

PEMBELAJARAN BERBASIS MASALAH UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN ARGUMENTASI MATEMATIS MAHASISWA

Oleh:

R. Bambang Aryan Soekisno

Pendidikan Matematika, STKIP Siliwangi Bandung
bambang_aryan@yahoo.com

ABSTRAK

Pembelajaran matematika di tingkat perguruan tinggi lebih banyak menggunakan pendekatan berbasis masalah. Mahasiswa diberikan masalah dan diminta memecahkannya. Pada proses pemecahan masalah pada umumnya yang dilakukan adalah *problem* langsung *solving*, melewati argumentasi, padahal argumentasi merupakan hal penting. Pada argumentasi akan terlihat proses berpikir yaitu data apa yang diketahui, dukungan dari definisi atau teorema yang digunakan, sanggahan apa yang dapat dilakukan, sehingga sampai pada klaim. Seseorang dikatakan memahami masalah secara bermakna apabila ia dapat mengemukakan alasan, data, jaminan, idea bahkan klaim dalam masalah secara benar. Karena itu, untuk memeriksa apakah mahasiswa telah memiliki kemampuan mengemukakan masalah matematika secara bermakna, dapat diestimasi melalui kemampuan mahasiswa menyampaikan secara lisan atau menuliskan kembali idea dalam argumentasi matematis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa pendidikan matematika dalam pembelajaran kalkulus 1. Untuk meningkatkan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa, perlu adanya upaya untuk menerapkan suatu pendekatan pembelajaran yang dapat memfasilitasi mahasiswa dalam berargumentasi. Penelitian eksperimen ini, dengan populasi seluruh mahasiswa pendidikan matematika di UHAMKA. Pemilihan sampel dalam penelitian ini dengan menggunakan *purposif random sampling*, dua kelas sebagai kelas eksperimen dan dua kelas sebagai kelas kontrol. Kelas eksperimen diberikan pembelajaran berbasis masalah (PBM), dan kelas kontrol diberikan pembelajaran konvensional (KS). Sampel yang terlibat sebanyak 141 orang mahasiswa. Instrumen yang digunakan adalah soal tes kemampuan argumentasi matematis. Analisis data menggunakan uji-*t*, dan ANOVA satu dan dua jalur. Berdasarkan hasil analisis data, diperoleh kesimpulan bahwa terdapat perbedaan secara signifikan peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa antara kelompok PAM (atas, tengah dan bawah) pada pendekatan PBM. Perbedaan peningkatan terjadi pada kelompok PAM atas dengan tengah. Secara signifikan peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa berdasarkan kelompok PAM pada pendekatan PBM lebih baik dibandingkan dengan peningkatan kemampuan argumentasi matematis yang memperoleh pembelajaran KS. Terdapat perbedaan peningkatan yang signifikan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa pada masing-masing kelompok PAM dengan pendekatan PBM dan KS. Secara bersamaan kedua faktor kelompok PAM dan pendekatan pembelajaran memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa

Kata Kunci : Argumentasi matematis, Pembelajaran berbasis masalah

ABSTRACT

Learning mathematics at the college level more problem-based approach. Students are given a problem and asked to solve it. In the problem-solving process is generally carried out direct problem solving, skip the argument, but the argument is important. On the argument would seem to think that the data is what is known, the support of the definition or theorem is used, a rebuttal of what to do, so until the claim. Someone said to understand the problem substantially if he can give the reasons, the data, assurance, ideas and even claims in issue correctly. Therefore, to check whether the student has the ability significantly raised the issue of mathematics, can be estimated by the ability of the students expressed orally or rewrite the idea in mathematical argument. This study aims to determine the increase in the ability of mathematical argumentation mathematics education students in learning calculus 1. To improve student mathematical argument, should the effort to implement a learning approach that can facilitate students in arguing. This experimental study, the entire student population in UHAMKA mathematics education. The selection of the sample in this study using purposive random sampling, two classes as experimental class and two classes as the control class. Given experimental class problem-based learning (PBM), and the class is given control of conventional learning (KS). Samples were involved as many as 141 students. The instrument used is a matter of testing the ability of mathematical argumentation. Data analysis using t-test and ANOVA one and two lanes. Based on the results of data analysis, it is concluded that there are significant differences in improvement of student mathematical argumentation ability between groups PAM (top, middle and bottom) in the PBM approach. The difference in the increase occurred in the group of PAM on the middle. Significantly increased the ability of the student mathematical arguments based on the PAM group PBM approach is better than the increase in the ability to obtain a mathematical argumentation learning KS. There are significant differences in improvement of mathematical argumentation ability of students in each group PAM PBM approach and KS. Taken together these two factors and the PAM group learning approach has a significant influence on the improvement of the ability of the student mathematical arguments.

Keywords: mathematical argumentation, problem-based learning

I. PENDAHULUAN

Kemampuan mengemukakan suatu alasan disertai dengan data dan dukungan teori yang memadai dari suatu masalah matematis, baik dalam bentuk lisan maupun tulisan merupakan bagian penting dari kemampuan matematis yang perlu dimiliki mahasiswa. Alasan disertai dengan data dan dukungan teori yang benar akan memberikan pemahaman yang benar terhadap konsep-konsep matematis. Alasan dapat memberikan penjelasan mengapa suatu pernyataan dianggap benar atau salah. Alasan dapat pula mengubah penafsiran terhadap konsep. Perubahan itu berlangsung ketika seseorang mengubah pemahaman mereka terhadap sejumlah konsep yang mereka pergunakan serta kerangka kerja konseptual, mengatur atau menyusun kembali kerangka kerja untuk mengakomodasi perspektif-perspektif baru.

Kemampuan mengemukakan masalah matematis, dapat diestimasi melalui kemampuan mahasiswa menyampaikan secara lisan atau menuliskan kembali ide

dalam argumentasi matematis. Ide tentang optimalisasi kemampuan berargumentasi dalam matematika seperti kemampuan mengemukakan alasan, data dan dukungan teori, kemampuan menulis, dan kemampuan berwacana menjadi salah satu alternatif menuju jawaban dari suatu masalah. Oleh sebab itu, bukan tidak mungkin seorang pelaku dan pengguna matematika mencari bentuk, model, bahkan siasat (trik) selama bekerja matematika.

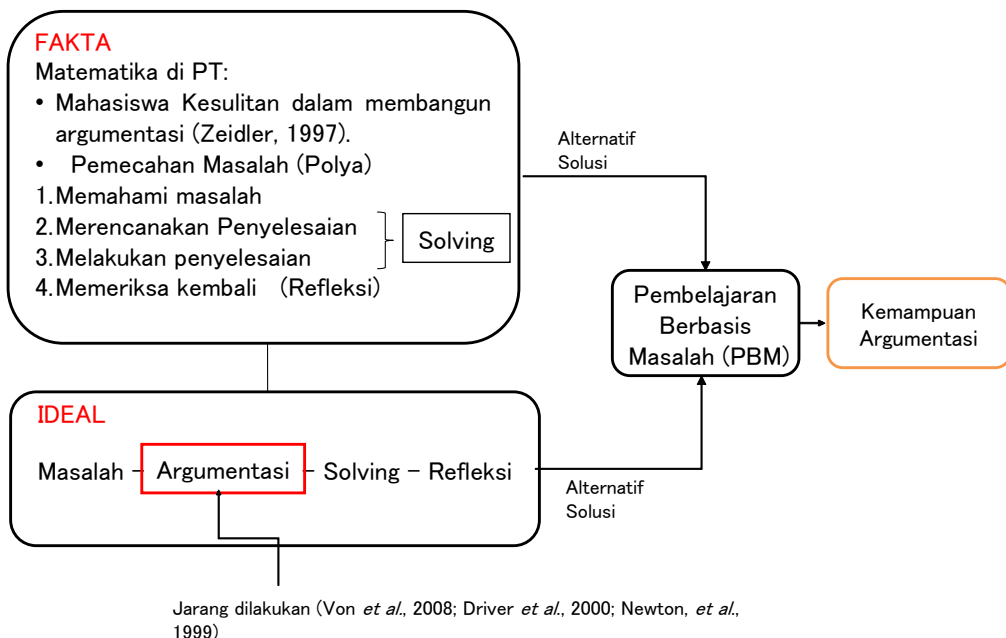
Proses mencari solusi dari suatu masalah tentu bukan merupakan proses berpikir yang sederhana, dalam proses menentukan penyelesaian suatu masalah memerlukan banyak kemampuan berpikir. Kemampuan melakukan pengumpulan informasi dan data, mengemukakan argumen, menentukan teori yang mendukung, menentukan alur pemecahan masalah, merupakan proses berpikir yang memungkinkan mahasiswa dapat memecahkan masalah.

Kemampuan argumentasi merupakan hal yang penting dalam pembelajaran matematika. Oleh karena itu, kemampuan argumentasi matematis perlu dilatihkan pada mahasiswa. Mahasiswa perlu dibekali kemampuan argumentasi agar mampu memecahkan masalah yang dihadapi secara kritis. Argumentasi merupakan inti dari pemikiran ilmiah (Cross, 2007).

Kemampuan argumentasi merupakan fondasi dari berpikir logis dan kritis. Menurut Ennis (1981), berpikir kritis merupakan kemampuan mengemukakan alasan berdasarkan apa yang diyakini. Kemampuan berargumentasi melibatkan kemampuan mengemukakan suatu alasan (kritis) disertai dengan data dan dukungan teori yang memadai dari suatu masalah matematika (logis).

Argumentasi sebagai fondasi berpikir kritis dan logis masih dirasakan sulit oleh mahasiswa (Zeidler, 1997). Von *et al.* (2008), Driver *et al.* (2000), dan Newton, *et al.* (1999) menyatakan kesulitan mahasiswa dalam membangun argumentasi disebabkan para pengajar kurang memiliki kemampuan-kemampuan pedagogis untuk mengembangkan argumentasi di dalam kelas. Potensi kemampuan mengemukakan argumen kritis pada diri mahasiswa tidak berkembang, karena proses pembelajaran di kelas. Pembelajaran di kelas biasanya mahasiswa dihadapkan dengan situasi masalah yang akan dicari penyelesaiannya. Umumnya pembelajaran matematika di tingkat perguruan tinggi menyajikan *problem* langsung *solving* tanpa melalui proses argumentasi.

Sebelum pada tahap penyelesaian tentu diperlukan suatu proses berpikir, data apa yang diketahui, dukungan dari definisi atau teorema yang digunakan, sanggahan apa yang dapat dilakukan, sehingga sampai pada klaim. Selanjutnya, masalah itu baru dapat dicari penyelesaiannya, dengan harapan penyelesaian dilakukan benar-benar terarah.



Gambar 1. Kerangka Pikir Peningkatan Kemampuan Argumentasi Matematis Mahasiswa

Kemampuan argumentasi merupakan kemampuan berpikir secara kritis dan logis mengenai hubungan antara konsep dan situasi. Kegunaan dari kemampuan argumentasi, yaitu untuk menjelaskan hubungan fakta, prosedur, konsep, dan metode penyelesaian yang saling terkait satu sama lain. Salah satu harapan, adalah semakin tinggi kemampuan argumentasi matematis seseorang, semakin baik kemampuan untuk memberikan alasan dari suatu penyelesaian atau jawaban.

Bagaimanapun proses belajar mengajar harus berubah untuk mempersiapkan mahasiswa dalam mengatasi situasi baru. Kemampuan mahasiswa perlu ditingkatkan dalam hal mengajukan pertanyaan, mencari dan menemukan sumber daya yang tepat untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan, dan mengkomunikasikan secara efektif solusi yang mereka peroleh kepada orang lain. Pembelajaran berbasis masalah adalah salah satu pendekatan dalam pendidikan matematika yang membantu siswa membangun berpikir kritis, logis dan keterampilan yang diperlukan untuk sukses berkomunikasi saat ini.

Argumentasi merupakan cara bagaimana secara rasional seseorang mengatasi setiap pertanyaan, isu-isu serta membantah dan mengatasi setiap masalah. Sebuah argumen terdiri dari sebuah klaim (solusi) yang didukung oleh berbagai prinsip (jaminan), bukti dan berbagai bantahan terhadap kontra argumen yang potensial. Mengembangkan argumentasi dalam lingkungan pembelajaran dapat meningkatkan penyelesaian masalah.

Argumentasi matematis cukup esensial dalam mempelajari cara untuk mengatasi sebagian besar jenis masalah, maupun sebagai sebuah metode yang kuat untuk menilai kemampuan dalam menyelesaikan masalah. Baik untuk masalah yang tidak terstruktur maupun untuk masalah yang terstruktur dengan baik (Jonassen, 2010). Sejalan dengan pendapat tersebut Nussbaum dan Sinatra (2003) menyatakan bahwa para mahasiswa memperlihatkan peningkatan pemikiran terhadap masalah, ketika para mahasiswa menjawab masalah dengan baik, ataupun dengan keliru dan kemudian membangun sebuah argumen untuk memberikan jawaban yang tepat secara ilmiah.

Banyak kendala terjadi pada pelaksanaan proses pembelajaran, misalnya beberapa aspek penalaran masih lemah, salah satunya argumentasi. Kelemahan mahasiswa yang paling umum dalam argumentasi ialah kurangnya kontra-argumentasi. Ketika seorang mahasiswa diminta untuk menghasilkan sejumlah argumen untuk mendukung atau menentang sesuatu, biasanya akan lebih banyak alasan yang dinyatakan untuk mendukung posisinya (Stein & Bernas, 1999). Kualifikasi dan sanggahan kurang digunakan dalam analisis argumentasi dalam pendidikan matematika, tetapi terbukti berguna dalam analisis argumentasi yang disampaikan oleh mahasiswa (Inglis, *et al.* 2007).

Upaya yang dilakukan untuk mencari penyebab dan solusi tentang kurangnya kemampuan argumentasi matematis mahasiswa sudah banyak diteliti di beberapa negara maju, dengan menggunakan berbagai teori pendidikan, model belajar dan pendekatan-pendekatan yang membuat wawasan tentang argumentasi semakin luas, seperti Conner (2008) memberikan gambaran adanya hubungan antara argumentasi dengan bukti dalam kelas geometri. Halpern (2003) menjelaskan proses untuk menganalisis uraian argumentasi mahasiswa memerlukan langkah-langkah menganalisis uraian argumentasi, membaca dan mengevaluasi uraian argumentasi yang didasarkan pada kekuatan hubungan antara premis, kesimpulan, asumsi, dan kontra-argumen (*counterarguments*).

Melalui pembelajaran berbasis masalah diharapkan mahasiswa mampu melakukan berpikir kritis, menganalisis masalah kompleks dan masalah dunia nyata, bekerja secara kooperatif dalam kelompok-kelompok kecil, terampil dalam komunikasi yang efektif, akurat secara verbal dan tertulis, sehingga akan tampak kemampuan argumentasi matematisnya. Kemampuan argumentasi matematis akan jauh lebih baik ketika para mahasiswa dilibatkan dalam pembelajaran berbasis masalah, terutama dengan masalah-masalah tidak terstruktur, dan interpretasi-interpretasi serta solusi-solusi alternatif yang membutuhkan argumentasi. Para mahasiswa yang dituntut untuk mengingat informasi punya sedikit alasan untuk ikut terlibat dalam argumentasi. Lingkungan pembelajaran berbasis masalah biasanya menyajikan klaim-klaim atau solusi-solusi alteratif yang harus diatasi oleh para mahasiswa melalui argumentasi.

Dilihat dari sudut pandang pedagogis, tujuan pembelajaran dewasa ini memberi kesempatan yang luas kepada mahasiswa untuk melakukan *doing math*. Pembelajaran saat ini lebih fokus pada pemanfaatan lingkungan belajar, antara lain dengan PBM. Pembelajaran berbasis masalah merupakan suatu pembelajaran di kelas untuk mengorganisasi pembelajaran sekitar aktivitas pemecahan masalah, memberi kesempatan bagi mahasiswa untuk menyampaikan argumen dan ide-ide matematis, serta mengkomunikasikan kepada teman sebaya melalui interaksi berbagai komponen di kelas terhadap aktivitas belajar matematika yang disajikan pengajar. Hal ini sejalan dengan NCTM (2000), yang menyatakan bahwa membangun lingkungan belajar yang menantang dan mendukung merupakan komponen penting dari pembelajaran.

Pembelajaran yang menyediakan banyak kesempatan kegiatan matematis kepada mahasiswa dalam melakukan argumentasi adalah *Problem-Based Learning* atau pembelajaran berbasis masalah (PBM), pembelajaran yang dimulai dengan pengajuan masalah dalam situasi kontekstual, masalah yang sedang hangat dibicarakan dan prosedur penyelesaiannya tidak terdefinisi dengan baik. Masalah yang disajikan pada awal PBM umumnya berbentuk *word-problem*, diberikan arahan untuk membangun dengan memunculkan kontra-argumen. Kontra-argumen didefinisikan sebagai atribut dari argumentasi yang baik (Andriessen *et al.*, 2003; Voss *et al.*, 1991) dan sebuah standar untuk menilai argumen (Kuhn, 1991).

Pembelajaran berbasis masalah banyak menyediakan kesempatan kegiatan matematis kepada mahasiswa dalam melakukan argumentasi. Berdasarkan karakteristik yang dimiliki oleh pembelajaran berbasis masalah, diharapkan dapat menuntun mahasiswa mencapai tujuan pembelajaran, yaitu meningkatkan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa dalam mendiskusikan masalah matematika.

Penelitian yang dilakukan mengambil subyek penelitian mahasiswa Jurusan Pendidikan Matematika, dengan materi Kalkulus I. Materi ini digunakan dengan alasan bahwa materi Kalkulus I banyak menyediakan situasi masalah matematika sehari-hari.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian quasi eksperimen dengan menerapkan pembelajaran berbasis masalah. Terdapat dua kelompok mahasiswa yang akan diteliti kemampuan argumentasi matematis sebagai akibat dari perlakuan pembelajaran yang diterapkan. Kelompok yang satu menggunakan pembelajaran berbasis masalah (PBM), kelompok lainnya menggunakan pembelajaran dengan cara konvensional (KS). Dari masing-masing kelompok mahasiswa dibagi menjadi

kategori level pengetahuan awal matematika mahasiswa ke dalam kelompok atas, tengah, dan bawah.

Terdapat dua tahapan dalam penelitian ini, yaitu tahap pendahuluan berupa identifikasi dan pengembangan komponen-komponen pembelajaran, dan tahap kedua adalah pelaksanaan penelitian, berupa pelaksanaan seluruh rangkaian pembelajaran yang sudah direncanakan.

Populasi dan Sampel

Subyek dalam penelitian ini adalah seluruh mahasiswa pada Jurusan Pendidikan Matematika di UHAMKA. Pemilihan mahasiswa pendidikan matematika sebagai subyek berdasarkan pertimbangan bahwa mata kuliah kalkulus 1 juga diberikan pada seluruh mahasiswa pendidikan matematika tingkat pertama, keragaman kemampuan akademik, tingkat berpikir mahasiswa, dan kemandirian mahasiswa dalam belajar, sehingga diharapkan implementasi pembelajaran berbasis masalah dapat berjalan dengan optimal.

Sampel untuk penelitian yang dilakukan diambil dari mahasiswa Jurusan Pendidikan Matematika UHAMKA, yang mengambil mata kuliah Kalkulus 1. Pemilihan sampel dalam penelitian dengan menggunakan *purposif random sampling*, dikarenakan cara pengambilan sampelnya dilakukan secara random yang didasarkan pada kelompok-kelompok kelas. Mahasiswa pada setiap kelompok kelas mempunyai karakteristik yang sama, yaitu memilih dua kelas sebagai kelas kontrol dan dua kelas sebagai kelas eksperimen dari masing-masing pada Jurusan Pendidikan Matematika UHAMKA. Randomisasi dilaksanakan dengan cara mengundi.

Instrumen dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan beberapa instrumen. Instrumen yang digunakan pada penelitian ini meliputi: (a) tes untuk mengukur pengetahuan awal matematika mahasiswa, (b) tes untuk mengukur kemampuan argumentasi matematis (c) lembar observasi selama pembelajaran dan (d) wawancara, tanggapan mahasiswa terhadap pembelajaran berbasis masalah. Kemampuan argumentasi matematis mahasiswa dijangar melalui tes tertulis dan yang disusun berdasarkan tiga aspek, yaitu berupa mengidentifikasi asumsi, mengidentifikasi data yang relevan dan tidak relevan, menganalisis argumen, menjawab disertai alasan (klarifikasi), memberikan alasan terhadap suatu kesimpulan. Soal kemampuan argumentasi matematis terdiri dari 8 nomor. Instrumen ini diberikan kepada mahasiswa sebelum dan setelah pelaksanaan pembelajaran.

Analisis data

Analisis data yang dilakukan adalah analisis kuantitatif dan kualitatif. Analisis kuantitatif terdiri dari analisis statistik deskriptif dan inferensial. Langkah pertama

adalah analisis statistik deskriptif, seperti perhitungan rata-rata, simpangan baku dan grafik serta diagram, digunakan untuk melihat gambaran secara umum. Untuk mengetahui adanya peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa pada kedua kelompok dilakukan analisis terhadap hasil sebelum dan setelah pembelajaran. Analisis data dilakukan dengan menggunakan rumus gain ternormalisasi rata-rata (*average normalized gain*) menurut Hake (2007).

Langkah kedua adalah analisis statistik inferensia yang diperlukan sebagai dasar dalam pengujian hipotesis, dimulai dengan uji normalitas dan homogenitas varians pada bagian-bagian ataupun secara keseluruhan. Langkah berikutnya, untuk mengetahui adanya perbedaan dari masing-masing kelompok, terdapat interaksi antara variabel bebas dengan variabel kontrol terhadap variabel terikat sesuai dengan hipotesis, digunakan ANOVA satu jalur dengan bantuan perangkat lunak SPSS-19.00, dengan tingkat kepercayaan 95%.

III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

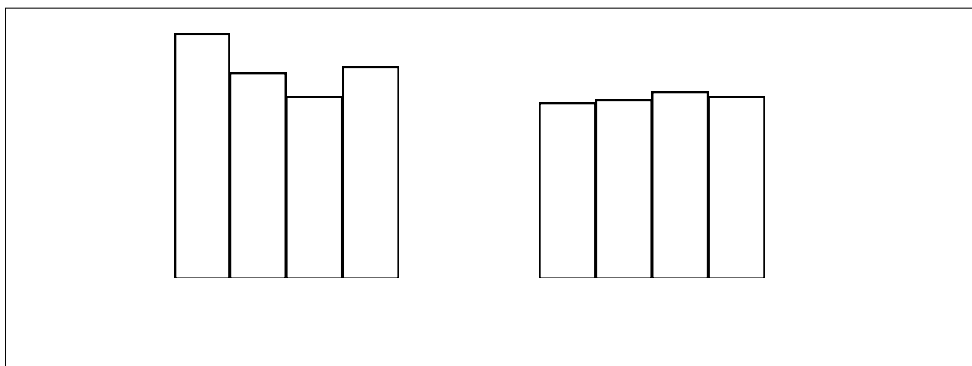
Pada bagian ini disajikan data hasil penelitian. Analisis dilakukan terhadap data, apakah ada interaksi antara pembelajaran yang digunakan dengan tingkat pengetahuan awal matematika (PAM) mahasiswa, dan kemampuan argumentasi matematis.

Tabel 1
Sebaran Sampel Penelitian

| Kelompok PAM | Eksperimen (PBM) | Kontrol (KS) | Total |
|---------------------|-------------------------|---------------------|--------------|
| Atas | 18 | 10 | 28 |
| Tengah | 40 | 32 | 72 |
| Bawah | 11 | 30 | 41 |
| Total | 69 | 72 | 141 |

Data kuantitatif diperoleh melalui tes pengetahuan awal matematika, dan kemampuan argumentasi matematis terhadap 141 orang mahasiswa, yang terdiri dari 69 orang mahasiswa pada kelompok yang memperoleh pembelajaran berbasis masalah dan 72 orang mahasiswa pada kelompok yang memperoleh pembelajaran konvensional.

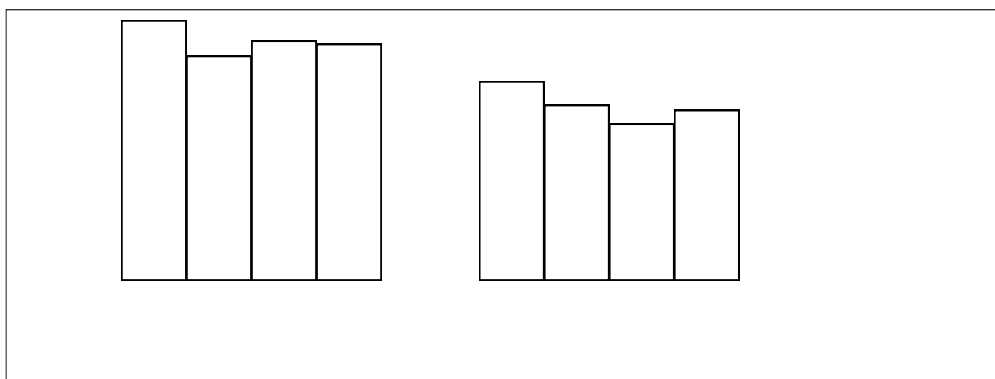
Skor kemampuan argumentasi matematis mahasiswa sebelum dan setelah pembelajaran dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3. Data skor kemampuan argumentasi matematis mahasiswa berdasarkan kelompok PAM sebelum pembelajaran, disajikan pada Gambar 2.



Keterangan : Skor maksimum ideal adalah 70

Gambar 2. Rata-rata Kemampuan Awal Argumentasi Matematis Mahasiswa berdasarkan Kelompok PAM sebelum Perlakuan

Data skor kemampuan argumentasi matematis mahasiswa berdasarkan kelompok PAM, setelah pembelajaran disajikan pada Gambar 3.



Keterangan : Skor maksimum ideal adalah 70

Gambar 3. Rata-rata Kemampuan Akhir Argumentasi Matematis Mahasiswa berdasarkan Pendekatan Pembelajaran dan Kelompok PAM

Berikut disajikan deskripsi peningkatan skor kemampuan argumentasi matematis mahasiswa sebelum dan setelah pembelajaran dilakukan.

Tabel 2.
Deskripsi n-Gain Kemampuan Argumentasi Matematis
berdasarkan Pembelajaran dan Kelompok PAM

| PAM | Pembelajaran | | | | | | | | | |
|--------|--------------|-----------|--------------|-------|----|----------|-----------|--------------|-------|----|
| | PBM | | | | | KS | | | | |
| | Skor Min | Skor Maks | Rata-rata | SB | n | Skor Min | Skor Maks | Rata-rata | SB | n |
| Atas | 0,456 | 0,763 | 0,618 | 0,091 | 18 | 0,379 | 0,574 | 0,455 | 0,066 | 10 |
| Tengah | 0,317 | 0,737 | 0,521 | 0,102 | 40 | 0,121 | 0,571 | 0,377 | 0,114 | 32 |
| Bawah | 0,452 | 0,770 | 0,575 | 0,105 | 11 | 0,119 | 0,525 | 0,320 | 0,110 | 30 |
| Total | 0,317 | 0,770 | 0,555 | 0,107 | 69 | 0,119 | 0,574 | 0,364 | 0,115 | 72 |

Pada Tabel 2. terlihat peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa yang memperoleh PBM lebih baik dari mahasiswa yang memperoleh pembelajaran KS. Pada tabel tersebut, perolehan skor rata-rata n-gain kemampuan argumentasi matematis kelompok yang memperoleh PBM sebesar 0,555. Hal ini berarti bahwa perolehan skor rata-rata n-gain kemampuan argumentasi matematis kelompok yang memperoleh PBM, lebih dari skor rata-rata n-gain kemampuan argumentasi matematis kelompok yang memperoleh pembelajaran KS, yaitu sebesar 0.36. Selain itu rata-rata peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa yang memperoleh PBM berdasarkan kelompok PAM atas, tengah, dan bawah masing-masing lebih tinggi dari mahasiswa yang memperoleh pembelajaran KS.

Deskripsi secara umum tentang peningkatan kemampuan argumentasi matematis menunjukkan adanya perbedaan antara kemampuan argumentasi matematis mahasiswa yang memperoleh PBM dan yang memperoleh pembelajaran KS. Apakah perbedaan itu signifikan atau tidak akan dilakukan uji statistik dengan menguji perbedaan dua rata-rata.

Perhitungan uji perbedaan dua rata-rata peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa antara yang memperoleh PBM, dan pembelajaran KS, dilakukan dengan menggunakan uji-*t*. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3.
Uji Perbedaan Dua Rata-rata n-Gain
Kemampuan Argumentasi Matematis Mahasiswa
yang Memperoleh PBM, dan Pembelajaran KS

| Kemampuan Argumentasi | Uji- <i>t</i> Kesamaan Dua Rata-rata | | | H ₀ |
|-----------------------|--------------------------------------|-----|-------|----------------|
| | <i>t</i> | df | Sig. | Tolak |
| | 10.174 | 139 | 0.000 | |

Untuk menguji hipotesis semua persyaratan telah dipenuhi. Hipotesis yang diuji adalah H_0 : Tidak terdapat perbedaan rata-rata peningkatan skor kemampuan argumentasi matematis mahasiswa antara yang memperoleh PBM, dan pembelajaran KS. H_a : rata-rata peningkatan skor kemampuan argumentasi matematis mahasiswa yang memperoleh PBM lebih baik daripada yang memperoleh pembelajaran KS. Kriteria pengujian, jika nilai probabilitas (Sig.) lebih dari 0.05, maka hipotesis nol diterima.

Pada Tabel 3. terlihat bahwa hipotesis nol ditolak. Dengan demikian dapat ditarik kesimpulan bahwa, peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa yang memperoleh PBM secara signifikan lebih baik daripada peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa yang memperoleh pembelajaran KS.

Tabel 4
ANOVA Perbedaan Rata-rata
Peningkatan Kemampuan Argumentasi Matematis
berdasarkan Kelompok PAM dan Pendekatan PBM

| Sumber adanya Perbedaan | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. | H_0 |
|-------------------------|----------------|----|-------------|-------|-------|-------|
| Between Groups | 0.124 | 2 | 0.062 | 6.222 | 0.003 | |
| Within Groups | 0.656 | 66 | 0.010 | | | Tolak |
| Total | 0.779 | 68 | | | | |

Data n-gain skor kemampuan argumentasi matematis mahasiswa secara keseluruhan maupun berdasarkan kelompok PAM yang menggunakan pendekatan PBM adalah berdistribusi normal dan variansinya homogen. Untuk mengetahui apakah ada perbedaan rata-rata peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa berdasarkan kelompok PAM dan pendekatan PBM, digunakan uji ANOVA satu jalur. Rangkuman hasil uji ANOVA satu jalur disajikan pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4. terlihat bahwa nilai probabilitas (Sig.) sebesar 0,003. Hal ini dapat dikatakan bahwa, rata-rata peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa antara kelompok PAM (atas, tengah, dan bawah) yang memperoleh PBM secara signifikan berbeda. Berikutnya dilakukan uji beda lanjut, untuk mengetahui peningkatan mana yang berbeda secara signifikan dalam kemampuan argumentasi matematis. Uji lanjut yang digunakan adalah uji Scheffe, rangkuman hasil perhitungan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5
Uji Scheffe Rata-rata
Peningkatan Kemampuan Argumentasi Matematis
berdasarkan Kelompok PAM dalam Pendekatan PBM

| (I) KelPAM | (J) KelPAM | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | | H ₀ |
|---------------|---------------|-----------------------------|---------------|-------|----------------------------|----------------|----------------|
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound | |
| Atas | Tengah | 0.098* | 0.028 | 0.004 | 0.027 | 0.169 | Tolak |
| | Bawah | 0.043 | 0.038 | 0.526 | -0.052 | 0.139 | Terima |
| Tengah | Atas | -0.098* | 0.028 | 0.004 | -0.169 | -0.027 | Tolak |
| | Bawah | -0.054 | 0.034 | 0.286 | -0.139 | 0.031 | Terima |
| Bawah | Atas | -0.043 | 0.038 | 0.526 | -0.139 | 0.052 | Terima |
| | Tengah | 0.054 | 0.034 | 0.286 | -0.031 | 0.139 | Terima |

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Hipotesis yang diuji adalah:

H₀: Tidak terdapat perbedaan peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa antara kelompok PAM yang memperoleh pendekatan PBM.

H_a: Terdapat perbedaan peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa antara kelompok PAM yang memperoleh pendekatan PBM.

Kriteria pengujian, jika nilai probabilitas (Sig.) lebih dari $\alpha = 0.05$, maka hipotesis nol diterima.

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 5. tampak bahwa nilai probabilitas (Sig.) untuk masing-masing pasangan kelompok PAM atas dengan tengah, atas dengan bawah, dan tengah dengan bawah. Nilai probabilitas (Sig.) untuk peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa pada kelompok PAM atas dengan tengah kurang dari 0,05. Hal ini berarti bahwa, hipotesis nol ditolak. Dengan demikian, terdapat perbedaan yang signifikan peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa antara kelompok PAM atas dengan PAM tengah. Berbeda dengan nilai probabilitas (Sig.) untuk pasangan kelompok PAM atas dengan bawah, dan tengah dengan bawah, peningkatan kemampuan argumentasi matematis pada kelompok PAM lebih dari 0,05. Hal ini berarti bahwa, hipotesis nol diterima. Dengan demikian dapat disimpulkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa antara kelompok PAM atas dengan bawah dan tengah dengan bawah.

Diketahui bahwa seluruh data kemampuan argumentasi matematis mahasiswa berdasarkan kelompok PAM dan pendekatan pembelajaran berdistribusi normal, dan variansinya homogen. Untuk mengetahui ada interaksi antara pembelajaran yang digunakan dengan kelompok PAM dalam kemampuan argumentasi matematis mahasiswa digunakan uji ANOVA dua jalur.

Berikut adalah rangkuman hasil perhitungan uji ANOVA yang disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6
ANOVA Dua Jalur antara Kelompok PAM dan Pendekatan Pembelajaran terhadap Peningkatan Kemampuan Argumentasi Matematis Mahasiswa

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. | H ₀ |
|-------------------------|-------------------------|-----|-------------|----------|------|----------------|
| Corrected Model | 1.545 ^a | 5 | .309 | 28.777 | .000 | |
| Intercept | 24.501 | 1 | 24.501 | 2281.022 | .000 | |
| PAM | .159 | 2 | .080 | 7.402 | .001 | Tolak |
| Pend Pembelajaran | .939 | 1 | .939 | 87.426 | .000 | Tolak |
| PAM * Pend Pembelajaran | .069 | 2 | .034 | 3.190 | .044 | Tolak |
| Error | 1.450 | 135 | .011 | | | |
| Total | 32.583 | 141 | | | | |
| Corrected Total | 2.996 | 140 | | | | |

a. R Squared = .516 (Adjusted R Squared = .498)

Dari hasil perhitungan dengan uji ANOVA pada Tabel 6., diperoleh nilai F untuk kelompok PAM sebesar 7.402 dan nilai probabilitas (Sig.) sebesar 0,001. Hal ini berarti hipotesis nol ditolak. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa faktor kelompok PAM memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa. Demikian juga faktor pendekatan pembelajaran memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa. Hal ini ditunjukkan dengan nilai F untuk pendekatan pembelajaran sebesar 87.426 dan nilai probabilitas (Sig.) sebesar 0.000. Nilai signifikansi ini kurang dari 0,05, sehingga hipotesis nol ditolak.

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 6. dapat dilihat bahwa nilai F untuk interaksi antara kelompok PAM dan pendekatan pembelajaran adalah 3,190 dan nilai probabilitas (Sig.) sebesar 0,044. Nilai ini kurang dari signifikansi 0,05, sehingga hipotesis nol ditolak. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa faktor kelompok PAM dan pendekatan pembelajaran secara bersamaan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa.

Untuk mengetahui kelompok PAM mana yang berinteraksi dengan pendekatan pembelajaran dalam peningkatan kemampuan argumentasi matematis, dilanjutkan dengan uji Scheffe. Rangkuman hasil perhitungan uji Scheffe disajikan pada Tabel 7. Pada Tabel 7. dapat dilihat bahwa peningkatan kemampuan argumentasi

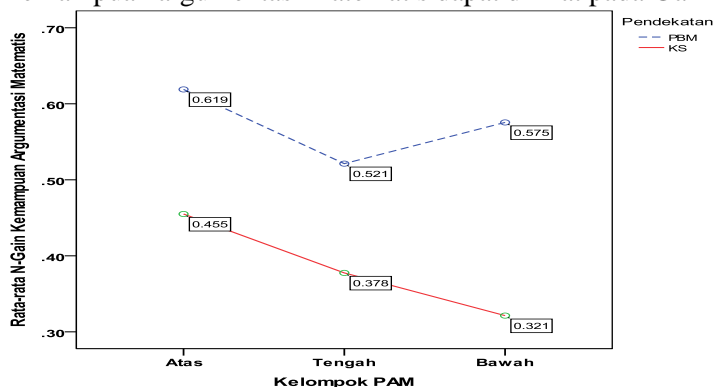
matematis mahasiswa kelompok PAM atas lebih baik daripada kelompok PAM tengah dan bawah. Demikian juga untuk peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa kelompok PAM tengah, lebih baik daripada kelompok PAM bawah. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan pembelajaran PBM memberikan peran dalam meningkatkan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa. Selain itu, selisih peningkatan kemampuan argumentasi matematis antara pendekatan PBM dan KS pada kelompok PAM atas berbeda secara signifikan dibandingkan dengan kelompok PAM tengah. Hal ini ditunjukkan dengan nilai probabilitas (Sig.= 0,000) kurang dari 0,05. Dengan demikian terdapat interaksi antara faktor pembelajaran (PBM dan KS) dengan faktor kelompok PAM (atas dan tengah) dalam peningkatan kemampuan argumentasi matematis.

Tabel 7
Perbandingan Selisih Peningkatan Kemampuan Argumentasi Matematis
antara Pendekatan Pembelajaran pada Kelompok PAM

| (I) KelPAM | (J) KelPAM | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | | H ₀ |
|---------------|---------------|-----------------------------|---------------|-------|----------------------------|----------------|----------------|
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound | |
| Atas | Tengah | 0.103 [*] | 0.023 | 0.000 | 0.046 | 0.160 | Tolak |
| | Bawah | 0.171 [*] | 0.025 | 0.000 | 0.108 | 0.234 | Tolak |
| Tengah | Atas | -0.103 [*] | 0.023 | 0.000 | -0.160 | -0.046 | Tolak |
| | Bawah | 0.068 [*] | 0.020 | 0.005 | 0.018 | 0.118 | Tolak |
| Bawah | Atas | -0.171 [*] | 0.025 | 0.000 | -0.234 | -0.108 | Tolak |
| | Tengah | -0.068 [*] | 0.020 | 0.005 | -0.118 | -0.018 | Tolak |

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Selanjutnya dilakukan analisis data dengan bantuan grafik, untuk melihat interaksi antara pembelajaran yang digunakan dengan kelompok PAM terhadap peningkatan kemampuan argumentasi matematis. Dengan bantuan grafik, interaksi antara kelompok PAM dengan pendekatan pembelajaran yang digunakan terhadap peningkatan kemampuan argumentasi matematis dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 4. Interaksi Pendekatan Pembelajaran dan Kelompok PAM dalam Peningkatan Kemampuan Argumentasi Matematis

Berdasarkan Gambar 3. terdapat interaksi antara faktor pembelajaran (PBM dan KS) dengan kelompok PAM (tengah dan bawah) dalam peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa. Hal ini terjadi karena selisih antara PBM dan KS pada mahasiswa kelompok PAM tengah berbeda dengan selisih pembelajaran yang sama pada mahasiswa kelompok PAM bawah. Terdapat interaksi antara faktor pembelajaran (PBM dan KS) dengan faktor kelompok PAM (atas dan tengah) dalam peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa. Hal ini terjadi karena selisih peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa antara pembelajaran PBM dan KS pada mahasiswa kelompok PAM atas berbeda dengan mahasiswa kelompok PAM tengah. Dengan demikian terdapat interaksi antara faktor pembelajaran (PBM dan KS) dengan kelompok PAM (atas, tengah dan bawah) dalam peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan secara signifikan peningkatan kemampuan argumentasi matematis antara mahasiswa yang memperoleh pembelajaran berbasis masalah dan pembelajaran konvensional. Dapat dilihat pada Tabel 2. Rata-rata peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa yang memperoleh pembelajaran berbasis masalah adalah sebesar 0,555 (peningkatan ini termasuk kategori sedang) dan mahasiswa yang memperoleh pembelajaran konvensional sebesar 0,364 (peningkatan ini termasuk kategori sedang). Hasil ini diperkuat dengan pengujian secara statistik, bahwa peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa yang memperoleh pembelajaran berbasis masalah (PBM) lebih baik dibandingkan dengan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa yang memperoleh pembelajaran konvensional (KS).

Peningkatan kemampuan argumentasi terjadi karena pembelajaran berbasis masalah sebagai sarana melatih keterampilan berargumentasi. Keterampilan berargumentasi ditentukan oleh kuantitas latihan. Jadi semakin banyak latihan, semakin terampil berargumentasi. Osborne (2005) menyatakan berargumentasi merupakan proses panjang yang memerlukan pengalaman dan praktek berulang-ulang. Selain itu, peningkatan kemampuan argumentasi terjadi karena pembelajaran berbasis masalah memberikan kesempatan kepada mahasiswa dalam hal pemahaman yang kuat dari pengetahuan dasar, faktual dan aplikasi, menunjukkan keterampilan komunikasi yang efektif dan akurat baik secara lisan maupun tulisan, bekerja secara kooperatif dalam kelompok-kelompok kecil (Duch *et al.* 2001).

Rata-rata peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa yang memperoleh PBM untuk kelompok PAM atas sebesar 0,618, tengah sebesar 0,521, dan bawah sebesar 0,575, masing-masing peningkatan ini termasuk kategori sedang. Peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa yang memperoleh PBM pada kelompok PAM atas lebih baik dibandingkan dengan kelompok PAM tengah dan bawah, namun peningkatan kemampuan argumentasi matematis

mahasiswa kelompok PAM tengah tidak lebih baik dari kelompok PAM bawah. Rata-rata peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa kelompok PAM tengah mempunyai nilai terendah, apabila dibandingkan dengan kelompok PAM atas dan bawah.

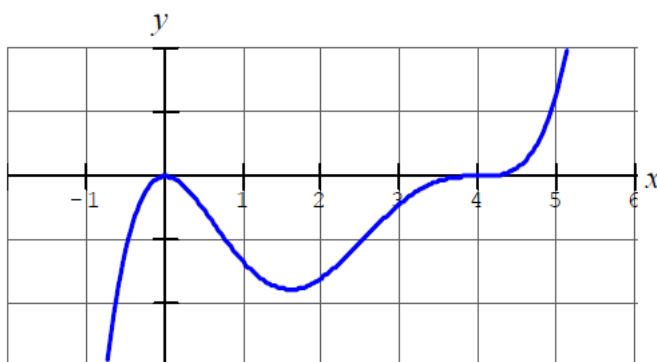
Rata-rata peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa pada pembelajaran konvensional untuk kelompok PAM atas sebesar 0,455, tengah sebesar 0,377, dan bawah sebesar 0,320, masing-masing peningkatan ini termasuk kategori sedang. Peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa pada pembelajaran konvensional untuk kelompok PAM atas lebih baik dibandingkan dengan kelompok PAM tengah dan bawah.

Peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa antara kelompok (atas, tengah, dan bawah) yang memperoleh PBM secara signifikan berbeda. Perbedaan secara signifikan terjadi pada kelompok PAM atas dengan tengah. Temuan lain, yaitu peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa kelompok PAM tengah pada PBM lebih tinggi dari kelompok PAM atas pada KS. Hal ini didasarkan pada analisis data bahwa peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa kelompok PAM tengah pada PBM sebesar 0,521 dan kelompok PAM atas pada KS sebesar 0,455. Peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa kelompok PAM tengah pada PBM dan atas pada KS termasuk pada kategori sedang.

Berdasarkan level argumentasi model Toulmin jawaban mahasiswa terhadap soal nomor 7a sudah berada pada level 5.

Soal nomor 7a.

Diberikan grafik fungsi $f(x)$ berikut:



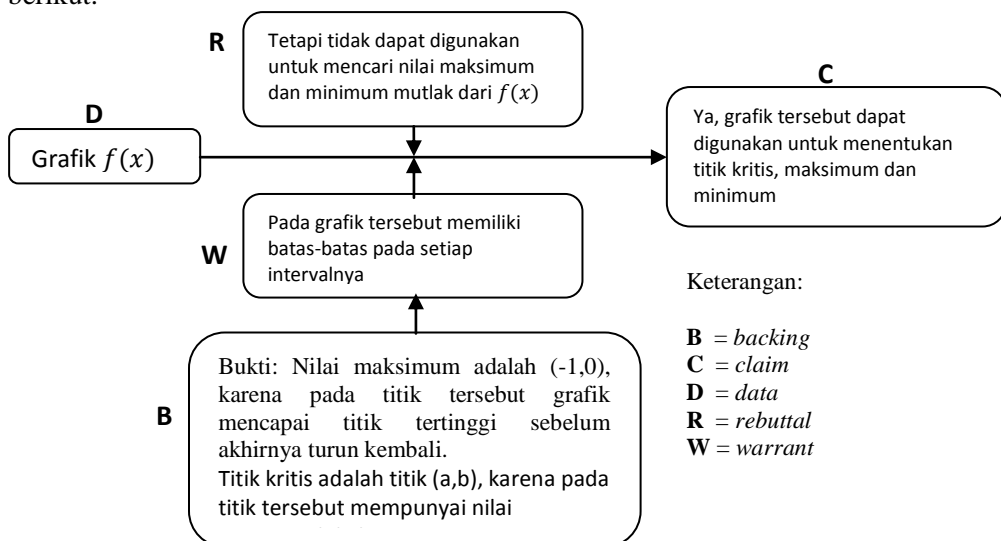
- a) Misalkan grafik yang ditampilkan adalah grafik dari $f(x)$. Apakah grafik tersebut dapat digunakan untuk menentukan titik kritis, maksimum dan minimum lokal, maksimum dan minimum mutlak dari $f(x)$? Berikan alasan.

Mahasiswa mampu memahami konsep minimum dan maksimum dari suatu kurva. Jawaban mahasiswa sudah menunjukkan alur berpikir yang benar dan telah memuat

data, klaim (*claim*), penjamin (*warrant*), pendukung (*backing*), dan sanggahan (*rebuttal*). Tampak data, daya dukung teori dan penjamin yang dikemukakan sudah mengarah pada klaim.

- Data : grafik dalam soal
 Klaim : iya, grafik tersebut dapat digunakan untuk menentukan titik kritis, maksimum dan minimum.
 Sanggahan : tetapi tidak dapat digunakan untuk mencari nilai maksimum dan minimum mutlak dari $f(x)$.
 Penjamin : pada grafik tersebut memiliki batas-batas pada setiap intervalnya.
 Pendukung : bukti: Nilai maksimum adalah $(-1,0)$, karena pada titik tersebut grafik mencapai titik tertinggi sebelum akhirnya turun kembali. Titik kritis adalah titik (a,b) , karena pada titik tersebut mempunyai nilai minimum lokal.

Visualisasi yang dapat diberikan untuk jawaban mahasiswa tersebut adalah sebagai berikut:



Berdasarkan hasil analisis data diperoleh bahwa terdapat interaksi antara faktor kelompok PAM (atas, tengah, dan bawah) dan faktor pembelajaran dalam peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa. Faktor kelompok PAM dan faktor pembelajaran secara bersama-sama memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peluang menerapkan pembelajaran berbasis masalah sangat memungkinkan sebagai alternatif pembelajaran dalam meningkatkan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa pada semua level kelompok PAM.

Peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa antara kelompok (atas, tengah, dan bawah) yang memperoleh PBM secara signifikan berbeda. Perbedaan secara signifikan terjadi pada kelompok PAM atas dengan tengah, sedangkan pada kelompok PAM atas dan bawah secara signifikan tidak berbeda. Hal ini memperlihatkan kepada kita bahwa pembelajaran berbasis masalah akan cocok diberikan pada kelompok PAM atas dalam meningkatkan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa. Dengan karakteristik pembelajaran berbasis masalah, mahasiswa kelompok PAM atas dapat mengoptimalkan keterampilan komunikasi yang efektif dan akurat, baik secara verbal dan tertulis. Mahasiswa yang memiliki pengetahuan awal matematika tinggi (kelompok atas), mempunyai pengalaman dalam menyelesaikan masalah matematis dan pengetahuan prasyarat yang lebih dari kelompok lainnya, sehingga mampu menyajikan suatu klaim melalui analisis berpikir berdasarkan dukungan dengan bukti-bukti dan alasan yang logis.

IV. KESIMPULAN

Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa, peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa yang memperoleh PBM lebih baik dari mahasiswa yang memperoleh pembelajaran KS. Rata-rata peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa antara kelompok PAM (atas, tengah, dan bawah) yang memperoleh PBM secara signifikan berbeda. Lebih dalam, dilakukan uji scheffe, ternyata terdapat perbedaan yang signifikan peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa antara kelompok PAM atas dengan PAM tengah. Faktor kelompok PAM memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa. Demikian juga faktor pendekatan pembelajaran memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa. Terdapat interaksi antara faktor pembelajaran dan kelompok PAM. Apabila dilihat dari peningkatan skor kemampuan argumentasi matematis mahasiswa, pembelajaran berbasis masalah lebih cocok pada mahasiswa kelompok PAM atas dan bawah dalam hal meningkatkan kemampuan argumentasi matematis mahasiswa.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriessen, J., Baker, M., & Suthers, D. (2003). Argumentation, computer support, and the educational context of confronting cognitions. In J. Andriessen, M. Baker & D. Suthers (Eds.), *Arguing to learn: Confronting cognitions in computer-supported collaborative learning environments* (pp. 1-25). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

- Conner, A. (2008). Expanded Toulmin diagrams: A tool for investigating complex activity in classrooms. In O. Figueras, J. L. Cortina, S. Alatorre, T. Rojano, & A. Sepulveda (Eds.), *Proceedings of the Joint Meeting of the International Group for the Psychology of Mathematics Education 32 and the North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education XXX*. Vol. 2. (pp. 361-368). Morelia, Mexico: Cinvestav-UMSNH.
- Cross, D., (2007) *Creating Optimal Mathematics Learning Environments: Combining Argumentation and Writing to Enhance Achievement*. Disertasi University of Georgia: Tidak diterbitkan.
- Driver, R., Newton, P., and Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287–312.
- Duch, B.J., Groh, S.E., dan Allen, D.E. (2001). Why Problem-Based Learning: A Case Study of Institutional Change in Undergraduate Education. Dalam B.J. Duch, S.E. Groh, dan D.E. Allen (Eds): *The Power of Problem-Based Learning*. Virginia, Amerika: Stylus Publishing.
- Ennis, R.H. (1981). *Critical Thinking*. United States of America: Prentice-Hall, Inc.
- Hake, R.R. (2007). *Design-Based Research in Physics Education Research: A Review*, in A.E. Kelly, R.A. Lesh, & J.Y. Baek, eds. (in press), *Handbook of Design Research Methods in Mathematics, Science, and Technology Education*.
- Halpern, D. F. (2003). *Thought and Knowledge: An Introduction to Critical Thinking* (4th ed.). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Inch, E.S., Warnick, B., & Endres, D. (2006). *Critical Thinking and Communication: The Use of Reason in Argument*. Boston: Pearson Education Inc.
- Inglis, M., Mejia-Ramos, J.P., & Simpson, A. (2007). Modelling Mathematical Argumentation: The Importance of Qualification. *Educational Studies in Mathematics*.
- Jonassen, D.H. (2010). *Learning to Solve Problem: An instructional guide design*. San Fransisco: Pfeiffer
- Kuhn, D. (1991). *The skills of argument*. Cambridge University Press.
- National Council of Teachers of Mathematics (2000). *Principles and Standards for School Mathematics*. [Online]. Tersedia: <http://www.nctm.org/standards/overview.htm> [25 Januari 2011]
- Newton, P., Driver, R., & Osborne, J. (1999). The Place of Argumentation in The Pedagogy of School Science. *International Journal of Science Education*, 21(5), 553–576.
- Nussbaum, E. M., & Sinatra, G. M. (2003). Argument and Conceptual Engagement. *Contemporary Educational Psychology*, 28, 384-395.
- Osborne, J. (2005). The Role of argument in Science Education. K. Boesma, M. Goedhart, O. De Jong, & H. Eijkelhof [Eds]. *Research and Quality of Science Education*. Dordrecht, Nederlands: Springer.

- Stein, N., & Bernas, R. (1999). The Early Emergence of Argumentative Knowledge and Skill. In J. Andriessen & P. Coirier (Eds), *Foundations of Argumentative Text Processing* (pp. 97-116). Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Toulmin, S.E. (2003). *The Uses of Argument*. New York: Cambridge University Press
- Von Aufschnaiter, C., Erduran, S., Osborne, J. & Simon, S. (2008). Arguing to Learn and Learning to Argue: Case Studies of How Students' Argumentation Relates to Their Scientific Knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(1), 101-131.
- Voss, J.F., Perkins, D.N., & Segal, J.W. (1991). *Informal Reasoning and Education*. Hillsdale , NJ: Erlbaum.
- Zeidler, D. L. (1997). *The Central Role of Fallacious Thinking in Science Education*. *Science Education*, 81, 483–496