

# **3DSHAPE-AR: PROFIL PENALARAN SPASIAL MATEMATIS MAHASISWA DI POLITEKNIK MELALUI PEMBELAJARAN GEOMETRI BERBASIS *AUGMENTED REALITY* [3DSHAPE-AR: PROFILE OF STUDENTS' MATHEMATICAL SPATIAL REASONING AT POLYTECHNICS THROUGH GEOMETRY LEARNING BASED ON *AUGMENTED REALITY*]**

Indah Riezky Pratiwi<sup>1</sup>, Riki Afriansyah<sup>2</sup>, Shidiq Andriyanto<sup>3</sup>, Agnes Erianti<sup>4</sup>, Rima Julianti<sup>5</sup>  
<sup>1,2,3,4,5</sup>Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Bangka, KEPULAUAN BANGKA BELITUNG

Correspondence Email: [indah\\_riezky@yahoo.com](mailto:indah_riezky@yahoo.com)

## **ABSTRACT**

Students' low mathematical reasoning skills affect their academic achievement in various fields. The field of Engineering is a domain that requires good mastery of geometric concepts, especially at the Polytechnic. However, in reality, students' mastery of Geometry concepts is still very low. This is because students' mathematical spatial reasoning skills are less honed. One of the contributing factors is that the learning resources used are still focused on books which do not support students to be more able to manipulate spatial representations in memory and mentally, so the 3DShape-AR application was developed. This research was conducted to see the mathematical spatial reasoning profile of students at the Polytechnic before and after studying using the 3DShape-AR application. This research was carried out qualitatively using a descriptive method by selecting 2 student answers using purposive sampling which then examined and described the profile of students' mathematical reasoning skills before and after learning using the 3DShape-AR application. From the analysis stage, it was concluded that the use of the 3DShape-AR application in geometry learning was able to provide changes in the quality of students' mental rotation, spatial orientation and spatial visualization components. These three components are components that describe the quality of a person's mathematical reasoning skills. The advantage of using the 3DShape-AR application is that students can explore various spatial shapes by rotating single or combined spatial shapes in various degrees to see the real visualization of the spatial shapes. Interesting content like this allows students to imagine space from various perspectives and then this understanding can be used to solve problems. It is also able to help students store visual patterns in their memory, carry out mental transformations, and manipulate internal representations.

**Keywords:** *Augmented Reality*, geometry, mathematical spatial reasoning skills

## **ABSTRAK**

Rendahnya keterampilan penalaran matematis mahasiswa mempengaruhi prestasi akademik mereka di berbagai bidang. Bidang Teknik merupakan salah satu ranah yang memerlukan penguasaan konsep geometri yang baik terutama di Politeknik. Namun kenyataannya penguasaan konsep Geometri mahasiswa masih sangat rendah. Hal ini disebabkan karena keterampilan penalaran spasial matematis

mahasiswa yang kurang terasah. Salah satu faktor penyebabnya adalah karena sumber belajar yang digunakan masih terpusat pada buku yang kurang mendukung mahasiswa untuk dapat lebih mampu memanipulasi representasi bangun ruang di dalam memori dan mental sehingga dikembangkanlah aplikasi 3DShape-AR. Penelitian ini dilakukan untuk melihat bagaimana profil penalaran spasial matematis mahasiswa di Politeknik sebelum dan setelah belajar menggunakan aplikasi 3DShape-AR. Penelitian ini dilaksanakan secara kualitatif dengan metode deskriptif dengan memilih 2 jawaban mahasiswa secara *purposive sampling* yang kemudian menelaah dan mendeskripsikan profil keterampilan penalaran matematis mahasiswa sebelum dan sesudah belajar menggunakan aplikasi 3DShape-AR. Dari tahap analisis diperoleh Kesimpulan bahwa penggunaan aplikasi 3DShape-AR dalam pembelajaran geometri mampu memberikan perubahan kualitas komponen rotasi mental, orientasi spasial dan visualisasi spasial mahasiswa. Ketiga komponen ini merupakan komponen yang menggambarkan bagaimana kualitas keterampilan penalaran matematis seseorang. Keunggulan dari penggunaan aplikasi 3DShape-AR adalah mahasiswa bisa mengeksplorasi berbagai bentuk bangun ruang dengan merotasi bangun ruang tunggal maupun kombinasi ke berbagai arah derajat untuk melihat bentuk visualisasi real dari bangun ruang tersebut. Konten menarik seperti ini membuat mahasiswa dapat membayangkan bangun ruang di berbagai perspektif untuk selanjutnya, pemahaman ini dapat digunakan untuk memecahkan masalah. Hal ini juga mampu membantu mahasiswa dalam menyimpan pola visual dalam memori mereka, melakukan transformasi mental, dan memanipulasi representasi internal.

**Kata Kunci:** *Augmented Reality*, geometri, kemampuan spasial matematis

## PENDAHULUAN

Geometri merupakan salah satu bahan kajian matematis yang dipelajari di Politeknik. Geometri merupakan salah satu cabang Matematika yang terfokus pada pembahasan tentang bangun dan ruang (Hidayat & Fiantika, 2017), posisi dan Lokasi (Xie, Zhang, CHen, & Ziqiang, 2019). Dalam pembelajaran Geometri, terdapat sebuah keterampilan yang diperlukan untuk mendukung pemahaman konsep Geometri (Anggraini, Setyaningrum, Retnawati, & Marsigit, 2020) yaitu keterampilan penalaran spasial Matematis. Keterampilan penalaran spasial matematis ini berkaitan erat dengan pemahaman mengenai konsep ruang (geometri) dan merupakan suatu keterampilan yang diperlukan mahasiswa untuk dapat menginterpretasi dan mendeskripsikan lingkungan fisik. Keterampilan ini sangat diperlukan sebagai pendukung dalam memecahkan masalah (Anggraini, Setyaningrum, Retnawati, & Marsigit, 2020).

Geometri dikembangkan dari tingkat dasar hingga ke perguruan tinggi. Geometri menjadi salah satu kajian dalam Matematika yang selalu diperkuat dan dihubungkan dengan subjek lainnya. Di Politeknik terutama di jurusan Teknik Mesin, yang mana output proyek pembelajaran yang dihasilkan berupa teknologi tepat guna sangat memerlukan pemahaman geometri dalam penguasaannya.

Berdasarkan evaluasi yang sudah dilakukan terhadap 30 mahasiswa Teknik mesin yang sedang menjalani tugas akhir, diperoleh beberapa informasi yaitu : (1) mahasiswa kurang memiliki penalaran yang baik dalam merepresentasikan bangun dan ruang dari berbagai perspektif; (2) mahasiswa kurang mampu merencanakan bangun ruang apa yang cocok dikombinasikan sebagai komponen pembentuk teknologi tepat guna yang dikerjakan; (3) mahasiswa kurang memiliki penalaran yang cukup untuk mengkonstruksikan dimensi yang sesuai untuk memecahkan masalah tertentu; (4) mahasiswa kurang mampu memanipulasi gambar sesuai dengan konteks yang diinginkan; dan (5) mahasiswa kurang mampu menggambarkan bentangan (jaring-jaring) dari komponen teknologi tepat guna yang dikerjakan dari berbagai sisi yang diinginkan.

Permasalahan yang ditemui pada tahap evaluasi ini berkaitan dengan kemampuan yang melibatkan proses dimana informasi tentang obyek dalam ruang dan antar hubungan yang dikumpulkan melalui tahapan pengukuran, pengamatan, hingga kesimpulan yang pada akhirnya digunakan untuk memperoleh kesimpulan yang valid mengenai bidang dan ruang untuk menyelesaikan masalah tertentu. Kemampuan ini didefinisikan sebagai kemampuan penalaran spasial Matematis (Fiantika, Rita, Kusmaharti, & Rusminati, 2022). (Newcombe, 2010) menegaskan bahwa melalui kegiatan yang difokuskan pada melatih keterampilan spasial matematis dapat menyelesaikan mahasiswa dalam masalah yang berkaitan dengan dunia teknik (*Engineering*).

(Ramful, Thomas, & Tracy, 2016) menjelaskan kemampuan penalaran spasial Matematis sebagai kemampuan untuk dapat menghasilkan dan memanipulasi gambar – gambar dengan melibatkan beberapa elemen seperti memegang pola visual dalam memori, membandingkan pola visual, melakukan transformasi mental, dan memanipulasi representasi internal (mental). Kemampuan Penalaran Spasial Matematis sangat penting dimiliki oleh peserta didik karena berhubungan dengan geometri dan dapat digunakan untuk mengkonstruksi pemahaman geometri untuk membantu proses pemecahan masalah (Pangestu & Setyaningrum, 2020). Kegagalan peserta didik dalam menggunakan kemampuan penalaran spasial matematis dapat mempengaruhi keberhasilan dan prestasinya dalam belajar geometri bahkan pada subjek lainnya (Lowrie, Logan, & Megarty).

Penggalan informasi lebih lanjut dilakukan untuk menganalisis penyebab mahasiswa mengalami kesulitan dalam menggunakan penalaran spasial matematis. Hasil wawancara mendalam terhadap 30 mahasiswa tersebut diperoleh informasi bahwa kegagalan mereka dalam meingimplementasikan konsep geometri ke dalam pengembangan teknologi tepat guna yang mereka rancang dalam proyek akhir adalah karena (1) kurang mendukung buku referensi yang digunakan dalam pembelajaran karena hanya terfokus pada materi dan Latihan soal; (2) pembelajaran yang dilakukan melalui sumber belajar buku kurang mampu memberikan pemahaman kepada mahasiswa mengenai berbagai perspektif bangun ruang; (3) media belajar yang tersedia sejauh ini kurang mampu memfasilitasi mahasiswa untuk dapat mengasah keterampilan penalaran spasial matematis yang mereka miliki.

Bergerak dari permasalahan yang ada, diperlukan adanya suatu media pembelajaran visual yang mampu mendukung mahasiswa untuk dapat lebih mampu memanipulasi representasi bangun ruang di dalam memori dan mental sehingga dapat digunakan untuk mengkonstruksi pemahaman geometri dalam proses pemecahan masalah. Beberapa penelitian mengembangkan media pembelajaran yang memanfaatkan *smartphone* dengan melibatkan teknologi *Augmented Reality* dalam upaya menggabungkan obyek maya dua dimensi dan tiga dimensi ke dalam lingkungan nyata. Teknologi *Augmented Reality* mampu menampilkan informasi yang tidak dapat diterima langsung oleh manusia (Pangestu & Setyaningrum, 2020); (Yanuarto, Nugroho, & Iqbal, 2022); (Yunianto & Cahyono, 2021); (Anggraini, Setyaningrum, Retnawati, & Marsigit, 2020) (Gunawan & Ulia, 2022). Beberapa pengembangan media pembelajaran yang melibatkan teknologi *Augmented Reality* ini Sebagian besar baru difokuskan pada bangun ruang Tunggal dan belum melibatkan bangun ruang kombinasi. Selain itu, media pembelajaran dengan teknologi *Augmented Reality* yang sudah dikembangkan belum ada yang menampilkan bentuk visual dari tampilan benda – benda teknologi tepat guna yang sangat dibutuhkan mahasiswa Teknik mesin untuk mengembangkan penalaran spasial Matematis yang mereka miliki.

Pengembangan media pembelajaran 3DShape-AR ini dikembangkan untuk membantu mahasiswa Teknik mesin untuk memahami konsep geometri yang diperlukan mereka dalam penyelesaian proyek akhir. 3DShape-AR dikembangkan dengan menampilkan bentuk visual dari bangun ruang tunggal dan kombinasi dari berbagai perspektif agar mahasiswa dapat mengeksplorasi secara mandiri setiap bentuk bangun ruang dari berbagai sudut pandang. 3DShape-AR juga dikembangkan dengan tambahan fitur game untuk kegiatan evaluasi. Selain itu, 3DShape-AR juga menampilkan beberapa produk teknologi tepat guna untuk membantu mahasiswa secara langsung menghubungkan konsep dasar bangun ruang dengan pemecahan masalah pada konteks teknologi tepat guna.

## TINJAUAN LITERATUR

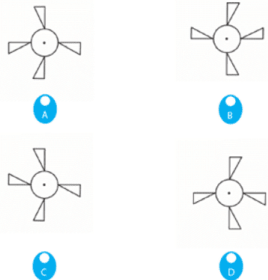
### Kemampuan Penalaran Spasial Matematis

Kemampuan penalaran spasial matematis merupakan salah satu keterampilan yang bisa dikembangkan melalui pembelajaran Geometri. Berbagai sub topik dalam pembelajaran geometri membutuhkan penguasaan perspektif spasial. Pengembangan kemampuan penalaran Spasial Matematis sangat diperlukan dalam mengkonstruksi pemahaman geometri, memecahkan masalah, memprediksi kemampuan dan prestasi dalam Matematika, kesuksesan berkaitan dengan sains, teknologi, arsitektur, dan kartografi, hingga memprediksi karir (Pangestu & Setyaningrum, 2020). (Ramful, Thomas, & Tracy, 2016) mendefinisikan penalaran spasial sebagai kemampuan untuk dapat menghasilkan dan memanipulasi gambar – gambar dengan melibatkan beberapa elemen yaitu memegang pola visual dalam memori, membandingkan pola visual, melakukan transformasi mental, dan manipulasi representasi internal/ mental. Kemampuan penalaran spasial matematis dan pembelajaran geometri menjadi dua hal yang saling berkaitan dimana pembelajaran geometri diyakini dapat meningkatkan keterampilan spasial, dan keterampilan penalaran spasial dapat ditingkatkan melalui pembelajaran geometri (Hannes & Schmalstieg, 2003).

(NCR, 2010) menjelaskan spasial thinking memuat proses merepresentasikan , mentransformasikan, menggeneralisasikan, dan memanggil simbol (informasi non linguistik). (Bintoro, Suryo, Sukestiyarno, Mulyono, & Walid, 2021) (Logothetis, Katsaris, Sfyrakis, & Vidakis, 2023) menambahkan bahwa berpikir spasial merupakan berpikir menemukan makna dalam bentuk, ukuran, orientasi, Lokasi, arah atau lintasan, benda, proses atau fenomena. (Lowrie, Logan, Harris, & Hegarty, 2018) menekankan bahwa penalaran spasial matematis seseorang melibatkan pemahaman tiga hal sifa- sifat terkait: (1) kesadaran akan ruang itu sendiri, seperti jarak dan dimensi; (2) representasi informasi spasial (baik dalam pemikiran maupun secara eksternal dalam bentuk grafik seperti diagram dan peta; dan (3) alasan yang terlibat dalam menafsirkan informasi spasial ini dalam pengambilan Keputusan.

(Ramful, Thomas, & Tracy, 2016) merincikan kerangka penalaran spasial menjadi tiga komponen yaitu : (1) rotasi mental, proses kognitif di mana seseorang membayangkan bagaimana obyek 2D dan 3D muncul setelah dirotasikan; (2) orientasi spasial, kemampuan untuk membayangkan bagaimana sebuah objek atau *scene* tampak dari perspektif berbeda dengan observer (perspektif dari berbagai sudut pandang); (3) visualisasi spasial, kemampuan untuk menghasilkan dan memanipulasi gambar yang melibatkan proses memahami transformasi bentuk spasial secara mental. Secara lebih rinci, indikator yang dapat digunakan untuk mengukur penalaran spasial dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1.** Indikator Penalaran Spasial

| Jenis Penalaran Spasial          | Aspek Keruangan pada Kurikulum Matematika                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Karakteristik Item                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rotasi mental                    | Merotasikan objek 2D dan 3D, searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Menentukan hasil dari rotasi objek 2D dan 3D</li> <li>- Membedakan refleksi dan rotasi</li> </ul>                                                                                                                                                                                                             |
| Contoh Problem Rotasi mental     | <p>The diagram below shows the blades of a fan. It is rotated about its centre by a quarter turn clockwise.</p>  <p>Which one of the following shows the result of the rotation?</p>  <p>(Lowrie, Logan, Harris, &amp; Hegarty, 2018)</p>                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Orientasi spasial                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengorientasikan diri sendiri dalam ruang</li> <li>- Membaca peta</li> <li>- Hubungan antar arah mata angin</li> <li>- Sudut pandang dari depan, atas, atau samping</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Menentukan posisi sebuah objek yang tergantung pada sudut pandang observer</li> <li>- Membaca peta dari perspektif yang berbeda – beda</li> <li>- Mengidentifikasi arah mata angin ketika utara tidak pada arah tegak lurus</li> <li>- Mengidentifikasi sudut pandang orthogonal dari sebuah objek</li> </ul> |
| Contoh Problem Orientasi spasial | <p>Josh leaves his house at location 1D. He drives north and takes the first road to his left, then the second road to his right.</p>  <p>Which road is Josh now on?</p> <p> <input type="radio"/> A University Av.      <input type="radio"/> B Geranium Av.<br/> <input type="radio"/> C Gerbera Av.      <input type="radio"/> D Dafodil Av.         </p> <p>(Lowrie, Logan, Harris, &amp; Hegarty, 2018)</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Visualisasi spasial              | Simetri, pola, bentuk 2D dan 3D dan hibungannya, <i>part-whole</i> relationships, dan refleksi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Memvisualisasi hasil dari melipat/ membuka konfigurasi tertentu</li> <li>- Mengkonstruksi bangun ruang dari jaring – jaring yang diberikan dan sebaliknya</li> <li>- Mencocokkan potongan – potongan dan bagian – bagian</li> <li>- Menentukan simetri sebuah objek</li> </ul>                                |

- Merefleksikan sebuah objek

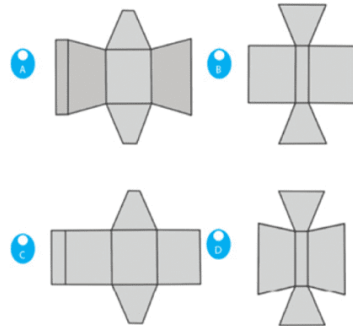
Contoh Problem

Visualisasi  
spasial

The diagram below shows a fully enclosed chocolate box.



If the box is opened flat, which one of the following represents its net?



(Lowrie, Logan, Harris, & Hegarty, 2018)

Dimodifikasi dari (Ramful, Thomas, & Tracy, 2016)

### Media Pembelajaran berbantuan Teknologi Augmented Reality terhadap Kemampuan Penalaran Spasial Matematis

Penggunaan teknologi dalam dunia Pendidikan menjadi salah satu alternatif terbaik untuk meningkatkan efektivitas penerapan pembelajaran. (Rossano, Lanzilotti, Cancolla, & Roselli, 2020) menjelaskan bahwa teknologi dan pembelajaran selalu terintegrasi untuk mewujudkan proses pembelajaran menjadi lebih menarik, memotivasi, dan atraktif. Salah satu aplikasi Pendidikan digital yang menarik untuk diterapkan adalah teknologi *augmented reality*. *Augmented reality* merupakan salah satu pendekatan teknologi yang menerapkan teori konstruktivisme. *Augmented reality* dapat digunakan sebagai media untuk menciptakan pengalaman interaksi yang tercipta dari berbagai informasi yang maya dan nyata dengan tujuan untuk memperkaya aktivitas sensorik dan menstimulus faktor emosional pengguna. *Augmented reality* merupakan lingkungan di mana kehidupan nyata dilibatkan menggunakan elemen kehidupan virtual secara *realtime*. Melalui *Augmented reality*, informasi yang diterima melalui panca Indera manusia lalu ditambahkan dengan elemen virtual yang dilibatkan dan dibangun ke dalam *Augmented reality* karena mungkin hal itu tidak dapat dijelaskan secara alami (Karakus, Ersozlu, & Clark, 2019) menjelaskan bahwa teknologi *augmented reality* dikembangkan untuk pembelajaran geometri.

(Guntur, Setyaningrum, Retnawati, & Marsigit, 2020) menjelaskan bahwa *augmented reality* merupakan suatu teknologi yang mampu menampilkan unsur – unsur suatu bidang atau membangun suatu bangun ruang secara vertical maupun horizontal. Teknologi ini dapat menunjukkan perubahan bentuk atau posisi suatu benda, suatu bangun ruang berdasarkan arah putarannya. Keunggulan – keunggulan yang mampu ditampilkan oleh teknologi *augmented reality* ini berkaitan dengan keterampilan penalaran spasial yang dikembangkan melalui pembelajaran geometri. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan teknologi *augmented reality* dapat meningkatkan keterampilan penalaran spasial seseorang. (Quintero, Salinas, González-Mendivil, & Ramírez, 2015) menegaskan bahwa keterampilan penalaran spasial bukanlah merupakan sesuatu yang bersifat statis dan dinamis yang dapat dipupuk melalui interaksi nyata dan objek virtual. Keterampilan penalaran spasial Matematis dapat diperkaya dengan mengembangkan teknologi *augmented reality*.

## **PENDEKATAN PEMECAHAN MASALAH**

Penelitian ini dilakukan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung dengan melibatkan 30 mahasiswa Tingkat 2 Diploma III di Jurusan Teknik Mesin. Penelitian dilaksanakan secara kualitatif dengan metode deskriptif. Penelitian terjadi pada objek sealamiah mungkin sehingga kondisi objek tidak dimanipulasi dan objek dapat berkembang secara natural. Sebanyak 30 mahasiswa dalam 1 kelas menjadi subjek dalam penelitian. Sebanyak 2 jawaban dari mahasiswa terpilih menjadi objek yang dibahas lebih lanjut. Peserta yang dipilih sebagai subjek dengan pertimbangan memberikan respon yang bersesuaian dengan variabel yang ingin diamati. Oleh karena itu metode pemilihan subjek penelitian dengan menggunakan purposive sampling. Penelitian dilakukan dengan menelaah dan mendeskripsikan profil keterampilan penalaran spasial matematis mahasiswa sebelum dan sesudah belajar menggunakan 3DShape-AR, sebuah media pembelajaran dengan teknologi *augmented reality* untuk pembelajaran geometri.

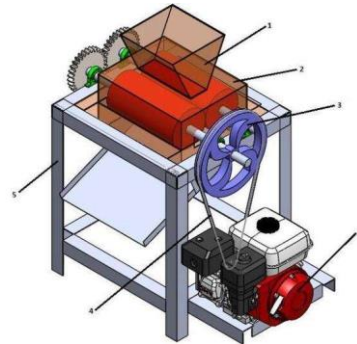
Instrumen yang digunakan untuk mengumpulkan informasi mengenai profil keterampilan penalaran spasial matematis mahasiswa adalah instrument tes dengan bentuk essay yang terdiri atas 2 permasalahan utama. Melalui permasalahan ini, mahasiswa diminta untuk mengemukakan ide yang mampu memunculkan indikator profil keterampilan penalaran spasial matematis. Mahasiswa secara bebas berkreasi mengembangkan strategi mereka.

Setelah 30 mahasiswa menyelesaikan permasalahan, peneliti mengamati setiap jawaban dari seluruh mahasiswa, selanjutnya peneliti melakukan proses analisis dan mereduksi respon mahasiswa menjadi 2 jawaban terpilih untuk dideskripsikan lebih lanjut. Pemilihan dua subjek penelitian ini dilakukan menggunakan purposive sampling dengan alasan bahwa dua mahasiswa ini memberikan jawaban yang paling menggambarkan apa yang ingin dideskripsikan dalam penelitian ini. Teknik analisis data yang digunakan adalah mereduksi data dengan memilih, memfokuskan, dan menyusun data untuk mendapatkan kesimpulan akhir yang menggambarkan permasalahan yang diteliti, kemudian menyajikan dan menafsirkan data sesuai dengan indikator penalaran adaptif kemudian mengambil kesimpulan secara umum (Sari, Pratiwi, Novitasari, & Muharramin, 2023). Jawaban kedua mahasiswa selanjutnya dideskripsikan secara mendalam pada bagian pembahasan dan analisis.

## **PEMBAHASAN**

Penelitian ini membahas bagaimana profil keterampilan penalaran Matematis mahasiswa jurusan Teknik mesin sebelum dan sesudah belajar dengan menggunakan 3DShape-AR, sebuah media pembelajaran dengan teknologi *augmented reality* untuk pembelajaran geometri. Permasalahan pertama yang digunakan untuk menggali penalaran spasial matematis mahasiswa dapat dilihat pada gambar 1.

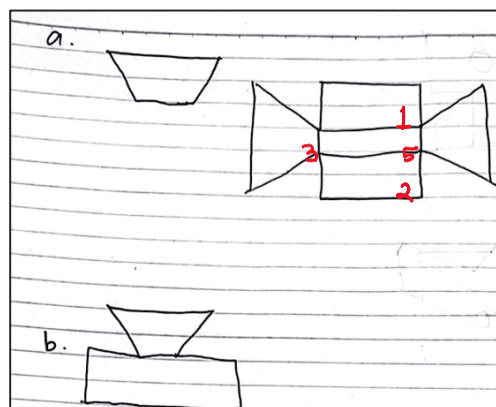
- a. Gambar di samping merupakan gambar mesin penggiling kotoran kambing. Nomor 1 merupakan *hooper* (inputan mesin), gambarkan bentangan dari *hopper* tersebut!
- b. Berdasarkan gambar di samping, buatlah bentangan dari bangun ruang kombinasi 1 dan 2 jika antara bangun 1 dan bangun 2 terdapat bolongan untuk jalan kotoran kambingnya!



**Gambar 1.** Permasalahan Pertama

Pada permasalahan ini, pada bagian (a) mahasiswa diminta untuk merepresentasikan bentangan/ jaring – jaring dari inputan mesin penggiling kotoran kambing yang ada pada gambar 1. Jaring – jaring suatu bangun ruang merupakan pola yang terbentuk dari gabungan beberapa bangun datar yang menyusun suatu bangun ruang. Pada bagian (b) mahasiswa diminta juga untuk membuat bentangan dari bangun ruang kombinasi 1 dan 2, jika antara bangun ruang 1 dan 2 terdapat celah tanpa tutup yang menjadi jalan dari kotoran kambingnya. Permasalahan ini berkaitan dengan kerangka berpikir penalaran spasial matematis pada konstruk visualisasi spasial. Permasalahan ini berkaitan dengan kemampuan mahasiswa dalam mengkonstruksi bangun ruang dari jaring – jaring yang diberikan dan sebaliknya. Karakteristik item ini merupakan ciri khas dari konstruk visualisasi spasial.

Gambar 2 merupakan contoh proses konstruksi jaring – jaring yang dilakukan oleh Mahasiswa 1 ( $M_1$ ) sebelum mendapat pembelajaran menggunakan 3DShape-AR.

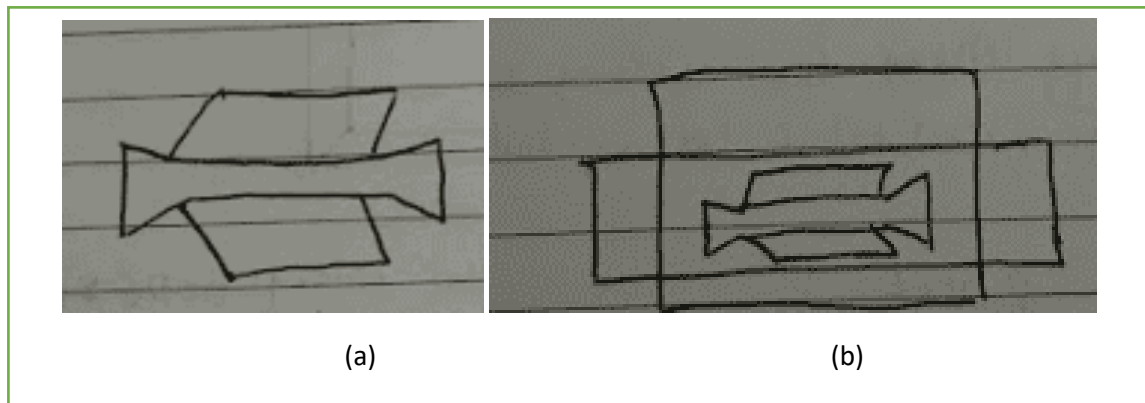


**Gambar 2.** Proses Konstruksi Jaring – Jaring oleh  $M_1$  Sebelum Mendapat Pembelajaran Menggunakan 3DShape-AR.

Pada gambar 2 bagian (a) tampak sebenarnya  $M_1$  secara umum sudah mampu membuat pola 2 D untuk menyusun bangun ruang yang direpresentasikan oleh *hopper*. Namun, pola yang dibuat belum simetri antara pola yang saling berhadapan. Penggambaran yang dilakukan oleh  $M_1$  belum memperhatikan dimensi – dimensi yang sesuai. Dengan demikian, jika bentangan yang dikonstruksi oleh  $M_1$  dibentuk kembali menjadi bangun ruang, hasilnya tidak akan sempurna. Pada gambar 2,

tampak bahwa  $M_1$  belum mampu membuat pola jaring – jaring (2D) dari konfigurasi yang sudah ditentukan. Kemampuan mengkonstruksi bangun ruang menjadi jaring – jaring merupakan komponen penalaran spasial dengan kontruk visualisasi spasial. Pada bagian (b) bahkan  $M_1$  sama sekali tidak mampu mengkonstruksi bentuk jaring – jaring dari kombinasi 2 buah bangun ruang yang diberikan.

Gambar 3 merupakan hasil konstruksi pada permasalahan yang sama (gambar 1) pada  $M_2$ . Pada bagian (a),  $M_2$  kurang mampu mengkonstruksi bangun ruang menjadi pola yang sesuai. Jika konstruksi yang dibuat oleh  $M_2$  dibentuk kembali, maka tidak akan menjadi bangun ruang awal. Hal yang sama juga terjadi pada jawaban  $M_2$  untuk bagian (b).



**Gambar 3.** Proses Konstruksi Jaring – Jaring oleh  $M_2$  Imam Sebelum Mendapat Pembelajaran menggunakan 3DShape-AR.

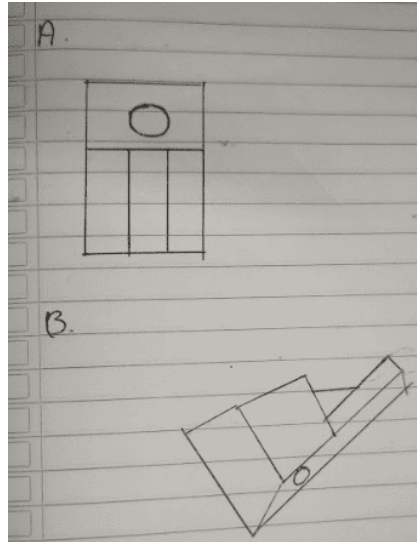
Permasalahan kedua yang harus dipecahkan oleh mahasiswa dapat dilihat pada Gambar 4.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <p>Gambar di bawah ini merupakan <i>part</i> dari suatu benda kerja. Coba kalian gambarkan bagaimana penampakan <i>part</i> ini jika dilihat dari :</p> <ol style="list-style-type: none"><li>Atas</li><li>Jika <i>part</i> ditegakkan dengan bagian A sebagai alasnya lalu diputar <math>90^\circ</math> ke arah kanan. Gambarkan tampilannya</li></ol> |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

**Gambar 4.** Permasalahan Kedua

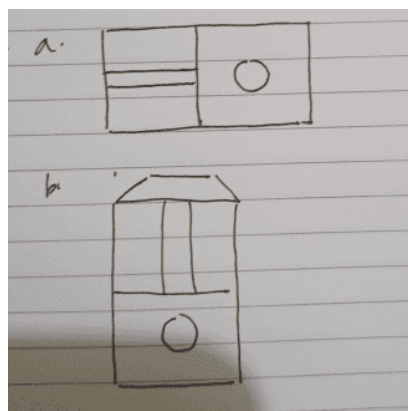
Pada permasalahan 2 (Gambar 4), mahasiswa diminta untuk mengkonstruksi sebuah gambar yang disajikan dengan perspektif dari sisi atas (a), dan mahasiswa diminta untuk merotasikan gambar yang disajikan dengan besaran sudut sejauh  $90^\circ$  ke arah kanan lalu memvisualisasikannya dalam bentuk gambar. Permasalahan ini berkaitan dengan kerangka berpikir penalaran spasial matematis pada kontruk visualisasi spasial. Permasalahan ini berkaitan dengan kemampuan mahasiswa dalam menentukan posisi sebuah objek tergantung pada sudut pandang observer untuk permasalahan 2 bagian (a). Karakteristik item ini merupakan ciri khas dari konstruk orientasi spasial. dan kemampuan untuk menentukan hasil dari rotasi objek 3D untuk permasalahan 2 bagian (b). Karakteristik item ini merupakan ciri khas dari konstruk rotasi mental.

Gambar 5 merupakan contoh proses konstruksi bentuk visualisasi dari objek dari sisi atas yang dilakukan oleh Mahasiswa 1 ( $M_1$ ) sebelum mendapat pembelajaran menggunakan 3DShape-AR.



**Gambar 5.** Proses Konstruksi Visualisasi Bangun Tampak Atas oleh  $M_1$  Sebelum Mendapat Pembelajaran menggunakan 3DShape-AR.

Berdasarkan gambar 5,  $M_1$  melakukan proses visualisasi bangun ruang dari sudut pandang observer sisi atas (a). Penggambaran yang diberikan sudah mewakili tampilan benda dari sisi atas dengan sangat baik. Selanjutnya untuk bagian (b). Bentuk visualisasi dari objek setelah dirotasikan sejauh  $90^\circ$  ke sebelah kanan belum menampilkan bentuk yang sesuai.  $M_1$  belum mampu memvisualisasikan objek setelah mengalami proses rotasi sejauh  $90^\circ$  ke kanan. Selanjutnya, respon dari  $M_2$  dapat dilihat pada gambar 6.  $M_2$  memberikan respon yang sama dengan  $M_1$  untuk bagian (a). Berdasarkan gambar 6,  $M_2$  melakukan penggambaran yang diberikan sudah mewakili tampilan benda dari sisi atas dalam bentuk 2D. Untuk bagian (b)  $M_2$  juga belum secara sempurna memvisualisasikan tampilan objek setelah dirotasikan sejauh  $90^\circ$  ke arah kanan,  $M_2$  juga tampak kurang mampu mengkonstruksi bangun ruang menjadi pola yang sesuai.



**Gambar 6.** Proses Konstruksi Visualisasi Bangun Tampak Atas oleh  $M_2$  Sebelum Mendapat Pembelajaran menggunakan 3DShape-AR.

Selanjutnya mahasiswa diberikan pembelajaran dengan menggunakan bantuan media pembelajaran yang berbantuan *augmented reality* 3DShape-AR. Proses pembelajaran menggunakan

3DShape-AR ini berlangsung sebanyak 4 kali pertemuan. Gambar 6 merupakan kondisi pembelajaran menggunakan 3DShape-AR.



**Gambar 6.** Rekapitulasi Dokumentasi Kegiatan Implementasi Pembelajaran menggunakan Aplikasi 3DShape-AR

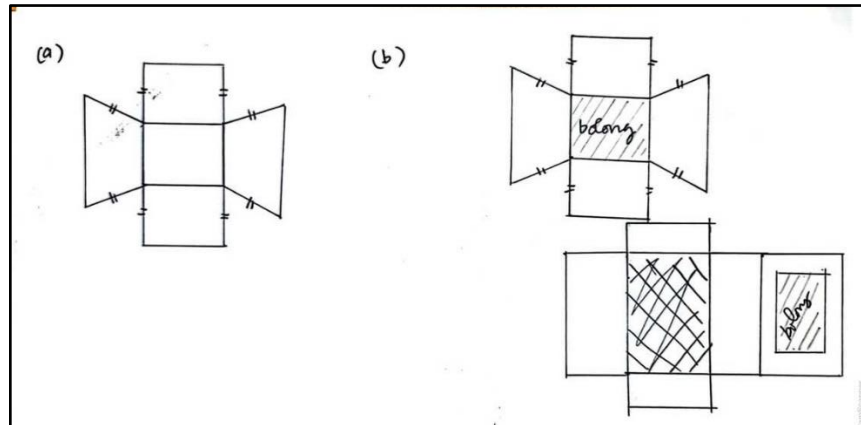
Pada kegiatan implementasi pembelajaran menggunakan aplikasi 3DShape-AR, mahasiswa memulai kegiatan melalui sesi pengenalan aplikasi 3DShape-AR di kelas. Pengajar menjelaskan tujuan penggunaan aplikasi, fitur – fitur yang ada pada aplikasi, cara mengoperasikan aplikasi, hingga pada tujuan pembelajaran yang diharapkan muncul setelah kegiatan pembelajaran mata kuliah Matematika materi bangun ruang setelah menggunakan aplikasi 3DShape-AR. Sesi pengenalan ini dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh mahasiswa memahami cara kerja aplikasi sebelum menggunakannya dalam kegiatan pembelajaran. Setelah dipastikan bahwa mahasiswa sudah siap menggunakan aplikasi 3DShape-AR dalam pembelajaran, dilanjutkan dengan pemberian konsep bangun ruang menggunakan aplikasi 3DShape-AR. Selama proses pembelajaran, mahasiswa menggunakan aplikasi secara mandiri maupun berkelompok. Mahasiswa mengamati materi yang dipaparkan dalam aplikasi 3DShape-AR. Materi yang dipaparkan melalui aplikasi 3DShape-AR ditampilkan dalam bentuk narasi dan animasi interaktif 3D. Gambar 7 menampilkan contoh paparan materi pada aplikasi 3DShape-AR.



**Gambar 7.** Contoh Paparan Materi pada Aplikasi 3DShape-AR

Melalui penggunaan Aplikasi 3DShape-AR, mahasiswa mempelajari konsep bangun ruang baik bangun ruang tunggal maupun bangun ruang kombinasi hingga menguji pemahaman mereka melalui kuis interaktif pada bagian game. Melalui penggunaan Aplikasi 3DShape-AR dalam pembelajaran bangun ruang ini mahasiswa telah berpartisipasi aktif dalam mengeksplorasi semua fitur yang ada untuk memahami konsep bangun ruang. Aplikasi 3DShape-AR ini digunakan sebagai alat bantu untuk memvisualisasikan konsep bangun ruang dengan penjelasan yang lebih menarik dan interaktif.

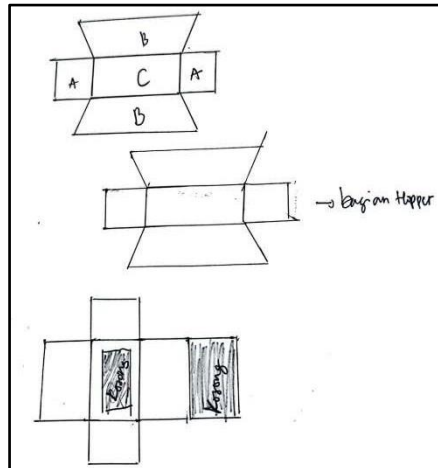
Aplikasi 3DShape-AR ini memungkinkan mahasiswa untuk dapat melihat tampilan visual 3D bangun ruang dari berbagai sisi yang diinginkan. Setelah menerapkan pembelajaran Geometri dengan menggunakan aplikasi 3DShape-AR, mahasiswa diberikan kembali permasalahan yang sama (*posttest*). Dari respon yang diperoleh pada tahap *posttest*, terjadi peningkatan kualitas keterampilan penalaran spasial Matematis yang diberikan. Perubahan respon yang diberikan  $M_1$  dapat dilihat pada gambar 7.



**Gambar 8.** Proses Konstruksi Jaring – Jaring oleh  $M_1$  Setelah Mendapat Pembelajaran menggunakan 3DShape-AR.

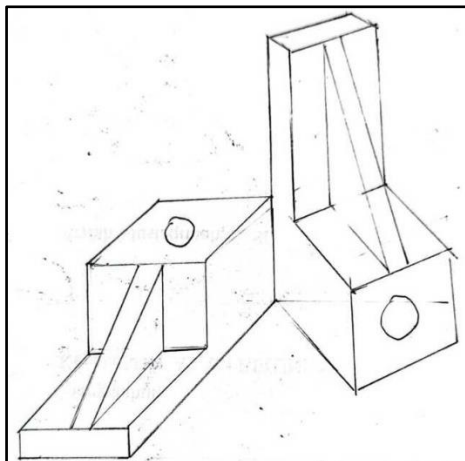
Pada gambar 8 (a),  $M_1$  sudah menambahkan tanda di sisi – sisi mana yang sama panjang. Kesamaan panjang ini menandakan bahwa ketika jaring – jaring dibentuk lagi menjadi sebuah bangun ruang maka sisi – sisi tersebut akan tepat menutup sisi lainnya. Konstruksi jaring – jaring yang dibuat sudah menampilkan hasil membuka konfigurasi secara tepat. Pada gambar 8 (b),  $M_1$  juga sudah mampu membuat jaring – jaring dari kombinasi bangun ruang 1 dan 2. Pada jaring – jaring yang dikonstruksi juga sudah menambahkan pada sisi mana celah jalan yang tidak ditutup oleh jaring – jaring.

Untuk  $M_2$ , setelah pembelajaran menggunakan media 3DShape-AR ini  $M_2$  sudah mulai menunjukkan peningkatan keterampilan dalam memvisualisasi hasil membuka konfigurasi bangun ruang yang diinginkan melalui konstruksi jaring – jaring yang sudah dibuat. Namun berbeda dengan  $M_1$ ,  $M_2$  memberikan simbol yang menandakan sisi yang kongruen dengan huruf yang sama. Huruf yang sama yang diberikan pada konstruksi jaring – jaring menjadi penanda sisi – sisi mana saja yang bersesuaian. Berdasarkan wawancara yang telah dilakukan terhadap  $M_1$  diperoleh informasi bahwa pada tahap ini  $M_2$  juga melalui tahap mencocokkan potongan – potongan dan bagian – bagian jaring – jaring yang sudah dibuat untuk memastikan bahwa jaring – jaring yang sudah dibuat akan tepat membentuk bangun ruang yang diinginkan ketika dilipat kembali. Proses ini terjadi secara abstrak di kepala mereka dan tidak perlu digambarkan secara real di kertas.



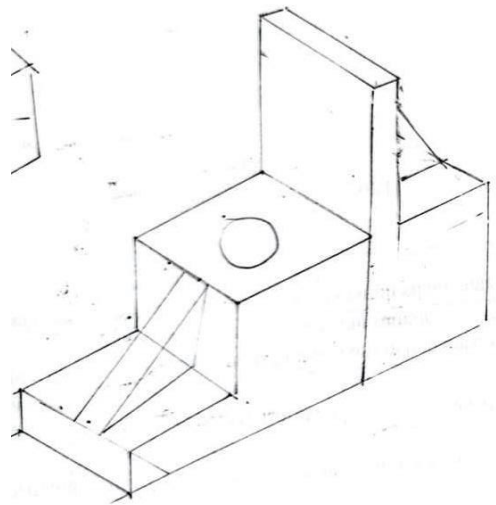
**Gambar 9.** Proses Konstruksi Jaring – Jaring oleh M<sub>2</sub> Setelah Mendapat Pembelajaran menggunakan 3DShape-AR.

Permasalahan ke 2 (Gambar 4) juga menjadi masalah yang diujikan dalam *posttest*. Berikut dilampirkan respon M<sub>1</sub> dan M<sub>2</sub> untuk permasalahan 2.



**Gambar 10.** Proses Rotasi Bangun oleh M<sub>1</sub> Setelah Mendapat Pembelajaran menggunakan 3DShape-AR.

Pada gambar 10, M<sub>1</sub> mencoba memvisualisasikan bangun ruang yang diinginkan dirotasikan sejauh 90° ke arah. Bangun ruang yang awalnya diposisi berbaring kemudian ditegakkan 90°. Perintah permasalahan adalah merotasikan objek ke arah kanan. Namun pada gambar 10, M<sub>1</sub> melakukan proses rotasi tidak sesuai dengan perintah soal. Walaupun demikian, bentuk 3D yang digambarkan sudah sangat sesuai dibandingkan dengan respond yang diberikan pada saat pretest. M<sub>1</sub> sudah lebih mampu merotasikan objek 3D sesuai dengan perintah soal. Hal ini berkaitan dengan aspek rotasi mental pada komponen penalaran spasial matematis. Bentuk bangun ruang yang dirotasikan oleh M<sub>1</sub> sudah menggambarkan bentuk visualisasi dari bangun 3D yang dirotasikan. Kekeliruannya hanya pada sudut pandang penggambaran.



**Gambar 11.** Proses Rotasi Bangun oleh  $M_2$  Setelah Mendapat Pembelajaran menggunakan 3DShape-AR.

Berbeda dengan  $M_2$ , dimana  $M_2$  lebih mampu melakukan proses rotasi bangun ruang dengan perintah yang sesuai. Bangun ruang yang awalnya berada di posisi berbaring dirotasikan sejauh  $90^\circ$  ke arah kanan, sehingga menghasilkan bentuk visualisasi yang tepat dari suatu proses rotasi. Untuk lebih jelas, perubahan keterampilan penalaran spasial matematis  $M_1$  dan  $M_2$  dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2.** Rekapitulasi Perubahan Respon  $M_1$  dan  $M_2$  Sebelum dan Sesudah Belajar Menggunakan Aplikasi 3DShape-AR

| Konstruk Aspek Penalaran Spasial Matematis |         | $M_1$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | $M_2$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rotasi Mental                              | Sebelum | Belum mampu merotasikan objek 3D sesuai dengan besaran sudut yang diinginkan . visualisasi yang dibuat masih sangat jauh dari kriteria                                                                                                                                                                                               | Belum mampu merotasikan objek 3D sesuai dengan besaran sudut yang diinginkan . visualisasi yang dibuat masih sangat jauh dari kriteria                                                                                                                                                                                                   |
|                                            | Sesudah | Sudah mampu menggambarkan bentuk rotasi dari suatu objek bangun ruang dengan tepat, walaupun masih keliru di arah yang diinginkan. Namun visualisasi 3D nya sudah sangat baik                                                                                                                                                        | Sudah mampu menggambarkan bentuk rotasi dari suatu objek bangun ruang dengan tepat sesuai derajat yang diinginkan dan arak yang sesuai                                                                                                                                                                                                   |
| Orientasi Spasial                          | Sebelum | Sudah mampu memvisualisasikan posisi sebuah objek dari tampak atas                                                                                                                                                                                                                                                                   | Sudah mampu memvisualisasikan posisi sebuah objek dari tampak atas                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                                            | Sesudah | Sudah mampu memvisualisasikan posisi sebuah objek dari tampak atas                                                                                                                                                                                                                                                                   | Sudah mampu memvisualisasikan posisi sebuah objek dari tampak atas                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Visualisasi Spasial                        | Sebelum | Konstruksi jaring – jaring yang dibuat belum detail karena belum memuat keterangan dimensi yang sesuai, sehingga ketika diujikan, dengan mengkonstruksi jaring – jaring yang sudah dibuat, tidak menghasilkan kembali bangun ruang yang sesuai dan bahkan tidak mampu mengkonstruksikan jaring – jaring dari bangun ruang kombinasi. | Konstruksi jaring – jaring yang dibuat belum detail karena belum memuat keterangan dimensi yang sesuai, sehingga ketika diujikan, dengan mengkonstruksi jaring – jaring yang sudah dibuat, tidak menghasilkan kembali bangun ruang yang sesuai (a) dan bahkan tidak mampu mengkonstruksikan jaring – jaring dari bangun ruang kombinasi. |

|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sesudah | Konstruksi jaring – jaring yang dibuat sudah detail karena sudah memuat keterangan dimensi yang memiliki panjang yang sama untuk menunjukkan bagian sisi mana yang akan tepat menutup sisi lainnya. sehingga ketika diujikan, dengan mengkonstruksi jaring – jaring yang sudah dibuat, akan menghasilkan kembali bangun ruang yang sesuai . Mahasiswa sudah mampu mengkonstruksikan jaring – jaring dari bangun ruang kombinasi dengan sangat baik | Konstruksi jaring – jaring yang dibuat sudah detail karena sudah memuat keterangan sisi yang kongruen untuk menunjukkan bagian sisi mana yang akan tepat menutup sisi lainnya. sehingga ketika diujikan, dengan mengkonstruksi jaring – jaring yang sudah dibuat, akan menghasilkan kembali bangun ruang yang sesuai . Mahasiswa sudah mampu mengkonstruksikan jaring – jaring dari bangun ruang kombinasi dengan sangat baik |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Peningkatan kualitas keterampilan penalaran spasial matematis ini selanjutnya ditelusuri lebih lanjut melalui wawancara mendalam kepada  $M_1$  dan  $M_2$  mengenai bagaimana pembelajaran geometri menggunakan aplikasi 3DShape-AR dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap keterampilan penalaran matematis yang mereka miliki. Berdasarkan informasi dari  $M_1$  dan  $M_2$ , diketahui bahwa keutaman dari penggunaan aplikasi 3DShape-AR adalah mahasiswa bisa mengeksplorasi berbagai bentuk bangun ruang dengan merotasi bangun ruang tunggal maupun kombinasi ke berbagai arah derajat untuk melihat bentuk visualisasi real dari bangun ruang tersebut. Konten menarik seperti ini membuat mahasiswa dapat membayangkan bangun ruang di berbagai perspektif untuk selanjutnya, pemahaman ini dapat digunakan untuk memecahkan masalah. Hal ini juga mampu membantu mahasiswa dalam menyimpan pola visual dalam memori mereka, melakukan transformasi mental, dan memanipulasi representasi internal. Pembelajaran dengan menggunakan media dengan teknologi *augmented reality* ini mampu mendukung peningkatan keterampilan penalaran spasial matematis peserta didik melalui pembelajaran geometri. Hal ini bersesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh (Rossano, Lanzilotti, Cancolla, & Roselli, 2020); (Yanuarto, Nugroho, & Iqbal, 2022); (Guntur, Setyaningrum, Retnawati, & Marsigit, 2020); (Pangestu & Setyaningrum, 2020).

Teknologi *augmented reality* mampu memberikan ilustrasi prosedur matematika melalui gambar yang membuat peserta didik memvisualisasi, menguasai konsep – konsep yang berkaitan dengan wujud abstrak dari matematika. Konten pada teknologi *augmented reality* ini mampu memfasilitasi mahasiswa untuk dapat membayangkan bentuk yang maya terlihat nyata dengan bantuan aplikasi yang digunakan. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian (Bell, Klautke, Cain, Freer, & Hinds, 2018); (Velázquez, Cerro, & Méndez, 2021); (Supli & Yan, 2023); (Herrera, Pérez, & Ordóñez, 2019). Hal ini mempengaruhi peningkatan komponen rotasi mental, orientasi spasial dan visualisasi spasial (Supli & Yan, 2023).

## KESIMPULAN

Penelitian ini mengungkapkan profil keterampilan penalaran spasial matematis mahasiswa sebelum dan sesudah belajar menggunakan aplikasi 3DShape-AR. Penggunaan aplikasi 3DShape-AR dalam pembelajaran geometri mampu memberikan perubahan kualitas komponen rotasi mental, orientasi spasial dan visualisasi spasial mahasiswa. Ketiga komponen ini merupakan komponen yang menggambarkan bagaimana kualitas keterampilan penalaran matematis seseorang. Keunggulan dari penggunaan aplikasi 3DShape-AR adalah mahasiswa bisa mengeksplorasi berbagai bentuk bangun

ruang dengan merotasi bangun ruang tunggal maupun kombinasi ke berbagai arah derajat untuk melihat bentuk visualisasi real dari bangun ruang tersebut. Konten menarik seperti ini membuat mahasiswa dapat membayangkan bangun ruang di berbagai perspektif untuk selanjutnya, pemahaman ini dapat digunakan untuk memecahkan masalah. Hal ini juga mampu membantu mahasiswa dalam menyimpan pola visual dalam memori mereka, melakukan transformasi mental, dan memanipulasi representasi internal. Implikasi dalam penelitian ini adalah peningkatan keterampilan spasial mahasiswa, integrasi teknologi dalam pembelajaran, peningkatan kualitas pembelajaran geometri, dan peningkatan kemampuan kognitif mahasiswa. Keterbatasan dalam penelitian ini adalah sampel penelitian yang bisa ditambahkan agar hasil lebih kaya untuk dieksploarasi dan penerapan pembelajaran menggunakan 3DShape-AR dapat dilakukan dengan durasi yang lebih lama untuk menghasilkan hasil yang lebih luas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, S., Setyaningrum, W., Retnawati, H., & Marsigit. (2020). How to improve critical thinking skills and spatial reasoning with augmented reality in mathematics learning? *Journal of Physics: Conference Series*, 1-8. Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1581/1/012066/pdf>
- Bell, H. E., Klautke, H., Cain, W., Freer, D. J., & Hinds, T. J. (2018). A study of augmented reality for the development of spatial reasoning ability. *ASEE Annual Conference & Exposition*, 1-14. Retrieved from <https://monolith.asee.org/public/conferences/106/papers/22322/view>
- Bintoro, Suryo, H., Sukestiyarno, Y. I., Mulyono, & Walid. (2021). The spatial thinking process of the field-independent students based on action-process-object-schema theory. *European Journal of Educational Research*, 10(4), 2165-8714. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.10.4.1807>
- Fiantika, R. F., Kusmaharti, D., & Rusminati, S. H. (2022). Deskripsi penalaran spasial mahasiswa calon guru bergaya belajar visual. *Jurnal Magister Pendidikan Matematika (JUMADIKA)*, 4(1), 29-36. <https://doi.org/10.30598/jumadikavol4iss1year2022page29-36>
- Gunawan, Ulia, N., Iqbal, A. M., & Kusuma, J. W. (2022). Development of augmented reality learning media to improve mathematic spatial ability. *International Journal of Economy, Education, and Entrepreneurship (IJ3)*, 2(3), 814-824. <https://doi.org/10.53067/ije3.v2i3.120>
- Guntur, M. I. S., Setyaningrum, W., Retnawati, H., & Marsigit. (2020). Can augmented reality improve problem-solving and spatial skill? *Journal of Physics: Conference Series*, 1-8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1581/1/012063>
- Hannes, K., & Schmalstieg, D. (2003). Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality. *Computers & Graphics*, 27(3), 339-345. [https://doi.org/10.1016/s0097-8493\(03\)00028-1](https://doi.org/10.1016/s0097-8493(03)00028-1)
- Herrera, L. M., Pérez, J. C., & Ordóñez, S. J. (2019). Developing spatial mathematical skills through 3D tools: augmented reality, virtual environments and 3D printing. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJDeM)*, 13, 1385-1399. <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00595-2>

- Hidayat, K. N., & Fiantika, F. R. (2017). Analisis proses berpikir spasial siswa pada materi geometri ditinjau dari gaya belajar. *Prosiding SI MaNIs (Seminar Nasional Integrasi Matematika dan Nilai Islami)*, 1(1), 385-394. Retrieved from <https://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=492244&val=10053&title=the%20ANALISIS%20PROSES%20BERFIKIR%20SPASIAL%20SISWA%20PADA%20MATERI%20GEO%20METRI%20DITINJAU%20DARI%20GAYA%20BELAJAR>
- Karakus, M., Ersozlu, A., & Clark, A. C. (2019). Augmented reality research in education: A bibliometric study. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 15(10), 1-12. <https://doi.org/10.29333/ejmste/103904>
- Logothetis, I., Katsaris, I., Sfyrakis, M., & Vidakis, N. (2023). 3D geography course using AR: The case of the map of Greece. *International Conference on Human-Computer Interaction*, 170–182. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-34550-0\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-031-34550-0_12)
- Lowrie, T., Logan, T., & Megarty, M. (2019). The influence of spatial visualization training on students' spatial reasoning and mathematics performance. *Journal of Cognition and Development*, 20(5), 729-751. <https://doi.org/10.1080/15248372.2019.1653298>
- Lowrie, T., Logan, T., Harris, D., & Hegarty, M. (2018). The impact of an intervention program on students' spatial reasoning: Student engagement through mathematics enhanced learning activities. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 1-10. <https://doi.org/10.1186/s41235-018-0147-y>
- Newcombe, N. S. (2010). Picture this: Increasing math and science learning by improving spatial thinking. *American Educator*, 34(2), 29-35. Retrieved from <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ889152.pdf>
- Pangestu, A., & Setyaningrum, W. (2020). Instructional media for space geometry based on augmented reality to improve students' spatial reasoning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1-6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1581/1/012058>
- Quintero, E., Salinas, P., González-Mendivil, E., & Ramírez, H. (2015). Augmented reality app for calculus: A proposal for the development of spatial visualization. *Procedia Computer Science*, 75, 301-305. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.251>
- Ramful, A., Lowrie, T., & Logan, T. (2016). Measurement of spatial ability: Construction and validation of the spatial reasoning instrument for middle school. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 35(7), 1-12. <https://doi.org/10.1177/0734282916659207>
- Rossano, V., Lanzilotti, R., Cancolla, A., & Roselli, T. (2020). Augmented reality to support geometry learning. *IEEE Access*, 107772 - 107780. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3000990>
- Sari, E. M., Pratiwi, I. R., Novitasari, & Muharramin, A. (2023). Profil kemampuan berpikir kreatif mahasiswa teknik perancangan mekanik dalam menyelesaikan permasalahan matematis. *Pasundan Journal of Mathematics Education*, 13(2), 115-133. Retrieved from <https://journal.unpas.ac.id/index.php/pjme/article/view/9665/4666>
- Supli, A. A., & Yan, X. (2023). Exploring the effectiveness of augmented reality in enhancing spatial reasoning skills: A study on mental rotation, spatial orientation, and spatial visualization in primary school students. *Education and Information Technologies*, 29, 351-347. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12255-w>

- Velázquez, C., F., & Méndez, G. M. (2021). Application in augmented reality for learning mathematical functions: A study for the development of spatial intelligence in secondary education students. *Mathematics*, 9(4), 1-19. <https://doi.org/10.3390/math9040369>
- Xie, F., Zhang, L., Chen, X., & Ziqiang, X. (2019). Is spatial ability related to mathematical ability: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 32, 113-155. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09496-y>
- Yanuarto, W. N., & Iqbal, A. M. (2022). Media pembelajaran augmented reality untuk meningkatkan kemampuan spasial matematis pada konsep geometri. *Edumatica: Jurnal Pendidikan Matematika*, 12(1), 1-11. <https://doi.org/10.22437/edumatica.v12i01.17615>
- Yunianto, & Cahyono, A. N. (2021). Learning media development to improve students' spatial mathematical ability assisted by mobile phones using Augmented Reality. *Unnes Journal of Mathematics Education*, 10(3), 182-193. <https://doi.org/10.15294/ujme.v10i3.53607>