



INTEGRASI ENERGI TERBARUKAN UNTUK PEMBELAJARAN KEMANDIRIAN ANAK AUTISM SPECTRUM DISORDER BERBASIS SDGs

**Upik Elok Endang Rasmani, Kartika Chrysti Suryandari, Nugroho Agung Pambudi
Pendidikan Guru Pendidikan Anak Usia Dini, Universitas Sebelas Maret, Indonesia**
Corresponding author: upikelok@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan menguji efektivitas integrasi energi terbarukan sebagai media pembelajaran kemandirian anak usia dini dengan *Autism Spectrum Disorder* (ASD) berbasis *Sustainable Development Goals* (SDGs). Menggunakan desain *quasi-experimental pretest-posttest control group*, penelitian melibatkan 60 anak ASD usia 4-6 tahun di Gugus II Aster Kota Surakarta yang dibagi menjadi kelompok eksperimen (n=30) dan kontrol (n=30). Kelompok eksperimen mendapat pembelajaran berbasis integrasi energi terbarukan selama 12 minggu, sedangkan kelompok kontrol mendapat pembelajaran konvensional. Data dikumpulkan menggunakan Skala Kemandirian Anak ASD dalam Konteks Hemat Energi (SKAAHE) dan dianalisis dengan *Independent Sample t-Test*. Hasil menunjukkan perbedaan sangat signifikan ($p<0.05$) dengan *effect size* sangat besar (Cohen's $d=2.92$). Kelompok eksperimen mengalami peningkatan skor kemandirian 52.8% dibandingkan 11.8% kelompok kontrol. Temuan ini relevan dengan pencapaian *Sustainable Development Goals*, khususnya SDGs 4 melalui penyediaan pembelajaran inklusif dan bermutu yang mendorong keterampilan hidup anak berkebutuhan khusus, SDGs 7 melalui internalisasi perilaku penggunaan energi bersih dan berkelanjutan sejak usia dini, serta SDGs 10. melalui penguatan kesempatan yang setara bagi anak ASD untuk mengembangkan kapasitas fungsional dan partisipasi sosial secara mandiri.

Kata Kunci: *autism spectrum disorder; energi terbarukan; paud inklusif; sustainable development goals*

ABSTRACT

This study aims to develop and test the effectiveness of integrating renewable energy as learning medium for independence in young children with Autism Spectrum Disorder (ASD) based on the Sustainable Development Goals (SDGs). Using quasi-experimental pretest-posttest control group design, the study involved 60 children with ASD aged 4-6 years at Gugus II Aster Surakarta City, divided into experimental group (n=30) and control group (n=30). The experimental group received learning based on renewable energy integration for 12 weeks, while the control group received conventional learning. Data were collected using the ASD Child Independence Scale in the Context of Energy Conservation (SKAAHE) and analyzed with Independent Sample t-test. The results showed very significant difference ($p<0.05$) with huge effect size (Cohen's $d=2.92$). The experimental group experienced 52.8% increase in independence scores compared to 11.8% in the control group. These findings are relevant to the achievement of the Sustainable Development Goals, particularly SDG 4 of inclusive and quality learning that promotes life skills for children with special needs, SDG 7 through the internalization of clean and sustainable energy use from an early age, and SDG 10 through strengthening equal opportunities for children with ASD to develop functional capacities and independent social participation.

Keywords: *autism spectrum disorders; renewable energy; independence; inclusive early childhood education; sustainable development goals*

PENDAHULUAN

Autism Spectrum Disorder, selanjutnya disebut sebagai ASD, merupakan gangguan perkembangan neurologis yang memengaruhi komunikasi, interaksi sosial, dan pola perilaku anak (Honda et al., 2024). Prevalensi ASD terus meningkat, dengan estimasi 1 dari 100 anak usia dini menurut World Health Organization (Rajotte et al., 2023). Di Indonesia, peningkatan jumlah anak terdiagnosis ASD menuntut perhatian serius

terhadap pendidikan inklusif yang berkualitas, khususnya pada jenjang Pendidikan Anak Usia Dini (PAUD) sebagai fondasi perkembangan. Anak usia dini dengan ASD memerlukan intervensi dini yang intensif untuk mengoptimalkan perkembangan mereka, karena periode emas (0-6 tahun) merupakan masa kritis pembentukan koneksi neural dan pembelajaran keterampilan dasar yang akan memengaruhi kehidupan mereka di masa depan (Jamilah & Mahendra, 2025).

Kemandirian merupakan aspek fundamental dalam perkembangan anak usia dini dengan ASD (Shalehah & Suminar, 2023). Steinberg (2002) mengidentifikasi bahwa kemandirian mencakup kemampuan melakukan aktivitas kehidupan sehari-hari, membuat keputusan sederhana, dan berinteraksi dengan lingkungan. Pada anak usia dini dengan ASD, pengembangan kemandirian menghadapi tantangan unik karena keterbatasan dalam komunikasi, kesulitan memahami instruksi verbal, dan hambatan dalam generalisasi keterampilan (Romadhoni, 2024). Intervensi dini yang tepat dapat secara signifikan meningkatkan *trajectory* perkembangan anak, namun memerlukan media pembelajaran yang konkret, visual, dan bermakna sesuai karakteristik pembelajaran anak usia dini dengan ASD (Fatmawati & Satiningsih, 2024).

Media pembelajaran memegang peranan krusial dalam pendidikan anak usia dini dengan ASD. Sholihah (2024) menekankan pentingnya struktur visual dan pembelajaran berbasis pengalaman konkret. Anak usia dini dengan ASD belajar paling efektif melalui pengalaman multisensor yang melibatkan manipulasi objek nyata, memberikan umpan balik langsung, dan relevan dengan kehidupan sehari-hari. Energi terbarukan sebagai media pembelajaran memenuhi kriteria tersebut melibatkan objek yang dapat dilihat, disentuh, dan dioperasikan, sambil menghasilkan dampak yang dapat diamati langsung, seperti lampu yang menyala saat panel surya terkena Cahaya (Masykuroh & Fatmilatun, 2022).

Teori *experiential learning* dari Kolb (1984) menyatakan bahwa pembelajaran dimulai dari pengalaman konkret. Bagi anak usia dini dengan ASD, interaksi langsung dengan teknologi energi terbarukan sederhana seperti memutar turbin angin mini atau mengamati panel surya menjadi fondasi pembelajaran yang kuat. Pendekatan *Applied Behavior Analysis* (ABA) pada anak dengan ASD merupakan intervensi berbasis perilaku yang menekankan pemecahan keterampilan ke dalam unit tugas terstruktur (*task analysis*) serta pemberian penguatan positif (*reinforcement*) secara sistematis. Melalui pengalaman belajar yang konkret dan berulang, seperti membiasakan anak mematikan lampu setelah digunakan atau mencuci tangan secara mandiri melalui tahapan yang jelas dan diperkuat dengan pujian atau *reward* sederhana, perilaku adaptif anak dapat dibangun secara bertahap dan terukur (Anderson, 2023).

Berdasarkan teori *experiential learning*, pembelajaran hemat energi diposisikan sebagai proses belajar yang berangkat dari pengalaman konkret anak melalui keterlibatan langsung dalam aktivitas sehari-hari. Aktivitas tersebut dapat dipecah ke dalam langkah-langkah sederhana yang dikuasai secara bertahap, mulai dari praktik mematikan lampu hingga mengeksplorasi prinsip kerja energi sederhana, sehingga pemahaman anak terbentuk melalui pengalaman langsung yang bermakna. (Camacho et al., 2023; Gulbinas & Petuhova, 2019). Dalam penelitian ini, aktivitas berbasis integrasi energi terbarukan berupa penggunaan panel surya mini sebagai media pembelajaran fungsional terbukti menstimulasi motorik, koordinasi bilateral, pemahaman sebab-akibat, serta keterampilan sosial anak dengan ASD melalui

keterlibatan langsung dan kerja sama kelompok (Rumahorbo & Nursadi, 2023).

Sustainable Development Goals, selanjutnya disebut sebagai SDGs, menempatkan pendidikan, energi, dan inklusi sosial sebagai pilar utama pembangunan berkelanjutan (Purnomo et al., 2023). Dalam konteks penelitian ini, integrasi pembelajaran energi terbarukan dengan pendidikan anak usia dini bagi anak dengan ASD dimaknai sebagai penggabungan aktivitas pembelajaran fungsional berbasis energi bersih ke dalam rutinitas belajar sehari-hari anak. Integrasi tersebut berkontribusi pada peningkatan kemandirian anak yang dalam penelitian ini dipahami sebagai kemampuan melakukan aktivitas fungsional secara mandiri, meliputi kemandirian perilaku, pengambilan keputusan sederhana, serta regulasi diri dalam konteks pembelajaran.

Relevansi integrasi ini sejalan dengan SDG nomor 4 yang menekankan pendidikan inklusif dan bermutu bagi anak dengan disabilitas, SDG nomor 7 yang mendorong pembentukan perilaku hemat energi dan pemanfaatan energi terbarukan sejak usia dini, serta SDG nomor 10 yang berfokus pada pengurangan ketimpangan melalui pemberdayaan kelompok rentan (Burke & Melgar, 2022; Given et al., 2023; Saini et al., 2023). Urgensi pengembangan kemandirian ini didukung oleh temuan empiris yang menunjukkan bahwa anak dengan ASD cenderung mengalami keterbatasan dalam keterampilan fungsional sehari-hari apabila tidak memperoleh stimulasi terstruktur dan berkelanjutan, sehingga pendidikan berbasis pengalaman konkret menjadi strategi penting untuk memperkuat kemandirian dan partisipasi sosial mereka (Jennische & Sörbom, 2023).

Pembelajaran berbasis fungsi melalui pendekatan *project-based learning* yang didukung teknologi terbukti efektif dalam mengembangkan keterlibatan dan keterampilan anak dengan ASD. Pendekatan ini menempatkan anak pada aktivitas proyek yang terstruktur dan bermakna, di mana teknologi berperan sebagai media visual yang dapat diprediksi sehingga meningkatkan *engagement* dan fokus belajar anak ASD (Pennington, 2010). Dalam konteks *project-based learning* yang dimodifikasi, anak tidak hanya memperoleh pengetahuan, tetapi juga mengembangkan keterampilan kolaborasi dan pemecahan masalah melalui aktivitas berbasis tugas nyata yang relevan dengan kehidupan sehari-hari (McConkey et al., 2020). Sejalan dengan itu, pembelajaran berbasis fungsi menekankan keterkaitan langsung antara konsep dan aplikasi praktis, sehingga pengalaman belajar menjadi lebih bermakna dan berkontribusi pada peningkatan kemandirian anak ASD (Brito et al., 2022).

Penelitian yang mengintegrasikan pembelajaran energi, khususnya integrasi energi terbarukan, ke dalam pendidikan anak usia dini berkebutuhan khusus masih menunjukkan keterbatasan yang signifikan dalam literatur. Sebagian besar kajian terdahulu berfokus pada pendidikan energi bagi anak tipikal atau pada jenjang pendidikan dasar dan menengah, sementara studi yang secara khusus menelaah integrasi pembelajaran energi dengan pengembangan keterampilan fungsional dan kemandirian anak dengan ASD pada usia dini masih relatif jarang ditemukan. Di Indonesia, kajian empiris yang menelaah keterkaitan antara intervensi pendidikan inklusif dan pencapaian SDGs masih relatif terbatas, sebagaimana tercermin dari dominannya penelitian yang berfokus pada implementasi kebijakan inklusi secara normatif atau deskriptif (Gularso, 2021; Siahaan et al., 2023), sementara studi berbasis intervensi yang mengaitkan praktik pembelajaran konkret dengan target SDGs. (Ernst et al., 2022; Leite, 2022), khususnya pada pendidikan anak usia dini berkebutuhan

khusus, masih jarang dilaporkan dalam publikasi ilmiah nasional maupun internasional.

Gugus II Aster Kota Surakarta menaungi sepuluh PAUD inklusif dengan 45 anak ASD, 25 guru, dan 45 keluarga. Observasi lapangan dilaksanakan secara terstruktur pada sepuluh PAUD inklusif di bawah naungan Gugus II Aster Kota Surakarta yang melibatkan 45 anak dengan ASD, 25 guru, dan 45 keluarga. Proses observasi dilakukan melalui pengamatan langsung terhadap fasilitas pembelajaran, praktik pengajaran guru, serta keterlibatan orang tua menggunakan lembar observasi terstandar, yang menunjukkan bahwa 70% fasilitas belum mengintegrasikan edukasi energi terbarukan, 90% guru belum memperoleh pelatihan pembelajaran hemat energi, dan 75% orang tua belum memahami praktik hemat energi dalam konteks pembelajaran anak.

Pembelajaran keterampilan hidup pada anak usia dini berkebutuhan khusus umumnya masih diposisikan sebagai latihan aktivitas sehari-hari yang terpisah dari konteks literasi energi, sehingga konsep hemat energi belum secara sistematis dikaitkan dengan pengembangan kemandirian fungsional anak. Rendahnya keterlibatan orang tua dalam penguatan praktik hemat energi di rumah serta keterbatasan sarana pembelajaran adaptif semakin memperlemah keberlanjutan intervensi di lingkungan keluarga (Brito et al., 2022; Jeremić et al., 2022). Dalam konteks lokal, Kota Surakarta merefleksikan tantangan tersebut, di mana tingkat konsumsi energi rumah tangga relatif tinggi sementara kesadaran masyarakat terhadap perilaku hemat energi dan pemanfaatan energi terbarukan masih terbatas, sebagaimana dilaporkan dalam kajian kebijakan dan laporan energi nasional (Burke & Melgar, 2022; Negara, 2025).

Kondisi tersebut menegaskan urgensi penelitian yang mengembangkan dan menguji efektivitas integrasi energi terbarukan sebagai media pembelajaran, yaitu sumber dan perangkat energi sederhana yang dimanfaatkan secara langsung dalam aktivitas belajar anak, untuk menstimulasi kemandirian fungsional anak dengan ASD berbasis kerangka SDGs. Dalam penelitian ini, energi terbarukan diperlakukan sebagai media pembelajaran karena berfungsi sebagai sarana konkret yang menjembatani konsep abstrak dengan pengalaman langsung anak, sehingga mendukung pembentukan keterampilan mandiri, pengembangan media adaptif, serta perumusan model pembelajaran inklusif dan rekomendasi kebijakan pendidikan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan desain *quasi-experimental pretest-posttest control group design*. Desain ini dipilih karena karakteristik subjek penelitian berupa anak usia dini dengan ASD yang tidak memungkinkan dilakukan dengan acak, namun tetap mempertahankan validitas internal melalui penggunaan kelompok kontrol dan pengukuran *pretest-posttest*. Dalam desain ini, kelompok eksperimen mendapat perlakuan berupa pembelajaran berbasis integrasi energi terbarukan, sedangkan kelompok kontrol mendapat pembelajaran konvensional. Kedua kelompok diukur tingkat kemandirianya sebelum (*pre-test*) dan sesudah (*post-test*) periode intervensi untuk mengetahui efektivitas perlakuan yang diberikan.

Populasi penelitian mencakup seluruh anak usia dini dengan ASD yang terdaftar di PAUD inklusif Gugus II Aster Kota Surakarta, yaitu berjumlah 45 anak. Berdasarkan perhitungan kebutuhan sampel menggunakan rumus Lemeshow dengan tingkat kepercayaan 95% dan *power* 80%, diperoleh kebutuhan minimal 27 anak pada masing-masing kelompok. Dengan mempertimbangkan potensi kehilangan subjek (*dropout*)

sebesar 10%, jumlah sampel ditetapkan menjadi 30 anak untuk kelompok eksperimen dan 30 anak untuk kelompok kontrol, sehingga total sampel berjumlah 60 anak (Lwanga & Lemeshow, 1991). Dikarenakan jumlah populasi di Gugus II Aster tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan sampel pada kedua kelompok, rekrutmen subjek diperluas dengan melibatkan anak ASD dari PAUD inklusif mitra yang memiliki karakteristik serupa. Penentuan kelompok eksperimen dan kontrol dilakukan secara nonacak sesuai karakteristik lembaga. Sampel dipilih menggunakan teknik *purposive sampling* dengan kriteria inklusi anak berusia 4–6 tahun, terdiagnosis ASD ringan hingga sedang (skor CARS 30–36,5), memperoleh persetujuan orang tua, mampu mengikuti instruksi sederhana dengan dukungan visual, serta tidak sedang mengikuti program intervensi sejenis. Kriteria eksklusi meliputi anak dengan disabilitas ganda berat, kondisi kesehatan yang menghambat partisipasi, riwayat kejang tidak terkontrol, atau tingkat kehadiran kurang dari 80%.

Rekrutmen sampel dilakukan melalui koordinasi dengan pihak PAUD inklusif untuk mengidentifikasi anak yang memenuhi kriteria inklusi, diikuti penyampaian informasi penelitian kepada orang tua atau pengasuh utama dan perolehan persetujuan tertulis (*informed consent*). Subjek kemudian dikelompokkan ke dalam kelompok eksperimen dan kontrol menggunakan teknik *matching* berdasarkan skor CARS, usia, jenis kelamin, dan tingkat pendidikan orang tua untuk menjaga homogenitas awal.

Penelitian ini dilaksanakan di sepuluh lembaga PAUD inklusif yang memiliki fasilitas pendukung pembelajaran terintegrasi energi terbarukan. Instrumen utama yang digunakan adalah Skala Kemandirian Anak ASD dalam Konteks Hemat Energi (SKAAHE), yang dikembangkan dengan mengadaptasi kerangka *Vineland Adaptive Behavior Scales* (Sparrow et al., 2016). Instrumen ini terdiri atas 30 butir pernyataan yang mencakup tiga dimensi kemandirian, yaitu kemandirian fungsional, kemandirian kognitif dan kemandirian motorik. Dimensi dan indikator tersebut disusun untuk merefleksikan karakteristik adaptif anak dengan ASD dan merujuk pada pengukuran perilaku adaptif yang relevan dalam konteks pendidikan inklusif (Brito et al., 2022; Sparrow et al., 2016).

Tabel 1. Indikator Instrumen Penelitian

Dimensi Kemandirian	Indikator Operasional	Nomor Instrumen
Kemandirian Fungsional	Melaksanakan aktivitas rutin terkait penggunaan energi secara mandiri	1, 2, 3
	Mengikuti urutan tugas hemat energi sesuai instruksi visual	4, 5, 6
	Menunjukkan tanggung jawab terhadap fasilitas pembelajaran energi	7, 8, 9
Kemandirian Kognitif	Memahami hubungan sebab–akibat dalam penggunaan energi	10, 11, 12
	Membuat pilihan sederhana terkait perilaku hemat energi	13, 14, 15
	Mengenali simbol atau isyarat visual terkait energi	16, 17, 18, 19, 20
Kemandirian Motorik	Menggunakan keterampilan motorik halus dalam aktivitas energi	21, 22, 23, 24
	Menggunakan keterampilan motorik kasar dalam kegiatan proyek	25, 26, 27
	Mengkoordinasikan gerakan tangan secara bilateral	28, 29, 30

Seluruh indikator SKAAHE disusun berdasarkan kerangka perilaku adaptif *Vineland Adaptive Behavior Scales* dan disesuaikan dengan konteks pembelajaran

hemat energi pada anak dengan ASD. Instrumen ini telah melalui uji validitas isi melalui penilaian ahli serta uji validitas empiris dan reliabilitas internal pada tahap uji coba, sehingga hanya item dengan koefisien validitas dan reliabilitas yang memenuhi kriteria yang dipertahankan dalam instrumen final (Sparrow et al., 2016).

Penilaian kemandirian anak dilakukan menggunakan Skala Kemandirian Anak ASD dalam Konteks Hemat Energi (SKAAHE) yang terdiri atas 30 item dan dinilai menggunakan skala Likert 4 poin. Setiap item diamati secara langsung oleh peneliti dan guru pendamping selama pelaksanaan aktivitas pembelajaran berbasis energi terbarukan.

Tabel 2. Skala Penilaian Item Kemandirian

Skor	Kriteria	Deskripsi
1	Tidak Mampu	Anak memerlukan bantuan penuh dalam melakukan aktivitas
2	Mampu dengan Bantuan Banyak	Anak dapat melakukan aktivitas namun memerlukan bantuan atau arahan yang cukup banyak
3	Mampu dengan Bantuan Minimal	Anak dapat melakukan aktivitas dengan sedikit bantuan atau pengingat
4	Mampu Mandiri	Anak dapat melakukan aktivitas secara mandiri tanpa bantuan atau arahan

Tabel 3. Kategori Tingkat Kemandirian Berdasarkan Skor Total

Rentang Skor	Kategori Kemandirian	Percentase
30–52	Kemandirian Sangat Rendah	25%–43%
53–75	Kemandirian Rendah	44%–63%
76–98	Kemandirian Sedang	64%–82%
99–120	Kemandirian Tinggi	83%–100%

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini melibatkan 60 anak usia dini dengan ASD yang terdaftar di lembaga PAUD inklusif Gugus II Aster Kota Surakarta. Subjek penelitian dibagi menjadi dua kelompok yaitu 30 anak pada kelompok eksperimen yang mendapat pembelajaran berbasis integrasi energi terbarukan dan 30 anak pada kelompok kontrol yang mendapat pembelajaran konvensional. Tabel 1 di bawah menunjukkan karakteristik subjek yang terlibat dalam penelitian ini.

Tabel 4. Karakteristik Subjek Penelitian

Karakteristik	Kategori	Jumlah	Percentase
Usia Anak	4 Tahun	18	30%
	5 Tahun	22	37%
	6 Tahun	20	33%
Jenis Kelamin	Laki-Laki	45	75%
	Perempuan	15	25%
Tingkat Keparahan ASD (CARS)	Ringan (30-36)	38	63%
	Sedang (36,5-37)	22	37%
Pendidikan Orang Tua	SD-SMP	12	20%
	SMA	35	58%
	Perguruan Tinggi	13	22%

Uji normalitas data dilakukan menggunakan teknik *Shapiro-Wilk Test* dilakukan untuk mengetahui distribusi data skor kemandirian pada *pre-test* dan *post-test*. Hasil ini

menunjukkan bahwa varians kedua kelompok homogen karena nilai p lebih besar dari 0.05, sehingga asumsi homogenitas varians untuk analisis terpenuhi. Hasil uji normalitas dan homogenitas dapat dilihat melalui tabel di bawah ini.

Tabel 5. Hasil Uji Normalitas dan Homogenitas

Kelompok	Tahapan	Shapiro-Wilk p-value	Levene's Test F	Levene's Test p-value	Kesimpulan
Eksperimen	Pre-test	0.182	1.247	0.268	Normal dan Homogen
	Post-test	0.156	1.385	0.244	Normal dan Homogen
Kontrol	Pre-test	0.194	1.247	0.268	Normal dan Homogen
	Post-test	0.168	1.385	0.244	Normal dan Homogen

Analisis deskriptif menunjukkan gambaran skor kemandirian anak pada kedua kelompok sebelum dan sesudah intervensi. Hasil statistik deskriptif skor kemandirian dapat dilihat melalui tabel di bawah ini.

Tabel 6. Statistik Deskriptif Kemandirian

Kelompok	Tahapan	Statistik				
		Mean	Median	SD	Min.	Maks.
Eksperimen	Pre-test	58.43	58	8.12	42	74
	Post-test	89.27	89	9.45	68	108
Kontrol	Pre-test	57.90	58	7.89	43	73
	Post-test	64.73	65	8.34	48	80

Hasil statistik deskriptif variabel kemandirian kemudian dikategorikan berdasarkan kategori tingkat kemandirian. Distribusi subjek pada kelompok eksperimen menunjukkan perubahan signifikan. Kategorisasi tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 7. Distribusi Kategori Tingkat Kemandirian

Kelompok	Tahapan	Kategori			
		Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi
Eksperimen	Pre-test	13%	77%	10%	0%
	Post-test	0%	7%	67%	27%
Kontrol	Pre-test	17%	73%	10%	0%
	Post-test	7%	73%	20%	0%

Analisis per dimensi memberikan gambaran lebih detail tentang aspek kemandirian yang mengalami perubahan. Dimensi kemandirian fungsional yang terdiri dari 12 item dengan skor maksimal 48 dan skor terendah 12. Selanjutnya, dimensi kemandirian kognitif yang terdiri dari 10 item dengan skor maksimal 40 dan skor terendah 10. Dimensi kemandirian motorik terdiri dari 8 item dengan skor maksimal 32 dan skor terendah 8. Sebaran data per dimensi kemandirian dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 8. Analisis per Dimensi Kemandirian

Dimensi	Kelompok	Mean	Gain
---------	----------	------	------

		Pre-test	Post-test	Percentase (%)
Fungsional (48)	Pre-test	23.67	36.13	12.46
	Post-test	23.40	26.20	2.80
Kognitif (40)	Pre-test	19.27	29.53	10.26
	Post-test	19.10	21.17	2.07
Motorik (32)	Pre-test	15.50	23.60	8.10
	Post-test	15.40	17.97	1.97

Hasil penelitian yang disajikan pada tabel-tabel di atas menunjukkan bahwa intervensi berbasis integrasi energi terbarukan memberikan dampak positif yang konsisten pada ketiga dimensi kemandirian, dengan persentase peningkatan yang relatif seimbang di kisaran 52–53%, sedangkan kelompok kontrol hanya mengalami peningkatan minor sekitar 10–13% pada semua dimensi.

Uji homogenitas awal dilakukan untuk memastikan tidak ada perbedaan signifikan antara kelompok eksperimen dan kontrol pada kondisi awal sebelum intervensi. Hasil *Independent Sample t-Test* menunjukkan nilai t sebesar 0.268 dengan p sebesar 0.789 ($p > 0.05$), yang mengindikasikan bahwa tidak ada perbedaan signifikan skor kemandirian antara kedua kelompok pada saat *pre-test*. Hal ini memastikan bahwa kedua kelompok memiliki kondisi awal yang setara dan perbedaan yang muncul setelah intervensi dapat diatribusikan pada perlakuan yang diberikan.

Uji perbedaan skor *pretest-posttest* dalam kelompok dilakukan menggunakan *Paired Sample t-Test* untuk mengetahui apakah terdapat peningkatan signifikan dalam masing-masing kelompok. Hasil uji untuk kelompok eksperimen menunjukkan nilai t sebesar 18.432 dengan p sebesar 0.000 ($p < 0.05$), yang mengindikasikan bahwa terdapat perbedaan yang sangat signifikan antara skor *pre-test* dan *post-test*. Kelompok kontrol juga menunjukkan peningkatan signifikan dengan nilai t sebesar 4.127 dan p sebesar 0.000 ($p < 0.05$), namun dengan besaran peningkatan yang jauh lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun kedua kelompok mengalami peningkatan, serta *magnitude* perubahan pada kelompok eksperimen jauh lebih besar.

Skor *gain* dihitung dengan mengurangi skor *post-test* dengan skor *pre-test* untuk masing-masing subjek. Kelompok eksperimen memiliki *mean* skor *gain* 30.84 dengan standar deviasi 9.17, sedangkan kelompok kontrol memiliki *mean* skor *gain* 6.83 dengan standar deviasi 7.25. Hasil *Independent Sample t-Test* menunjukkan nilai t sebesar 11.256 dengan p sebesar 0.000 ($p < 0.05$), yang mengindikasikan bahwa terdapat perbedaan yang sangat signifikan antara skor *gain* kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Dengan demikian, hipotesis nol ditolak dan hipotesis alternatif diterima, yang berarti terdapat perbedaan signifikan tingkat kemandirian anak usia dini dengan ASD antara kelompok yang mendapat pembelajaran berbasis integrasi energi terbarukan dengan kelompok yang mendapat pembelajaran konvensional.

Perhitungan *effect size* menggunakan *Cohen's* menghasilkan nilai *d* sebesar 2.92, yang berarti menunjukkan besaran efek yang sangat besar ($d > 0.8$). Nilai *effect size* ini mengindikasikan bahwa intervensi berbasis integrasi energi terbarukan tidak hanya menghasilkan perbedaan yang secara statistik signifikan, tetapi juga memiliki dampak praktis yang sangat substansial. Dengan *effect size* sebesar 2.92, dapat diinterpretasikan bahwa rata-rata anak pada kelompok eksperimen berada pada persentil ke-99.8 dibandingkan dengan distribusi kelompok kontrol, yang menunjukkan keunggulan intervensi yang luar biasa besar.

Uji perbedaan skor *gain* per dimensi memberikan pemahaman lebih mendalam tentang aspek kemandirian mana yang paling terpengaruh oleh intervensi. Hasil uji perbedaan skor *gain* per dimensi dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 9. Uji Perbedaan Skor *Gain* per Dimensi

Dimensi	t	p-value	Cohen's d	Interpretasi
Fungsional	9.842	0.000	2.55	Efek sangat besar
Kognitif	10.127	0.000	2.62	Efek sangat besar
Motorik	9.315	0.000	2.41	Efek sangat besar

Uji perbedaan skor *gain* per dimensi memberikan pemahaman lebih mendalam tentang aspek kemandirian mana yang paling terpengaruh oleh intervensi. Untuk dimensi kemandirian fungsional, hasil *Independent Sample t-Test* menunjukkan nilai t sebesar 9.842 dengan p sebesar 0.000 dan *Cohen's d* sebesar 2.55, mengindikasikan perbedaan yang sangat signifikan dengan *effect size* sangat besar. Untuk dimensi kemandirian kognitif, nilai t sebesar 10.127 dengan p sebesar 0.000 dan *Cohen's d* sebesar 2.62, juga menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan dengan *effect size* sangat besar. Untuk dimensi kemandirian motorik, nilai t sebesar 9.315 dengan p sebesar 0.000 dan *Cohen's d* sebesar 2.41, kembali menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan dengan *effect size* sangat besar. Ketiga dimensi menunjukkan *effect size* yang relatif seimbang di kisaran 2.4-2.6, mengindikasikan bahwa intervensi memberikan dampak yang komprehensif dan tidak hanya fokus pada satu aspek kemandirian tertentu.

Data observasi aktivitas harian yang dikumpulkan selama 12 minggu intervensi memberikan informasi kualitatif yang memperkaya temuan kuantitatif. Pada kelompok eksperimen, tingkat partisipasi anak dalam aktivitas pembelajaran menunjukkan tren peningkatan yang konsisten. Pada minggu 1-3, rata-rata partisipasi aktif adalah 62.3%, meningkat menjadi 74.7% pada minggu 4-6, 83.5% pada minggu 7-9, dan mencapai 91.2% pada minggu 10-12. Durasi fokus atau attensi anak juga mengalami peningkatan dari rata-rata 18.4 menit pada minggu 1-3 menjadi 42.6 menit pada minggu 10-12. Frekuensi perilaku inisiatif dalam melakukan aktivitas hemat energi tanpa diminta meningkat dari rata-rata 2.1 kejadian per sesi pada minggu awal menjadi 8.7 kejadian per sesi pada minggu akhir. Interaksi sosial positif dengan teman sebaya juga menunjukkan peningkatan, dengan rata-rata 3.2 interaksi per sesi pada minggu awal meningkat menjadi 9.4 interaksi per sesi pada minggu akhir.

Lembar *monitoring* praktik hemat energi di rumah yang diisi orang tua memberikan data tentang generalisasi keterampilan ke lingkungan rumah. Pada kelompok eksperimen, persentase orang tua yang melaporkan anak secara konsisten mematikan lampu saat meninggalkan ruangan meningkat dari 13.3% pada minggu pertama menjadi 76.7% pada minggu ke-12. Persentase anak yang mencabut pengisi daya setelah digunakan meningkat dari 6.7% menjadi 63.3%. Persentase anak yang menggunakan cahaya alami saat siang hari meningkat dari 20% menjadi 83.3%. Data ini mengindikasikan bahwa keterampilan yang dipelajari di sekolah berhasil ditransfer dan diperaktikkan di rumah, yang merupakan indikator penting keberhasilan intervensi mengingat tantangan generalisasi yang umum dialami anak dengan ASD. Sebaliknya, pada kelompok kontrol, data *monitoring* menunjukkan perubahan minimal dengan persentase praktik hemat energi di rumah yang tetap rendah di bawah 20% untuk semua indikator hingga akhir periode penelitian.

Analisis korelasi antara karakteristik anak dan skor *gain* menunjukkan beberapa temuan menarik. Tidak ditemukan korelasi signifikan antara usia anak dengan skor *gain*

($r = 0.124$, $p = 0.516$), mengindikasikan bahwa intervensi efektif untuk rentang usia 4-6 tahun tanpa perbedaan berdasarkan usia. Tingkat keparahan ASD menunjukkan korelasi negatif yang signifikan dengan skor *gain* ($r = -0.418$, $p = 0.021$), yang berarti anak dengan ASD ringan cenderung menunjukkan peningkatan yang lebih besar dibandingkan anak dengan ASD sedang, meskipun kedua kelompok tetap menunjukkan peningkatan yang substansial. Tingkat pendidikan orang tua menunjukkan korelasi positif moderat dengan skor *gain* ($r = 0.367$, $p = 0.046$), mengindikasikan bahwa orang tua dengan pendidikan lebih tinggi cenderung memberikan dukungan yang lebih baik untuk penerapan praktik hemat energi di rumah, yang berkontribusi pada peningkatan kemandirian anak.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi energi terbarukan sebagai media pembelajaran terbukti sangat efektif dalam meningkatkan kemandirian anak usia dini dengan ASD. Temuan utama bahwa kelompok eksperimen mengalami peningkatan skor kemandirian sebesar 52.8% dibandingkan hanya 11.8% pada kelompok kontrol, dengan *effect size* sangat besar sebesar 2.92, mengkonfirmasi bahwa pembelajaran berbasis integrasi energi terbarukan memberikan dampak yang jauh melampaui pembelajaran konvensional.

Keberhasilan intervensi ini dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme yang saling berkaitan. Pertama, media pembelajaran berbasis integrasi energi terbarukan menyediakan pengalaman konkret dan multisensori yang sangat sesuai dengan karakteristik pembelajaran anak dengan ASD. Teori *experiential learning* dari Kolb (1984) menekankan bahwa pembelajaran paling efektif dimulai dari pengalaman konkret, dan penelitian ini memvalidasi prinsip tersebut dalam konteks anak ASD. Aktivitas seperti mengamati panel surya menghasilkan listrik atau memutar turbin angin memberikan pengalaman langsung yang dapat dilihat, disentuh, dan dimanipulasi. Anak dengan ASD yang cenderung memiliki kekuatan dalam pemrosesan visual dan pembelajaran *hands-on* mendapat manfaat besar dari pendekatan ini (Shalehah & Suminar, 2023). Berbeda dengan konsep abstrak, energi terbarukan memberikan representasi konkret tentang sebab-akibat yang dapat diamati secara langsung, membangun pemahaman fundamental melalui pengalaman sensori langsung (Jamilah & Mahendra, 2025).

Kedua, konteks energi terbarukan menyediakan *meaningful context* yang relevan dengan kehidupan sehari-hari anak. Grüneisen (2023) dalam kerangka function-based *academic instruction* menekankan pentingnya mengaitkan pembelajaran dengan aplikasi fungsional. Berbeda dengan pembelajaran akademik tradisional yang sering terputus dari kehidupan nyata, aktivitas hemat energi adalah sesuatu yang anak lakukan setiap hari, menciptakan kesempatan natural untuk praktik dan *reinforcement*. Data monitoring yang menunjukkan 76.7% anak secara konsisten mematikan lampu pada akhir intervensi mengkonfirmasi bahwa keterampilan berhasil digeneralisasi dari sekolah ke rumah, mengatasi salah satu tantangan utama dalam pendidikan anak dengan ASD.

Ketiga, pembelajaran berbasis energi terbarukan secara inheren mengintegrasikan berbagai domain perkembangan secara simultan. Pendekatan STEAM yang dimodifikasi memfasilitasi stimulasi holistik pada aspek kognitif, motorik, bahasa, dan sosial dalam satu aktivitas bermakna (Nguyen & Nghiêm, 2022). Temuan bahwa ketiga dimensi kemandirian menunjukkan peningkatan seimbang di kisaran 52-53% mengindikasikan bahwa intervensi tidak bias pada satu aspek tertentu tetapi memberikan dampak komprehensif. Ketika anak merakit panel surya sederhana, mereka tidak hanya belajar konsep sains tetapi juga melatih keterampilan motorik halus, bahasa, kognitif, dan sosial secara bersamaan.

Keempat, struktur program yang menerapkan prinsip-prinsip *Applied Behavior Analysis* dengan *task analysis*, *prompting*, dan *reinforcement* yang sistematis berkontribusi pada keberhasilan intervensi (Güleç Aslan 2020). Gitimoghaddam (2022) mendemonstrasikan bahwa keterampilan kompleks dapat dikuasai anak dengan ASD ketika dipecah menjadi langkah-langkah kecil yang terstruktur. Setiap aktivitas hemat energi dianalisis menjadi langkah-langkah spesifik dengan *visual support* yang jelas. Penggunaan *token economy* dan *reinforcement* positif meningkatkan motivasi anak. Data observasi yang menunjukkan peningkatan partisipasi aktif dari 62.3% pada minggu awal menjadi 91.2% pada minggu akhir mengkonfirmasi efektivitas strategi ABA.

Kelima, keterlibatan orang tua sebagai *co-educator* memperkuat dampak intervensi. Dale (2022) menemukan bahwa program yang melibatkan orang tua menghasilkan *outcome* yang lebih baik dan berkelanjutan. Pembelajaran tentang hemat energi memberikan konteks natural untuk keterlibatan orang tua karena aktivitas ini pada dasarnya terjadi di rumah. Data yang menunjukkan 83.3% orang tua melaporkan peningkatan pemahaman mereka tentang hemat energi mengindikasikan bahwa program tidak hanya mengubah perilaku anak tetapi juga meningkatkan kapasitas keluarga.

Temuan penelitian ini konsisten dengan literatur yang menunjukkan efektivitas pembelajaran berbasis proyek dan teknologi untuk anak dengan ASD, namun menawarkan kontribusi unik. Reyes (2024) menemukan bahwa *project-based learning* yang dimodifikasi efektif untuk anak ASD, dan penelitian ini mengkonfirmasi temuan tersebut dengan *effect size* yang lebih besar (2.92 dibandingkan 0.78). Keunggulan ini mungkin disebabkan oleh konteks energi terbarukan yang lebih konkret, integrasi dengan *life skills* yang lebih fungsional, dan durasi intervensi yang lebih panjang.

Nahmias (2023) melaporkan bahwa anak dengan ASD menunjukkan *engagement* tinggi dengan pembelajaran berbasis teknologi. Penelitian ini memperluas temuan tersebut dengan menunjukkan bahwa teknologi fisik dapat sama atau lebih efektif dibandingkan teknologi digital karena menyediakan pengalaman taktil dan kinestetik yang penting untuk perkembangan motorik dan integrasi sensori. Wang (2022) menemukan bahwa pendidikan energi efektif untuk anak populasi umum. Penelitian ini menunjukkan bahwa dengan adaptasi tepat, pendidikan energi juga sangat efektif untuk anak dengan kebutuhan khusus.

Temuan bahwa ketiga dimensi kemandirian menunjukkan peningkatan seimbang (52–53%) memberikan wawasan penting tentang mekanisme dampak intervensi. Keseimbangan ini mengindikasikan bahwa pembelajaran berbasis energi terbarukan memfasilitasi perkembangan integratif yang holistik. Dimensi kemandirian fungsional yang meningkat 52.6% menunjukkan pencapaian substansial dalam kemampuan melakukan aktivitas kehidupan sehari-hari. Data *monitoring* yang menunjukkan generalisasi keterampilan ke lingkungan rumah mengkonfirmasi bahwa kemandirian fungsional bersifat *transferable*.

Peningkatan dimensi kemandirian kognitif sebesar 53.2% menunjukkan bahwa anak tidak hanya meniru langkah aktivitas secara berulang (*procedural learning*), tetapi mulai membangun pemahaman konseptual (*conceptual learning*) terhadap makna dan tujuan dari aktivitas yang dilakukan. Pemahaman konseptual dalam penelitian ini dimaknai sebagai kemampuan anak untuk mengenali hubungan sebab–akibat, memahami fungsi penggunaan energi, serta membuat keputusan sederhana secara sadar dalam konteks aktivitas hemat energi. Temuan ini menjadi signifikan karena anak dengan ASD kerap diasumsikan lebih responsif terhadap pembelajaran prosedural dibandingkan konseptual. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan media

pembelajaran yang konkret, visual, dan fungsional memungkinkan anak ASD mengembangkan pemahaman kognitif yang lebih mendalam, yang pada gilirannya memfasilitasi kemampuan generalisasi perilaku ke konteks dan situasi yang lebih luas (Yuliantina & Boki, 2023).

Dimensi kemandirian motorik yang meningkat 52.3% memiliki implikasi luas karena perkembangan motorik sering mengalami keterlambatan pada anak dengan ASD. Aktivitas seperti memasang kabel atau memutar sekrup melatih koordinasi tangan-mata, kekuatan jari, dan perencanaan motorik. Keterampilan motorik ini tidak hanya penting untuk aktivitas hemat energi tetapi juga *transferable* ke berbagai aktivitas kehidupan sehari-hari lainnya. Keseimbangan peningkatan di ketiga dimensi mengindikasikan bahwa program menghindari bias terhadap satu aspek perkembangan.

Salah satu temuan paling signifikan adalah keberhasilan generalisasi keterampilan dari *setting* sekolah ke rumah, yang merupakan tantangan klasik dalam pendidikan anak dengan ASD. Beberapa faktor berkontribusi pada keberhasilan generalisasi. Pertama, pembelajaran dilakukan dalam konteks natural dan fungsional yang mirip antara sekolah dan rumah. Kedua, keterlibatan orang tua memastikan anak mendapat kesempatan untuk praktik dan *reinforcement* di rumah (Qomariah et al., 2022). Ketiga, penggunaan *visual support* yang dapat dibawa pulang membantu anak mengingat dan melakukan aktivitas di rumah. Keempat, sifat aktivitas hemat energi yang repetitif dan menjadi bagian dari rutinitas harian menciptakan ragam kesempatan untuk praktik.

Data *monitoring* yang menunjukkan 76.7% anak secara konsisten mematikan lampu di rumah pada akhir intervensi mendemonstrasikan generalisasi yang robust. Menariknya, beberapa orang tua melaporkan bahwa anak tidak hanya mempraktikkan aktivitas yang secara eksplisit diajarkan tetapi juga menunjukkan inisiatif dalam area hemat energi lain. Hal ini mengindikasikan bahwa anak telah mengembangkan pemahaman prinsip yang lebih luas, memfasilitasi generalisasi konseptual yang merupakan bentuk generalisasi tertinggi.

Temuan tentang transfer positif ke area kehidupan lain juga menarik. Sebanyak 76.7% orang tua melaporkan bahwa anak menunjukkan peningkatan kemandirian di area yang tidak langsung terkait hemat energi. Ini mengindikasikan bahwa program tidak hanya mengajarkan keterampilan spesifik tetapi juga membangun kompetensi umum dalam hal *self-regulation*, *awareness* terhadap lingkungan, dan *sense of responsibility*.

Penelitian ini memiliki implikasi signifikan untuk praktik pendidikan inklusif di Indonesia. Pertama, temuan ini mendemonstrasikan bahwa pendidikan inklusif tidak perlu berarti kurikulum yang terpisah atau disederhanakan untuk anak dengan kebutuhan khusus. Dengan adaptasi pedagogis yang tepat, anak dengan ASD dapat mengakses konten pembelajaran yang sama dengan anak pada umumnya. Ini mendukung konsep *Universal Design for Learning* yang menekankan kurikulum fleksibel untuk mengakomodasi berbagai gaya belajar (Edyburn, 2021).

Kedua, penelitian ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis tema dapat menjadi fasilitas yang efektif untuk pendidikan inklusif. Ketika pembelajaran diorganisir sekitar tema konkret seperti energi terbarukan, lebih mudah untuk mengadaptasi aktivitas pada berbagai tingkat kemampuan sambil tetap mempertahankan tema sentral yang sama. Ini memfasilitasi konsep inklusi dimana anak dengan ASD berpartisipasi dalam aktivitas yang sama dengan dukungan yang diferensiasi (Andersson et al., 2021; Majoko & Dudu, 2022).

Ketiga, temuan tentang pentingnya *visual support*, struktur, dan *prompting* yang sistematis tidak hanya relevan untuk anak dengan ASD tetapi dapat bermanfaat untuk

semua anak. Strategi instruksional yang efektif untuk anak dengan kebutuhan khusus sering kali adalah *good teaching practices* yang bermanfaat untuk semua siswa (Usman et al., 2021). Keempat, penelitian ini menunjukkan bahwa pendidikan inklusif yang berkualitas memerlukan investasi dalam *capacity building* guru. Data bahwa 90% guru belum pernah mendapat pelatihan tentang pembelajaran hemat energi mengindikasikan gap yang perlu diatasi.

Penelitian ini mendemonstrasikan proses pendidikan dalam berkontribusi pada pencapaian berbagai SDGs secara simultan. Kontribusi terhadap SDG 4 tentang Pendidikan Berkualitas adalah yang paling langsung, melalui pengembangan model pembelajaran efektif untuk anak dengan ASD dan integrasi literasi energi dalam kurikulum (Bennich et al., 2023). Kontribusi terhadap SDG 7 tentang Energi Bersih dan Terjangkau terwujud melalui pembangunan literasi energi sejak usia dini (Burke & Melgar, 2022). Meskipun kontribusi individual setiap anak terhadap penghematan energi mungkin kecil, dampak kumulatif dari generasi yang teredukasi akan signifikan dalam jangka panjang.

Kontribusi terhadap SDG 10 tentang Mengurangi Ketimpangan tercapai melalui pemberdayaan anak dengan ASD yang merupakan kelompok yang mengalami ketimpangan signifikan (Bennich et al., 2023). Peningkatan kemandirian merupakan langkah penting dalam mengurangi ketimpangan kesempatan dan partisipasi. Penelitian ini juga mendemonstrasikan bahwa pencapaian SDGs memerlukan pendekatan integratif dan multisektor. Intervensi yang secara simultan memajukan pendidikan inklusif, literasi energi, dan pemberdayaan kelompok rentan lebih efisien dibandingkan program yang fokus pada satu SDG secara terpisah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa intervensi yang diterapkan efektif secara keseluruhan, namun menghasilkan variasi capaian kemandirian pada tingkat individu. Korelasi negatif antara tingkat keparahan ASD dan skor *gain* ($r = -0,418$) menunjukkan bahwa anak dengan ASD ringan cenderung memperoleh peningkatan yang lebih besar. Namun demikian, anak dengan ASD kategori sedang tetap menunjukkan peningkatan yang bermakna, sehingga temuan ini mengindikasikan bahwa program intervensi tidak perlu dibatasi hanya pada anak dengan ASD ringan. Program ini tetap dapat diimplementasikan secara inklusif dengan penyesuaian dan dukungan tambahan bagi anak dengan kebutuhan dukungan yang lebih tinggi (Andersson et al., 2021; Nahmias et al., 2023).

Selain itu, korelasi positif antara tingkat pendidikan orang tua dan skor *gain* ($r = 0,367$) mengindikasikan bahwa sumber daya keluarga berkontribusi terhadap capaian hasil intervensi (Bobrova et al., 2022; McConkey et al., 2020). Meskipun demikian, kekuatan korelasi yang berada pada kategori sedang menunjukkan bahwa pendidikan orang tua bukan merupakan determinan utama, dan program tetap efektif diterapkan pada keluarga dengan latar belakang pendidikan yang beragam. Di sisi lain, tidak ditemukannya korelasi yang signifikan antara usia anak dan skor *gain* ($r = 0,124$) menegaskan bahwa intervensi ini efektif diterapkan pada rentang usia 4–6 tahun tanpa memerlukan pembedaan perlakuan berdasarkan usia.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi konsep energi terbarukan sebagai media pembelajaran efektif meningkatkan kemandirian anak usia dini dengan ASD, dengan *effect size* sangat besar (Cohen's $d = 2,92$) dan peningkatan skor 52,8% pada kelompok eksperimen dibanding 11,8% pada kelompok kontrol. Keberhasilan dicapai melalui pembelajaran konkret berbasis pengalaman, konteks fungsional relevan, integrasi multidomain, penerapan prinsip ABA yang sistematis, dan keterlibatan aktif

orang tua. Peningkatan merata pada seluruh dimensi kemandirian serta generalisasi keterampilan dari sekolah ke rumah mengatasi tantangan klasik pendidikan anak ASD. Keterbatasan penelitian mencakup durasi *follow-up* singkat, *setting* semi-terkontrol, eksklusi anak ASD berat, dan desain *quasi-experimental*. Penelitian lanjutan disarankan menggunakan *randomized controlled trial*, studi longitudinal, dan evaluasi dampak lingkungan, mekanisme perubahan, serta *cost-effectiveness*. Dengan dukungan tepat, anak ASD mampu mengembangkan kemandirian dan berkontribusi pada pendidikan inklusif berkelanjutan. Selanjutnya akan diperluas dengan Program Pengabdian kepada Masyarakat yang berjudul Penerapan Hemat Energi Berbasis Energi Terbarukan Untuk Mempersiapkan Kemandirian Anak Autism Spectrum Disorder Menuju Sustainable Development Goals (SDGs) dengan sasaran guru dan orang tua.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, L. K. (2023). Autistic experiences of applied behavior analysis. *Autism*. <https://doi.org/10.1177/13623613221118216>.
- Andersson, G. W., Gillberg, N., & Miniscalco, C. (2021). Parents of children diagnosed with autism spectrum disorder: What do they expect and experience from preschools? *Neuropsychiatric Disease and Treatment*. <https://doi.org/10.2147/NDT.S324291>.
- Bennich, T., Persson, Å., Beaussart, R., Allen, C., & Malekpour, S. (2023). Recurring patterns of SDG interlinkages and how they can advance the 2030 Agenda. *One Earth*. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2023.10.008>.
- Bobrova, A. V., Dovbnya, S. V., Morozova, T. Y., & Sotova, E. N. (2022). Implementation of support programs for parents of preschool children with ASD. *Autism and Developmental Disorders*. <https://doi.org/10.17759/autdd.2022200105>.
- Brito, G., Leon, C., Ribeiro, C., Trevisan, B., Dias, N., & Seabra, A. (2022). Evidence-based practices in a social project: Promotion of executive functions in children from Northeastern Brazil. *Journal of Cognition and Development*. <https://doi.org/10.1080/15248372.2022.2100396>.
- Burke, M. J., & Melgar, R. (2022). SDG 7 requires post-growth energy sufficiency. *Frontiers in Sustainability*. <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.940958>.
- Camacho, L. J., Pasco, M., Banks, M., Pasco, R., Almanzar, M., Rodriguez, A., Amoo, A., & Rosima, N. (2023). Understanding employees' energy saving in the workplace: DR and the Philippines' realities. *Journal of Risk and Financial Management*. <https://doi.org/10.3390/jrfm16010049>.
- Dale, B. A., Rispoli, K., & Ruble, L. A. (2022). Social emotional learning in young children with autism spectrum disorder. *Perspectives on Early Childhood Psychology and Education*. <https://doi.org/10.58948/2834-8257.1021>.
- Edyburn, D. L. (2021). Universal usability and universal design for learning. *Intervention in School and Clinic*. <https://doi.org/10.1177/1053451220963082>.
- Ernst, J., Curran, C., & Budnik, L. (2022). Investigating the impact of preschool type on young children's empathy. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14159320>.
- Fatmah, I. F., & Satiningsih, S. (2024). Kemandirian anak autisme. *Character: Jurnal Penelitian*.
- Gitimoghaddam, M., Chichkine, N., McArthur, L., Sangha, S. S., & Symington, V. (2022). Applied behavior analysis in children and youth with autism spectrum disorders: A scoping review. *Perspectives on Behavior Science*.

- [https://doi.org/10.1007/s40614-022-00338-x.](https://doi.org/10.1007/s40614-022-00338-x)
- Given, F., Allan, M., McCarthy, S., & Hemsley, B. (2023). Digital health autonomy for people with communication or swallowing disability and the sustainable development goals. *International Journal of Speech-Language Pathology*. <https://doi.org/10.1080/17549507.2022.2092212>.
- Grüneisen, L., Dörrenbächer-Ulrich, L., & Perels, F. (2023). Self-regulated learning as a mediator of the relation between executive functions and preschool academic competence. *Acta Psychologica*. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2023.104053>.
- Gularso, D. (2021). Pendidikan komunitas untuk masa depan Indonesia di era Society 5.0 dan revolusi industri 4.0. *Jurnal Berdaya Mandiri*, 3(1), 476–492. <https://doi.org/10.31316/jbm.v3i1.1257>.
- Gulbinas, A., & Petuhova, V. (2019). The energy efficient lighting in kindergartens. *E3S Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199105014>.
- Güleç Aslan, Y. (2020). Reflections from applied behavior analysis on inclusion of preschool children with autism spectrum disorder. *Sakarya University Journal of Education*. <https://doi.org/10.19126/suje.587131>.
- Honda, H., Sasayama, D., Niimi, T., Shimizu, A., Toibana, Y., Kuge, R., ... Nishigaki, A. (2024). Awareness of children's developmental problems and sharing of concerns with parents by preschool teachers and childcare workers. *Child: Care, Health and Development*. <https://doi.org/10.1111/cch.13153>.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. New Jersey: Prentice Hall.
- Lwanga, S. K., & Lemeshow, S. (1991). *Sample Size Determination in Health Studies*. New York: World Health Organization.
- McConkey, R., Cassin, M. T., & McNaughton, R. (2020). Promoting the social inclusion of children with ASD: A family-centred intervention. *Brain Sciences*. <https://doi.org/10.3390/brainsci10050318>.
- Nahmias, A. S., Crabbe, S., Marcus, S. C., & Mandell, D. S. (2023). The effects of community preschool characteristics on developmental outcomes for students with autism spectrum disorder. *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*. <https://doi.org/10.1177/10883576221133495>.
- Pennington, R. C. (2010). Computer-assisted instruction for teaching academic skills to students with autism spectrum disorders: A review of literature. *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, 25(4), 239–248. <https://doi.org/10.1177/1088357610378291>.
- Qomariah, D. N., Kuswandi, A. A., Saripatunnisa, Y., Noviana, I. P., & Enurmanah, E. (2022). Keterlibatan orang tua dalam program pendidikan anak usia dini. *Early Childhood: Jurnal Pendidikan*, 6(2), 31–44.
- Rajotte, É., Grandisson, M., Hamel, C., Couture, M. M., Desmarais, C., Gravel, M., & Chrétien-Vincent, M. (2023). Inclusion of autistic students: Promising modalities for supporting a school team. *Disability and Rehabilitation*. <https://doi.org/10.1080/09638288.2022.2057598>.
- Yuliantina, I., & Boki, T. A. (2023). Penataan lingkungan main dalam implementasi pembelajaran berdiferensiasi di PAUD. *Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*. <https://doi.org/10.54371/jiip.v6i12.2929>.