

Teknologi *Immersive Augmented Reality* Memfasilitasi Pembelajaran: Analisis Meta Perbandingan antar *Subject Matters*

Maximus Tamur*

Program Studi Pendidikan Profesi Guru, Universitas Katolik Indonesia

*E-mail: maximustamur@unikastpaulus.ac.id

ABSTRACT. Using digital educational resources with augmented reality as a didactic tool has enriched the learning process with various advantages. Previous studies have explored the aggregate influence of using augmented reality in education, but few have analyzed subject matters as a categorical variable. For this reason, this random-effects meta-analysis research was conducted to test the effectiveness of applying immersive augmented reality technology to learning with subject matters as a categorical variable. This aim was achieved by examining 51 independent comparisons ($n = 3,869$) that were eligible and identified from an online database. The analysis results assisted by CMA software showed that integrating immersive augmented reality technology in learning was associated with a positive and moderate effect ($g = 0.41$, $p < 0.001$) compared to other learning conditions. This impact is consistent and robust in various subject matters. These results support the development of a didactical framework for implementing immersive augmented reality in the future.

Keywords: augmented reality; immersive technology; meta-analysis; subject matters

ABSTRAK. Tren penggunaan sumber daya pendidikan digital dengan *augmented reality* sebagai alat didaktik telah memperkaya proses pembelajaran dengan berbagai paket keunggulan. Studi sebelumnya telah mengeksplorasi pengaruh agregat dari penggunaan *augmented reality* dalam pendidikan, namun masih sedikit yang menganalisis *subject matters* sebagai variabel kategori. Untuk itu penelitian yang menggunakan metode meta-analisis efek acak ini dilakukan untuk menguji efektivitas penerapan teknologi *immersive augmented reality* pada pembelajaran dengan *subject matters* sebagai variabel kategori. Tujuan ini dicapai dengan memeriksa 51 perbandingan independen ($n = 3,869$) yang memenuhi syarat dan diidentifikasi dari basis data *online*. Hasil analisis yang dibantu oleh software CMA menunjukkan bahwa integrasi teknologi *immersive augmented reality* dalam pembelajaran dikaitkan dengan pengaruh positif dan sedang ($g = 0,41$, $p < 0,001$) dibandingkan dengan kondisi pembelajaran lainnya. Dampak ini konsisten dan kuat dalam berbagai *subject matters*. Hasil ini mendukung pengembangan kerangka didaktis untuk implementasi *immersive augmented reality* di masa depan.

Keywords: *augmented reality*; meta-analisis; *subject matters*; teknologi imersif

PENDAHULUAN

Augmented Reality (AR) di kelas menjadi tren baru, yang menggabungkan teknologi dalam pengajaran topik pada pembelajaran tertentu (Nordin dkk., 2022). AR disinyalir sebagai teknologi yang efisien dan menjanjikan yang mampu meningkatkan sektor pendidikan. AR adalah teknologi visualisasi yang memungkinkan interaksi manusia dengan memberikan persepsi realitas kepada pengguna menggunakan informasi virtual (Oueida dkk., 2023). AR merupakan inovasi terbaru yang dapat memperluas persepsi sensorik melalui objek digital (Buchner & Kerres, 2023), sehingga berpotensi diterapkan secara luas dalam dunia pendidikan (Sural, 2018; Yilmaz & Batdi, 2021). Objek virtual melalui antarmuka AR membantu guru untuk memvisualisasikan objek

geometri 2D dan 3D (Demetriadou dkk., 2020; Kan, 2021; Leitão dkk., 2014). Penggunaan AR mendukung aksesibilitas yang dicapai melalui perangkat seluler dan peralihan dinamis dari pengenalan gerakan (Sun dkk., 2019). Penggunaan AR memungkinkan para siswa berinteraksi dengan benda-benda maya dengan mudah dan alami sehingga mendukung pemahaman mereka terhadap apa yang dipelajari serta meningkatkan kualitas pendidikan.

AR merupakan teknologi realitas virtual yang memungkinkan pengguna berinteraksi dengan objek virtual dalam kehidupan nyata (Pathania dkk., 2023). AR juga didefinisikan sebagai alat dan media interaktif yang menghubungkan informasi digital dengan dunia nyata (Monfared dkk., 2016). Sejalan dengan itu, Ashwini dkk. (2022) menggambarkan AR sebagai teknologi yang melapisi gambar yang dihasilkan oleh komputer pada pandangan pengguna tentang dunia nyata. Selain itu, AR dapat diartikan sebagai alat pendidikan yang berharga dan memiliki potensi besar untuk pembelajaran di masa depan dalam menghasilkan pemikiran kreatif siswa (Bower dkk., 2014). Ha ini karena AR dapat menjadi alternatif yang efisien terhadap lingkungan laboratorium yang rawan risiko dan mahal, dan bahwa alat tersebut dapat digunakan untuk meningkatkan pembelajaran (Mukhtarkyzy dkk., 2022).

Teknologi AR memungkinkan guru untuk mengintegrasikan teknologi sebagai alat bantu pengajaran selama proses belajar mengajar (Zain dkk., 2022). AR telah menjadi teknologi pendidikan yang penting dalam proses belajar-mengajar. Pembelajaran yang tertanam teknologi memberikan peningkatan persepsi terhadap materi yang ada (Yadav & Gupta, 2023). Keunggulan AR setidaknya ada enam karakter yang dapat dijadikan pedoman bagi guru dalam mengembangkan *augmented reality* yang merupakan pengganti objek yang sudah ada yaitu membantu menjelaskan proses, membantu simulasi, memperoleh perhatian, menggambarkan abstrak, menjelaskan konsep ruang dan pengganti eksperimen (Romano dkk., 2020).

Keunggulan AR telah menimbulkan kesibukan studi yang secara khusus menguji efektivitasnya dalam pembelajaran. Namun berbagai studi empiris sebelumnya memberikan hasil yang bervariasi dan tidak konsisten. Beberapa penelitian menemukan bahwa pembelajaran yang didukung AR dapat meningkatkan minat siswa dalam belajar sehingga mendukung peningkatan kemampuan akademik mereka (mis., Aldalalah dkk., 2019; Cahyana dkk., 2023; Eldokhny & Drwish, 2021; Silva dkk., 2022; serta Whang dkk., 2021). Berbeda dengan itu, beberapa studi individual lainnya menunjukkan hasil yang tidak sama bahwa penggunaan dimana penggunaan AR tidak atau hanya berpengaruh kecil terhadap kemampuan siswa (mis., Chang dkk., 2020; Chien dkk., 2017; Putra dkk., 2021; Yilmaz & Goktas, 2017). Bahkan dalam studi terbaru, Buchner & Kerres (2023) menemukan bahwa dampak dari teknologi AR terhadap kemampuan akademik siswa masih belum jelas atau belum konsisten.

Kondisi terbaru telah memicu munculnya berbagai penelitian untuk menemukan besarnya pengaruh keseluruhan dari penggunaan AR di kelas. Hal ini akan membantu pendidik, praktisi, dan pemangku kepentingan untuk mempertimbangkan integrasi AR dalam pendidikan. Harapan tersebut dicapai dengan melakukan studi meta-analisis karena dengan kegiatan ini kita dapat mengintegrasikan temuan studi primer, dan menyelidiki alasan inkonsistensi hasil dari semua studi primer untuk kemudian mempertimbangkan implementasinya (Franzen, 2020; Juandi, Suparman, dkk., 2022; Juandi, Tamur, dkk., 2022; Juandi dkk., 2023; Tamur, Juandi, dkk., 2023; Tamur, Ndiung, dkk., 2023).

Terkait dengan itu, dalam literatur terkini telah banyak meta-analisis yang secara khusus bertujuan untuk menemukan efek keseluruhan dari penggunaan AR dalam pendidikan. Meta-analisis yang telah dilakukan oleh Ozdemir dkk. (2018) dan Lin & Yu (2023) misalnya hanya mempertimbangkan variabel moderator yang terbatas. Demikian juga, penelitian meta-analisis yang dilakukan oleh Yilmaz & Batdi (2021) serta Altinpulluk (2019) juga telah menganalisis pengaruh keseluruhan teknologi AR dalam pendidikan, namun tidak melibatkan analisis variabel kategori. Selain bertujuan menganalisis pengaruh keseluruhan dari integrasi AR dalam pendidikan, studi ini juga mengisi celah dari penelitian sebelumnya dengan mempertimbangkan *subject matters* sebagai

variabel kategori. Hal ini berkontribusi literatur, guru, dosen, dan pemangku kepentingan untuk mempertimbangkan penggunaan AR dalam pendidikan.

METODE

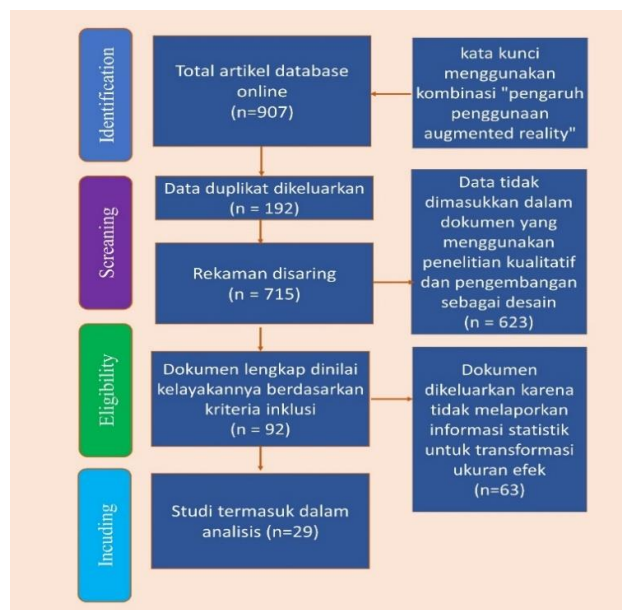
Penelitian ini menggunakan meta-analisis memberikan prosedur yang lebih obyektif dalam menarik kesimpulan atau keputusan ketika berbagai penelitian primer memberikan hasil yang bervariasi (Cooper, 2017; Schmidt & Hunter, 2015). Secara umum penelitian meta-analisis diawali dengan perumusan masalah penelitian dan hipotesis, dilanjutkan dengan penelusuran literatur, kemudian pengkodean variabel, lalu analisis statistik, dan diakhiri dengan interpretasi temuan (Borenstein, Hedges, & Rothstein, 2009). Penelitian sebelumnya seperti yang dilakukan oleh Tamur (2021); Tamur dkk. (2020) ; Tamur, Fedi, dkk. (2021); Tamur, Ndiung, dkk. (2021); serta Wijaya dkk. (2022). Berikut diuraikan rincian dari tahapan tersebut.

Literature Search

Basis data *online* dipilih sebagai lokasi pencarian dokumen atau artikel jurnal hasil penelitian yang akan dimasukkan dalam analisis. Selanjutnya program *Publish or Perish* (PoP) digunakan untuk mengambil data terkait dengan pengaruh penggunaan AR dalam pendidikan.

Literature Inclusion Criteria

Penelitian primer yang dikumpulkan menggunakan aplikasi PoP kemudian diseleksi menggunakan tiga kriteria. Pertama, mengumpulkan artikel yang ditulis dalam bahasa Inggris dan juga bahasa Indonesia, dan diambil dari basis data *online* dalam 6 tahun terakhir. Kedua, menyediakan informasi statistik untuk memperoleh nilai ukuran efek (*effect size*). Penelitian yang tidak memenuhi hal tersebut akan dikeluarkan dari analisis (mis, Nordin dkk., 2022; Oueida dkk., 2023; Tezer dkk., 2019), Ketiga, penelitian dengan pendekatan kuantitatif dan harus melibatkan kelompok kontrol sebagai pembanding. Penelitian pengembangan yang hanya menggunakan satu sampel atau menggunakan pendekatan kualitatif dikeluarkan dari analisis (mis; Karagozlu dkk., 2019; Ratnawati dkk., 2022). Dalam penelitian ini saran dari Pigott & Polanin (2020) yaitu menggunakan prosedur PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses*) dipertimbangkan sebagai penyaringan data agar menghasilkan tahapan meta-analisis yang transparan dan berkualitas tinggi. Gambar 1 menyajikan proses penyaringan data tersebut.



Gambar 1. Filtering Data through PRISMA

Berdasarkan Gambar 1, terdapat 29 studi primer yang memenuhi kriteria inklusi untuk dianalisis. Namun beberapa studi terdiri lebih dari satu perbandingan. Akibatnya dalam penelitian ini melibatkan 52 perbandingan. Adapun artikel yang memenuhi syarat analisis dapat dilihat pada link berikut: (<https://shorturl.at/fsEJR>).

Coding Process

Penelitian ini menggunakan lembar pengkodean sebagai instrumen penelitian yang dikembangkan untuk mengekstrak informasi dari studi individu menjadi data numerik. Dengan instrumen ini, maka semua data dikodekan secara terpisah oleh dua pengkode sesuai dengan pedoman Cooper (2017). Tingkat kecocokan dari dua pengkode tersebut ditentukan dengan cara mengambil secara acak 5 dari 29 studi primer diduplikasi dan didistribusikan kepada mereka. Tingkat persetujuan antara kedua pengkode ditentukan menggunakan formula Kappa Cohen dilakukan yang oleh (McHugh, 2012) dirumuskan sebagai berikut:

$$k = \frac{Pr(a) - Pr(e)}{Pr(e)} \quad (1)$$

Pada persamaan (1), kesepakatan yang benar-benar diamati diwakili oleh $Pr(a)$, dan kesepakatan karena kebetulan diwakili oleh $Pr(e)$. Indeks 0,85 atau lebih besar sudah ditentukan sebelumnya untuk dianggap tinggi (McHugh, 2012). Dari hasil perhitungan diperoleh indeks $k = 0,96$. Hal ini menandakan bahwa instrumen yang dikembangkan valid dan reliabel sebab indeks yang diperoleh lebih dari 0,85 yang artinya ada kecocokan substansial hingga hampir sempurna dari dua pengkode.

Analisis Statistik

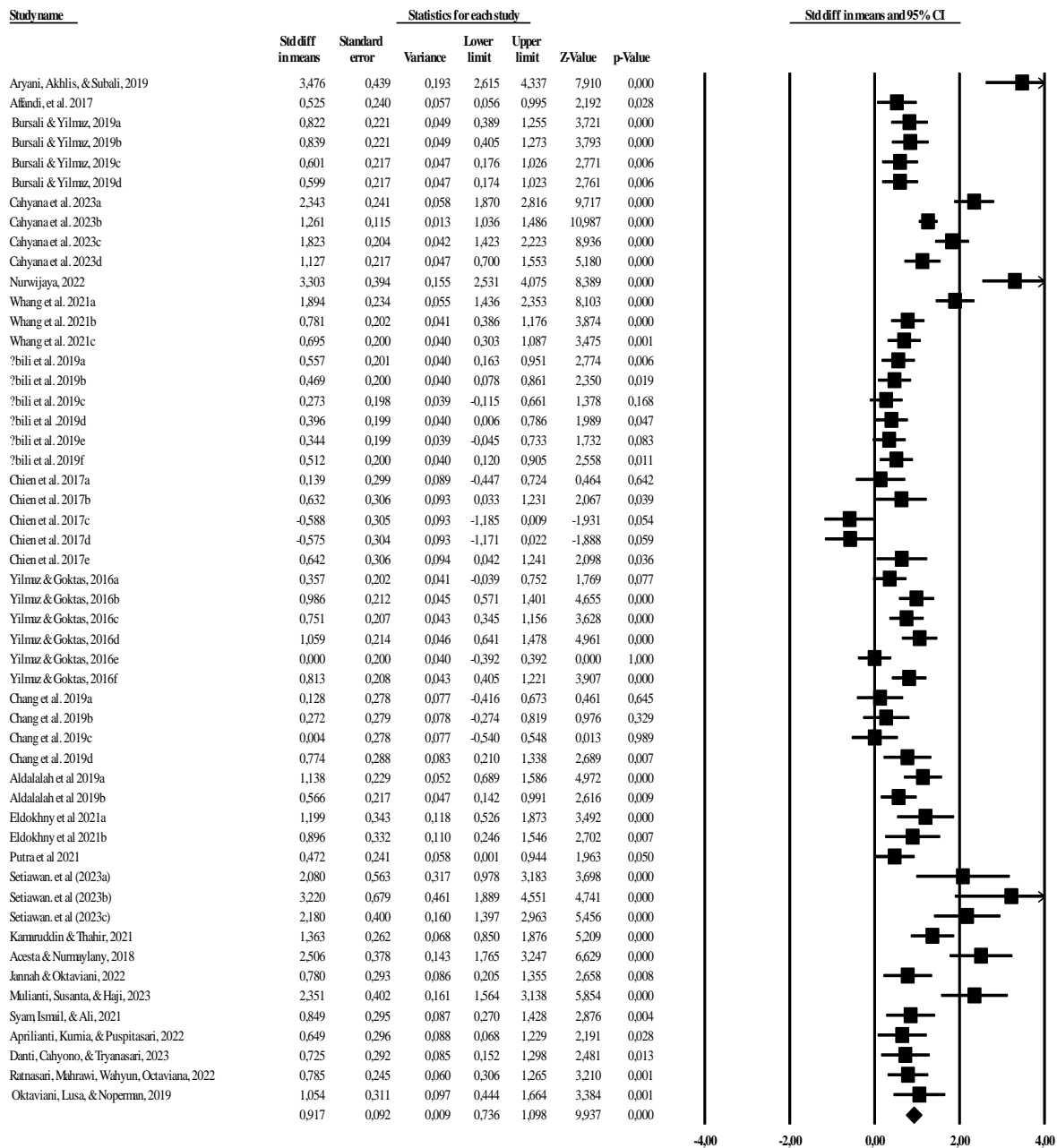
Ukuran efek dipilih sebagai parameter untuk mengestimasi populasi. Ukuran efek disini ditetapkan sebagai besarnya pengaruh integrasi AR dalam pendidikan terhadap hasil belajar siswa. Dalam penelitian ini program CMA versi 3 (*Comprehensive Meta-Analysis*) dipakai untuk membantu perhitungan ukuran efek tiap studi, termasuk menemukan data statistik seperti nilai-p, statistik Q, dan interval kepercayaan, plot corong, serta grafik batang daun. Persamaan Hedges 'g' dipilih karena beberapa sampel dianggap berukuran kecil dengan interpretasi ukuran efek didasarkan pada klasifikasi Cohen dkk. (2018) yaitu, kurang dari 0,2 (diabaikan), 0,2 hingga 0,5 (efek kecil), 0,5 hingga 0,8 (efek sedang), 0,8 hingga 1,3 (efek besar), dan lebih dari 1,3 (efek sangat besar). Model efek acak dipilih setelah memenuhi syarat heterogenitas. Keputusan diambil dengan mengamati nilai p. Jika p-value < 0,05 ukuran efek tiap studi heterogen yang berarti bahwa ukuran efek antara studi atau kelompok studi mungkin tidak mengukur parameter populasi yang sama (Borenstein dkk., 2009).

Tahap selanjutnya yaitu memeriksa bias publikasi untuk mencegah kesalahan penyajian temuan (Juandi & Tamur, 2020). Bias publikasi tersebut dimungkinkan karena fakta ilmiah bahwa 6% para peneliti jarang menerbitkan penelitian yang tidak signifikan (Cooper, 2017) sehingga mengakibatkan ukuran efek agregat bisa saja dilebih-lebihkan (Park & Hong, 2016; Juandi, Kusumah, dkk., 2022). Pemeriksaan bias publikasi ini dilakukan dengan memeriksa plot corong, dan prosedur trim dan fill digunakan untuk menilai dampak bias publikasi (Borenstein dkk., 2009).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh keseluruhan penggunaan AR dalam pendidikan dimana ukuran efek sebagai parameter penelitian. Kemudian penelitian ini dilanjutkan dengan memeriksa keterkaitan variabel kategori dengan ukuran efek studi. Ini akan menjawab variasi hasil antar studi dimoderasi oleh variabel katogori yaitu *subject matters*. Pertama diutarakan hasil secara umum untuk mencapai tujuan pertama. Dari hasil penyaringan data, terdapat 52

perbandingan independen yang dimasukkan dalam analisis. Gambar 2 menyajikan plot hutan penelitian yang dieksplor dari CMA.



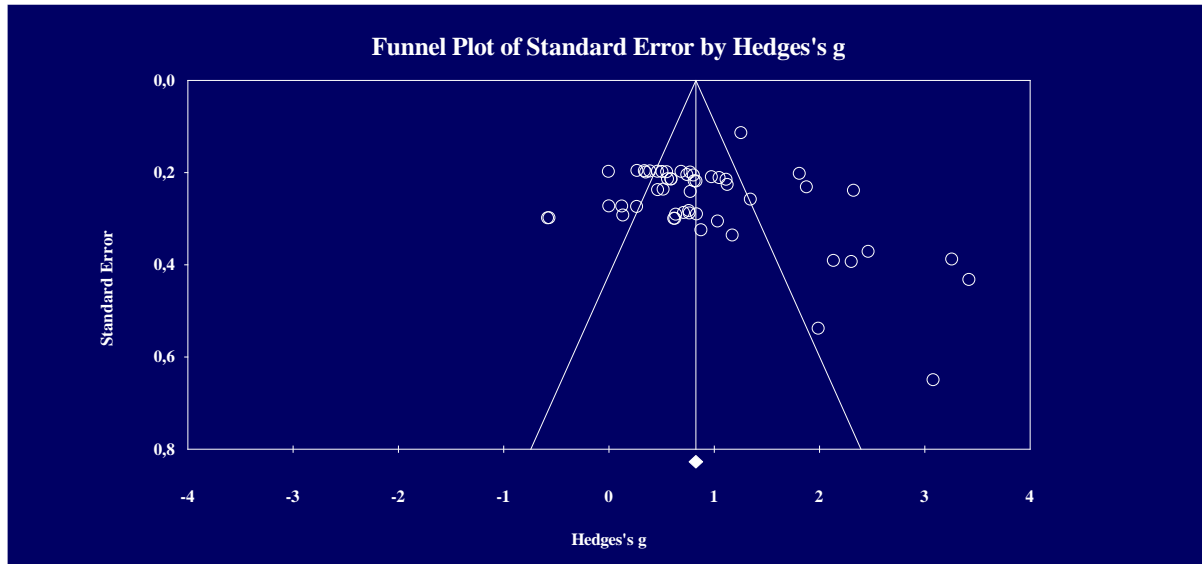
Gambar 2. Plot Hutan Penelitian

Berdasarkan Gambar 2, terlihat adanya tingkat kepercayaan yang luas dan tingkat respons yang tidak konsisten. Ukuran efek tiap studi terlihat tidak dalam satu garis lurus menunjukkan heterogen. Secara statistik hal ini perlu diperiksa agar metode estimasi sesuai dengan asumsi awal. Tabel 1 menyajikan ringkasan analisis keseluruhan untuk menjawab pertanyaan 1 juga untuk menentukan metode estimasi.

Tabel 1. Hasil Analisis Data Keseluruhan Menurut Model Efek Acak

Model	N	Hedges's g	Standard error	Test of null		Q	P
				Z-value	P-value		
Fixed-effects	52	0,82	0,03	25,04	0,00	373,9	0,00
Random-effects	52	0,91	0,09	9,92	0,00	3	0,00

Berdasarkan Tabel 1, nilai $P < 0$ yang berarti ukuran efek tiap studi heterogen. Artinya metode estimasi yang dipilih sesuai dengan model random effect. Dari hasil ini, secara keseluruhan ukuran efek studi adalah 0,91 yang diterima sebagai efek besar menurut kategori Cohen dkk. (2018). Kedua, pemeriksaan bias publikasi dilakukan menggunakan plot corong. Gambar 3 menyajikan plot corong penelitian yang di eksplor dari aplikasi CMA.



Gambar 3. Plot Corong Penelitian

Berdasarkan Gambar 3, terlihat bahwa bentuk penyebaran ukuran efek tidak simetris. Oleh sebab itu, prosedur pemeriksaan terhadap dampak bias perlu dilakukan dengan meneliti *Trim and Fill*. Gambar 4 menyajikan hasil *Trim and Fill* yang dieksplor dari aplikasi CMA.

Duval and Tweedie's trim and fill								
	Fixed Effects			Random Effects			Q Value	
	Studies Trimmed	Point Estimate	Lower Limit	Upper Limit	Point Estimate	Lower Limit	Upper Limit	
Observed values		0,82535	0,76075	0,88995	0,90664	0,72761	1,08568	373,92989
Adjusted values	0	0,82535	0,76075	0,88995	0,90664	0,72761	1,08568	373,92989
Look for missing studies where?								
<input type="radio"/> Not specified								
<input checked="" type="radio"/> To left of mean								
<input type="radio"/> To right of mean								
Look for missing studies using which model?								
<input type="radio"/> Not specified								
<input checked="" type="radio"/> Fixed effect model								
<input type="radio"/> Random effects model								

Gambar 4. Trim and Fill Results

Gambar 4 menampilkan uji trim dan fill dari kiri dan kanan menurut model efek acak. Terlihat bahwa berdasarkan model efek acak, estimasi titik dan interval kepercayaan 95% untuk studi gabungan adalah 0,90664 (dibulatkan 0,91). Menggunakan metode pangkas dan isi, nilai-nilai ini tidak berubah. Ini artinya tidak ada dampak bias publikasi terhadap hasil penelitian ini. Dengan demikian, ukuran efek keseluruhan studi yang ditemukan 0,91 dan diterima sebagai efek besar dapat digunakan untuk mengestimasi populasi.

Kedua penelitian ini mempertimbangkan *subject matters* sebagai variabel kategori. Ringkasan hasil analisis dituangkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ringkasan Hasil Analisis Variabel Kategori

Variabel	Kategori	N	Hedge's g	(Qb)	Heterogeneity df(Q)	P
<i>Subject Matters</i>	Biologi	3	1,35			
	Kimia	3	1,35			
	Bahasa	10	0,66			
	Matematika	13	0,68	66,24	6	0,00
	IPA	13	0,81			
	Fisika	6	0,52			
	Ilmu Sosial	4	0,49			

Hasil analisis memberikan ukuran efek keseluruhan sebagai 0,91 yang dikategorikan sebagai efek besar menurut Cohen dkk. (2018). Hasil ini tidak berbeda jauh dengan studi sebelumnya dimana rata-rata ukuran efek studi tentang pengaruh penggunaan AR dalam pendidikan ada pada kisaran 0,6 hingga 0,8 (mis., (Lin & Yu, 2023; Yilmaz & Batdi, 2021)). Studi ini juga mendukung studi sebelumnya bahwa bahwa integrasi AR pada lingkungan pendidikan membantu meningkatkan prestasi akademik siswa dalam lingkungan pembelajaran kolaboratif, serta meningkatkan retensi dan kemampuan mereka untuk menerjemahkannya dalam lingkungan lain (Cahyana dkk., 2023; Silva dkk., 2022; Whang dkk., 2021). Hasil analisis juga membuktikan keunggulan kelompok eksperimen secara umum tidak saja dari sisi kognitif namun juga dari sisi motivasi siswa (mis, Atalay, 2022; Djibril & Çakir, 2023; Gopalan dkk., 2015), perkembangan kognitif (Yildiz, 2022), kolaborasi siswa (Costa dkk., 2020), dan pengalaman belajar mereka (Jesionkowska dkk., 2020; Reeves dkk., 2021). Dengan demikian, hasil ini mendukung asumsi teoritis sebelumnya bahwa teknologi *immersive augmented reality* dapat meningkatkan kualitas pendidikan (Djibril & Çakir, 2023; Yadav & Gupta, 2023). AR juga dapat membantu siswa untuk meningkatkan fokus mereka melalui aktivitas yang menyenangkan dan pengalaman yang mendalam (Cardenas-Valdivia dkk., 2023; Samala & Amanda, 2023). Integrasi AR juga memberikan kepuasan kepada siswa dengan berbagai konten yang menarik (Karagozlu dkk., 2019).

Berdasarkan hasil analisis variabel kategori, sebagaimana yang terlihat pada Tabel 2, menunjukkan bahwa *subject matters* terkait dengan ukuran efek studi ($P=0,00<0,05$). Hal ini memperlihatkan bahwa variasi hasil studi diantaranya disebabkan oleh perbedaan *subject matters*. Dari hasil analisis nampak bahwa integrasi AR paling banyak diterapkan untuk bidang matematika (25%) dan IPA (25%).

Selanjutnya, ukuran efek tertinggi terlihat untuk kelompok atau bidang Biologi dan Kimia. Hasil ini memberikan petunjuk kepada para guru, dosen, praktisi dan pemangku kepentingan untuk mengintegrasikan penerapan AR dengan mempertimbangkan *subject matters*. Namun hasil ini masih lemah dalam ukuran studi pada masing-masing kategori *subject matters* yang berbeda-beda. Jelas bahwa hasil ini masih bersifat sementara atau fluktuatif dan membutuhkan verifikasi lebih lanjut dengan melakukan penelitian lanjutan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis 52 sampel independen dari 29 studi primer dan menemukan bahwa penggunaan AR di bidang pendidikan berpengaruh besar terhadap hasil belajar siswa dari segi kognitif, sikap dan motivasi mereka. Peneliti ini juga memperlihatkan bahwa *subject matters* terbukti sebagai variabel penjelas yang mempengaruhi ukuran efek keseluruhan studi. Hasil ini berguna bagi literatur, guru, dosen dan pemangku kepentingan untuk mengintegrasikan penggunaan AR dalam bidang pendidikan dengan mempertimbangkan perbedaan *subject matters*. Namun temuan ini masih fluktuatif karena keterbatasan data bata basis data *online* dimana masih banyak studi terkait yang tidak bisa diunduh terutama terbitan dari IEEE yang mesti terhubung melalui afiliasi masing-masing.

REFERENSI

- Aldalalah, O., Ababneh, Z. W. M., Bawaneh, A. K., & Alzubi, W. M. M. (2019). Effect of Augmented Reality and Simulation on the Achievement of Mathematics and Visual Thinking Among Students. In *International Journal of Emerging Technologies in Learning* (Vol. 14, Issue 18, pp. 164–185). <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i18.10748>
- Altinpulluk, H. (2019). Determining the Trends of Using Augmented Reality in Education between 2006-2016. *Education and Information Technologies*, 24(2), 1089–1114. <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9806-3>
- Ashwini, K. B., GopalKrishna, H. D., Akhil, S., & Pattanshetti, A. D. (2022). Immersive Learning About IC-Engine Augmented Reality. In S. Aurelia & S. Paiva (Eds.), *Immersive Technology in Smart Cities* (2nd ed., Issue 1, pp. 1–14). Springer Innovations in Communication and Computing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66607-1_2
- Atalay, N. (2022). Augmented Reality Experiences of Preservice Classroom Teachers in Science Teaching. *International Technology and Education Journal*, 6(1), 28–42.
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2009a). *Introduction to Meta-Analysis*. John Wiley and Son Ltd. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14908-0_2
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2009b). *Introduction to Meta-Analysis* (Issue January). A John Wiley and Sons, Ltd., Publication. <https://doi.org/10.1002/9780470743386>
- Borenstein, M., Hedges, L. V, & Rothstein, H. R. (2009). *Introduction Meta-Analysis* (Issue January). John Wiley & Sons.
- Bower, M., Howe, C., McCredie, N., Robinson, A., & Grover, D. (2014). Augmented Reality in Education - Cases, Places and Potentials. *Educational Media International*, 51(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/09523987.2014.889400>
- Buchner, J., & Kerres, M. (2023). Media Comparison Studies Dominate Comparative Research on Augmented Reality in Education. *Computers and Education*, 195(August 2022), 104711. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104711>
- Cahyana, U., Roland, L., Lestari, I., Irwanto, I., & Suroso, J. S. (2023). Improving Students' Literacy and Numeracy Using Mobile Game-Based Learning with Augmented Reality in Chemistry and Biology. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, 17(16), 4–15. <https://doi.org/10.3991/ijim.v17i16.42377>
- Cardenas-Valdivia, J., Flores-Alvines, J., Iparraguirre-Villanueva, O., & Cabanillas-Carbonell, M. (2023). Augmented Reality for Quechua Language Teaching-Learning: A Systematic Review. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 17(6), 116–138. <https://doi.org/10.3991/ijim.v17i06.37793>

- Chang, K. E., Zhang, J., Huang, Y. S., Liu, T. C., & Sung, Y. T. (2019). Applying Augmented Reality in Physical Education on Motor Skills Learning. *Interactive Learning Environments*, 28(6), 685–697. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1636073>
- Chien, Y. C., Su, Y. N., Wu, T. T., & Huang, Y. M. (2017). Enhancing Students' Botanical Learning by using Augmented Reality. *Universal Access in the Information Society*, 18(2), 231–241. <https://doi.org/10.1007/s10209-017-0590-4>
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2017). *Research Methods in Education* (8th ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315456539>
- Cooper, H. M. (2017). *Research Synthesis and Meta-Analysis : A Step-by-Step Approach* (Fifth). SAGE Publications. <https://doi.org/10.4135/9781071878644>
- Costa, M. C., Manso, A., & Patrício, J. (2020). Design of a Mobile Augmented Reality Platform with Game-Based Learning Purposes. *Information (Switzerland)*, 11(3), 1–20. <https://doi.org/10.3390/info11030127>
- Demitriadou, E., Stavroulia, K. E., & Lanitis, A. (2020). Comparative Evaluation of Virtual and Augmented Reality for Teaching Mathematics in Primary Education. *Education and Information Technologies*, 25(1), 381–401. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-09973-5>
- Djibril, J. H., & Çakir, H. (2023). Students' Opinions on the Usage of Mobile Augmented Reality Application in Health Education. *Journal of Learning and Teaching in Digital Age*, 8(1), 10–24. <https://doi.org/10.53850/joltida.1076286>
- Eldokhny, A. A., & Drwish, A. M. (2021). Effectiveness of Augmented Reality in Online Distance Learning at the Time of the COVID-19 Pandemic. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 16(9), 198–218. <https://doi.org/10.3991/ijet.v16i09.17895>
- Franzen, M. (2020). Meta-analysis. In H. V. Zeigler & T. . Shackelford (Eds.), *Encyclopedia of Personality and Individual Differences* (p. 5925). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24612-3_1326
- Gopalan, V., Zulkifli, A. N., Mohamed, N. F. F., Alwi, A., Che Mat, R., Abu Bakar, J. A., & Saidin, A. Z. (2015). Evaluation of E-star: An Enhanced Science Textbook using Augmented Reality Among Lower Secondary School Students. *Jurnal Teknologi*, 77(29), 55–61. <https://doi.org/10.11113/jt.v77.6813>
- Jesionkowska, J., Wild, F., & Deval, Y. (2020). Education Sciences Active Learning Augmented Reality for STEAM Education — A Case Study. *Educayion Sciences*, 10(8), 1–15.
- Juandi, D., Kusumah, Y. S., & Tamur, M. (2022). A Meta-Analysis of the Last Two Decades of Realistic Mathematics Education Approaches. *International Journal of Instruction*, 15(1), 381–400. <https://doi.org/10.29333/iji.2022.15122a>
- Juandi, D., Suparman, Martadiputra, B. A. P., Tamur, M., & Hasanah, A. (2022). Does Mathematics Domain Cause the Heterogeneity of Students' Mathematical Critical Thinking Skills through Problem-Based Learning? A Meta-Analysis. *AIP Conference Proceedings*, 2468(December). <https://doi.org/10.1063/5.0102714>
- Juandi, D., & Tamur, M. (2020). *Pengantar Analisis Meta* (1st ed.). UPI PRESS.
- Juandi, D., Tamur, M., Martadiputra, B. A. P., Suparman, & Kurnila, V. S. (2022). A Meta-Analysis of a Year of Virtual-Based Learning Amidst the COVID-19 Crisis : Possible Solutions or Problems ? *AIP Conference Proceedings*, 2468(1), 1–6.
- Juandi, D., Tamur, M., & Suparman. (2023). Formulating Best Practices for Digital Game-Based Learning: A Meta-analysis study. *AIP Conference Proceedings*, 090003(1), 1–7. <https://doi.org/10.1063/5.0155520>

- Kan, A. Ü. (2021). The Effect of using Augmented Reality Based Teaching Material on Students' Academic Success and Opinions. *African Educational Research Journal*, 9(1), 273–289. <https://doi.org/10.30918/aerj.91.21.035>
- Karagozlu, D., Kosarenko, N. N., Efimova, O. V., & Zubov, V. V. (2019). Identifying Students' Attitudes Regarding Augmented Reality Applications in Science Classes. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 14(22), 45–55. <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i22.11750>
- Leitão, R., Rodrigues, J. M. F., & Marcos, A. F. (2014). Game-Based Learning: Augmented Reality in the Teaching of Geometric Solids. *International Journal of Art, Culture and Design Technologies*, 4(1), 63–75. <https://doi.org/10.4018/ijacdt.2014010105>
- Lin, Y., & Yu, Z. (2023). A Meta-Analysis of the Effects of Augmented Reality Technologies in Interactive Learning Environments (2012–2022). *Computer Applications in Engineering Education*, 31(4), 1111–1131. <https://doi.org/10.1002/cae.22628>
- McHugh, M. L. (2012). Lessons in Biostatistics Interrater Reliability: The Kappa Statistic. *Biochemica Medica*, 22(3), 276–282. <https://doi.org/10.11613/BM.2012.031>
- Monfared, M., Shukla, V. K., Dutta, S., & Chaubey, A. (2016). Reshaping Education Through Augmented Reality and Virtual Reality. *Jurnal Penelitian Pendidikan Guru Sekolah Dasar*, 6(August), 128. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4284-5_55
- Mukhtarkyzy, K., Abildinova, G., & Sayakov, O. (2022). The Use of Augmented Reality for Teaching Kazakhstani Students Physics Lessons. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 17(12), 215–235. <https://doi.org/10.3991/ijet.v17i12.29501>
- Nordin, N., Nordin, N. R. M., & Omar, W. (2022). The Efficacy of REV-OPOLY Augmented Reality Board Game in Higher Education. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 17(7), 22–37. <https://doi.org/10.3991/ijet.v17i07.26317>
- Oueida, S., Awad, P., & Mattar, C. (2023). Augmented Reality Awareness and Latest Applications in Education: A Review. *More than One Article*, 18(13), 21–44. <https://doi.org/10.3991/ijet.v18i13.39021>
- Ozdemir, M., Sahin, C., Arcagok, S., & Demir, M. K. (2018). The Effect of Augmented Reality Applications in The Learning Process: A Meta-Analysis Study. *Eurasian Journal of Educational Research*, 2018(74), 165–186. <https://doi.org/10.14689/ejer.2018.74.9>
- Park, S., & Hong, S. (2016). The Empirical Review of Meta-Analysis Published in Korea. *Asia Pacific Education Review*, 17(2), 313–324. <https://doi.org/10.1007/s12564-016-9433-x>
- Pathania, M., Mantri, A., Kaur, D. P., Singh, C. P., & Sharma, B. (2023). A Chronological Literature Review of Different Augmented Reality Approaches in Education. *Technology, Knowledge and Learning*, 28(1), 329–346. <https://doi.org/10.1007/s10758-021-09558-7>
- Pigott, T. D., & Polanin, J. R. (2020). Methodological Guidance Paper: High-Quality Meta-Analysis in a Systematic Review. *Review of Educational Research*, 90(1), 24–46. <https://doi.org/10.3102/0034654319877153>
- Putra, A. K., Sumarmi, A. S., Fajrilia, A., Islam, M. N., & Yembuu, B. (2021). Effect of Mobile-Augmented Reality (MAR) in Digital Encyclopedia on The Complex Problem Solving and Attitudes of Undergraduate Student. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 16(7), 119–134. <https://doi.org/10.3991/ijet.v16i07.21223>
- Ratnawati, N., Wahyuningtyas, N., Habibi, M. M., Bashofi, F., & Shaharom, M. S. N. (2022). Development of Augmented Reality Practicum Modules to Grow Independent Learning in Cultural Anthropology Courses. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 16(22), 59–74. <https://doi.org/10.3991/ijim.v16i22.36161>
- Reeves, L. E., Bolton, E., Bulpitt, M., Scott, A., Tomey, I., Gates, M., & Baldock, R. A. (2021). Use of Augmented Reality (Ar) to Aid Bioscience Education and Enrich Student

- Experience. *Research in Learning Technology*, 29(1063519), 1–15. <https://doi.org/10.25304/rlt.v29.2572>
- Romano, M., Díaz, P., & Aedo, I. (2020). Empowering Teachers to Create Augmented Reality Experiences: The Effects on the Educational Experience. *Interactive Learning Environments*, 0(0), 1–18. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1851727>
- Samala, A. D., & Amanda, M. (2023). Immersive Learning Experience Design (ILXD): Augmented Reality Mobile Application for Placing and Interacting with 3D Learning Objects in Engineering Education. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 17(5), 22–35. <https://doi.org/10.3991/ijim.v17i05.37067>
- Schmidt, F. L., & Hunter, J. E. (2015). *Methods of Meta-Analysis: Correcting Error and Bias in Research Findings* (Third). 55 City Road, London: SAGE Publications, Ltd. <https://doi.org/10.4135/9781483398105>
- Silva, A. C., Calderon, A. R., Retuerto, M. G., & Andrade-Arenas, L. (2022). Application of Augmented Reality in Teaching and Learning in Engineering Programs. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 16(15), 112–124. <https://doi.org/10.3991/ijim.v16i15.31695>
- Sun, M., Wu, X., Fan, Z., & Dong, L. (2019). Augmented Reality Based Educational Design for Children. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 14(3), 51–60. <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i03.9757>
- Sural, I. (2018). Augmented Reality Experience: Initial Perceptions of Higher Education Students. *International Journal of Instruction*, 11(4), 565–576. <https://doi.org/10.12973/iji.2018.11435a>
- Tamur, M. (2021). A Meta-Analysis of the Past Decade of Mathematics Learning Based on the Computer Algebra System (CAS). In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1882, Issue 1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1882/1/012060>
- Tamur, M., Fedi, S., Sennen, E., Marzuki, Nurjaman, A., & Ndiung, S. (2021). A Meta-Analysis of the Last Decade STEM Implementation: What to Learn and Where to Go. *Journal of Physics: Conference Series*, 1882(1), 012082. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1882/1/012082>
- Tamur, M., Juandi, D., & Kusumah, Y. S. (2020). The Effectiveness of the Application of Mathematical Software in Indonesia; A Meta-Analysis Study. *International Journal of Instruction*, 13(4), 867–884. <https://doi.org/10.29333/iji.2020.13453a>
- Tamur, M., Juandi, D., & Subaryo. (2023). A Meta-Analysis of the Implementation of the Gamification. *AIP Conference Proceedings*, 090002(1), 1–7. <https://doi.org/10.1063/5.0155519>
- Tamur, M., Ndiung, S., Nurjaman, A., & Pereira, J. (2021). Do Differences in Measured Mathematical Abilities Moderate the Effectiveness of the Realistic Mathematics Education Approach? Meta-Analysis Studies. *Jurnal Math Educator Nusantara*. 7, 12–25.
- Tamur, M., Ndiung, S., Weinhandl, R., Wijaya, T. T., Jehadus, E., & Sennen, E. (2023). Meta-Analysis of Computer-Based Mathematics Learning in the Last Decade Scopus Database: Trends and Implications. *Infinity Journal*, 12(1), 101. <https://doi.org/10.22460/infinity.v12i1.p101-116>
- Tezer, M., Yildiz, E. P., Masalimova, A. R., Fatkhutdinova, A. M., Zheltukhina, M. R., & Khairullina, E. R. (2019). Trends of Augmented Reality Applications and Research Throughout the World: Meta-Analysis of theses, Articles and Papers between 2001-2019 Years. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 14(22), 154–174. <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i22.11768>
- Whang, J. Bin, Song, J. H., Choi, B., & Lee, J. H. (2021). The Effect of Augmented Reality on Purchase Intention of Beauty Products: The Roles of Consumers' Control. *Journal of*

- Business Research*, 133(November 2019), 275–284.
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.057>
- Wijaya, T. T., Cao, Y., Weinhandl, R., & Tamur, M. (2022). A Meta-Analysis of the Effects of E-Books on Students' Mathematics Achievement. *Heliyon*, 8(6), e09432.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09432>
- Yadav, A., & Gupta, K. P. (2023). Scope of the Augmented Reality Applications in Education Sector: Bibliometrik Review. *Inderscience Online*, 15(4), 345–364.
<https://doi.org/10.1504/IJLC.2023.132156>
- Yildiz, E. P. (2022). Augmented Reality Applications in Education: Arloopa Application Example. *Higher Education Studies*, 12(2), 47. <https://doi.org/10.5539/hes.v12n2p47>
- Yilmaz, R. M., & Goktas, Y. (2017). Using Augmented Reality Technology in Storytelling Activities: Examining Elementary Students' Narrative Skill and Creativity. *Virtual Reality*, 21(2), 75–89. <https://doi.org/10.1007/s10055-016-0300-1>
- Yilmaz, Z. A., & Batdi, V. (2021). Meta-Analysis of the Use of Augmented Reality Applications in Science Teaching. *Journal of Science Learning*, 4(3), 267–274.
<https://doi.org/10.17509/jsl.v4i3.30570>
- Zain, F. M., Sailin, S. N., Kasim, M., Karim, A. M. A., & Zameri, N. N. (2022). Developing an Augmented Reality Immersive Learning Design (AILEaD) Framework: A Fuzzy Delphi Approach. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 16(11), 65–90.
<https://doi.org/10.3991/ijim.v16i11.30063>