 kV, seluruh variasi arus yang digunakan dalam penelitian menunjukkan hasil citra dengan kualitas baik. Dengan demikian, untuk eksposi *phantom* tembaga yang digunakan dapat menghasilkan citra dengan kualitas baik yaitu pada tegangan tabung 70 kV hingga 81 kV dan arus 4 mAs hingga 32 mAs.

Setelah dilakukan analisis resolusi spasial citra, selanjutnya dibuat grafik hubungan antara tegangan dengan hasil nilai resolusi spasial yang telah dihitung menggunakan *software* MATLAB, bisa dilihat pada Gambar 8. Semakin tinggi tegangan yang digunakan pada sumber sinar-X, maka nilai resolusi spasial akan semakin tinggi pula. Dengan demikian tingkat kualitas citra digital yang diperoleh akan semakin baik. Pada masing-masing variasi tegangan dilakukan pula variasi arus tabung, yaitu 1,6 mAs; 2 mAs; 4 mAs; 8 mAs; 16 mAs dan 32 mAs.

Pada arus 2 mAs, terjadi penurunan kualitas resolusi spasial citra (nilai resolusi spasial) pada tegangan 60 kV namun kembali naik secara linier. Hal ini dikarenakan pada arus tersebut citra yang dihasilkan memiliki gradasi yang tinggi. Terjadi penurunan nilai resolusi spasial juga pada arus 32 mAs, yaitu pada tegangan 70 kV. Namun kembali naik pada tegangan 81 kV. Nilai resolusi spasial paling tinggi dihasilkan oleh tagangan 81 kV, yang kemudian disebut dengan tegangan optimum untuk eksposi *phantom* tembaga yang digunakan dalam penelitian. Hal ini sesuai dengan aturan yang diberikan Kemenkes RI dalam kegiatan QC, yaitu tegangan optimum antara 70 kV hingga 85 kV.

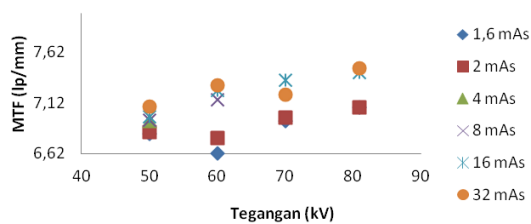
Secara keseluruhan, hasil analisis nilai resolusi spasial pada variasi tegangan dan arus dalam penelitian ini menghasilkan kualitas citra digital yang baik. Hal ini dapat dilihat dari nilai resolusi spasial yang dihasilkan. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa *mobile*

X-Ray yang digunakan telah lolos uji kualitas karena seluruh variasi tegangan maupun arus yang diamati memenuhi standar QC (Kemenkes, 2009). Begitu pula dengan perangkat CR yang digunakan pada penelitian ini, juga memiliki kualitas yang baik dan layak untuk tetap digunakan.

Tabel 1. Hasil analisis nilai resolusi spasial untuk variasi tegangan dan arus sinar-X

Tegangan (kV)	Arus (mA)	Nilai Resolusi Spasial
50	1,6	6,81
	2	6,83
	4	6,94
	8	6,95
	16	6,98
	32	7,08
60	1,6	6,62
	2	6,77
	4	6,84
	8	7,15
	16	7,24
	32	7,29
70	1,6	6,94
	2	6,97
	4	7,38
	8	7,44
	16	7,34
	32	7,2
81	1,6	7,07
	2	7,17
	4	7,65
	8	7,49
	16	7,42
	32	7,46

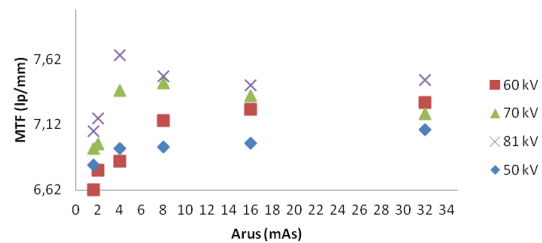
Pengaruh Tegangan pada MTF



Gambar 8. Grafik hubungan tegangan tabung sinar-X dengan nilai resolusi spasial

Selain mendapatkan hubungan tegangan tabung sinar-X dengan nilai resolusi spasial, juga dilakukan pembuatan grafik hubungan antara arus tabung dengan nilai resolusi spasial. Hal ini dibuat untuk mendapatkan arus tabung paling optimal, sehingga dapat digunakan untuk mengurangi paparan radiasi yang diterima baik oleh pasien maupun petugas radiasi. Semakin tinggi arus yang digunakan, maka akan semakin banyak pula paparan radiasi yang diterima. Maka dari itu, analisis resolusi spasial citra pada perangkat diagnostik sangat diperlukan. Sehingga didapatkan hasil citra digital dengan kualitas paling baik dengan tegangan dan arus yang optimal. Grafik hubungan arus tabung dengan nilai resolusi spasial yang dihasilkan dapat dilihat melalui Gambar 9.

Pengaruh Arus pada MTF



Gambar 9. Grafik hubungan arus tabung sinar-X dengan nilai resolusi spasial

Dari grafik pada Gambar 9, dapat diketahui arus optimum yang dapat digunakan untuk ekposi adalah antara 4 mAs sampai dengan 8 mAs. Hal ini dapat dilihat dalam grafik hubungan antara arus tabung dengan nilai resolusi spasial. Semakin tinggi arus yang digunakan, nilai resolusi spasial menunjukkan semakin naik dan terletak pada titik optimum kemudian turun secara konstan dan tetap hingga pada arus 32 mAs. Maka dari itu, dapat dikatakan bahwa pada arus 4 mAs hingga 8 mAs dilakukan ekposi untuk pasien yang memiliki ketebalan tulang ± 1 mm. Karena pada arus ini paparan radiasi yang diterima tidak terlampaui tinggi sehingga masih dalam taraf aman. Pengolahan citra digital dengan perangkat lunak MATLAB menggunakan metode MTF ini tidak hanya dapat digunakan untuk mengetahui kualitas resolusi spasial pada citra radiograf saja, melainkan juga dapat digunakan pada citra digital lainnya. Misalnya saja pada citra hasil sensor CMOS dan alat yang mendukung gambar CMOS lainnya (Estribeau & Magnan, 2004).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran resolusi spasial menggunakan MTF pada citra CR, semakin tinggi tegangan tabung sinar-X yang digunakan maka nilai resolusi spasial yang diperoleh juga semakin tinggi. Dengan begitu kualitas citra yang dihasilkan semakin baik. Resolusi spasial terletak pada arus waktu optimal ketika menunjuk nilai 4 mAs dan 8 mAs dengan rata-rata nilai resolusi spasial 7,26 lp/mm dan kemudian akan kembali turun secara konstan. Tegangan 70 kV sampai dengan 85 kV merupakan tegangan yang dianjurkan untuk melakukan kegiatan QC pada perangkat diagnostik, karena sesuai hasil analisis pada rentang tegangan tersebut memiliki nilai resolusi spasial yang baik.

Pengolahan data digital dapat digunakan untuk melakukan data fisis dengan menggunakan bahasa pemrograman. Dengan menggunakan metode tersebut, maka jarak dan resolusi spasial pada citra digital dapat dimunculkan. Selain itu, metode ini juga sangat efisien dalam melakukan penghitungan kualitas citra digital secara kuantitatif sehingga dapat digunakan untuk analisis keakuratan diagnosa pada bidang radiologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Artz, D. S. (1997). Computed Radiography for the Radiological Technologist. *Seminars in Roentgenology*, 32(1), 12-24.
- Busch, H. P., & Faulkner, K. (2005). Image Quality and Dose Management in Digital Radiography: A New Paradigm for Optimisation. *Quality Assurance Reference Centre*, 90(1-2), 31-33.
- Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., & Boone, J. M. (2002). *The Essential Physics of Medical Imaging* (2nd ed). Philadelphia, USA : Lippincott Williams & Wilkins.
- Caroll, Q. B. (2011). *Radiography in The Digital Age: Physics, Exposure, Radiation Biology*. China: Charles C Thomas Publisher.
- Cunningham, I. A., & Fenster, A. (1987). A method for modulation transfer function determination from edge profiles with correction for finite-element differentiation. *Medical physics*, 14(4), 533-537.
- Estribeau, M., & Magnan, P. (2004) Fast MTF Measurement of CMOS Imagers Using ISO 12233 Slanted-Edge Methodology. *Proceedings of SPIE*, 5251.
- Fan, W., Cao, F., & Bai, T. (2013). Modulation transfer function of spatially variant sampling retina-like sensor. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 124(12), 1342-1345.
- Kemenkes. (2009). *Pedoman Kendali Mutu Quality Control (QC) Peralatan Radiodiagnostik*, Menteri Kesehatan RI, 1250.
- Korner, M., Weber, C. H., Wirth, S., Pfeifer, K. J., Reiser, M. F., & Treitl, M. (2007). Advances in Digital Radiography: Physical Principles and System Overview 1. *Radiographics*, 27(3), 675-686.
- Mah, E., Samei, E., & Peck, D. J. (2001). Evaluation of A Quality Control Phantom for Digital Chest Radiography. *Journal of Applied Clinical of Medical Physics*, 2(2), 1526-9914.
- Muhogora, W. E., Msaki, P., & Padovani, R. (2014). Application of off-line Image Processing for Optimization in Chest Computed Radiography Using A Low Cost Systems. *Journal of Applied Clinical of Medical Physics*, 16(2), 322-333
- Paech, A., Schulz, A. P., Hahlbrauck, B., Kiene, J., Wenzl, M. E., & Jürgens, C. (2007). Physical evaluation of a new technique for X-ray dose reduction: Measurement of signal-to-noise ratio and modulation transfer function in an animal model. *Physica Medica*, 23(1), 33-40.
- Petković, D., Shamsirband, S., Saboohi, H., Ang, T. F., Anuar, N. B., Rahman, Z. A., & Pavlović, N. T. (2014). Evaluation of modulation transfer function of optical lens system by support vector regression methodologies—A comparative study. *Infrared Physics & Technology*, 65, 94-102.
- Richard, S., Husarik, D. B., Yadava, G., Murphy, S. N., & Samei, E. (2012). Towards task-based assessment of CT performance: system and object MTF across different reconstruction algorithms. *Medical physics*, 39(7), 4115-4122.
- Samei, E., Seibert, J. A., Willis, C. E., Flynn, M. J., Mah, E., & Junck, K. L. (2001). Performance evaluation of computed radiography systems. *Medical Physics*, 28(3), 361-371.
- Samei, E., & Flynn, M. J. (2003). An experimental comparison of detector performance for direct and indirect digital radiography systems. *Medical physics*, 30(4), 608-622.
- Samei, E., Ranger, N. T., Dobbins III, J. T., & Chen, Y. (2006). Intercomparison of methods for image quality characterization. I. Modulation transfer functiona). *Medical physics*, 33(5), 1454-1465.
- Suryono, S. (2011). Rancang Bangun Sistem Komputer Tomografi Ultrasonik untuk Pengujian Material Padat, *Disertasi*. Yogyakarta: Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gajah Mada.
- Suryono, S., Kusminarto, Suparta, G. B., & Sugiharto, A. (2015). Ultrasound Computer Tomography Digital Image Processing for Concrete Hole Inspection. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(15), 35499-35503.
- Yaffe, M. J., & Rowlands, J. A. (1997). X-ray detectors for digital radiography. *Physics in Medicine and Biology*, 42(1), 1.
- Susilo, Sunarno, I Ketut Swakarma, Rudi Setiawan, Edy Wibowo. (2013). Kajian sistem radiografi digital sebagai pengganti sistem computed radiography yang mahal. *Jurnal Fisika Indonesia*, 17(50), 1410-2994

PENGARUH KARET ALAM SIKLIK (*CYCLIC NATURAL RUBBER*) TERHADAP RONGGA ASPAL MODIFIKASI

W. Ritonga*, Irfandi

Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Medan, Indonesia

Diterima: 30 Januari 2016. Disetujui: 28 Maret 2016. Dipublikasikan: Juli 2016

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh karet alam siklik terhadap rongga aspal modifikasi. Tahapan penelitian meliputi pembuatan aspal modifikasi dengan menyampur aspal murni dengan karet alam siklik, pengujian persyaratan fisik aspal, pembuatan benda uji dan pengujian marshall. Berdasarkan pengujian sifat fisik aspal diperoleh data bahwa keseluruhan aspal modifikasi memenuhi persyaratan fisik aspal. Setelah pembuatan benda uji, dilakukan pengujian marshall untuk memperoleh rongga aspal meliputi VIM, VMA dan VFA. Nilai VIM pada penambahan 0 phr, 1 phr, 2 phr, 3 phr, dan 4 phr adalah 3,65%, 5,41%, 4,27%, 3,84%, dan 2,88%. Nilai VMA sebesar 15,52%, 17,26%, 16,07%, 15,80%, dan 15,17%. Nilai VFA sebesar 76,48%, 68,72%, 73,54%, 75,76%, dan 81,34%. Diperoleh kesimpulan bahwa karet alam siklik bisa dijadikan sebagai bahan memodifikasi aspal dan berpengaruh terhadap rongga aspal.

ABSTRACT

This research aimed to determine the effect of cyclic natural rubber (CNR) to cavity of modified bitumen. The steps of the research were mixing the pure bitumen with CNR, testing bitumen physical requirement, making the specimen, and testing the cavity of modified bitumen with marshall method. Testing showed that all the modified bitumen met the physical requirement. After making specimen, marshall method was used to determine the cavity of bitumen, including VIM, VMA, and VFA. VIM in addition of 0 phr, 1 phr, 2 phr, 3 phr, and 4 phr was 3,65%, 5,41%, 4,27%, 3,84%, and 2,88%. The value of VMA was 15.52%, 17.26%, 16.07%, 15.80% and 15.17%. The value of VFA was 76.48%, 68.72%, 73.54%, 75.76% and 81.34%. The conclusion of this study was CNR could be used as material for bitumen modified and had the effect on bitumen cavity.

© 2016 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: modified bitumen; cyclic natural rubber; cavity of bitumen

PENDAHULUAN

Aspal merupakan bahan pengikat (*matrix*) yang menyatukan semua agregat dalam pembuatan jalan raya. Sukirman (2012) menyatakan aspal digunakan sebagai material dalam perkerasan jalan berfungsi sebagai 1) bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dengan agregat dan antara sesama aspal; dan 2) bahan pengisi, mengisi rongga antar butir agregat dalam pori-pori yang ada di dalam butir agregat itu sendiri. Berdasarkan fungsi diatas terlihat bahwa aspal memiliki peranan yang sangat penting berkaitan dengan kualitas aspal. Kualitas aspal yang baik ber-

potensi akan meningkatkan kualitas jalan raya dan demikian juga sebaliknya.

Baik tidak nya kualitas aspal ditentukan karakteristik fisik campuran aspal dan agregatnya. Sukirman (2012) menyatakan bahwa karakteristik fisik campuran yang harus dimiliki aspal yaitu :

1. *Stabilitas* merupakan kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan bleeding.
2. *Durabilitas* merupakan kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan, gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur yang dipengaruhi

*Alamat Korespondensi:

Jalan Willem Iskandar Pasar V Medan, 20221
E-mail: winsyahputra@gmail.com

oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya rongga dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran.

3. *Fleksibilitas* adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan fondasi atau tanah dasar tanpa terjadi retak.
4. *Fatigue resistance* adalah kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban lalu lintas, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan atau retak. Hal ini dapat dicapai jika menggunakan kadar aspal yang tinggi
5. *Skid resistance* (kekesatan) adalah kemampuan permukaan beton aspal memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir ataupun slip terutama pada kondisi basah.
6. *Impermeabilitas* (kedap air) adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara ke dalam lapisan beton aspal. Jumlah rongga yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat menjadi indikator kedap campuran.
7. *Workability* adalah kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Faktor yang mempengaruhi adalah viskositas aspal, kepekaan terhadap temperatur, dan gradasi serta kondisi agregat.

Dari karakteristik fisika campuran aspal terlihat bahwa salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas campuran aspal adalah rongga (pori) campuran aspal.

Rongga pada campuran aspal dan agregat merupakan salah satu penyebab kerusakan jalan raya. Rongga aspal yang besar akan mengakibatkan air mudah masuk melalui pori campuran aspal dan agregat sehingga ikatan aspal dan agregatnya menjadi lemah. Lemahnya ikatan aspal ini mengakibatkan jalan cepat rusak.

Harseno dan Daryanto (2008) menyatakan bahwa ukuran rongga mempengaruhi cepat lambatnya aliran air. Air yang melewati pori-pori akan membawa partikel-partikel aspal sehingga partikel-partikel aspal yang terbawa merupakan pembesaran ruang pori diantara butiran aspal. Hal ini akan menyebabkan debit air yang mengalir semakin besar dan volume aspal akan berkurang. Berkurangnya volume aspal akan mempengaruhi kondisi jalan disekitarnya, terutama terbentuknya banyak lubang

Parameter rongga pada pengujian marshall campuran aspal adalah VMA (*void mix*

aspalt), VFA (*void filled with aspalt*), VIM (*void in mix*). VMA adalah Volume rongga antar butir agregat beton aspal padat. VFA adalah volume rongga yang dapat terisi oleh aspal. Sedangkan VIM adalah volume pori yang tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan.

Berbagai modifikasi aspal telah dilakukan untuk mengurangi ukuran rongga aspal. Rianung (2007) melakukan kajian laboratorium pengaruh bahan tambah gondorukem pada *asphalt concrete-binder course* (AC-BC) terhadap nilai propertis marshall dan durabilitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa masih terdapat rongga yang mengakibatkan air mudah masuk ke dalam campuran aspal.

Rondonuwu F, *et al*, (2013) telah melakukan penelitian tentang pengaruh sifat fisik agregat terhadap rongga dalam campuran beraspal panas. Hasil penelitian berat jenis bulk dan berat jenis *apparent* agregat yang nilainya semakin besar menghasilkan nilai VIM yang semakin rendah.

Kumalawati, Tri & Mastaram, (2013) juga telah melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan abu batu apung sebagai pengganti filler untuk campuran aspal. Pembahasan penelitian menunjukkan bahwa penambahan abu batang berdampak pada peningkatan nilai VMA, penurunan nilai VIM dan peningkatan nilai VFB yang berdampak pada rongga aspal.

Material baru yang memungkinkan dicoba untuk dijadikan campuran dalam pembuatan aspal adalah karet alam siklik (*cycllic natural rubber*). Karet alam siklik merupakan salah satu bentuk karet alam yang dimodifikasi dengan cara pemanasan menggunakan katalis asam. Sifat karet alam siklik berbeda dengan karet alam asalnya. Kelebihan karet alam siklik diantaranya adalah tahan terhadap daya gosok dan mempunyai daya rekat yang lebih baik. Penggunaan utama karet alam siklik adalah sebagai bahan baku pembuatan cat, pelapis dan perekat (Chusna, 2002). Ritonga, Wiryo-sentono & Nasruddin (2013) telah melakukan penelitian tentang potensi karet alam siklik dijadikan sebagai bahan modifikasi aspal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran aspal dengan karet alam siklik memenuhi persyaratan fisik aspal yang dipersyaratkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI).

Penelitian ini dilakukan untuk memperbaiki kelemahan campuran aspal dan agregatnya. Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh karet alam siklik terhadap rongga aspal. Diharapkan dengan menambahkan karet alam siklik akan dapat mengurangi ukuran

rongga campuran aspal sehingga kualitas jalan raya bisa lebih baik lagi.

METODE

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Medan. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *penetration test*, termometer, pengatur waktu, bak perendam (*water bath*), cincin (terbuat dari bahan kuningan), bola baja, sumber pemanas (*heater*), cetakan daktilitas kuningan, mesin uji daktilitas, piknometer, bejana gelas, pengatur suhu, neraca analitik, *oven*, *mixer*, sedangkan bahan yang digunakan adalah aspal pen 60-70 dan karet alam siklik.

Tahapan pertama yang dilakukan pada penelitian ini adalah melakukan pengujian sifat fisik aspal terhadap aspal murni (sampel 1). Selanjutnya dilakukan pembuatan aspal modifikasi. Aspal modifikasi dirancang dengan mencampur aspal pen 60-70, asam akrilat dan benzoil peroksida ke dalam *beaker*, dipanaskan selama 30 menit pada suhu 90°C, dan 180 rpm sampai meleleh. Perlakuan yang sama juga dilakukan dengan variasi campuran aspal murni, karet alam siklik, asam akrilat dan BPO dengan komposisi sampel pada Tabel 1.

Hasil penyampuran aspal dan bahan lainnya sesuai komposisi pada Tabel 1 diatas disebut sebagai aspal modifikasi. Terhadap aspal modifikasi dilakukan pengujian sifat fisik aspal sesuai dengan SNI (Departemen Pekerjaan Umum, 2005). Pengujian sifat fisik aspal yang meliputi uji penetrasi, uji titik lembek, uji daktilitas, uji berat jenis, uji penurunan/kehilangan berat dan uji penetrasi setelah penurunan berat dari aspal yang telah termodifikasi menurut SNI.

Tahapan penelitian selanjutnya adalah melakukan pembuatan benda uji. Pembuatan benda uji dilakukan dengan menyampurkan pasir (agregat halus) dan kerikil (agregat kasar) dengan aspal modifikasi. Kadar aspal optimum yang digunakan 6%. Benda uji yang dibuat se-

banyak 5 (lima) benda uji yang mewakili setiap sampel aspal modifikasi. Setelah pembuatan benda selesai dilakukan, tahapan selanjutnya adalah melakukan pengujian marshall benda uji. Pengujian Marshall adalah metode pengujian laboratorium untuk bahan dasar perkerasan yang meliputi pengujian karakteristik campuran dan perencanaan kadar aspal optimum. Pengujian ini menghasilkan sejumlah data Marshall properties dan terdiri dari *Stabilitas*, *Flow*, *VMA*, *VIM*, *VFA*, dan *Marshall Quotient (MQ)* (Misbah, 2013). Parameter rongga pada pengujian marshall campuran aspal adalah VMA, VFA, VIM. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

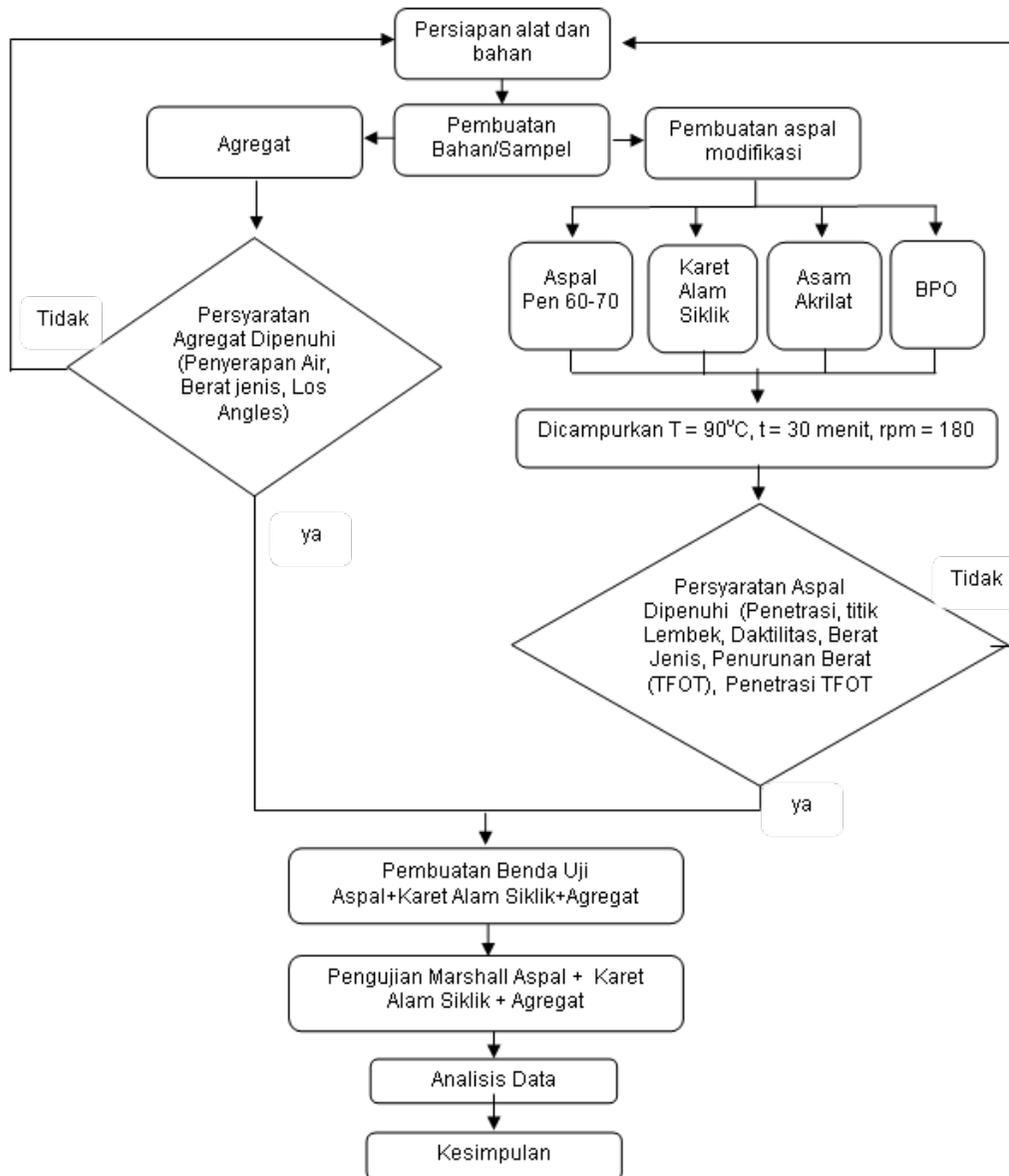
Tahapan pertama pada penelitian ini adalah melakukan pengujian persyaratan fisik aspal terhadap aspal murni yaitu aspal tipe Iran pen 60/70 (sampel 1). Pengujian persyaratan fisik aspal meliputi uji penetrasi, uji titik lembek, uji daktilitas, uji berat jenis, uji penurunan berat, dan uji penetrasi setelah penurunan berat dari aspal yang telah termodifikasi menurut SNI. Hasil pengujian persyaratan fisik aspal murni dapat dilihat pada Tabel 2.

Hasil pengujian persyaratan fisika pada tabel 2 menunjukkan bahwa aspal murni yang digunakan dalam penelitian merupakan aspal pen 60/70. Hal ini disimpulkan dari kesesuaian antara hasil pengujian dengan SNI yang telah ditetapkan.

Tahapan penelitian selanjutnya adalah melakukan pembuatan aspal modifikasi. Aspal modifikasi dibuat dengan menambahkan karet alam siklik kedalam aspal murni. Setelah pembuatan aspal modifikasi selesai, dilakukan pengujian persyaratan fisik aspal terhadap aspal modifikasi. Pengujian persyaratan fisik aspal meliputi uji penetrasi, uji titik lembek, uji daktilitas, uji berat jenis, uji penurunan berat, dan uji penetrasi setelah penurunan berat dari aspal yang telah termodifikasi menurut SNI.

Tabel 1. Komposisi Campuran Sampel Penelitian

Sampel	Asfalt		CNR		Asam Akrilat		BPO	
	g	phr	g	phr	ml	phr	g	mr
1	2000	100	0	0	0	0	0	0
2	2000	100	20	1	5	0.25	0.336	0.05
3	2000	100	40	2	5	0.25	0.336	0.05
4	2000	100	60	3	5	0.25	0.336	0.05
5	2000	100	80	4	5	0.25	0.336	0.05



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Tabel 2. Hasil pengujian persyaratan fisik aspal murni

Jenis Pengujian	Sampel 1	SNI	Ket
Penetrasi (mm)	72.50	60-79	Memenuhi
Titik lembek aspal (°C),	35.00	30-50	Memenuhi
Daktilitas (cm)	110.00	Min 100	Memenuhi
Berat Jenis Aspal	1.01	Min 1,0	Memenuhi
Kehilangan Berat (%)	1.00	Min 1,0	Memenuhi
Penetrasi setelah penurunan berat (%)	70.20	Min 45	Memenuhi
Daktilitas penurunan (%)	55.00	Min 50	Memenuhi

Data penelitian menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi karet alam siklik pada aspal menggunakan *compatibilizer* asam akrilat dan benzoil peroksida memberikan pen-

aruh terhadap sifat fisik aspal. Penambahan konsentrasi karet alam siklik menurunkan nilai penetrasi aspal menjadi Pen 40/50 yang sebelumnya memiliki Pen 60/70. Dikarenakan nilai

penetrasi menurun sehingga persyaratan sifat fisik aspal disesuaikan dengan SNI Pen 40/50. Hasil pengujian persyaratan fisik aspal modifikasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa penambahan konsentrasi karet alam siklik pada aspal modifikasi berdampak pada semakin rendahnya nilai penetrasi aspal. Penetrasi aspal merupakan tingkat kekerasan aspal yang dimaksudkan masuknya jarum penetrasi ukuran tertentu beban tertentu dan waktu tertentu kedalam aspal pada suhu tertentu. Jarum penetrasi yang digunakan berdiamater 1 mm dan beban 50 gr. Berat jarum dengan beban menjadi 100 gram. Pengujian dilakukan pada suhu 25°C. Semakin tinggi nilai penetrasi, maka aspal semakin lembek dan sebaliknya. Penambahan karet alam siklik pada aspal mengakibatkan nilai penetrasi aspal menjadi semakin kecil yang berarti aspal menjadi lebih keras.

Penambahan konsentrasi karet alam siklik juga berdampak pada peningkatan nilai titik lembek aspal modifikasi. Peningkatan nilai titik lembek berarti aspal semakin keras dan sebaliknya. Hasil pengujian titik lembek ini masih selaras dengan hasil pengujian penetrasi aspal yang menunjukkan aspal menjadi lebih keras. Pengerasan aspal ini dimungkinkan karena menguatnya ikatan antar partikel aspal yang diakibatkan fungsi karet alam siklik yang dapat merekatkan ikatan antar partikel. Keadaan ini juga sesuai dengan pernyataan Palupi, *et al* (2008) yang menyatakan bahwa karet alam si-

klik dapat berfungsi sebagai resin yang dapat menjadi perekat dalam campuran bahan.

Hasil pengujian persyaratan fisik aspal pada tabel 3 menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi karet alam siklik sampai 4 phr pada aspal masih memenuhi persyaratan fisik aspal. Dengan demikian karet alam siklik dapat digunakan sebagai bahan campuran aspal.

Tahapan selanjutnya adalah pembuatan benda uji. Benda uji yang digunakan sebanyak 5 benda uji. Pembuatan benda uji dilakukan dengan menyampurkan pasir (agregat halus) dan kerikil (agregat kasar) dengan aspal modifikasi. Setelah pembuatan benda uji selesai dilakukan, tahapan selanjutnya adalah melakukan pengujian marshall benda uji. Pengujian marshall dilakukan untuk mengetahui ukuran rongga campuran aspal dan agregatnya. Parameter rongga pada pengujian marshall campuran aspal adalah VMA, VFA, VIM seperti pada Tabel 4.

Hasil pengujian marshall pada Tabel 4 menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi karet alam siklik berpengaruh terhadap nilai VMA aspal modifikasi. Pengaruh yang terjadi adalah semakin besar konsentrasi karet alam siklik yang diberikan berdampak pada semakin kecilnya nilai VMA aspal. Nilai VMA aspal murni (sampel 1) sebesar VMA 15,52%, sedangkan penambahan konsentrasi karet alam siklik 4 phr (sampel 5) memiliki nilai VMA 15,17%. Penambahan karet alam siklik sampai 4 phr (sampel 5) masih memenuhi standar VMA

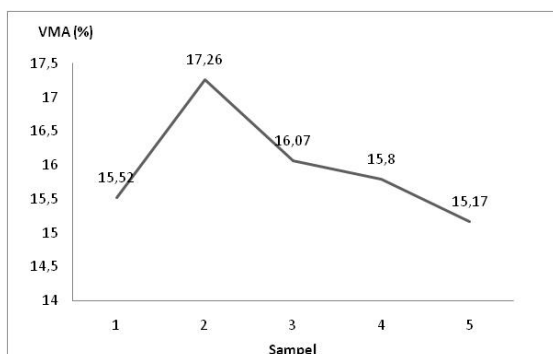
Tabel 3. Hasil pengujian persyaratan fisik aspal modifikasi

Jenis Pengujian	Sampel				SNI	Ket
	2	3	4	5		
Penetrasi (mm)	53.17	51.83	47.00	46.50	40-59	Memenuhi
Titik lembek aspal (°C),	39.50	42.00	42.50	44.50	30-50	Memenuhi
Daktilitas (cm)	120.00	150.00	150.00	150.00	Min 100	Memenuhi
Berat Jenis Aspal	1.02	1.02	1.03	1.09	Min 1,0	Memenuhi
Kehilangan Berat (%)	2.15	2.32	2.34	2.40	Min 1,0	Memenuhi
Penetrasi setelah penurunan berat (%)	50.30	49.00	47.59	45.08	Min 45	Memenuhi
Daktilitas penurunan (%)	60.00	75.00	75.00	75.00	Min 50	Memenuhi

Tabel 4. Hasil pengujian parameter rongga aspal modifikasi

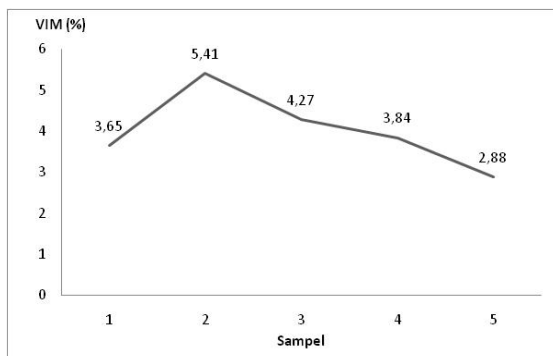
Parameter Aspal	Sampel					Spesifikasi
	1	2	3	4	5	
VMA	15,52	17,26	16,07	15,8	15,17	min 15
VIM	3,65	5,41	4,27	3,84	2,88	3-5
VFA	76,48	68,72	73,54	75,76	81,34	min. 65

aspal yaitu minimal 15%. Hubungan antara penambahan konsentrasi karet alam siklik terhadap nilai VMA aspal modifikasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik hubungan antara penambahan konsentrasi karet alam siklik terhadap nilai VMA aspal

Penambahan konsentrasi karet alam siklik berpengaruh terhadap nilai VIM aspal modifikasi. Hubungan antara penambahan konsentrasi karet alam siklik terhadap nilai VIM aspal modifikasi dapat dilihat pada Gambar 3.

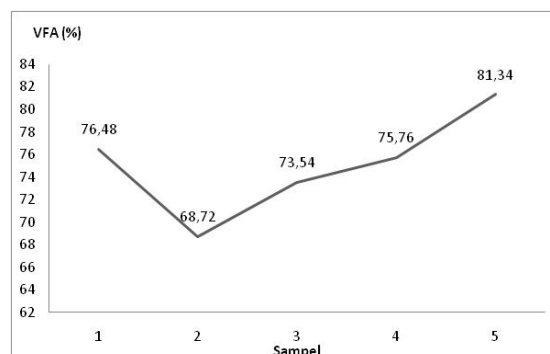


Gambar 3. Grafik hubungan antara penambahan konsentrasi karet alam siklik terhadap nilai VIM aspal

Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin besar penambahan konsentrasi karet alam siklik yang diberikan berdampak pada semakin kecilnya nilai VIM aspal. Nilai VIM aspal murni (sampel 1) sebesar 3,65%, sedangkan penambahan konsentrasi karet alam siklik 3 phr (sampel 4) memiliki nilai VIM 3,84%. Penambahan konsentrasi karet alam siklik sampai 3 phr (sampel 4) masih memenuhi standar VIM aspal yaitu 3-5 %. Penambahan konsentrasi karet alam siklik sebesar 4 phr memiliki nilai VIM 2,88% sehingga tidak memenuhi standar VIM aspal.

Penambahan konsentrasi karet alam

siklik juga berpengaruh terhadap nilai VFA aspal modifikasi. Hubungan antara penambahan konsentrasi karet alam siklik terhadap nilai VFA aspal modifikasi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik hubungan antara penambahan konsentrasi karet alam siklik terhadap VFA aspal

Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi karet alam siklik yang diberikan berdampak pada semakin besarnya nilai VFA aspal. Nilai VFA sampel 1 (aspal murni) memiliki nilai VFA 76,48 %, sedangkan penambahan konsentrasi karet alam siklik 4 phr (sampel 5) memiliki nilai VFA 81,34%. Keseluruhan sampel memenuhi standar nilai VFA aspal yaitu minimal 65 %.

Penambahan konsentrasi karet alam siklik pada campuran aspal mempengaruhi rongga aspal modifikasi. Data menunjukkan penambahan konsentrasi karet alam siklik menyebabkan nilai VMA dan VIM semakin kecil dan nilai VFA semakin besar. Berdasarkan standar semakin kecilnya nilai VMA dan semakin besarnya nilai VFA menunjukkan semakin kecilnya rongga aspal. Nilai VIM aspal modifikasi juga mengalami perubahan seiring dengan penambahan karet alam siklik. Tetapi tidak semua sampel memenuhinya. Sampel 1 sampai sampel 4 masih memenuhi standar VIM yang ditetapkan, dan sampel 5 tidak memenuhi standar yang telah ditentukan. Penambahan karet alam siklik berarti berdampak pada rongga aspal.

Hasil dan pembahasan penelitian menunjukkan bahwa dua parameter (VMA dan VIM) mengalami penurunan persentase, sedangkan satu parameter (VFA) mengalami kenaikan persentase. Keadaan ini menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi karet alam siklik dapat mempengaruhi VMA, VIM dan VFA dengan pola hampir linier berbanding terbalik.

Kenaikan nilai VFA serta menurunnya VMA dan VIM menyebabkan densitas semakin

turun. Menurunnya densitas (kerapatan antar molekul) diakibatkan oleh terbentuknya rantai yang lebih besar. Terbentuknya rantai yang lebih besar menyebabkan semakin besarnya jarak antara rantai molekul karet alam siklik dan aspal. Terjadinya ikatan antara aspal dan karet alam siklik di satu sisi meningkatkan titik lembek aspal, akan tetapi menyebabkan semakin membesarnya pori-pori antara rantai/molekulnya yang ditunjukkan dengan meningkatnya harga VFA dan menurunnya VIM dan VMA.

Besarnya rongga kemungkinan disebabkan oleh semakin besarnya berat jenis aspal-karet alam siklik. Perpaduan berat jenis aspal dan berat jenis karet mengakibatkan berat jenis aspal-karet alam siklik lebih besar (berat jenis ,karet alam siklik 1 gr/ml dan berat jenis karet alam sekitar 2 gr/ml). Besarnya rongga ini berdampak pada menurunnya karakteristik *durabilitas* (keawetan), *fatigue resistance* (ketahanan terhadap kelelahan) dan *Impermeabilitas* (kedap air). Rongga yang lebih besar menyebabkan air dan udara lebih mudah masuk kedalam campuran aspal sehingga ikatan campuran aspal dengan agregatnya menjadi lemah. Lemahnya ikatan antara aspal dengan agregatnya menyebabkan jalan tidak tahan lama atau cepat rusak ketika digunakan.

Salah satu penelitian tentang rongga aspal telah dilakukan oleh Siregar, Ritonga & Arunika, (2014). Penelitian dilakukan dengan memanfaatkan *natural rubber* sebagai bahan modifikasi aspal. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan *natural rubber* meningkatkan nilai VIM dan VMA serta menurunkan nilai VFA. Sedangkan dalam penelitian ini digunakan karet alam siklik sebagai bahan pencampuran aspal dan hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan karet alam siklik akan menurunkan nilai VIM dan VMA dan menaikkan nilai VFA. Perbedaan hasil kedua penelitian ini kemungkinan disebabkan perbedaan fungsi dan bentuk fisik karet alam siklik dan *natural rubber* yang mengakibatkan perbedaan struktur campuran aspal.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian terhadap sifat fisik persyaratan aspal, diperoleh informasi bahwa karet alam siklik dapat dijadikan sebagai bahan campuran aspal modifikasi. Setelah dilakukan pengujian marshall diperoleh informasi bahwa penambahan karet alam siklik berpengaruh terhadap rongga aspal modifikasi.

Penambahan konsentrasi karet alam siklik menyebabkan nilai VMA dan VIM semakin kecil dan nilai VFA semakin besar. Berdasarkan standar semakin kecilnya nilai VMA dan semakin besarnya nilai VFA menunjukkan rongga aspal modifikasi semakin kecil. Rongga aspal yang semakin kecil menyebabkan air lebih sulit masuk ke campuran aspal dan agregatnya sehingga kualitas jalan menjadi lebih baik.

Untuk pengembangan penelitian ini lebih lanjut disarankan untuk melakukan kajian yang dapat mengurangi kelemahan modifikasi aspal-karet alam siklik seperti menambahkan filler lain kedalam aspal yang berfungsi untuk mengisi rongga yang terdapat pada aspal dan menggunakan beberapa jenis plastisizer minyak pelumas ke dalam campuran aspal-karet alam siklik dan agregat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Ditjen DIKTI yang telah mendanai penelitian ini melalui skema penelitian hibah bersaing Tahun Anggaran 2015 sesuai kontrak pelaksanaan penelitian Nomor: 064/SP2H/PL/Dit.Litabmas/II/2015, tanggal 5 Februari 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- Chusna, S. F.(2002). Kajian Pembuatan Karet Siklo Berbobot Molekul Rendah. *Tesis*. Bogor: Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2005). *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan*, Jakarta
- Harseno, E. & Daryanto, E. (2008). Tinjauan Tinggi Tekanan Air di Bawah Bendung dengan Turap dan Tanpa Turap pada Tanah Berbutir Halus. *Majalah Ilmiah UKRIM Yogyakarta*, 8(2), 1-15.
- Kumalawati, A., Sir, T. M., & Mastaram, Y. (2013). Analisis Pengaruh Penggunaan Abu Batu Apung Sebagai Pengganti Filler Untuk Campuran Aspal. *Jurnal Teknik Sipil*, 2(2), 191-200.
- Misbah. (2013). Pengaruh Variasi Kadar Agregat Kasar Terhadap Nilai Karakteristik Campuran Panas Aspal Agregat (AC-BC) Dengan Pengujian Marshall. *Jurnal Momentum*, 17(1), 84-90.
- Palupi, N. P., Sailah, I., Syamsu, Y., & Pandji, C. (2008). Karakterisasi Perekat Siklo Karet Alam. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 4(1), 19-24.
- Rianung, S. (2007). Kajian Laboratorium Pengaruh Bahan Tambah Gondorukem pada Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) Terhadap Nilai Propertis Marshall dan Durabilita. *Tesis*

- Semarang: Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Ritonga, W., Wiryosentono, B., & Nasruddin. (2013). Study Persyaratan Fisik Aspal Modifikasi Dengan Pemanfaatan Karet Alam Siklik (*Cyclic Natural Rubber*). *Jurnal Einstein*, 1(1), 42-47.
- Rondonuwu, F., Kaseke, O. H., Rumayar, A. L. E., & Manoppo, M. R. E. (2013). Pengaruh sifat fisik agregat terhadap rongga Dalam campuran beraspal panas. *Jurnal Sipil Statik*. 1(3), 184-189.
- Siregar, A. M., Ritonga, W., & Arunika, S. (2015), *Analisis Rongga Pada Aspal Iran Pen 80/100 Termodifikasi Dengan Karet Alam (Natural Rubber) Pada Campuran Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)*, disampaikan pada Semirata PKS PTN Wilayah Barat Tahun 2015 di Universitas Tanjungpura Pontianak Kalimantan Barat, 6-8 Mei 2015.
- Sukirman, S. (2012). *Beton Aspal Campuran Panas*. Edisi Kedua. Bandung: Itenas.

STUDY ON PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES OF FURNACE-NICKEL-SLAG POWDER FOR GEOPOLYMER APPLICATION

S. Samnur¹, H. Husain², A. Zulfi², E. H. Sujiono^{2*}

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Makassar, Indonesia

²Department of Physics, Faculty of Mathematics and Sciences
Universitas Negeri Makassar, Indonesia

Received: 13 April 2016. Accepted: 28 May 2016. Published: July 2016

ABSTRACT

This research aims to prepare powder of nickel slag from furnace machine, identify, and analyze of the elements or compounds containing in the sample. The data retrieval was done with the analysis of elemental composition, phase microstructures, crystal size, distribution, and composition mapping of the samples by using XRD, Rigaku Miniflex II, and SEM-EDS, Tescan Vega-3. XRD result indicates that the formation which the similar to amorphous phase was identified and the formation at peak $2\theta = 28.01^\circ$ is identified as the low quartz (SiO_2). FWHM 0.18° was obtained using microcal origin 6.0 and average crystal size 53.37 nm was obtained by applying Scherer equation. SEM results show average grain size of samples which is less than $1\mu\text{m}$ and maximum to $4\mu\text{m}$. Based on EDS result, the main constituent elements are Si 32.86 wt%, Mg 19.40 wt%, and Fe 32.03 wt%, respectively.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menyiapkan bubuk slag nikel yang berasal dari furnace, yang dilanjutkan dengan mengidentifikasi dan menganalisis unsur atau paduan yang terkandung di dalamnya. Data diperoleh dengan melakukan analisis terhadap komposisi unsur, fasa mikrostruktur, ukuran Kristal, distribusi dan komposisi paduan dari sampel bubuk slag nikel furnace dengan menggunakan XRD tipe Rigaku Miniflex II dan SEM-EDS tipe Tescan Vega-3. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa formasi yang dihasilkan menyerupai fase amorf dan formasi yang terbentuk pada puncak $2\theta = 28.01^\circ$ diidentifikasi sebagai low quartz (SiO_2). Dengan menggunakan microcal origin 6.0 diperoleh FWHM 0.18° dan menggunakan persamaan Scherer diperoleh rata-rata ukuran kristal 53.37 nm. Hasil pengukuan SEM menunjukkan bahwa rata-rata ukuran butir dari sampel bubuk slag nikel furnace bervariasi antara minimal $1\mu\text{m}$ dan maksimum $4\mu\text{m}$. Berdasarkan pengukuran EDS diperoleh secara berturut-turut bahwa unsur utama penyusun paduan slag nikel furnace adalah Si 32.86 wt%, Mg 19.40 wt%, dan Fe 32.03 wt%.

© 2016 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: chemical composition; grain size; nickel slag; physical-chemical properties; powder

INTRODUCTION

Many studies conducted a nickel slag utilization, some of them were in the field of construction at many countries, as considering the nickel slag production can reach thousands of ton every week (Prederiy, 2011; Huang, Bird, Heidrich, 2007; and Motz & Geizeler, 2010). Addition, at the developing countries, nickel slag

is utilized in the construction of highways such as for granular and hot-mix asphalt aggregate (engineered fill, sub base and base material, and asphalt concrete), aggregate of concrete manufacturing (fine and coarse aggregate) and cementations application (blended cement and raw material for cement manufacture) (Wang & Thompson, 2011). Nickel slag also used in industrial blast cleaning as ultra blast with a high density disposable blasting slag which has several advantages such as high production rates, non-reactant, and non-detectable

*Correspondence Address:
Kampus UNM Parangtambung 90224
E-mail: e.h.sujiono@unm.ac.id

crystalline. Utilization of nickel slag depends on its mechanical properties, electrical properties and morphology, which are largely affected by the physical-chemical composition and crystal structure (Zhang & Chou, 2012; and Ghosh, Krishnamuthy, Sankaranayanan, 2010). Information of the physical-chemical composition and crystal structure of nickel slag become very important to determine its future material applications.

In this paper, the samples of nickel slag powder come from the smelting process of nickel ore after furnace processing. The analysis was focused on the physical-chemical properties of materials based on the characterization data by using X-ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive Spectroscopy (EDS).

METHOD

The procedure in this research is started from sample preparation of furnace nickel slag in solid form that processed into a powder, followed by analysis of micro structures through characterization by XRD and SEM and mineral composition analysis using EDS.

Sample Preparation

Hard chunks of furnace nickel slag, caused the process of nickel slag into a fine aggregate without using a machine becomes very difficult. Furnace nickel slag procedures into powder form begin with destruction to gravel size by using Jaw Crusher W 200 machine. Slag size gravel is rinsed with water to minimize contamination, and then dried in a furnace at temperature 170 °C for 30 minutes. The slag is dried then crushed using a Jaw Crusher W 200 to produce nickel slag sand. Slag which is processed by Jaw Crusher W 200, then processed again by milling, PAL-M100M, and resulted smooth output. The obtained sample from the processing chunk of nickel slag is formed at the laboratory of Material Sciences, Department of Physics, Universitas Negeri Makassar which is shown in Figure 1.

Microstructure Analysis

Information of the microstructure sample gathered through the XRD and SEM data analysis. Microstructure properties of materials obtained from XRD such as crystal ability of material, the average of crystal size, and full width half maximum (FWHM), can determine the electrical properties and crystal quality of ma-

terials (Wickenden & Kisthemnacer, 1994; and Sujiono, Sani, Saragi, Arifin, Barmawi, 2001). On the other hands, the grain size and patterns of particle distribution are factor that can determine the mechanical properties of the materials. This data obtained from SEM analysis.



Figure 1. Sample of furnace nickel slag powder.

Mineral Composition

Analysis of EDS data results was used to determine the element of nickel slag samples. This result can be used to identify the dominant constituent element of materials. This data is very important as the basis of utilization of the materials based on the characteristics of the element constituting, and the basic separation of nickel slag elements by using the appropriate method such as reduction under vacuum condition (Deng, Liu, Yao, Ma, 2014). Average particle size can be calculated from the top of the highest intensity by using the Debye-Scherrer:

$$t = k \lambda / B \cos \theta \quad (1)$$

where, t is the average of crystal size, k is the Scherrer constant (0.89), λ is the wavelength of the X-rays, B is the FWHM in radiant, and θ is the angle of Bragg's diffraction, respectively (Khalil, Saad, Wahsa., 2012; and Kumar, Kumar, Narayan, Manoranjan, 2013).

RESULT AND DISCUSSION

Characteristics of Furnace Nickel Slag Powder

Based on the aggregated sample size of the nickel slag is in the range of 0 – 30 mm, so that the its advantages are wider. For instance, the slag with a grain size between 9.5 – 4.75 mm can be used as coarse aggregate and slag with a grain size between 4.75 – 0.075 mm can

be served as a fine aggregate such as in application for prestressed concrete, concrete block, etc. (ASA, 2011). While the nickel slag in powder provides wide opportunities of utilize the nickel furnace slag and further research on mixing the powdered sample with other powder materials to improve the quality of materials in order to maximize its application.

Physical Properties

Analysis of SEM result was used to analyze the surface morphology, size, and form of granules, pattern of granules distribution, mapping elements and compounds of nickel slag furnace constituents. Figure 2.a shows the result of SEM characterization of nickel slag furnace with 81 times magnification, using an SE detector at 15 kV. The grain size of nickel slag has a size of more than 1500 μm , the bright-white dots on the surface of grain are Ti at 0.20% and constituent element was taken with the highest atomic number that has the highest

level of brightness.

Figure 2.b shows the result of SEM characterization of nickel slag powder furnace with 2000 times magnification. A grain of nickel slag has various size, 1 μm – 4 μm . It can provide a wide option for processing nickel slag furnace in micro scale particles. The EDS data indicates that the main elements of a sample are Si and Fe. The Si rich area on the SEM image (Figure 2.b) is marked with "B" on darker part, whereas the Fe rich area is marked with "A" on the brighter part because Fe has a higher atomic number than Si. It is so because the smaller of their atomic number leads to the less reflection appears as a darker area on the image of SEM characterization.

Figure 2.c showed nickel slag furnace powders with 5000 times magnification, while the scale of 5 μm is focused on the Fe. The Fe grain size is various, where some discharge electron can be seen at Fe granules because of its position, on the grain boundary.

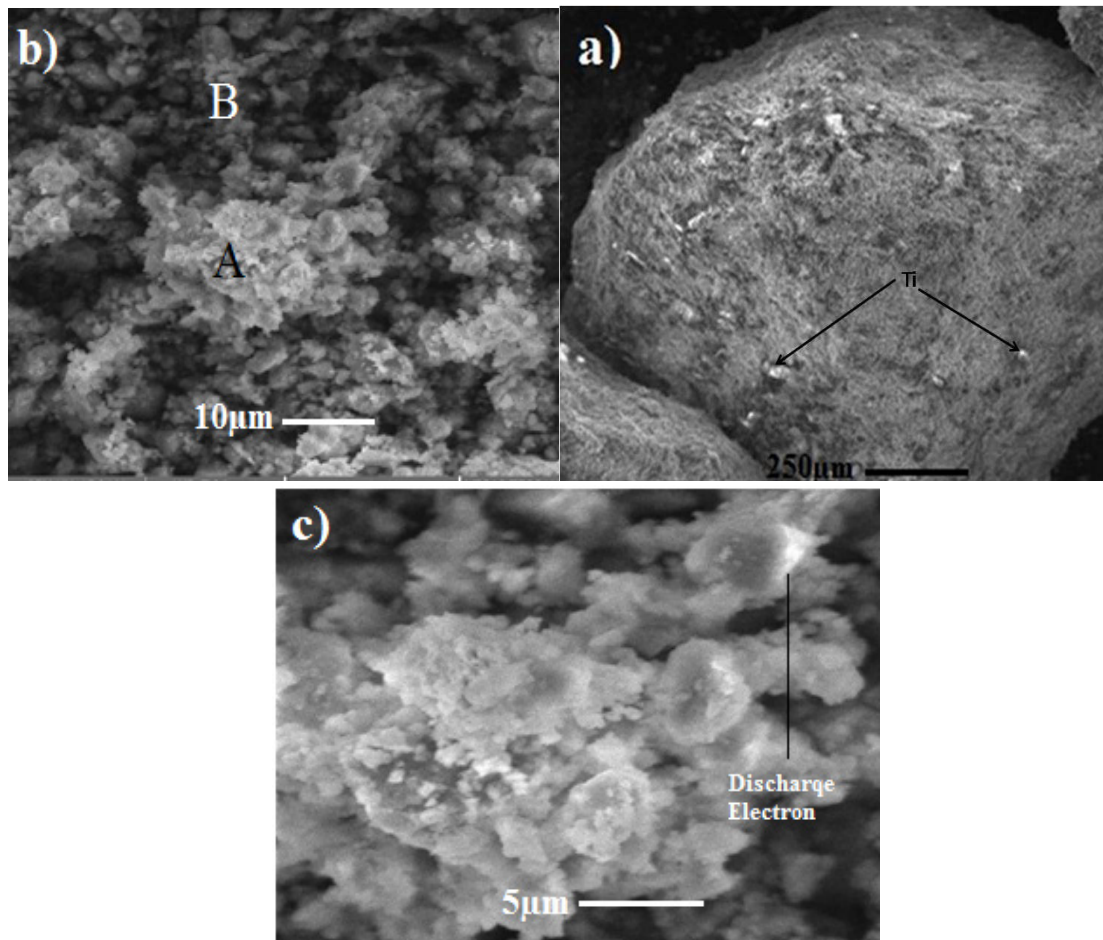


Figure 2. SEM image of: a) Nickel slag furnace with 81 times magnification (Ti appears as bright dots). b) Nickel slag furnace with 2000 times magnification (A=Fe rich area; B= Si rich Area). c) Nickel slag furnace with 5000 times magnification.

Chemical properties

The XRD data shows the compounds with its crystal phase are indicated by the presence of sharp peaks while the other phase resemble the amorphous phase that is indicated by the formation of the hump with an irregular intensity, revealing a characteristic for sample in powder form.

XRD pattern in Figure 3 shows the patterns of nickel slag powder with some emergence of the crystal phase and amorphous like phase of nickel slag. Data retrieval at the angle of 2θ starts from 20° - 80° with $\lambda = 1.54$ nm at 30 kV and 15 mA.

The most dominant peak is on (113) field with the intensity of the 1866 counts at the angle of 2θ is 28.01° . The field shows the phase hypothetical silica (SiO_2) with 32.86 wt% is similar with the dominant mineral in powder furnace nickel slag from literature (Pan *et al.*, 2013) but this sample has a larger FeO, so its possible to make a new alloy material rich with FeO by adding powder nickel slag as an aggregate. FWHM value obtained from the Microcal Origin 6.0 was 0.18° , this value is quite small refer to literature, that mean this phase has a good crystal structure and electrical properties (Wickenden and Kisthemnacer, 1994; and

Sujiono *et al.*, 2001) and by Scherer equation acquired crystal size of 53.37 nm. Next on the field of (221) and intensity of the 482 counts at an angle of 2θ 29.69° and in field (310) with the intensity of 1470 counts at an angle 2θ is 30.99° show the clinoenstatite ($\text{Mg}(\text{SiO}_3)$) phase. In the field of (122) and the intensity of the 178 counts at an angle 2θ of 42.36° shows the phases of silimanite $\text{Al}_2(\text{SiO}_4)\text{O}$. In the field of (110) and the intensity of 1169 counts at an angle of 2θ 36.36° shows the phases of magnetite (Fe_2O_3). Whereas in the field of (200) and the intensity of the 849 counts at an angle of 2θ is 35.58° shows the phases of calcium peroxide (CaO_2). The formation of both clinoenstatite ($\text{Mg}(\text{SiO}_3)$) and silimanite $\text{Al}_2(\text{SiO}_4)\text{O}$ phase show that Si can bound with Mg and Al. The absence of compound between Si and Fe or Ca indicated that these elements cannot bound together or the diffraction is quite small to detect by XRD detector.

Chemical composition of powder furnace nickel slag from XRD analysis as shown in Figure 4 shows that the highest phase is clinoenstatite 68%. In addition there is another compound like hypothetical silica 13%, iron (III) oxide 12%, silimanite 4% and calcium peroxide 3%.

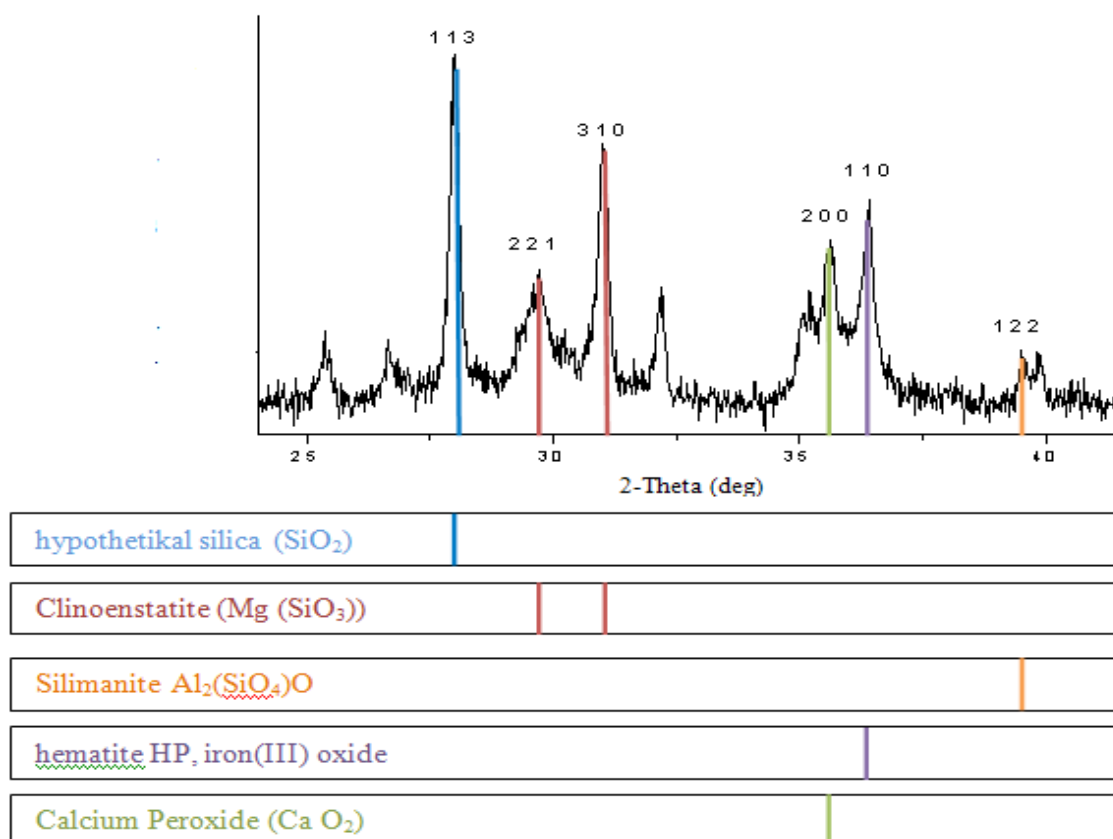


Figure 3. XRD pattern of powder furnace nickel slag.

Table 1. The EDS data of furnace nickel slag powder.

Symbol	Si	Al	Na	Fe	Mn	Cr	Ca	Mg	S	Ti	Co
Percentage [%]	32.86	4.02	0.25	32.03	0.50	2.07	7.82	19.40	0.24	0.20	0.60

Chemical Composition

The EDS result provides information on the chemical composition of furnace nickel slag as shown in the Table 1. There are three dominant elements Si, Fe, and Mg. These elements could be extracted from powder furnace nickel slag for further application, such as to extract Mg using carbonation process (Wen-ning, Yuchun & Yan, 2010) and to extract Fe element with precipitation method.

Furthermore, the presence of Si and Al with ratio larger than 8 in powder furnace nickel slag give a possibility to use it as a raw material in synthesis geopolymer (Davidovits, 1994; Rangan, 2010), which has chain structure from Si and Al ions (Cheng & Chiu, 2003; Maragos, Giannopoulou & Panyas, 2009). Based on these results of the compounds contained in samples of powdered, furnace nickel slag can be separated using physical chemical methods whose results are expected to support the acceleration of the Indonesia economic development master plan.

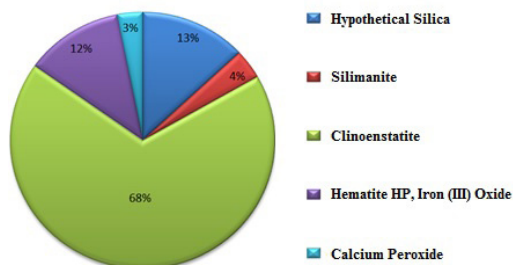


Figure 4. Percentage of compound in powder furnace nickel slag sample

CONCLUSION

Sample powder of furnace nickel slag with varied grain size on the first stage has successfully produced. SEM measurement data analysis result shows grain size for sample furnace slag powder on average 1 μm – 4 μm . XRD data analysis indicated resemble an amorphous phase formation was characterized by the presence of hump, with its highest peak at $2\theta = 28.01^\circ$ which is a phase of low quartz (SiO_2), with the average FWHM of 0.18 and crystal size 53.37nm. The analysis of EDS indicates that major elements of nickel furnace

slag powder are Si 32.86 % wt, Mg 19.40 %wt and Fe 32.03 %wt, respectively. The presence of Si and Al element with ratio larger than 8 is possible to use as a raw material for synthesis of a geopolymer.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was funded by the Directorate General Of Higher Education, Ministry of Education and Cultural Indonesia through Priority Research Scheme “MP3EI” fiscal year 2013 no. contract: 284/SP2H/PL/Litabmas/VII/ 2013, 15 July 2013, and this article has been presented in International Conference on Functional Materials and Metallurgy 2014 (ICoFM 2014) on 17th – 18th September 2014 in Penang, Malaysia.

REFERENCES

- ASA. (2011). *Blast Furnace Slag Aggregates Properties, Characteristics and Applications*, Retrieved from <http://www.asa-inc.org.au/documents/ASA-ReferenceDataSheet-2.pdf>.
- Cheng, T. W., & Chiu, J. P. (2003). Fire-resistant geopolymer produced by granulated blast furnace slag. *Minerals Engineering*, 16(3), 205-210.
- Davidovits, J. (1994). High-Alkali Cements for 21st Century Concretes. *Proceedings of V. Mohan Malhotra Symposium*, Editor: P. Kumar Metha, ACI SP- 144 (pp. 383-397). Berkeley:,Ucla.
- Deng, P., Liu, Y., Yao, W., Ma, H. (2014). Production of Primary Magnesium by the Aluminothermic Reduction of Magnesia Extracted from Dolomite Ore. *J. Material Science Forum*, 788, 28-33.
- Ghosh, D., Krishnamuthy, V.A., Sankaranayanan, S.R. (2010). Application of Optical Basicity to Viscosity of High Alumina Blast Furnace Slags, *Min.Metall. Sect. B-Metall*, 46(1), 41-49.
- Huang, Y., Bird, R. N., & Heidrich, O. (2007). A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(1), 58-73.
- Khalil, M.N., Saad, E.E., Wahsa (2012). “Extraction Nanosized $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ Particles From Hematite Ore” *Proceeding of the 3rd International Conference on Chemistry and Chemical Engineering*(pp. 82-87). Singapore: IPCBEE.
- Kumar, L., Kumar, P., Narayan, A., & Kar, M. (2013).

- Rietveld analysis of XRD patterns of different sizes of nanocrystalline cobalt ferrite. *International Nano Letters*, 3(1), 1-12.
- Maragkos, I., Giannopoulou, I. P., & Papias, D. (2009). Synthesis of ferronickel slag-based geopolymers. *Minerals Engineering*, 22(2), 196-203.
- Motz, H., Geizeler, J. (2010). Products of Steel Slag an Opportunity to Save Natural Resources, *J. Waste Management*, 21(3), 285-293.
- Mu, W. N., Zhai, Y. C., & Yan, L. I. U. (2010). Leaching of magnesium from desiliconization slag of nickel laterite ores by carbonation process. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20, 87-91.
- Optaminerals (n.d.). Ultrablast - Nickel Slag. Retrieved from: <http://www.optaminerals.com/abrasives/Ultrablast-Nickel-Slag.html>
- Pan, C., Lv, X., Bai, C., Liu, X., & Li, D. (2013). Melting features and viscosity of SiO₂-CaO-MgO-Al₂O₃-FeO nickel slag in laterite metallurgy. *Journal of Mining and Metallurgy B: Metallurgy*, 49(1), 9-12.
- Prederiy, I. (2011). *Dissolution of Valuable Metals from Nickel Smelter Slags by Means of High Pressure Oxidative Acid Leaching*, Canada: University of Toronto.
- Rangan, B. V. (2010). Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *Proceedings of the International Workshop on Geopolymer Cement and Concrete*, (pp. 68-106). Mumbai: Allied Publishers Private Limited.
- Sujiono, E.H., Sani, R.A., Saragi, T., Arifin, P., Bar-mawi, M. (2001). YBa₂Cu₃O_{7-δ} Thin Films Deposited by MOCVD Vertical Reactor with a Flow Guide, *Physica Status Solidi (a)*, 187(2), 471-479.
- Wang, G., Thompson, R. (2011). Slag Use in Highway Construction-the Philosophy and Technology of Its Utilization, *International Journal of Pavement Research and Technology*, 4(2), 97-103.
- Wickenden, A.E, Kisthemnacer, D.K. (1994). The Effect of Thermal Annealing on GaN Nucleation Layers Deposited on (0001) Sapphire by Metalorganic and Chemical Vapor Deposition, *Apply. Physc*, 75(10), 5367-5371.
- Zhang, G.H., Chou, K.C. (2012). Viscosity Model for Fully Liquid Silicate Melt, *Min. Metall. Sect. B-Metall*, 48(1)B 1-10.

PENGARUH BALIKAN FORMATIF TERINTERGRASI STRATEGI PEMBELAJARAN DIAGRAM VEE DAN KEMAMPUAN AWAL TERHADAP PENGUASAAN KONSEP SISWA

E. W. N. Sofianto*, Wartono, S. Kusairi

Program Studi Pendidikan Fisika, Pascasarjana, Universitas Negeri Malang, Indonesia

Diterima: 17 Maret 2016. Disetujui: 20 Juni 2016. Dipublikasikan: Juli 2016

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui interaksi antara penilaian formatif dengan kemampuan awal terhadap penguasaan konsep siswa materi fluida statis, suhu, dan kalor. Metode penelitian menggunakan kuasi eksperimen faktorial 2 x2. Populasi penelitian ini adalah seluruh siswa kelas X MIA SMA Negeri 1 Singosari tahun ajaran 2014/2015 yang terdiri dari 5 kelas dengan jumlah 170 siswa yang akan mendapatkan materi fluida statis, suhu dan kalor. Sampel yang digunakan adalah kelas X MIA 1 dengan pembelajaran Diagram Vee-balikan formatif, sedangkan X MIA 3 menggunakan Diagram Vee-penugasan. Penguasaan konsep siswa diukur dengan tes penguasaan konsep pada materi fluida statis, suhu dan kalor. Hasil dari tes penguasaan konsep dianalisis dengan uji prasyarat analisis. Pada uji normalitas, kemampuan awal siswa dan penguasaan konsep siswa terdistribusi normal dengan nilai p (sig) $> 0,05$. Pada uji homogenitas, kemampuan awal siswa dan penguasaan konsep siswa data homogen dengan p (sig) $> 0,05$. Hasil uji hipotesis penelitian menggunakan uji Anova Two Ways, menunjukkan tidak ada interaksi antara kemampuan awal dan penilaian formatif terhadap penguasaan konsep.

ABSTRACT

This study aimed to determine interaction among formative assessment, prior knowledge and the student mastery of the concept of static fluid, heat and temperature. This research used quasi experimental method using 2x2 factorial. The population was all students of grade X, science program of Senior High School Singosari, school year 2014/2015 which consists of five class with 170 students who will get material of static fluid, heat and temperature. The samples were grade X science 1 with Diagram Vee formative assessment and grade X science 3 with Diagram Vee assignment. Mastery of concepts were measured by using sumative test of static fluid, heat and temperature. Result of mastery of concepts were tested by using analysis precondition test. The normality test showed that prior knowledge and mastery of concepts of student was normally distributed with p (sig) $> 0,05$. The homogeneity test showed that prior knowledge and mastery of concepts of student were homogenous with p (sig) $> 0,05$. Result of hypothesis testing with Anova Two Ways showed no interaction among prior knowledge, formative assessment and mastery of concepts .

© 2016 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: feedback formatif; vee diagram; prior knowledge; mastery of concept

PENDAHULUAN

Salah satu strategi pembelajaran yang efektif dan bersifat konstruktivis adalah strategi pembelajaran Diagram Vee (Iskandar, 2011). Strategi Diagram Vee yang dipopulerkan oleh Gowin, dapat digunakan dalam metode pem-

belajaran praktikum. Strategi Diagram Vee dapat membantu siswa dalam memahami materi dengan cara menghubungkan antara teori dan prosedur dalam menyelesaikan masalah fisika (Neira & Soto, 2013; Ramirez, Aspee, Sanabria, & Tellez, 2008). Hal ini berarti strategi pembelajaran Diagram Vee dapat membantu meningkatkan keefektifan pembelajaran fisika dan kreativitas siswa.

*Alamat Korespondensi:

Sumbersari, Lowokwaru, Malang City, East Java
E-mail: ekowahyunursofianto@gmail.com

Pada kegiatan penutup Diagram Vee terdapat penilaian tes penguasaan konsep siswa yang disebut dengan evaluasi formatif. Evaluasi formatif ini dilakukan setelah pembelajaran satu pertemuan selesai. Evaluasi formatif dapat berfungsi sebagai *feedback* bagi siswa untuk mengetahui penguasaan materi yang dicapai. Untuk meningkatkan pemahaman siswa pada konsep fluida statis, diperlukan strategi pembelajaran yang efektif. Salah strategi pembelajaran yang efektif dan berbasis konstruktivistik adalah strategi pembelajaran Diagram Vee. Strategi pembelajaran Diagram Vee merupakan strategi pembelajaran berbasis praktikum yang dipopulerkan oleh Gowin. Strategi pembelajaran Diagram Vee dapat membantu untuk meningkatkan pembelajaran fisika dan kreativitas siswa (Neira & Soto, 2013; Ramirez *et al.*, 2008). Sebab, dalam strategi Diagram Vee membantu siswa dalam menghubungkan antara teori dan prosedur dalam menyelesaikan masalah fisika. Hal ini dapat mengatasi rendahnya pemahaman siswa terhadap suatu konsep fisika dan meningkatkan kreativitas siswa sehingga pembelajaran bermakna dapat tercapai.

Evaluasi formatif sering dilakukan guru dengan memberikan Pekerjaan Rumah (PR) dan meminta siswa untuk mengumpulkan PR tersebut pada pertemuan berikutnya tanpa ada pembahasan. Hal ini sesuai dengan hasil observasi yang dilakukan di SMA Negeri 1 Singosari, bahwa guru fisika hanya memberikan PR kepada siswa sebagai penilaian formatif. Penilaian formatif tradisional hanya mengukur apa yang diketahui siswa bukan menyelidiki apa yang diketahui siswa (Majerich, Varnum, Stull, Ducette, 2011). Hal ini dapat diatasi dengan memberikan penilaian formatif dengan umpan balik cepat.

Selain memperhatikan strategi pembelajaran dan pemberian balikan formatif, guru juga perlu memperhatikan kemampuan awal siswa. Kemampuan awal merupakan modal bagi siswa dalam mengikuti proses belajar mengajar sebab membantu siswa dalam mengaitkan antara pengetahuan yang sudah ada dengan pengetahuan baru yang didapat (Nur, 2011). Pada kegiatan penutup Diagram Vee terdapat penilaian tes pemahaman siswa untuk ranah kognitif yang disebut dengan evaluasi formatif. Evaluasi formatif ini dilakukan setelah pembelajaran satu pertemuan selesai. Evaluasi formatif ini sebagai *feedback* siswa untuk mengetahui penguasaan materi yang dicapai. Setelah semua materi tersampaikan, maka

guru melakukan tes sumatif. Menurut Wagner dan Vaterlaus (2012), penilaian formatif mempunyai beberapa manfaat yaitu untuk memantau pembelajaran siswa, menentukan perbedaan tujuan pembelajaran dan kinerja siswa, dan memverifikasi pemahaman konsep siswa.

Penerapan balikan formatif dalam strategi Diagram Vee ditinjau dari kemampuan awal siswa dapat dilakukan pada materi fluida statis, suhu dan kalor. Pada materi fluida statis terdiri dari beberapa konsep yaitu massa jenis, tekanan hidrostatis, prinsip Pascal, prinsip Archimedes, daya apung, gejala kapilaritas dan viskositas. Pemahaman yang baik dan benar dibutuhkan siswa dalam mempelajari fluida statis. Akan tetapi, beberapa hasil penelitian yang menunjukkan bahwa siswa mempunyai penguasaan konsep yang rendah pada materi fluida statis. Penguasaan konsep yang rendah, hingga saat ini terjadi pada konsep daya apung dan menafsirkan grafik massa/volume (Vasenska & Berg, 2008; Shaker, 2012; Pavlin, Katarina, & Cepic, 2008). Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penguasaan konsep pada materi fluida statis rendah.

Selain materi fluida statis, materi suhu dan kalor juga dapat dibelajarkan dengan strategi tersebut. Materi kalor terdiri dari konsep suhu, kalor dan perpindahan kalor. Sama halnya dengan penguasaan konsep pada fluida statis, pemahaman siswa pada konsep-konsep kalor juga masih kurang. Hal ini dibuktikan oleh beberapa hasil penelitian yang dilakukan oleh Warner (2010), bahwa siswa masih beranggapan bahwa kalor bukan energi, suhu suatu benda tergantung pada ukurannya, serta mendidih merupakan suhu maksimum yang dapat diraih oleh zat. Hasil penelitian Young (2009) menyatakan bahwa siswa mengalami kesalahan konsep tentang transfer panas dan termodinamika. Selain itu, Baser (2006) menyatakan banyak siswa yang beranggapan bahwa logam lebih mudah terasa dingin dibandingkan dengan plastik. Hasil penelitian tentang suhu dan kalor menunjukkan bahwa adanya penguasaan konsep yang rendah.

Berdasarkan ulasan tersebut, perlu, diadakan penelitian tentang balikan formatif terintegrasi Diagram Vee terhadap penguasaan konsep siswa materi fluida statis, suhu, dan kalor. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh balikan formatif dan interaksinya dengan kemampuan awal terhadap penguasaan konsep.

METODE

Penelitian ini menggunakan rancangan penelitian eksperimen semu faktorial 2 x 2 untuk mengetahui interaksi antara penilaian formatif dengan kemampuan awal terhadap penguasaan konsep siswa materi fluida statis, suhu, dan kalor. Satu kelas sebagai kelas eksperimen diberi perlakuan dengan menggunakan Diagram Vee-balikan formatif dan kelas kontrol menggunakan Diagram Vee-penugasan. Berikut rancangan eksperimen semu faktorial 2 x 2.

Tabel 1. Rancangan Eksperimen Semu Faktorial 2 x 2

Subjek	Prates	Perlakuan		
		Penilaian Formatif	KA	Postes
Kelas Eksperimen	-	DV-BF	KA-T	O
	-	DV-BF	KA-R	O
Kelas Kontrol	-	DV-P	KA-T	O
	-	DV-P	KA-R	O

Keterangan :

DV-BF : perlakuan kelas eksperimen dengan Diagram Vee-Balikan Formatif

DV-P : perlakuan kelas kontrol dengan Diagram Vee-Penugasan

KA-T : kemampuan awal tinggi siswa kelas eksperimen dan kontrol

KA-R : kemampuan awal rendah siswa kelas eksperimen dan kontrol

O : pemberian postes pada kedua kelas

Peneliti mengumpulkan dan mengolah data kemampuan awal siswa dari dua kelas untuk uji prasyarat. Peneliti bertindak sebagai guru yang melakukan pembelajaran dengan menggunakan strategi Diagram Vee di kelas kontrol dan eksperimen. Peneliti melaksanakan tes formatif materi fluida statis, suhu dan kalor tiap pertemuan. Setelah semua materi fluida statis, suhu dan kalor disampaikan, peneliti melakukan tes sumatif untuk mengukur penguasaan konsep siswa. Populasi dari penelitian ini adalah seluruh siswa kelas X MIA SMA Negeri 1 Singosari tahun ajaran 2014/2015 yang terdiri dari 5 kelas yang akan mendapat materi fluida statis. Penentuan sampel menggunakan teknik *cluster random sampling*. Sampel yang

digunakan dalam penelitian ini adalah kelas X MIA 1 dan X MIA 3.

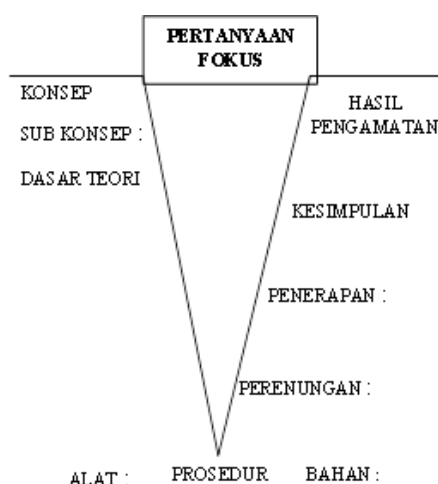
Data penelitian yang dikumpulkan yaitu penguasaan konsep fluida statis setelah siswa menerima semua materi fluida statis, suhu dan kalor. Instrumen yang digunakan untuk mengukur penguasaan konsep adalah instrumen tes yang berbentuk pilihan ganda. Jumlah soal dalam tes fluida statis, suhu dan kalor berjumlah 28 item. Tes dikembangkan berdasarkan proses kognitif Taksonomi Bloom mulai C1 hingga C6. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh balik formatif dan kemampuan awal terhadap penguasaan konsep siswa pada materi fluida statis. Uji hipotesis menggunakan Analisis Varian (ANOVA) *Two Ways* dengan taraf signifikan $\alpha = 0,05$ dengan bantuan program *SPSS 15 for Windows*.

Penelitian ini menggunakan strategi pembelajaran Diagram Vee yang mempunyai tiga bagian yaitu pertanyaan fokus yang berada di tengah Diagram Vee; konsep, dasar teori, dan prosedur di sisi kiri Diagram Vee; serta hasil pengamatan dan kesimpulan di bagian kanan Diagram Vee (Araujo, Veit, & Moreira, 2008; Chamizo, 2011). Berikut langkah-langkah pembelajaran yang digunakan pada Tabel 2.

Tabel 2. Langkah-langkah Pembelajaran Strategi Diagram Vee

Langkah-langkah	Kegiatan
Pendahuluan	Persiapan pembelajaran dilanjutkan dengan kegiatan apersepsi
Fase Awal Diagram Vee	Pengisian bagian konsep, sub konsep dan dasar teori
Fase Inti Diagram Vee	Pelaksanaan praktikum sesuai prosedur Pengisian hasil pengamatan dan kesimpulan
Fase Akhir Diagram Vee	Presentasi dan diskusi kelas
Penutup	Menyimpulkan dan mengerjakan soal sebagai balik formatif

Berikut skema pembelajaran Diagram Vee yang dibentuk dalam sebuah diagram:



Gambar 1. Skema Pembelajaran Diagram Vee yang Digunakan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai siswa setelah mengerjakan soal sumatif fluida statis, suhu dan kalor menunjukkan penguasaan konsep siswa pada materi tersebut. Siswa mengerjakan soal sumatif dengan jenjang soal C1 hingga C6. Tabel 2 menunjukkan deskripsi penguasaan konsep siswa pada materi fluida statis, suhu dan kalor.

Sebelum dilakukan uji hipotesis dengan ANOVA *Two Ways*, maka dilakukan uji prasyarat analisis berupa uji kesamaan dua rata-rata, uji normalitas dan uji homogenitas. Kemampuan awal pada kelas kontrol dan eksperimen dilakukan uji kesamaan dua rata-rata, normalitas dan homogenitas. Hasil uji kesamaan dua rata-rata menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan antara kemampuan awal siswa kelas X MIA 1 dan X MIA 3 dengan taraf signifikansi $(0,428) > (0,05)$. Uji normalitas menunjukkan bahwa data kemampuan awal kelas X MIA 1 dan kelas X MIA 3 terdistribusi normal dengan taraf signifikansi $> 0,05$. Data kemampuan awal kelas X MIA 1 dan X MIA 3 tergolong data yang homogen dengan nilai *Levene Statistics* sebesar 0,155.

Uji prasyarat analisis juga dilakukan pada data penguasaan konsep siswa materi fluida statis, berupa uji normalitas dan homogenitas. Berdasarkan uji normalitas, data penguasaan konsep siswa terdistribusi normal dengan taraf signifikansi di atas 0,05. Uji homogenitas juga menunjukkan bahwa data penguasaan konsep siswa tergolong data yang homogen dengan nilai *Levene Statistics* sebesar 0,104. Berdasarkan hasil uji prasyarat analisis, maka dapat dilakukan uji hipotesis dengan ANOVA *Two*

Ways. Hasil uji ANOVA *Two Ways* ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 3. Deskripsi Penguasaan Konsep Siswa Materi Fluida Statis, Suhu dan Kalor

Kelas	Gol. KA	N	SD	Rata KA	Rata-rata Hasil
Diagram Vee	Tinggi	20	6,69	79	
Balikan formatif (Eksperimen)	Rendah	14	10,07	63	72
Diagram Vee Penguasaan (Kontrol)	Tinggi	19	10,93	74	
	Rendah	15	9,97	53	64

Tabel 4. Hasil Uji ANOVA *Two Ways*

Source	Dependent Variable	Sig.	H ₀
P.Formatif	Penguasaan Konsep	.001	Ditolak
KA	Penguasaan Konsep	.000	Ditolak
P. Formatif * KA	Penguasaan Konsep	.169	Diterima

Hasil uji ANOVA *Two Ways* pada Tabel 4 menunjukkan bahwa ada perbedaan penguasaan konsep siswa yang dibelajarkan dengan Diagram Vee balikan formatif dengan penguasaan konsep siswa yang dibelajarkan dengan Diagram Vee penguasaan. Hasil ini didukung dengan nilai penguasaan konsep siswa pada Tabel 3. Siswa yang dibelajarkan dengan Diagram Vee balikan formatif mempunyai nilai penguasaan konsep lebih tinggi dibandingkan dengan penguasaan konsep siswa yang dibelajarkan dengan Diagram Vee penguasaan.

Strategi Diagram Vee balikan formatif termasuk strategi pembelajaran yang efektif dalam meningkatkan penguasaan konsep siswa pada materi fluida statis. Tatar, Korkmaz, & Oren (2007) menyebutkan bahwa banyak hasil penelitian yang mengungkapkan strategi pembelajaran Diagram Vee dapat meningkatkan pengetahuan, ketrampilan dan sikap siswa. Hal ini menunjukkan bahwa dengan strategi pembelajaran Diagram Vee dapat membantu siswa untuk menguasai konsep-konsep fluida

statis. Menurut Safdar, Hussain, Shah, & Tasnim (2013), salah satu manfaat Diagram Vee adalah membantu siswa mengerjakan soal yang membutuhkan pemecahan masalah.

Selain Diagram Vee, penerapan balikan formatif juga membantu siswa dalam memahami konsep-konsep fluida statis. Penilaian formatif yang dilakukan setiap selesai pembelajaran dapat memberikan informasi kepada siswa. Informasi tersebut membantu siswa apakah yang siswa ketahui dan pahami serta perubahan yang perlu dilakukan untuk perbaikan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Shavelson *et al.* (2008); Majerich *et al.* (2011); dan Shute (2008), bahwa balikan formatif berfungsi sebagai informasi timbal balik bagi siswa untuk mengetahui tentang apa yang diketahui dan dilakukan siswa selama proses pembelajaran serta perubahan yang diperlukan siswa untuk perbaikan pada pembelajaran selanjutnya. Hal itu juga dinyatakan oleh Ismail (2011) bahwa penguasaan konsep IPA yang diberi esai formatif lebih tinggi dari kelompok tes penugasan karena terjadi perbaikan konsep secara langsung dalam pembelajaran.

Dengan demikian, balikan formatif dapat membantu siswa meningkatkan penguasaan konsep fluida statis, suhu dan kalor. Pernyataan tersebut didukung hasil penelitian yang dilakukan oleh Shute (2008) yaitu balikan formatif yang dilakukan secara terus menerus dapat meningkatkan pemahaman konsep. Berdasarkan pembahasan tersebut, dapat disimpulkan bahwa strategi Diagram Vee balikan formatif lebih efektif meningkatkan penguasaan konsep siswa dibandingkan dengan Diagram Vee penugasan.

Tabel 4, hasil uji ANOVA *Two Ways* menunjukkan bahwa ada perbedaan penguasaan konsep siswa berkemampuan awal tinggi dengan siswa berkemampuan awal rendah. Hasil tersebut didukung dengan nilai penguasaan konsep siswa berkemampuan awal tinggi dan rendah pada Tabel 3. Pada kelas Diagram Vee balikan formatif, siswa yang berkemampuan awal tinggi memperoleh nilai rata-rata penguasaan konsep sebesar 79. Siswa berkemampuan awal rendah memperoleh nilai rata-rata penguasaan konsep sebesar 63. Pada kelas Diagram Vee penugasan, siswa berkemampuan awal tinggi memperoleh nilai rata-rata penguasaan konsep sebesar 74 dan siswa berkemampuan awal rendah memperoleh 53.

Salah satu manfaat dari kemampuan awal adalah membantu siswa untuk menghubungkan kemampuan awal dengan konsep

baru. Hal ini dapat membantu siswa memperoleh pemahaman konsep yang baik dan benar. Penerapan strategi pembelajaran Diagram Vee membantu siswa untuk menghubungkan konsep lama atau kemampuan awal dengan konsep baru yang diterima. Dengan Diagram Vee, siswa dapat menyusun kembali konsep-konsep tersebut sehingga menjadi suatu pemahaman yang utuh. Tekes dan Gonene (2012) dan Claudia, Cristina, & Popescu (2012) mengemukakan bahwa penerapan Diagram Vee membantu siswa menghubungkan struktur pengetahuan yang sudah ada dengan pengetahuan baru sehingga kesalahan konsep dapat teridentifikasi.

Siswa harus mampu menghubungkan kemampuan awal dengan konsep baru yang diterima. Siswa dengan kemampuan awal tinggi lebih mampu menghubungkan konsep lama dengan konsep baru dibandingkan dengan siswa yang berkemampuan awal rendah (Irawati, 2014). Siswa berkemampuan awal tinggi lebih mampu memperbarui pengetahuan baru yang diperoleh dibandingkan dengan siswa berkemampuan awal rendah. Oleh sebab itu, siswa yang berkemampuan awal tinggi dapat menguasai konsep fluida statis dengan baik dan benar.

Berdasarkan Tabel 4, diketahui bahwa tidak ada interaksi antara penilaian formatif dengan kemampuan awal terhadap penguasaan konsep siswa materi fluida statis. Hasil tersebut menunjukkan bahwa Diagram Vee balikan formatif bukan hanya membantu siswa berkemampuan awal tinggi tetap juga membantu siswa berkemampuan awal rendah dalam memahami konsep fluida statis. Di kelas Diagram Vee penugasan, baik siswa yang berkemampuan awal tinggi maupun rendah mempunyai nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan siswa di kelas Diagram Vee – penugasan. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Hasil tersebut didukung oleh pernyataan Shute (2008), bahwa tujuan utama dari balikan formatif adalah menambah pengetahuan, ketrampilan dan pemahaman siswa dalam beberapa materi pelajaran termasuk materi fluida statis, suhu dan kalor. Oleh sebab itu, nilai penguasaan konsep siswa di kelas Diagram Vee balikan formatif mengungguli nilai penguasaan konsep siswa kelas Diagram Vee penugasan. Guru yang melakukan balikan formatif secara terus menerus dapat membantu siswa untuk menyelidiki apa yang diketahui dan dilakukan. Selain itu, juga membantu siswa menemukan hal yang perlu diperbaiki untuk pembelajaran

selanjutnya (Majerich *et al.*, 2011). Selain itu, manfaat balikan formatif dalam pembelajaran berfungsi sebagai timbal balik bagi siswa untuk mengetahui apakah tujuan pembelajaran tercapai. Dan siswa dapat melakukan penilaian sendiri (*self-assessment*). Dengan demikian, balikan formatif lebih efektif dibandingkan penugasan untuk membantu siswa meningkatkan pemahaman konsep fluida statis.

SIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang telah diulas sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa penerapan strategi Diagram Vee balikan formatif lebih efektif dalam meningkatkan penguasaan konsep siswa pada materi fluida statis, suhu dan kalor; siswa berkemampuan awal tinggi mempunyai nilai penguasaan konsep lebih baik dibandingkan dengan siswa yang berkemampuan awal rendah; strategi Diagram Vee balikan formatif tidak hanya sesuai untuk siswa yang berkemampuan awal tinggi tetapi juga sesuai untuk siswa berkemampuan awal rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Araujo, I.S., Veit, E.A., & Moreira, M.A. (2008). *Adapting Gowin's V Diagram To Computational Modelling and Simulation Applied To Physics Education*. Brazil: UFRGS.
- Baser, M. (2006). Fostering Conceptual Change by Cognitive Conflict Based Instruction on Student's Understanding of Heat and Temperature Concepts. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 2(2), 96-104.
- Chamizo, J.A. (2011). Heuristic Diagrams as a Tool to Teach History of Science. *Science and Education*, 7(2), 1-18.
- Claudia, C., Cristina, M., & Popescu, F. (2012). *The Vee Heuristic Applied for Teaching/Learning Hydrogen Atom in High School*. Romania: University of Bucharest.
- Irawati, R.K. (2014). *Pengaruh Strategi Problem Solving dan Problem Posing serta Kemampuan Awal terhadap Hasil Belajar Siswa pada Materi Kelarutan dan Hasil Kali Kelarutan*. Tesis tidak diterbitkan. Malang: Program Pascasarjana Universitas Negeri Malang.
- Iskandar, S.M. (2011). *Strategi Pembelajaran Konstruktivistik dalam Kimia*. Malang: Bayumedia Press.
- Ismail, M. I. (2015). Pengaruh bentuk penilaian formatif terhadap hasil belajar ipa setelah mengontrol pengetahuan awal siswa. *Jurnal Biotek*, 3(2), 106-124.
- Majerich, D.M., Varnum, S.J., Stull, J.C., & Ducette, J.P. (2011). Facilitation of Formative Assessments using Clickers in a University Physics Course. *Interdisciplinary Journal of E-Learning and Learning Objects*, 7(2), 1-14.
- Neira, J.A.P & Soto, I.R.S. (2013). Creativity and Physics Learning as Product of The Intervention With Conceptual Maps and Gowin's V Diagram. *Creative Education*, 4(12), 13-20.
- Nur, M. (2011). *Strategi-Strategi Belajar*. Surabaya: Unesa Press.
- Pavlin, J., Katarina, S.(2008), & Cepic, M. Does Conceptual Understanding of Density Increase with the Level of Education?. *Journal of Research in Science Teaching*, 2(6), 1-9.
- Ramirez, M.M. Aspee, M. Sanabria, I. & Tellez, N. (2008). Mathematical Strategiling of Physical Phenomena With The Use of Gowin's Vee and Concept Maps. *Creative Education*, 2(6), 4-10.
- Safdar, M. Hussain, A. Shah, I. & Tasnim, M.H. (2013). Make The Laboratory Wok Meaningful Through Concept Maps and V Diagram. *IOSR Journal of Research & Method in Education*, 3(2), 55-60.
- Shaker, Z. (2012). The Use of Concept Maps as a Tool for Understanding Conceptual Change in Preservice Elementary Teachers on the Concept of Density. *International Review of Contemporary Learning Research*, 1(1), 9-22.
- Shavelson, R.J., Young, D.B., Ayala, C.C., Brandon, P.R., Furtak, E.M., & Primo, M.A. (2008). On The Impact of Curriculum-Embedded Formative Assessment on Learning: A Collaboration Between Curriculum and Assessment Developers. *Applied Measurement in Education*, 21(4), 295-314.
- Shute, V.J. (2008). Focus on Formative Feedback. *Review of Educational Research*, 78(1), 153-189.
- Tatar, N. Korkmaz, H. & Oren, F.S. (2007). Effective Tools As A Developing Scientific Process Skills In Inquiry-Based Science Laboratories: Vee & I Diagrams. *Elementary Education Online*, 6(1), 76-92.
- Tekes, H. & Gonen, S. (2012). Influence of V-Diagrams on 10th Grade Turkish Student's Achievement in the Subject of Mechanical Waves. *Science Educational International*, 23(3), 268-285.
- Vasenska & Berg. (2008). Student Conception of Fluid Statics. *Department of Chemistry and Physics*, 2(4), 4-7.
- Wagner, C., & Vaterlaus, A. (2012). Promoting formative assessment in high school teaching of Physics. *Lat. Am. J. Phys. Educ.* 1(410), 6.
- Warner, J. (2010). Children's Misconceptions about Science. (online) (diakses Tanggal 12 November 2014 pada http://cstl.semo.edu/waterman/ST601/general_misconceptions_list.htm)
- Young, H.D. & Freedman, R.A. (2007). *University Physics with Modern Physics*. London: Addison Wesley.