PENINGKATAN PEMAHAMAN DAN KESADARAN LINGKUNGAN SISWA MELALUI PROYEK EDUKASI BERBASIS PENGUKURAN STOK KARBON DI SMK NEGERI 2 PANGKALAN BUN

(Improvement of Students' Understanding and Environmental Awareness through a Carbon Stock Measurement Educational Project at SMK Negeri 2 Pangkalan Bun)

Rifana Setya Ningsih[1)], I Nyoman Sudyana[1)], Soaloon Sinaga[1)], Petrus Poerwadi[1)], Vera Amelia[1)], Fengky Adji[1)]

[1)] Program Studi Magister Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Palangka Raya, Jl. Hendrik Timang, Palangka Raya, Kalimantan Tengah 73111

Kontak person: jpsal@agr.upr.ac.id

ABSTRACT

Environmental education that links scientific measurement with local vegetation is important for climate change mitigation, yet carbon stock measurement is rarely used as a learning project in vocational schools. This study was conducted to describe the implementation of a carbon stock measurement educational project and to analyze changes in understanding of carbon stock concepts and in environmental awareness among Grade XI Agribusiness of Food Crops and Horticulture students at SMK Negeri 2 Pangkalan Bun, Central Kalimantan, Indonesia. An explanatory sequential mixed methods design with a one group pretest posttest component was applied to all 30 students. Understanding (20 multiple choice items, converted to a 0 to 100 scale) and environmental awareness (15 Likert items) were measured before and after the project, while observations and interviews were analyzed thematically. The project was implemented in five stages: conceptual orientation, group formation, field measurement, data processing, and presentation and reflection. Mean understanding increased from 60.50 to 90.33, with a mean normalized gain of 0.7608 (high category), although one student remained in the low category. Mean environmental awareness increased from 47.60 to 63.67 out of 75 (paired t test, $t = 73.24$; $p < 0.001$), with uniform gains of 14 to 18 points among students. Interviews indicated that direct measurement made carbon concepts concrete. Because the design had no control group and relied on self reports, the improvements are interpreted as associated with the project rather than as a proven causal effect.

Keywords: carbon stock; climate change; environmental awareness; project based learning; vocational school

ABSTRAK

Pendidikan lingkungan yang mengaitkan pengukuran ilmiah dengan vegetasi setempat dipandang penting bagi mitigasi perubahan iklim, tetapi pengukuran stok karbon jarang dijadikan proyek pembelajaran di sekolah kejuruan. Penelitian ini ditujukan untuk mendeskripsikan pelaksanaan proyek edukasi berbasis pengukuran stok karbon serta menganalisis perubahan pemahaman konsep stok karbon dan kesadaran lingkungan siswa kelas XI Program Keahlian Agribisnis Tanaman Pangan dan Hortikultura (ATPH) SMK Negeri 2 Pangkalan Bun, Kalimantan Tengah. Desain *mixed methods explanatory sequential* dengan komponen *one group pretest posttest* diterapkan pada seluruh 30 siswa. Pemahaman (20 butir pilihan ganda, dikonversi ke skala 0 sampai 100) dan kesadaran lingkungan (15 butir Likert) diukur sebelum dan sesudah proyek, sedangkan hasil observasi dan wawancara dianalisis secara tematik. Proyek dilaksanakan dalam lima tahap, yaitu orientasi konseptual, pembagian kelompok kerja, praktik pengukuran lapangan, pengolahan data, serta presentasi dan refleksi. Rerata pemahaman tercatat meningkat dari 60,50 menjadi 90,33 dengan rerata *Normalized Gain* 0,7608 (kategori tinggi), meskipun satu siswa tetap berada pada kategori rendah. Rerata kesadaran lingkungan meningkat dari 47,60 menjadi 63,67 dari skor maksimum 75 (uji t berpasangan, $t = 73{,}24$; $p < 0{,}001$) dengan kenaikan seragam 14 sampai 18 poin pada setiap siswa. Wawancara menunjukkan bahwa pengukuran langsung menjadikan konsep karbon konkret. Karena desain tidak memiliki kelompok kontrol dan data bersumber dari laporan diri, peningkatan tersebut ditafsirkan berkaitan dengan proyek dan bukan sebagai efek kausal yang terbukti.

Kata kunci: kesadaran lingkungan; pembelajaran berbasis proyek; perubahan iklim; sekolah menengah kejuruan; stok karbon

PENDAHULUAN

Perubahan iklim dipicu oleh peningkatan konsentrasi karbon dioksida (CO_2) di atmosfer akibat aktivitas manusia, terutama pembakaran bahan bakar fosil dan alih fungsi lahan (IPCC, 2021). Vegetasi berperan sebagai penyerap sekaligus penyimpan karbon, dan stok karbon, yaitu total karbon yang tersimpan dalam biomassa tumbuhan, dipakai sebagai indikator kemampuan ekosistem menyerap CO_2 (Brown, 1997; IPCC, 2019). Pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan memerlukan tenaga pengelola yang memahami konsep tersebut, sehingga pendidikan dipandang sebagai bagian dari upaya mitigasi (UNESCO, 2020).

Pendidikan lingkungan yang efektif tidak hanya difokuskan pada aspek kognitif, tetapi juga pada sikap dan tindakan yang bertanggung jawab (Tilbury, 1995; Hungerford dan Volk, 1990). Pembelajaran berbasis proyek (*project based learning*, PjBL) dikembangkan untuk mengintegrasikan teori dan praktik melalui pengalaman langsung (Thomas, 2000; Krajcik dan Blumenfeld, 2006; Bell, 2010; Larmer *et al.*, 2015), dan tinjauan sistematis menunjukkan bahwa pendekatan yang melibatkan pengalaman nyata termasuk strategi pendidikan iklim yang efektif (Monroe *et al*., 2019). Namun, pengetahuan lingkungan tidak selalu diikuti perilaku yang ramah lingkungan (Kollmuss dan Agyeman, 2002), sehingga pengalaman belajar yang kontekstual diperlukan.

Pengukuran stok karbon pohon dapat dilakukan dengan metode sederhana berbasis diameter batang dan persamaan alometrik (Hairiah dan Rahayu, 2007), dan latihan pengukuran biomassa pohon pada ruang hijau telah dipakai sebagai kegiatan pendidikan keberlanjutan (Ramchunder dan Ziegler, 2021). Pemanfaatannya pada pendidikan vokasi masih terbatas, padahal Kurikulum Merdeka menekankan pembelajaran berbasis proyek dan kepedulian terhadap keberlanjutan lingkungan (Kemendikbudristek, 2022). SMK Negeri 2 Pangkalan Bun memiliki Program Keahlian Agribisnis Tanaman Pangan dan Hortikultura (ATPH) serta lahan hijau bervegetasi pohon sehingga ditetapkan sebagai lokasi penelitian.

Penelitian ini ditujukan untuk (1) mendeskripsikan proses penerapan proyek edukasi berbasis pengukuran stok karbon; (2) menganalisis perubahan pemahaman siswa terhadap konsep stok karbon dan peran vegetasi dalam penyerapan CO_2; serta (3) mengevaluasi perubahan kesadaran lingkungan siswa setelah proyek dilaksanakan.

BAHAN DAN METODE

Desain, Lokasi, dan Subjek Penelitian

Desain *mixed methods explanatory sequential* diterapkan (Creswell dan Plano Clark, 2018), yaitu data kuantitatif dikumpulkan dengan desain kuasi eksperimen *one group pretest posttest* dan data kualitatif dikumpulkan sesudahnya untuk menjelaskan hasil kuantitatif. Penelitian dilaksanakan di SMK Negeri 2 Pangkalan Bun, Kabupaten Kotawaringin Barat, Kalimantan Tengah, mulai November 2025 sampai Februari 2026. Subjek terdiri atas seluruh 30 siswa kelas XI Program Keahlian ATPH (*total sampling*). Informan kualitatif dipilih secara purposif, yaitu empat siswa dengan tingkat keterlibatan berbeda dan satu guru mata pelajaran produktif.

Pelaksanaan Proyek dan Pengukuran Stok Karbon

Proyek dilaksanakan dalam empat pertemuan (4 × 90 menit) dengan lima tahap, yaitu orientasi konseptual, pembagian kelompok kerja, praktik pengukuran lapangan, pengolahan dan analisis data, serta presentasi dan refleksi. Siswa dibagi menjadi kelompok beranggotakan 4 sampai 5 orang, dan setiap kelompok mengukur 3 sampai 5 pohon pada lahan hijau sekolah. Diameter setinggi dada (DBH) dihitung dari keliling batang pada ketinggian 1,3 m, dan tinggi pohon diukur dengan aplikasi klinometer. Biomassa pohon (kg) diestimasi dengan persamaan alometrik Ketterings *et al*. (2001) yang disederhanakan untuk keperluan pembelajaran, yaitu 0,11 × DBH dipangkatkan 2,62 tanpa faktor berat jenis kayu. Kandungan karbon dihitung sebesar 47% dari biomassa (Hairiah dan Rahayu, 2007), dan serapan CO_2 ekuivalen dihitung dengan mengalikan karbon dengan 3,67.

Instrumen dan Pengumpulan Data

Pemahaman konsep diukur dengan tes pilihan ganda 20 butir (skor 0 atau 1 yang dikonversi ke skala 0 sampai 100), dan kesadaran lingkungan diukur dengan kuesioner 15 butir skala Likert 1 sampai 5 pada tiga dimensi (pengetahuan ekologis, sikap pro lingkungan, dan niat perilaku ramah lingkungan; masing masing lima butir) sehingga skor total berkisar 15 sampai 75. Keterlibatan siswa diamati dengan lembar observasi tujuh aspek berskala 1 sampai 5, dan wawancara semi terstruktur dilakukan pada 26 Januari dan 12 Februari 2026.

Validitas isi instrumen ditinjau oleh tiga pakar. Uji coba dilakukan dengan korelasi Pearson ($n = 30$; r tabel = 0,361 pada $\alpha = 5\%$), dan butir dengan r hitung di bawah r tabel direvisi, yaitu

lima butir tes (nomor 4, 5, 7, 8, dan 15) dan empat butir kuesioner (nomor 2, 3, 8, dan 13). Reliabilitas dinyatakan dengan *Cronbach's Alpha*, yaitu 0,874 untuk tes dan 0,821 untuk kuesioner. Untuk mengurangi bias karena peneliti adalah guru di sekolah tersebut, kuesioner diisi tanpa dampak terhadap nilai akademik dan hasil kuantitatif dikonfirmasi melalui triangulasi dengan observasi dan wawancara.

Analisis Data

Normalitas diuji dengan Shapiro Wilk. Peningkatan pemahaman dinyatakan dengan *Normalized Gain* (N-Gain) menurut Hake (1998), dengan skor ideal 100.

$$\text{N-Gain} = (\text{posttest} - \text{pretest}) \div (100 - \text{pretest})$$

Perubahan skor pemahaman dan kesadaran lingkungan diuji dengan uji t berpasangan pada $\alpha = 5\%$, dengan uji peringkat bertanda Wilcoxon sebagai uji sensitivitas karena sebagian data tidak berdistribusi normal. Ukuran efek dinyatakan dengan dz (selisih rerata dibagi simpangan baku selisih). Analisis dilakukan dengan IBM SPSS Statistics. Data kualitatif dianalisis secara tematik (Braun dan Clarke, 2006) melalui pengodean, pengelompokan kategori, dan penyusunan tema, dan keabsahannya dijaga dengan triangulasi sumber dan metode.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Penerapan Proyek

Lima tahap proyek terlaksana sesuai rancangan. Pada tahap orientasi konseptual, materi perubahan iklim, gas rumah kaca, siklus karbon, dan peran vegetasi dalam menyerap CO_2 melalui fotosintesis disampaikan guru, disertai pengenalan metode pengukuran stok karbon dan persamaan alometrik. Siswa dibagi ke dalam enam kelompok beranggotakan empat sampai lima orang dengan peran pengukur, pencatat data, penghitung, dan penyaji. Pada praktik lapangan, DBH dan tinggi pohon diukur, kemudian data diolah menjadi estimasi biomassa, karbon, dan serapan CO_2 ekuivalen dengan bimbingan guru. Hasil pengukuran dipresentasikan dalam diskusi kelas terbuka pada tahap akhir.

Observasi terstruktur menghasilkan rerata skor keterlibatan 4,3 dari skala 5 (Tabel 1). Skor tertinggi dicatat pada kerja sama kelompok (4,6) dan akurasi data pengukuran (4,5), sedangkan skor terendah dicatat pada inisiatif bertanya selama sesi orientasi (3,8). Pola ini menunjukkan bahwa kegiatan praktik lebih menarik keterlibatan siswa daripada penyampaian konsep.

Tabel 1. Hasil observasi keterlibatan siswa selama proyek (skala 1 sampai 5)

Indikator	Skor
Rerata keterlibatan seluruh tahap	4,3
Kerja sama kelompok	4,6
Akurasi data pengukuran	4,5
Inisiatif bertanya pada sesi orientasi	3,8

Keterangan: skor 5 menunjukkan keterlibatan tertinggi.

Perubahan Pemahaman Konsep Stok Karbon

Rerata skor pemahaman meningkat dari 60,50 (simpangan baku 6,34; rentang 50 sampai 70) pada pretest menjadi 90,33 (simpangan baku 8,90; rentang 70 sampai 100) pada posttest, atau bertambah 29,83 poin (Tabel 2 dan Gambar 1). Rerata N-Gain tercatat 0,7608 (simpangan baku 0,209; rentang 0,25 sampai 1,00), yang termasuk kategori tinggi (Hake, 1998) dengan efektivitas 76,08%. Sebanyak 21 siswa (70,0%) berada pada kategori tinggi, 8 siswa (26,7%) pada kategori sedang, dan 1 siswa (3,3%) pada kategori rendah (Tabel 3). Delapan siswa mencapai skor maksimum 100 pada posttest sehingga efek langit langit turut membatasi pengukuran perubahan pada siswa tersebut.

Tabel 2. Statistik deskriptif skor pretest dan posttest (n = 30)

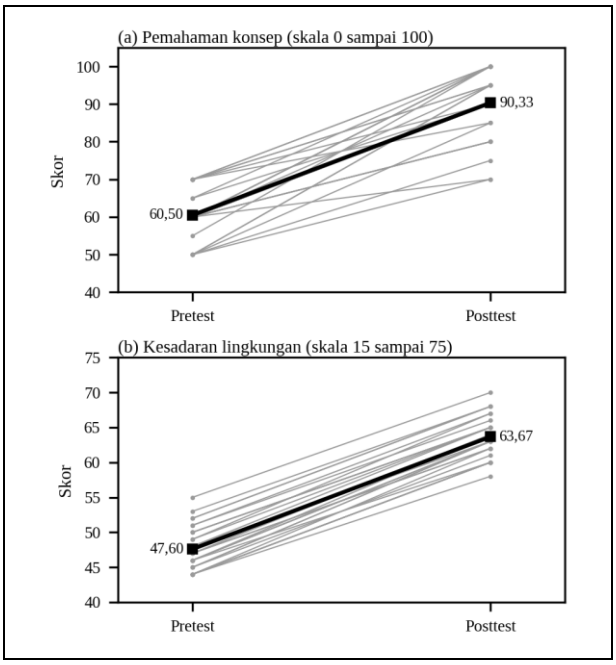
Variabel	Tes	Rerata	SD	Rentang
Pemahaman (0 sampai 100)	Pretest	60,50	6,34	50 sampai 70
	Posttest	90,33	8,90	70 sampai 100
Kesadaran (15 sampai 75)	Pretest	47,60	3,10	44 sampai 55
	Posttest	63,67	2,94	58 sampai 70

Keterangan: SD = simpangan baku.

Tabel 3. Kategori N-Gain pemahaman (Hake, 1998) dan jumlah siswa

N-Gain (g)	Kategori	Efektivitas (%)	Siswa
$g > 0,7$	Tinggi	> 76	21 (70,0%)
$0,3 \leq g \leq 0,7$	Sedang	56 sampai 75	8 (26,7%)
$g < 0,3$	Rendah	40 sampai 55	1 (3,3%)

Keterangan: rerata N-Gain = 0,7608 (efektivitas 76,08%).



Gambar 1. Perubahan skor setiap siswa (n = 30) dari pretest ke posttest pada pemahaman konsep (a) dan kesadaran lingkungan (b). Garis hitam menunjukkan rerata

Data pemahaman tidak berdistribusi normal (Shapiro Wilk: pretest $p < 0,001$; posttest $p = 0,003$), sedangkan selisih skor berdistribusi normal ($p = 0,220$). Uji t berpasangan menghasilkan $t(29) = 18,06$ ($p < 0,001$; $dz = 3,30$), dan uji Wilcoxon menghasilkan hasil yang sama ($p < 0,001$) (Tabel 4). Peningkatan pemahaman ini sejalan dengan hasil kajian bahwa keterlibatan langsung dalam kegiatan nyata mendukung pembelajaran iklim (Monroe *et al*., 2019) dan dengan prinsip pembelajaran berbasis pengalaman (Kolb, 1984). Peningkatan tersebut tidak dapat dilepaskan dari pengulangan butir tes yang sama pada pretest dan posttest.

Perubahan Kesadaran Lingkungan

Rerata skor kesadaran lingkungan meningkat dari 47,60 (simpangan baku 3,10; rentang 44 sampai 55) menjadi 63,67 (simpangan baku 2,94; rentang 58 sampai 70), atau bertambah 16,07 poin (95% IK: 15,62 sampai 16,52), setara dengan kenaikan dari 63,5% menjadi 84,9% dari skor maksimum (Tabel 2). Uji t berpasangan menghasilkan $t(29) = 73,24$ ($p < 0,001$), dan uji Wilcoxon menghasilkan $p < 0,001$ (Tabel 4). Selisih skor tidak berdistribusi normal (Shapiro Wilk $p = 0,010$) sehingga uji Wilcoxon dipakai sebagai penguat.

Tabel 4. Hasil uji perubahan skor pretest ke posttest (n = 30)

Variabel	Selisih rerata (95% IK)	t (db = 29)	p	dz
Pemahaman	29,83 (26,45 sampai 33,21)	18,06	< 0,001	3,30
Kesadaran	16,07 (15,62 sampai 16,52)	73,24	< 0,001	13,37

Keterangan: uji Wilcoxon $p < 0,001$ untuk kedua variabel; IK = interval kepercayaan.

Kenaikan skor terjadi pada setiap siswa dengan besaran yang seragam, yaitu 14 sampai 18 poin (simpangan baku selisih 1,20), sehingga ukuran efek yang diperoleh sangat besar ($dz = 13,37$). Nilai tersebut jauh melampaui ukuran efek yang lazim pada intervensi pendidikan, dan keseragaman kenaikan perlu dikonfirmasi pada data lain, antara lain karena kuesioner bersifat laporan diri dan peneliti adalah guru di sekolah tersebut, sehingga bias keinginan sosial belum dapat disingkirkan. Selain itu, peningkatan kesadaran dan niat tidak identik dengan perubahan perilaku (Kollmuss dan Agyeman, 2002), dan perilaku nyata tidak diukur dalam penelitian ini.

Temuan Kualitatif

Tiga tema diperoleh dari wawancara dengan empat siswa dan satu guru. Tema pertama adalah pengalaman belajar langsung sebagai pemicu pemahaman, yaitu seluruh siswa yang diwawancarai menyatakan bahwa kegiatan pengukuran di lapangan merupakan pengalaman yang paling berkesan dan membuat konsep stok karbon yang abstrak menjadi konkret. Tema kedua adalah perubahan persepsi terhadap vegetasi sekolah, yaitu pohon yang sebelumnya dipandang semata mata sebagai elemen estetika atau peneduh dipandang kemudian sebagai penyimpan karbon yang berkontribusi mengurangi CO_2 di udara. Tema ketiga adalah perubahan perilaku yang teramati guru, yaitu siswa membersihkan sampah di sekitar pohon tanpa instruksi dan mengajak teman di kelas lain untuk tidak merusak tanaman sekolah. Guru juga menyarankan sesi orientasi dirancang lebih interaktif karena keterlibatan pada sesi tersebut paling rendah. Temuan ini menjelaskan hasil kuantitatif bahwa pemahaman meningkat setelah siswa terlibat langsung dalam pengukuran dan sejalan dengan pandangan bahwa pengalaman yang terstruktur membentuk pemahaman dan sikap (Kolb, 1984; Ramchunder dan Ziegler, 2021).

Keterbatasan Penelitian

Beberapa keterbatasan dicatat. Pertama, desain *one group pretest posttest* tidak memiliki kelompok kontrol sehingga pengaruh waktu,

pengalaman mengikuti tes, dan faktor lain tidak dapat dipisahkan dari pengaruh proyek, dan hasil ditafsirkan sebagai peningkatan yang berkaitan dengan proyek, bukan efek kausal. Kedua, subjek terbatas pada satu kelas (n = 30) dan periode proyek yang singkat sehingga ketahanan perubahan belum diketahui. Ketiga, persamaan alometrik disederhanakan tanpa berat jenis kayu sehingga estimasi karbon bersifat ilustratif untuk pembelajaran dan bukan untuk inventarisasi karbon. Keempat, kuesioner kesadaran lingkungan disusun sendiri sehingga instrumen baku seperti *New Ecological Paradigm* (Dunlap *et al.*, 2000) disarankan untuk penelitian lanjutan, bersama desain kuasi eksperimen berkelompok kontrol dan pengukuran jangka panjang.

KESIMPULAN

1. Proyek edukasi berbasis pengukuran stok karbon dilaksanakan dalam lima tahap yang terstruktur, dengan rerata skor keterlibatan siswa 4,3 dari 5 dan skor tertinggi pada kerja sama kelompok (4,6) serta akurasi data (4,5).
2. Rerata pemahaman konsep stok karbon meningkat dari 60,50 menjadi 90,33 dengan rerata N-Gain 0,7608 (kategori tinggi), meskipun satu siswa tetap berada pada kategori rendah dan delapan siswa mencapai skor maksimum.
3. Rerata kesadaran lingkungan meningkat dari 47,60 menjadi 63,67 ($t = 73{,}24$; $p < 0{,}001$), dengan kenaikan seragam pada setiap siswa. Karena desain tidak memiliki kelompok kontrol dan data bersumber dari laporan diri, peningkatan ditafsirkan berkaitan dengan proyek, dan penelitian lanjutan berkelompok kontrol disarankan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Sekolah dan guru SMK Negeri 2 Pangkalan Bun serta seluruh siswa kelas XI ATPH yang telah berpartisipasi dalam penelitian, dan kepada Program Studi Magister Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Palangka Raya yang telah memfasilitasi pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Bell, S. (2010) ‘Project based learning for the 21st century: skills for the future’, *The Clearing House*, 83(2), hal. 39-43. Tersedia di: https://doi.org/10.1080/00098650903505415

Braun, V. dan Clarke, V. (2006) ‘Using thematic analysis in psychology’, *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), hal. 77-101. Tersedia di: https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Brown, S. (1997) *Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer*. FAO Forestry Paper 134. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Creswell, J.W. dan Plano Clark, V.L. (2018) *Designing and conducting mixed methods research*. 3rd edn. Thousand Oaks: SAGE Publications.

Dunlap, R.E., Van Liere, K.D., Mertig, A.G. dan Jones, R.E. (2000) ‘Measuring endorsement of the New Ecological Paradigm: a revised NEP scale’, *Journal of Social Issues*, 56(3), hal. 425-442. Tersedia di: https://doi.org/10.1111/0022-4537.00176

Hairiah, K. dan Rahayu, S. (2007) *Pengukuran karbon tersimpan di berbagai macam penggunaan lahan*. Bogor: World Agroforestry Centre, ICRAF Southeast Asia.

Hake, R.R. (1998) ‘Interactive engagement versus traditional methods: a six thousand student survey of mechanics test data for introductory physics courses’, *American Journal of Physics*, 66(1), hal. 64-74. Tersedia di: https://doi.org/10.1119/1.18809

Hungerford, H.R. dan Volk, T.L. (1990) ‘Changing learner behavior through environmental education’, *The Journal of Environmental Education*, 21(3), hal. 8-21. Tersedia di: https://doi.org/10.1080/00958964.1990.10753743

IPCC (2019) *2019 refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC (2021) *Climate change 2021: the physical science basis*. Cambridge: Cambridge University Press. Tersedia di: https://doi.org/10.1017/9781009157896

Kemendikbudristek (2022) *Panduan pengembangan Projek Penguatan Profil Pelajar Pancasila*. Jakarta: Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi.

Ketterings, Q.M., Coe, R., van Noordwijk, M., Ambagau, Y. dan Palm, C.A. (2001) ‘Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above ground tree biomass in mixed secondary forests’, *Forest Ecology and Management*, 146(1-3), hal. 199-209. Tersedia di:

https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00460-6

Kolb, D.A. (1984) *Experiential learning: experience as the source of learning and development*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.

Kollmuss, A. dan Agyeman, J. (2002) 'Mind the gap: why do people act environmentally and what are the barriers to pro environmental behavior?', *Environmental Education Research*, 8(3), hal. 239-260. Tersedia di: https://doi.org/10.1080/13504620220145401

Krajcik, J.S. dan Blumenfeld, P.C. (2006) 'Project based learning', dalam Sawyer, R.K. (ed.) *The Cambridge handbook of the learning sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, hal. 317-334.

Larmer, J., Mergendoller, J.R. dan Boss, S. (2015) *Setting the standard for project based learning*. Alexandria: ASCD.

Monroe, M.C., Plate, R.R., Oxarart, A., Bowers, A. dan Chaves, W.A. (2019) 'Identifying effective climate change education strategies: a systematic review of the research', *Environmental Education Research*, 25(6), hal. 791-812. Tersedia di: https://doi.org/10.1080/13504622.2017.1360842

Ramchunder, S.J. dan Ziegler, A.D. (2021) 'Promoting sustainability education through hands on approaches: a tree carbon sequestration exercise in a Singapore green space', *Sustainability Science*, 16, hal. 1045-1059. Tersedia di: https://doi.org/10.1007/s11625-020-00897-5

Thomas, J.W. (2000) *A review of research on project based learning*. San Rafael: Autodesk Foundation.

Tilbury, D. (1995) 'Environmental education for sustainability: defining the new focus of environmental education in the 1990s', *Environmental Education Research*, 1(2), hal. 195-212. Tersedia di: https://doi.org/10.1080/1350462950010206

UNESCO (2020) *Education for sustainable development: a roadmap*. Paris: UNESCO Publishing.