

## VISUALISASI SPASIAL ABSTRAK SEBAGAI PENALARAN SPASIAL TERKUAT SISWA AUTIS

Lingga Nico Pradana<sup>1)</sup>, Via Yustitia<sup>2)</sup>

<sup>1</sup>Universitas PGRI Madiun

email: nikopgsd@unipma.ac.id

<sup>2</sup>Universitas PGRI Adi Buana Surabaya

email: via.yustitia@unipasby.ac.id

### Abstrak

Penalaran spasial abstrak merupakan penalaran terkuat dari siswa autis. Dalam penelitian ini kami ingin mengidentifikasi penalaran spasial siswa autis berdasarkan kategori penalaran spasial (visualisasi spasial, rotasi mental, dan orientasi spasial) dan level penalaran (abstrak dan kongkrit). Sebanyak 46 siswa autis dan 46 siswa non-autis berpartisipasi sebagai subjek. Semua subjek diberikan 6 tipe tes penalaran spasial yang meliputi ketiga kategori serta level penalaran spasial. Hasil yang diperoleh yaitu siswa autis memiliki keunggulan pada kategori visualisasi spasial abstrak sementara siswa non-autis memiliki keunggulan pada kategori visualisasi spasial kongkrit. Hasil tersebut menunjukkan secara spesifik bahwa visualisasi spasial abstrak merupakan penalaran spasial terkuat yang dimiliki oleh siswa autis. Dengan demikian penelitian ini memberikan gambaran baru mengenai kemampuan penalaran spasial siswa ditinjau dari kategori penalaran serta level penalaran.

**Kata kunci:** penalaran spasial, visualisasi spasial, rotasi mental, orientasi spasial, level penalaran, autis

### PENDAHULUAN

Penalaran spasial merupakan kemampuan merepresentasikan, mentransformasikan, menggeneralisasikan, dan mengingat informasi simbolik (non-linguistik) (Else-Quest, Hyde, & Linn, 2010; Linn & Petersen, 1985). Selain itu, penalaran spasial meliputi hubungan antara objek secara topologis maupun geometris pada dimensi dua dan tiga (Guida et al., 2018; Williams, Gero, Lee, & Paretto, 2010). Dengan mengacu pada ruang lingkup penalaran spasial, terdapat beberapa kategori dalam penalaran spasial. Kategori tersebut adalah persepsi spasial, visualisasi spasial, rotasi mental, relasi spasial, dan orientasi spasial (Davis, 2016; Moore-Russo, Viglietti, Chiu, & Bateman, 2013; NCTM, 2006; Yüksel, 2017). Kategori tersebut selalu disesuaikan dengan kurikulum yang digunakan dalam integrasi pada kurikulum maupun dalam pembelajaran (Bruce, Sinclair, Moss, Hawes, &

Caswell, 2015). Pada kurikulum matematika di Indonesia, pada jenjang sekolah dasar relevan dengan tiga kategori yaitu visualisasi spasial, rotasi mental, dan orientasi spasial. Sementara untuk kategori yang lain lebih relevan untuk jenjang yang lebih tinggi.

Penalaran spasial tidak terikat dengan bidang ilmu tertentu. Penalaran spasial merupakan kemampuan yang sifatnya multi disiplin ilmu (Bruce et al., 2017). Beberapa penelitian menyatakan bahwa penalaran spasial merupakan kemampuan yang menjadi indikator sukses pada bidang STEM (Davis, 2016; Newcombe, 2013; Yuk et al., 2018). Pada bidang matematika secara spesifik dinyatakan bahwa dengan kemampuan penalaran spasial yang baik, maka kinerja matematika seseorang akan mengalami peningkatan (Bruce & Hawes, 2015; Kovačević, 2017; Mulligan, Woolcott, Mitchelmore, & Davis, 2017). Beberapa tahun terakhir pada jenjang sekolah dasar,

banyak penelitian mengenai penalaran spasial yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja matematika (Basham & Kotrlík, 2008; Bruce & Hawes, 2015; Hallowell, Okamoto, Romo, & La Joy, 2015; Lowrie, 2016; Lowrie & Jorgensen, 2017; Lowrie, Logan, & Ramful, 2017; Xie, Zhang, Chen, & Xin, 2019) maupun mengevaluasi penalaran spasial siswa (Kurtulus & Yolcu, 2013; Ramful, Ho, & Lowrie, 2015; Stevenson & Gernsbacher, 2013). Dengan meninjau penelitian sebelumnya, maka mengeksplorasi serta mengembangkan penalaran spasial siswa merupakan hal yang penting untuk mempersiapkannya dalam menghadapi revolusi industri 4.0.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, penelitian Stevenson dan Gernsbacher menunjukkan hasil yang sangat unik. Dalam penelitian tersebut ditemukan bahwa siswa autis memiliki kemampuan penalaran spasial abstrak yang kuat dari pada siswa non-autis (Stevenson & Gernsbacher, 2013). Poin dari hasil penelitian tersebut yang menjadi unik adalah siswa autis yang lebih unggul pada level abstrak daripada siswa non-autis. Meskipun dalam penelitian tersebut masih belum menunjukkan secara spesifik pada kategori penalaran spasial, hasil yang diperoleh memberikan inisiasi untuk lebih banyak mengeksplorasi penalaran spasial siswa berkebutuhan khusus terutama siswa autis.

Penelitian mengenai penalaran spasial siswa autis di sekolah dasar memiliki hasil yang bermacam-macam. Diantaranya adalah pengembangan penalaran matematis melalui konseptual model (Gevarter et al., 2016; Santos, Breda, & Almeida, 2015; Weisblatt et al., 2019), membandingkan visuo spasial siswa autis dengan siswa berkebutuhan khusus lainnya (Ballantyne, Núñez, &

Manoussaki, 2017; Fujioka et al., 2016), kinerja spasial dalam aktivitas berbasis spasial (El-Baz, Casanova, Gimel'farb, Mott, & Switala, 2007; Vidal et al., 2008; Yuk et al., 2018), hubungan ekuivalen yang diperoleh dari keterampilan geometri (Dixon, Belisle, Stanley, Daar, & Williams, 2016), serta pola geometris siswa autis (Pierce, Conant, Hazin, & Stoner, 2016). Berdasarkan hasil penelitian tersebut, masih belum ada yang membahas secara spesifik dimanakah letak kekuatan penalaran spasial siswa autis apabila ditinjau dari kategori penalaran spasial. Penelitian tersebut juga tidak secara spesifik menyebutkan kategori mana yang digunakan untuk mengeksplorasi penalaran spasial siswa. Dengan demikian terdapat potensi untuk dapat mengetahui letak kekuatan siswa autis dalam melakukan penalaran spasial ditinjau dari kategori penalaran spasial (visualisasi spasial, rotasi mental, dan orientasi spasial) serta level penalaran (kongkrit dan abstrak).

Pada penelitian ini, penelitian diarahkan untuk mengidentifikasi kekuatan penalaran spasial siswa autis ditinjau dari kategori visualisasi spasial, rotasi mental, dan orientasi spasial. Ketiga kategori tersebut mencakup level penalaran abstrak maupun kongkrit. Cara yang digunakan untuk mengidentifikasi kekuatan penalaran spasial siswa autis adalah dengan membandingkannya dengan siswa non-autis. Di Indonesia terutama di Jawa Timur terdapat sekolah khusus siswa autis dan beberapa sekolah inklusi yang memiliki siswa dengan kategori autis. Dengan memperhatikan karakteristik demografis dari masing-masing siswa maka penelitian ini dilakukan untuk memberikan informasi secara spesifik mengenai kekuatan siswa autis dalam melakukan penalaran spasial.

**METODE**

Subjek pada penelitian ini merupakan siswa autis dan non-autis dari berbagai sekolah dasar di Jawa Timur. Sebanyak 46 siswa autis dan 46 non-autis berpartisipasi dalam penelitian ini. Siswa berasal dari berbagai tingkatan kelas baik kelas tinggi maupun kelas rendah. Pemilihan peserta dilakukan dengan memperhatikan karakteristik demografis yang seimbang. Karakteristik demografis dari peserta disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Demografi Siswa Autis dan Non-Autis

N	Autis	Non-Autis
	46	46
AQ	78.26	33.56
Percent:	(9.68)	(11.09)
M(SD)		
$p < 0.01$		
Age: M(SD)	10.36(7.35)	10.12(8.3)
Jenis Kelamin:	27/19	27/19
L/P		
Pendidikan:	32/14	32/14
T/R		
Provinsi	Jawa Timur	Jawa Timur

Pada penelitian ini peserta diberikan 3 jenis tes penalaran spasial. Kelima jenis tes tersebut disusun berdasarkan kategori penalaran spasial yaitu visualisasi spasial, rotasi mental, dan orientasi spasial. Ketiga kategori tersebut merupakan penalaran spasial yang bersesuaian dengan kurikulum sekolah dasar di Indonesia. Tes pada masing-masing kategori sebanyak 20 item pilihan ganda. Ketiga tes diberikan pada siswa secara berurutan dengan batas waktu masing-masing 60 menit. Tiap tes memiliki level penalaran yang sama yaitu

kongkrit dan abstrak. Deskripsi dari tes penalaran spasial disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Deskripsi Tes Penalaran Spasial

Pena laran Spas ial	Leve l Pena laran	Do mai n	Ju ml ah Ite m	Bat as Wa ktu (m eni t)	Relia bilita s
Visu alisa si spasi al	Kong krit	Spa sial	10	60	0.71
Visu alisa si spasi al	Abst rak	Spa sial	10	60	0.73
Rota si men tal	Kong krit	Spa sial	10	60	0.73
Rota si men tal	Abst rak	Spa sial	10	60	0.72
Orie ntasi spasi al	Kong krit	Spa sial	10	60	0.76
Orie ntasi spasi al	Abst rak	Spa sial	10	60	0.73

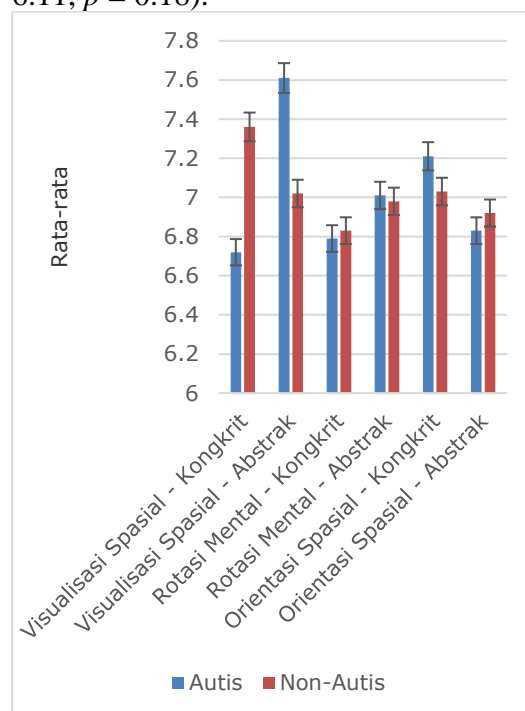
Prosedur pelaksanaan tes dilakukan dengan melakukan penjadwalan pada masing-masing sekolah. Peneliti bekerjasama dengan guru dalam pembuatan jadwal tersebut. Ketiga tes diberikan ke siswa secara bergantian dalam tiga minggu (1 tes tiap minggu).

Metode tes memakai *paper-based test*. Setelah tes selesai dikerjakan oleh siswa, guru menginput jawaban tersebut pada form yang disediakan untuk dikoreksi secara otomatis oleh sistem. Kemudian data dianalisis menggunakan analisis variansi tiga jalan yaitu kelompok (2) × penalaran spasial (3) × level penalaran (2) dengan  $\alpha = 0.01$ . Analisis variansi tiga jalan digunakan untuk mengetahui penalaran spasial yang menjadi kekuatan dari siswa autis. Selanjutnya, penalaran spasial siswa juga ditinjau berdasarkan gender (laki-laki/perempuan)..

### HASIL DAN PEMBAHASAN

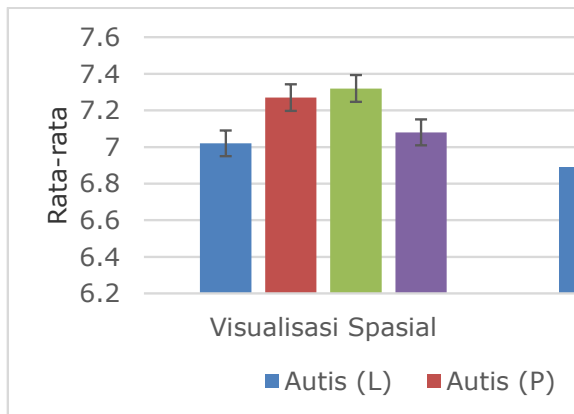
Analisis variansi tiga jalan kelompok (2) × penalaran spasial (3) × level penalaran (2) menunjukkan adanya interaksi yang signifikan ( $F(2, 180) = 6.27, p < 0.01$ ). Untuk mengeksplorasi interaksi antara kelompok, kategori penalaran spasial, dan level penalaran, uji lanjut (*post-hoc*) antara penalaran spasial (3) × level penalaran (2) dilakukan untuk melihat kekuatan relatif dan kelompok (2) × level penalaran (2) untuk menilai kekuatan absolut. Kategori penalaran spasial dan level penalaran berinteraksi secara signifikan untuk kelompok autis ( $F(2, 90) = 5.13, p < 0.01$ ) maupun kelompok non-autis ( $F(2, 90) = 4.97, p < 0.01$ ). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, siswa autis menunjukkan keunggulan relatif untuk level penalaran abstrak dalam kategori visualisasi spasial ( $F(1,45) = 7.68, p < 0.01$ ). Sebaliknya siswa non-autis menunjukkan keunggulan relatif untuk level penalaran kongkrit dalam kategori visualisasi spasial ( $F(1,45) = 9.24, p < 0.01$ ). Level penalaran tidak secara signifikan mempengaruhi kinerja pada kategori rotasi mental dan orientasi spasial baik pada siswa autis (rotasi mental:  $F(1, 45) = 6.21, p = 0.23$ ; orientasi spasial:  $F(1, 45) = 4.91, p = 0.11$ ) maupun

siswa non-autis (rotasi mental:  $F(1, 45) = 5.38, p = 0.14$ ; orientasi spasial:  $F(1, 45) = 7.04, p = 0.04$ ). Selanjutnya, interaksi antara kelompok dan level penalaran sangat signifikan pada kategori visualisasi spasial ( $F(1, 90) = 10.31, p < 0.01$ ), dengan siswa autis menunjukkan kekuatan absolut atas siswa non-autis pada tes visualisasi spasial – abstrak ( $F(1, 90) = 7.48, p < 0.01$ ) tetapi tidak pada visualisasi spasial – kongkrit ( $F(1, 90) = 6.11, p = 0.18$ ).



Gambar 1. Interaksi antara kelompok dan level penalaran pada Kategori penalaran spasial

Dari segi gender (laki-laki/perempuan), analisis variansi dilakukan dengan gender × kelompok × kategori penalaran spasial × level penalaran. Hasilnya adalah gender tidak berinteraksi secara signifikan baik ditinjau dari kategori penalaran spasial ( $F(2, 176) = 3.01, p = 0.29$ ) atau kelompok (autis vs non-autis,  $F(1, 88) = 3.01, p = 0.07$ ). Gambar 2 menunjukkan kinerja dari siswa autis dan non-autis.



Gambar 2. Interaksi gender dan kategori penalaran spasial dari siswa autis dan non-autis

Penelitian ini menggunakan variasi level penalaran (kongkret dan abstrak) serta kategori penalaran spasial untuk memberikan informasi yang lebih sistematis tentang kekuatan relatif dan absolut siswa autis dalam melakukan penalaran spasial. Siswa autis memiliki kinerja yang baik pada tes visualisasi spasial pada level penalaran abstrak. Hal ini menunjukkan bahwa penalaran spasial siswa autis pada kategori visualisasi spasial – abstrak lebih menonjol daripada siswa non-autis. Hal yang menarik terjadi pada kategori visualisasi spasial – kongkrit yaitu siswa non-autis memiliki kemampuan yang lebih baik daripada siswa autis. Sementara pada kategori rotasi mental dan visualisasi spasial keduanya menunjukkan kinerja yang sama baik untuk level penalaran abstrak maupun kongkrit. Kenapa siswa autis memiliki kemampuan yang lebih pada level penalaran abstrak? Menurut Pierce et al., siswa autis jauh lebih mudah menerima rangsangan spasial abstrak daripada siswa non-autis (Pierce et al., 2016). Lebih lanjut lagi, siswa autis lebih mudah menerima rangsangan spasial berupa representasi spasial dibandingkan representasi verbal (Else-Quest et al., 2010). Hal itu menyebabkan pada kategori

visualisasi spasial abstrak siswa autis memberikan kinerja yang sangat baik.

Pada kategori lainnya yaitu rotasi mental dan orientasi spasial, kedua kelompok memberikan kinerja yang sama. Apabila ditinjau dari level penalaran abstrak maupun kongkrit, baik siswa autis maupun non-autis memberikan hasil yang tidak jauh berbeda akan tetapi tidak dapat dikatakan saling mengungguli. Fakta ini menjadi menarik dikarenakan siswa autis unggul pada kategori visualisasi spasial abstrak sementara siswa non-autis unggul pada kategori visualisasi spasial kongkrit. Berarti kemampuan penalaran spasial abstrak yang menjadi kekuatan utama pada siswa autis (Stevenson & Gernsbacher, 2013) masih perlu ditinjau pada tiap kategori penalaran spasial. Dalam hal ini kemampuan penalaran spasial siswa autis pada jenjang sekolah dasar ditemukan pada kategori visualisasi spasial abstrak. Lebih lanjut, masih perlu diidentifikasi pada jenjang yang lebih tinggi dengan melibatkan kategori penalaran spasial yang lebih kompleks yaitu persepsi spasial dan relasi spasial (Liao, 2017; Patkin & Plaksin, 2018; Yüksel, 2017).

Penalaran spasial memiliki lima kategori utama. Kategori tersebut adalah visualisasi spasial, rotasi mental, orientasi spasial, persepsi spasial, dan relasi spasial (NCTM, 2006; Yüksel, 2017). Penelitian sebelumnya tidak selalu meneliti pada semua kategori tersebut. Sementara penelitian ini memberikan gambaran mengenai kemampuan siswa autis dalam melakukan penalaran spasial pada kategori visualisasi spasial, rotasi mental, dan orientasi spasial. Ketiga kategori tersebut merupakan kategori yang relevan dengan kurikulum matematika di sekolah dasar (Ramful, Lowrie, & Logan, 2017), utamanya di Indonesia. Sejalan dengan kurikulum di Indonesia, Lowrie et al. juga

memakai ketiga kategori tersebut karena relevan dengan kurikulum sekolah dasar (Lowrie, 2016; Lowrie et al., 2017). Sementara untuk kategori yang lain seperti persepsi spasial dan relasi spasial lebih banyak dieksplorasi dijenjang yang lebih tinggi (Haciomeroglu, 2016; Hwang, Choi, Bae, Dong, & Shin, 2018; Kovačević, 2017). Penggunaan teknologi dalam menyajikan masalah terkait penalaran spasial memberikan siswa bantuan untuk memproses informasi dalam menyelesaikan masalah. Beberapa penelitian telah memanfaatkan teknologi digital untuk menyajikan masalah spasial dan terbukti dapat memberikan bantuan bagi siswa (Mihailidis, 2015; Pradana & Sholikhah, 2019; Sholikhah & Pradana, 2018; Talib, 2018).

Dari segi gender, banyak penelitian tentang penalaran spasial yang membandingkan kemampuan laki-laki dengan perempuan. Beberapa penelitian menyatakan tidak adanya perbedaan kemampuan antar keduanya (Gold, Pendergast, Ormand, Budd, & Mueller, 2018; Kyttälä & Björn, 2014; Lowrie, 2016; Lowrie et al., 2017; Patkin & Fadalon, 2013; Pradana & Sholikhah, 2019; Yoon & Mann, 2017). Akan tetapi penelitian tersebut belum sampai melihat level penalaran abstrak dan kongkrit serta tinjauan dari kategori penalaran spasial (visualisasi spasial, rotasi mental, dan orientasi spasial). Meskipun pada penelitian ini tidak menemukan perbedaan yang signifikan antara siswa laki-laki dan perempuan (autis atau non-autis), temuan penelitian ini dapat memberikan gambaran yang lebih spesifik dengan tinjauan kategori penalaran spasial (visualisasi spasial, rotasi mental, dan orientasi spasial) dan level penalaran (abstrak dan kongkrit).

## SIMPULAN

Penalaran spasial merupakan aspek penting sebagai dasar dalam menguasai bidang lainnya terutama STEM. Penalaran spasial memiliki tiga komponen utama dalam kurikulum sekolah dasar di Indonesia yaitu visualisasi spasial, rotasi mental, dan orientasi spasial. Penelitian ini menunjukkan secara spesifik bahwa siswa autis memiliki kemampuan kuat dalam kategori visualisasi spasial abstrak. Di sisi lain, hasil yang berbanding terbalik ditunjukkan pada kategori visualisasi spasial kongkrit. Siswa non-autis memiliki keunggulan pada kategori tersebut. Sementara itu pada kategori lain yaitu rotasi mental dan orientasi spasial baik pada level abstrak maupun kongkrit relatif seimbang. Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa kemampuan penalaran spasial siswa autis terletak pada kategori visualisasi spasial abstrak.

Dengan meninjau proses dan hasil dari penelitian ini, maka kemampuan visualisasi spasial siswa autis perlu diekspos secara spesifik. Proses penalaran spasial siswa autis pada kategori visualisasi spasial perlu dijabarkan karakteristiknya sehingga diperoleh dasar teori yang kuat yang menjadi alasan kuatnya kemampuan visualisasi spasial siswa autis. Selain itu, tinjauan level penalaran (abstrak dan kongkrit) memberikan gambaran yang unik. Keunikan tersebut ditunjukkan dengan keunggulan siswa autis pada level abstrak serta keunggulan siswa non-autis pada level kongkrit. Oleh karena itu keunikan ini perlu dijabarkan secara sistematis pada penelitian selanjutnya.

Penelitian-penelitian mengenai penalaran spasial dalam beberapa dekade terakhir telah masuk pada jenjang sekolah dasar. Dengan melihat potensi bahwa penalaran spasial menunjang kemampuan

pada bidang STEM, maka mengekspos serta megembangkan penalaran spasial sangatlah penting. Dari semua itu, tentu tak terkecuali adalah siswa berkebutuhan khusus (dalam penelitian ini siswa autisme). Dengan demikian potensi siswa dapat dikembangkan secara maksimal melalui kemampuan penalaran spasialnya. Maka, sangat disarankan pada penelitian-penelitian selanjutnya untuk mengekspos kemampuan penalaran spasial khususnya pada siswa berkebutuhan khusus..

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ballantyne, C. J., Núñez, M., & Manoussaki, K. (2017). Visuo-spatial construction trajectories in Fragile X Syndrome (FXS) and Autism Spectrum Disorders (ASD): Evidence of cognitive heterogeneity within neurodevelopmental conditions. *Research in Developmental Disabilities, 70*, 113–125.  
<https://doi.org/10.1016/j.ridd.2017.08.005>
- Basham, L. K., & Kotrlík, J. W. (2008). The effects of 3-dimensional CADD modeling on the development of the spatial ability of technology education students. *Journal of Technology Education, 20*(1), 32–47.
- Bruce, C. D., Davis, B., Sinclair, N., McGarvey, L., Hallowell, D., Drefs, M., ... Woolcott, G. (2017). Understanding gaps in research networks: using “spatial reasoning” as a window into the importance of networked educational research. *Educational Studies in Mathematics, 95*(2), 143–161.  
<https://doi.org/10.1007/s10649-016-9743-2>
- Bruce, C. D., & Hawes, Z. (2015). The role of 2D and 3D mental rotation in mathematics for young children: what is it? Why does it matter? And what can we do about it? *ZDM Mathematics Education, 47*(3).  
<https://doi.org/10.1007/s11858-014-0637-4>
- Bruce, C. D., Sinclair, N., Moss, J., Hawes, Z., & Caswell, B. (2015). Spatializing the Curriculum. In B. Davis (Ed.), *Spatial Reasoning in the Early Years*. Routledge.
- Davis, B. (2016). *Spatial Reasoning in the Early Years* (B. Davis, ed.). Routledge.
- Dixon, M. R., Belisle, J., Stanley, C. R., Daar, J. H., & Williams, L. A. (2016). Derived Equivalence Relations of Geometry Skills in Students with Autism: an Application of the PEAK-E Curriculum. *The Analysis of Verbal Behavior, 32*(1), 38–45.  
<https://doi.org/10.1007/s40616-016-0051-9>
- El-Baz, A., Casanova, M. F., Gimel'farb, G., Mott, M., & Switala, A. E. (2007). Autism diagnostics by 3D texture analysis of cerebral white matter gyrifications. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 4792 LNCS(PART 2)*, 882–890.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-540-75759-7\\_107](https://doi.org/10.1007/978-3-540-75759-7_107)
- Else-Quest, N. M., Hyde, J. S., & Linn, M. C. (2010). Cross-National Patterns of Gender Differences in Mathematics: A Meta-Analysis. *Psychological Bulletin, 136*(1), 103–127.  
<https://doi.org/10.1037/a0018053>
- Fujioka, T., Inohara, K., Okamoto, Y., Masuya, Y., Ishitobi, M., Saito, D. N., ... Kosaka, H. (2016). Gazefinder as a clinical supplementary tool for discriminating between autism

- spectrum disorder and typical development in male adolescents and adults. *Molecular Autism*, 7(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s13229-016-0083-y>
- Gevarter, C., Bryant, D. P., Bryant, B., Watkins, L., Zamora, C., & Sammarco, N. (2016). Mathematics Interventions for Individuals with Autism Spectrum Disorder: A Systematic Review. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*, 3(3), 224–238. <https://doi.org/10.1007/s40489-016-0078-9>
- Gold, A. U., Pendergast, P. M., Ormand, C. J., Budd, D. A., & Mueller, K. J. (2018). Improving spatial thinking skills among undergraduate geology students through short online training exercises. *International Journal of Science Education*, 40(18), 2205–2225. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1525621>
- Guida, A., Megreya, A. M., Lavielle-Guida, M., Noël, Y., Mathy, F., van Dijck, J. P., & Abrahamse, E. (2018). Spatialization in working memory is related to literacy and reading direction: Culture “literarily” directs our thoughts. *Cognition*, 175, 96–100. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2018.02.013>
- Haciomeroglu, E. S. (2016). Object-spatial visualization and verbal cognitive styles, and their relation to cognitive abilities and mathematical performance. *Kuram ve Uygulamada Egitim Bilimleri*, 16(3), 987–1003. <https://doi.org/10.12738/estp.2016.3.0429>
- Hallowell, D. A., Okamoto, Y., Romo, L. F., & La Joy, J. R. (2015). First-graders’ spatial-mathematical reasoning about plane and solid shapes and their representations. *ZDM Mathematics Education*, 47(3), 363–375. <https://doi.org/10.1007/s11858-015-0664-9>
- Hwang, J., Choi, K. M., Bae, Y., Dong, & Shin, H. (2018). Do Teachers’ Instructional Practices Moderate Equity in Mathematical and Scientific Literacy? An Investigation of the PISA 2012 and 2015. *Int J of Sci and Math Educ*. <https://doi.org/10.1007/s10763-018-9909-8>
- Kovačević, N. K. (2017). Spatial reasoning in mathematics. *International Scientific Colloquium Mathematics and Children Founded by Margita Pavleković*, 6, 1–21.
- Kurtulus, A., & Yolcu, B. (2013). A Study on Sixth-Grade Turkish Students’ Spatial Visualization Ability. *Mathematics Educator*, 22(2), 82–117. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eric&AN=EJ1013939&site=ehost-live>
- Kyttälä, M., & Björn, P. M. (2014). The role of literacy skills in adolescents’ mathematics word problem performance: Controlling for visuo-spatial ability and mathematics anxiety. *Learning and Individual Differences*, 29, 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2013.10.010>
- Liao, K. H. (2017). The abilities of understanding spatial relations, spatial orientation, and spatial visualization affect 3D product design performance: using carton box design as an example. *International Journal of Technology and Design Education*, 27(1), 131–



147. <https://doi.org/10.1007/s10798-015-9330-3>
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and Characterization of Sex Differences in Spatial Ability: A Meta-Analysis. *Child Development*, 56(6), 1479. <https://doi.org/10.2307/1130467>
- Lowrie, T. (2016). Spatial Reasoning Influences Students' Performance on Mathematics Tasks. In B. White, M. Chinnappan, & S. Trenholm (Eds.), *Mathematics Education Research Group of Australasia* (pp. 407–414). Adelaide: MERGA.
- Lowrie, T., & Jorgensen, R. (2017). Equity and spatial reasoning: reducing the mathematical achievement gap in gender and social disadvantage. *Mathematics Education Research Journal*. <https://doi.org/10.1007/s13394-017-0213-7>
- Lowrie, T., Logan, T., & Ramful, A. (2017). Visuospatial training improves elementary students' mathematics performance. *British Journal of Educational Psychology*, 87(2), 170–186. <https://doi.org/10.1111/bjep.12142>
- Mihailidis, P. (2015). Digital curation and digital literacy: Evaluating the role of curation in developing critical literacies for participation in digital culture. *E-Learning and Digital Media*, 12(5–6), 443–458. <https://doi.org/10.1177/2042753016631868>
- Moore-Russo, D., Viglietti, J. M., Chiu, M. M., & Bateman, S. M. (2013). Teachers' spatial literacy as visualization, reasoning, and communication. *Teaching and Teacher Education*, 29(1), 97–109. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2012.08.012>
- Mulligan, J., Woolcott, G., Mitchelmore, M., & Davis, B. (2017). Connecting mathematics learning through spatial reasoning. *Mathematics Education Research Journal*. <https://doi.org/10.1007/s13394-017-0210-x>
- NCTM. (2006). *Learning to Think Spatially*. <https://doi.org/10.17226/11019>
- Newcombe, N. S. (2013). Seeing relationships: Using spatial thinking to teach science, mathematics, and social studies. *American Educator*, 37(1), 26–32.
- Patkin, D., & Fadalon, L. (2013). Developing third grade boys' and girls' spatial ability by means of an extra-curricular teaching unit. *Journal of the Korean Society of Mathematical Education. Series D. Research in Mathematical Education*, 17(2), 99–118.
- Patkin, D., & Plaksin, O. (2018). Procedural and relational understanding of pre-service mathematics teachers regarding spatial perception of angles in pyramids. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 52(1), 1–20. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2018.1480808>
- Pierce, K., Conant, D., Hazin, R., & Stoner, R. (2016). Preference for geometric patterns early in life as a risk factor for autism. *Arch Gen Psychiatry*, 68(1), 101–109. <https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2010.113>
- Pradana, L. N., & Sholikhah, O. H. (2019). Mathematical Literacy Training (MLT) through Virtual based Mathematics Kits (VMK) for best mathematics performance. *Journal of Physics: Conference*

- Series*, 1318(1), 1–6.  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1318/1/012017>
- Ramful, A., Ho, S. Y., & Lowrie, T. (2015). Visual and analytical strategies in spatial visualisation: perspectives from bilateral symmetry and reflection. *Mathematics Education Research Journal*, 27(4), 443–470.  
<https://doi.org/10.1007/s13394-015-0144-0>
- Ramful, A., Lowrie, T., & Logan, T. (2017). Measurement of Spatial Ability: Construction and Validation of the Spatial Reasoning Instrument for Middle School Students. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 35(7), 709–727.  
<https://doi.org/10.1177/0734282916659207>
- Santos, M. I., Breda, A., & Almeida, A. M. (2015). Brief Report: Preliminary Proposal of a Conceptual Model of a Digital Environment for Developing Mathematical Reasoning in Students with Autism Spectrum Disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45(8), 2633–2640.  
<https://doi.org/10.1007/s10803-015-2414-9>
- Sholikhah, O. H., & Pradana, L. N. (2018). Virtual Mathematics Kits (VMK): Mempromosikan media digital dalam literasi matematika. *Profesi Pendidikan Dasar*, 5(2), 147.  
<https://doi.org/10.23917/ppd.v1i2.6717>
- Stevenson, J. L., & Gernsbacher, M. A. (2013). Abstract Spatial Reasoning as an Autistic Strength. *PLoS ONE*, 8(3).  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059329>
- Talib, S. (2018). Social media pedagogy: Applying an interdisciplinary approach to teach multimodal critical digital literacy. *E-Learning and Digital Media*, 15(2), 55–66.  
<https://doi.org/10.1177/2042753018756904>
- Vidal, C. N., Nicolson, R., Boire, J. Y., Barra, V., DeVito, T. J., Hayashi, K. M., ... Thompson, P. M. (2008). Three-dimensional mapping of the lateral ventricles in autism. *Psychiatry Research - Neuroimaging*, 163(2), 106–115.  
<https://doi.org/10.1016/j.psychres.2007.11.002>
- Weisblatt, E. J., Langensiepen, C. S., Cook, B., Dias, C., Plaisted Grant, K., Dhariwal, M., ... Belmonte, M. K. (2019). A Tablet Computer-Assisted Motor and Language Skills Training Program to Promote Communication Development in Children with Autism: Development and Pilot Study. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 35(8), 643–665.  
<https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1550176>
- Williams, C., Gero, J., Lee, Y., & Paretto, M. (2010). Exploring spatial reasoning ability and design cognition in undergraduate engineering students. *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, 6, 669–676.  
<https://doi.org/10.1115/DETC2010-28925>
- Xie, F., Zhang, L., Chen, X., & Xin, Z. (2019). Is spatial ability related to mathematical ability: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 1–43.  
<https://doi.org/10.1007/s10648-019-09496-y>

- Yoon, S. Y., & Mann, E. L. (2017). Exploring the Spatial Ability of Undergraduate Students: Association With Gender, STEM Majors, and Gifted Program Membership. *Gifted Child Quarterly*, 61(4). <https://doi.org/10.1177/0016986217722614>
- Yuk, V., Urbain, C., Pang, E. W., Anagnostou, E., Buchsbaum, D., & Taylor, M. J. (2018). Do you know what I'm thinking? Temporal and spatial brain activity during a theory-of-mind task in children with autism. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 34, 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2018.08.001>
- Yüksel, N. S. (2017). *Visual-spatial Ability in STEM Education* (M. S. Khine, ed.). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44385-0>