

**VALUASI EKONOMI JASA LINGKUNGAN LAHAN SAWAH
DALAM MEREDUKSI PENCEMARAN UDARA (STUDI KASUS: DI DESA
KEDUNGBOCOK, KECAMATAN TARIK, KABUPATEN SIDOARJO)**

*Economic Valuation of Paddy Field Environmental Services
In Reducing Air Pollution (Case Study: Kedungbocok Village, Tarik District,
Sidoarjo Regency)*

Desrian Dakhi¹, Markus Patiung^{2*}, Hamdi Sarimaryoni³

^{1,2,3}Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Wijaya Kusuma Surabaya

Email korespondensi: markuspatiung@uwks.ac.id

ABSTRACT

This study aims to estimate the economic value of rice field ecosystem services in reducing air pollution, specifically regarding CO₂, SO₂, and NO₂ concentrations in Kedungbocok Village, Sidoarjo Regency. The research method combines biomass carbon stock assessment and rice crop deposition modeling to quantify the capacity for absorbing air pollutants. Economic valuation was conducted using the avoided cost method, which integrates carbon prices and pollution control expenditure data from the local environmental agency. The results show that 140 hectares of rice paddies can absorb 9,464 tons of CO₂/year, 4.11 tons of SO₂/year, and 2.31 tons of NO₂/year. The total economic value generated from air pollution reduction services amounts to Rp.1.09 billion/year equivalent to Rp.79.25 million/hectare/year. Conclusion: Rice fields in semi-urban areas provide significant ecosystem services and must be integrated into spatial planning and agricultural land protection policies. These findings support the development of a Payment for Ecosystem Services (PES) scheme for farmers who maintain productive rice fields.

Keywords: *economic valuation, ecosystem service, rice paddies, pollutants*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi nilai ekonomi jasa ekosistem sawah dalam mereduksi pencemaran udara yaitu pada konsentrasi CO₂, SO₂, dan NO₂ di Desa Kedungbocok, Kabupaten Sidoarjo. Metode penelitian menggunakan kombinasi penilaian stok karbon biomassa dan pemodelan deposisi tanaman padi untuk mengkuantifikasi kapasitas penyerapan pencemaran udara. Valuasi ekonomi dilakukan dengan metode biaya yang dihindari (avoided cost method), yang mengintegrasikan harga karbon dan data pengeluaran pengendalian polusi dari dinas lingkungan hidup setempat. Hasil penelitian menunjukkan lahan sawah seluas 140 hektar mampu menyerap 9.464 ton CO₂/tahun, 4,11 ton SO₂/tahun, dan 2,31 ton NO₂/tahun. Total nilai ekonomi yang dihasilkan dari jasa reduksi pencemaran udara mencapai Rp.1,09 miliar/tahun setara Rp.79,25 juta/hektar/tahun. Kesimpulan: Sawah di kawasan semi-urban memberikan jasa ekosistem yang signifikan dan harus diintegrasikan ke dalam perencanaan tata ruang dan kebijakan perlindungan lahan pertanian. Temuan ini mendukung pengembangan skema pembayaran jasa ekosistem (Payment for Ecosystem Services/PES) bagi petani yang mempertahankan lahan sawah produktif.

Kata Kunci: *valuasi, ekonomi, jasa ekosistem, sawah, polutan*

PENDAHULUAN

Urbanisasi yang pesat dan ekspansi industri di kawasan semi-urban. Kondisi ini meningkatkan tekanan terhadap lahan pertanian, khususnya sawah, yang memiliki fungsi ganda sebagai sistem produksi pangan sekaligus penyedia jasa ekosistem (Costanza et al., 2017). Lahan sawah mempunyai manfaat penggunaan dan manfaat bukan penggunaan (Patiung, 2022). Di Indonesia, konversi lahan sawah semakin berdampak buruk. Data BPS menunjukkan luas lahan sawah nasional berada pada kisaran 7,3–7,4 juta hektar dan cenderung stagnan bahkan menyusut akibat alih fungsi lahan. Pada tahun 2019 luas lahan baku sawah tercatat 7,46 juta hektar, namun pada tahun 2024 berkurang menjadi 7,38 juta hektar, pada tahun 1990 luas sawah nasional masih mencapai 8,4 juta hektar — artinya dalam tiga dekade Indonesia kehilangan lebih dari satu juta hektar lahan sawah produktif, sementara kemampuan mencetak sawah baru hanya 20.000–30.000 hektar per tahun (I. BPS, 2025). Fenomena ini terjadi tanpa mempertimbangkan nilai ekologis yang diberikan oleh lahan tersebut secara menyeluruh.

Konversi lahan sawah di Pulau Jawa berlangsung dengan kecepatan yang sangat tinggi. Fenomena perubahan penggunaan lahan ini menggeser komposisi spasial (Assajjad et al., 2026), mempersempit ruang untuk kegiatan pertanian masyarakat, dan menyebabkan gangguan ekologis, seperti penurunan kesuburan tanah, hilangnya keanekaragaman hayati, dan penurunan kualitas lingkungan (Assajjad et al., 2026). Antara tahun 2011 hingga 2022, hampir 91% lahan yang dikonversi menjadi kawasan permukiman atau industri di Jawa bersumber dari lahan sawah (Yafi & Rondhi, 2024). Kondisi ini mengancam tidak hanya ketahanan pangan nasional, tetapi juga hilangnya jasa ekosistem yang selama ini disediakan oleh sawah, termasuk regulasi kualitas udara.

Sawah berkontribusi terhadap regulasi kualitas udara. Berdasarkan hal itu maka mekanisme kualitas udara selama fotosintesis tanaman padi menyerap CO₂ dan menyimpan karbon dalam biomassa (Sumani et al., 2024). Selain itu, permukaan tanaman memfasilitasi deposisi kering polutan gas termasuk SO₂ dan NO₂, yang secara efektif berfungsi sebagai filter udara alami (Nowak et al., 2013). Sebagai perbandingan, penelitian pada pohon perkotaan di Tehran menunjukkan bahwa tanaman mampu menyerap total 1.286 ton polutan per tahun, dengan NO₂ sebesar 299,7 ton dan SO₂ berkontribusi signifikan dalam pengurangan polutan (Ning et al., 2023). Meskipun fungsi-fungsi ini telah diakui, nilai ekonomi dari jasa-jasa tersebut masih belum terdokumentasi dengan baik, khususnya pada skala lokal yang relevan dengan pengambilan keputusan tata guna lahan.

Valuasi ekonomi jasa ekosistem telah menjadi instrumen penting. Valuasi ekonomi merupakan alat untuk mengintegrasikan pertimbangan lingkungan ke dalam kerangka kebijakan (Freeman et al., 2014). Metode biaya yang dihindari (avoided cost method) menawarkan pendekatan yang sangat relevan untuk menilai jasa pengurangan polusi, karena mengkuantifikasi pengeluaran yang seharusnya diperlukan untuk pengendalian polusi secara teknologi (BARBIER et al., 2011). Studi valuasi ekosistem sawah telah dilakukan di berbagai negara: (Myeong & Yi, 2023) menggunakan contingent valuation method (CVM) untuk mengkuantifikasi nilai ekosistem sawah sebagai lahan basah di Korea Selatan.

Kabupaten Sidoarjo merupakan contoh nyata tantangan yang dihadapi lanskap pertanian peri-urban. Berlokasi berbatasan langsung dengan Surabaya, kota terbesar kedua di Indonesia, kawasan ini mengalami emisi industri yang signifikan dan tekanan

pembangunan (K. S. BPS, 2023). Studi di kawasan peri-urban yang serupa, seperti Karawang dan Malang, menunjukkan bahwa konversi lahan sawah yang tidak terkontrol tidak hanya mengancam produksi pangan tetapi juga mengurangi kapasitas lingkungan dalam meregulasi polusi udara (Mulya et al., 2023). Desa Kedungbocok di Kecamatan Tarik mempertahankan 140 hektar sawah aktif di tengah tekanan konversi yang meningkat, sehingga menjadi lokasi studi kasus yang ideal.

Berdasarkan latar belakang itu, maka penelitian ini mengangkat tiga pertanyaan penelitian: Berapa kapasitas produksi biomassa sawah di Desa Kedungbocok?; Berapa kuantitas polutan udara (CO_2 , SO_2 , NO_2) yang dapat diserap oleh sawah tersebut secara tahunan? dan ; Berapa nilai ekonomi dari jasa pengurangan polusi udara tersebut? Studi ini diharapkan dapat memberikan bukti empiris yang kuat untuk mendukung perlindungan sawah semi-urban dan pengembangan kebijakan berbasis jasa ekosistem di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Desa Kedungbocok, Kecamatan Tarik, Kabupaten Sidoarjo, Provinsi Jawa Timur, Indonesia ($7^{\circ}26'\text{LS}$, $112^{\circ}38'\text{BT}$). Desa ini memiliki 140 hektar sawah irigasi dengan dua musim tanam per tahun. Karakter semi-urban kawasan ini, yang berbatasan langsung dengan zona industri, menciptakan konsentrasi polutan ambien yang tinggi dan mewakili lanskap pertanian transisional yang umum di Jawa (K. S. BPS, 2023). Kondisi iklim bersifat tropis dengan curah hujan rata-rata antara 1.500– 2.000 mm/tahun dan suhu rata-rata $27\text{--}31^{\circ}\text{C}$, kondisi yang mendukung produktivitas tanaman padi yang optimal.

Pemilihan sampel dilakukan menggunakan metode purposive sampling dengan mempertimbangkan keragaman kondisi agronomi di lahan studi (Sumani et al., 2024). Data polutan atmosfer diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sidoarjo. (Nowak et al., 2013) Konsentrasi udara sekitar yang terukur adalah $15,52\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk SO_2 dan $17,41\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk NO_2 . Nilai kecepatan deposisi diperoleh dari nilai literatur: $0,006\text{ m/detik}$ untuk SO_2 dan $0,003\text{ m/detik}$ untuk NO_2 .

Data ekonomi meliputi harga karbon nasional sebesar IDR 57.028/ton CO_2eq (IDX, 2024) dan pengeluaran pengendalian polusi tahunan sebesar IDR 3,29 miliar dari dinas lingkungan hidup setempat. Pengeluaran ini digunakan sebagai proxy untuk biaya sosial polutan SO_2 dan NO_2 dalam kerangka metode biaya yang dihindari (BARBIER et al., 2011). Kepadatan tanaman dihitung berdasarkan jarak tanam yang terukur di lapangan ($30 \times 30\text{ cm}$). Biomassa basah per hektar diperoleh dari hasil perkalian berat rumpun rata-rata tanaman dengan kepadatan tanaman per hektar. Biomassa kering diturunkan menggunakan kadar air terukur ($K_a = 0,70$). Stok karbon diestimasi menggunakan faktor fraksi karbon default IPCC ($\text{FC} = 0,45$), yang sesuai dengan kisaran 45–50% kandungan karbon dalam biomassa tanaman yang umum digunakan dalam literatur (Schwantes et al., 2022). Jumlah karbon yang tersimpan kemudian dikonversi menjadi setara CO_2eq menggunakan rasio berat molekul CO_2 terhadap karbon ($44/12 = 3,67$). Estimasi tahunan dihitung dengan mengalikan nilai per musim dengan dua musim tanam per tahun dan luas area studi seluas 140 hektar.

Parameter biofisik diukur melalui pengambilan sampel rumpun tanaman padi. Jumlah rumpun tanaman padi dalam satu hektar lahan sawah dihitung menggunakan rumus berikut.

$$N = L / (dr \times dc)$$

(1) Dimana N = Jumlah Rumpun tanaman (rumpun/ha), L = luas lahan (m^2), dr = jarak antar baris (m), dc = jarak antar tanaman (m).

Kemudian, dilakukan perhitungan jumlah biomassa basah dan kering lahan sawah dengan rumus berikut.

$$B_{\text{basah}} = W_{\text{rumpun}} \times N$$

(2) Dimana B_{basah} = Berat biomassa basah per hektar (ton/ha), W_{rumpun} = Berat rata-rata 1 rumpun padi (ton/ha), N = Jumlah rumpun padi per m^2

$$B_{\text{kering}} = B_{\text{basah}} \times (1 - K_a)$$

(3) Dimana B_{kering} = Berat biomassa kering tanaman (ton/ha), B_{basah} = Berat biomassa basah per hektar (ton/ha), K_a = Kadar air biomassa (umumnya 70% pada tanaman padi).

Setelah serangkaian biomassa dihitung, dilakukan perhitungan kandungan karbon dalam biomassa kering yang diestimasi menggunakan faktor fraksi karbon (FC) sebesar 0,45 sesuai panduan (IPCC, 2006) kemudian dikonversi menjadi setara CO_2 -eq menggunakan rasio berat molekul (44/12). Berikut adalah rumus menghitung kandungan karbon serta konversi karbon menjadi CO_2 -eq:

$$C = B_{\text{kering}} \times FC$$

(4) Dimana C = Kandungan karbon dalam biomassa (ton C/ha), B_{kering} = Biomassa kering tanaman (ton/ha), FC = Fraksi kandungan karbon (umumnya adalah 0,45, menurut IPCC 2006).

$$CO_{2eq} = C \times 44/12$$

(5) Dimana CO_{2eq} = Jumlah karbon dioksida ekuivalen yang diserap (ton CO_2 /ha), C = Cadangan karbon dalam biomassa (ton C/ha), Faktor $44/12 = 3,67$ adalah rasio berat molekul CO_2 terhadap C.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan serapan SO_2 dan NO_2 melalui faktor deposisi tanaman padi terhadap SO_2 dan NO_2 sebagaimana persamaan berikut:

$$RSO_2 = L \times V_{d,SO_2} \times C_{SO_2} \times t$$

(6) Dimana RSO_2 = Jumlah SO_2 yang diserap oleh lahan sawah (g/hari atau ton/tahun), L = Luas lahan sawah (m^2), V_{d,SO_2} = Kecepatan deposisi SO_2 (m/s), C_{SO_2} = Konsentrasi SO_2 di udara ($\mu g/m^3 = 10^{-6}$ g/ m^3), t = waktu.

$$RNO_2 = L \times V_{d,NO_2} \times C_{NO_2} \times t$$

(7) Dimana RNO_2 = Jumlah NO_2 yang diserap oleh lahan sawah (g/hari atau ton/tahun), L = Luas lahan sawah (m^2), V_{d,NO_2} = Kecepatan deposisi NO_2 (m/s), C_{NO_2} = Konsentrasi NO_2 di udara ($\mu g/m^3 = 10^{-6}$ g/ m^3), t = waktu.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan nilai ekonomi penyerapan polusi CO_2 , SO_2 dan NO_2 sebagaimana persamaan berikut:

$$NECO_2 = CO_{2eq/ha} \times P_{\text{karbon}}$$

(8) Dimana $NECO_2$ = Nilai ekonomi jasa lingkungan lahan sawah dalam reduksi CO_2 (Rp/ha), $CO_{2eq/ha}$ = Jumlah karbondioksida ekuivalen per hektar (ton CO_2 /ha), P_{karbon} = Harga karbon di pasar (misalnya Rp/ton CO_{2eq}).

$$NESO_2 = RSO_2 \times PSO_2$$

(9) Dimana $NESO_2$ = Nilai ekonomi reduksi SO_2 oleh lahan sawah (Rp/tahun), RSO_2 = Jumlah SO_2 yang diserap oleh lahan sawah (g/hari atau ton/tahun), PSO_2 = harga bayangan (shadow price) atau biaya sosial pencemaran SO_2 (Rp/ton).

$$NENO_2 = RNO_2 \times PNO$$

(10) Dimana $NENO_2$ = Nilai ekonomi reduksi NO_2 oleh lahan sawah (Rp/tahun), RNO_2 = Jumlah NO_2 yang diserap oleh lahan sawah (g/hari atau ton/tahun), PNO_2 = Harga bayangan (shadow price) atau biaya sosial pencemaran NO_2 (Rp/ton).

Dari perhitungan nilai ekonomi masing-masing polutan, maka dilakukan perhitungan nilai total ekonomi jasa lingkungan lahan sawah dalam mereduksi pencemaran udara dengan rumus berikut:

$$NE_{JL} = \sum_i (R_i \times P_i)$$

(11) Dimana NE_{JL} = Nilai ekonomi jasa lingkungan lahan sawah dalam mereduksi pencemaran udara (Rp/ha/tahun), i = Jenis polutan (CO_2 , SO_2 , NO_2), R_i = Jumlah polutan i yang diserap (ton/ha/tahun), P_i = Harga polutan i yang diserap oleh lahan sawah (ton/ha/tahun).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jumlah rumpun tanaman pada sawah Desa Kedungbocok mencapai 111.111 rumpun/ha berdasarkan konfigurasi jarak tanam 30×30 cm. Produksi biomassa basah mencapai 68,21 ton/ha per musim tanam, sementara biomassa kering setelah pengurangan kadar air adalah 20,46 ton/ha. Kandungan karbon biomassa dihitung sebesar 9,21 ton C/ha/musim tanam berdasarkan faktor fraksi karbon IPCC sebesar 0,45, yang sesuai dengan kisaran nilai yang dilaporkan pada sistem sawah irigasi di Asia Tenggara (Sumani et al., 2024). Parameter biomassa lengkap dipresentasikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter biomassa sawah di Desa Kedungbocok

Parameter	Nilai	Satuan
Jumlah rumpun tanaman	111.111	rumpun/ha
Biomassa basah	68,21	ton/ha/musim
Biomassa kering	20,46	ton/ha/musim
Kandungan karbon	9,21	ton C/ha/musim
Biomassa kering tahunan (140 ha, 2 musim)	5.729,64	ton/tahun
Total CO_2 setara per musim per ha	33,77	ton CO_2 /ha/musim

Sumber: (Data primer, 2026)

Tabel 2. Penyerapan polutan tahunan oleh sawah di Desa Kedungbocok

Polutan	Penyerapan/ha	Total (140 ha)	Satuan
CO ₂	67,60	9.464	ton/tahun
SO ₂	0,029	4,11	ton/tahun
NO ₂	0,016	2,31	ton/tahun

Sumber: (Hasil kalkulasi, 2026)

Tabel 3. Nilai ekonomi jasa pengurangan polusi udara

Polutan	Nilai/ha (IDR/tahun)	Total nilai (IDR/tahun)	Persentase (%)
CO ₂	3.855.092	539.712.880	4,9
SO ₂	48.301.917	6.762.268.380	60,9
NO ₂	27.092.022	3.792.883.080	34,2
Total	79.249.031	11.094.864.340	100

Sumber: (Hasil kalkulasi, 2026)

Kapasitas Penyerapan Polutan

Sawah di lokasi penelitian menunjukkan kapasitas yang signifikan dalam penyerapan polutan atmosfer (Tabel 2). Sekuestrasi CO₂ tahunan mencapai 33,77 ton/ha per musim, setara 9.464 ton di seluruh area studi seluas 140 hektar dengan dua musim tanam. Penyerapan SO₂ total mencapai 4,11 ton/tahun dan NO₂ sebesar 2,31 ton/tahun untuk seluruh area. Kapasitas penyerapan ini merupakan hasil mekanisme deposisi kering yang berlangsung secara kontinu sepanjang periode pertumbuhan tanaman dan secara langsung dipengaruhi oleh konsentrasi polutan ambien di kawasan yang berdekatan dengan zona industri Sidoarjo.

Nilai Ekonomi Jasa Ekosistem

Total nilai ekonomi jasa pengurangan polusi udara yang disediakan oleh sawah Desa Kedungbocok mencapai Rp.11,09 miliar/tahun (Tabel 3). Penyerapan SO₂ memberikan kontribusi terbesar (60,9%), diikuti oleh NO₂ (34,2%) dan CO₂ (4,9%). Nilai per hektar rata-rata sebesar Rp79,25 juta per tahun. Dominasi nilai dari polutan SO₂ dan NO₂ mencerminkan konteks lokasi penelitian yang berdekatan dengan zona industri dengan konsentrasi polutan udara sekitar yang relatif tinggi. Kontribusi nilai SO₂ dan NO₂ yang jauh melampaui nilai karbon menunjukkan pentingnya memperhitungkan seluruh komponen jasa regulasi udara, bukan hanya sekuestrasi karbon, dalam penilaian ekosistem sawah di kawasan industri.

Kapasitas Penyerapan CO₂ dalam Konteks Komparatif

Laju sekuestrasi CO₂ sebesar 67,6 ton/ha/tahun (dengan dua musim tanam) yang diamati dalam penelitian ini melampaui nilai yang dilaporkan untuk sistem sawah satu

musim di kawasan Asia Tenggara lainnya. (Bhattacharyya et al., 2013) melaporkan serapan CO₂ ekosistem neto sebesar 8–15 ton/ha/musim pada sawah India, sementara (Myeong & Yi, 2023) mendokumentasikan kisaran serupa di Korea Selatan. Nilai yang lebih tinggi di Kedungbocok kemungkinan mencerminkan sistem tanam ganda dan kondisi pertumbuhan yang menguntungkan pada lahan sawah irigasi dataran rendah. Studi di Jawa Tengah oleh (Sumani et al., 2024) melaporkan total sekuestrasi karbon tertinggi pada sawah organik sebesar 45,89 ton/ha, yang konsisten dengan temuan penelitian ini bahwa sistem sawah irigasi aktif di Jawa memiliki kapasitas sekuestrasi yang substansial.

Nilai ini juga konsisten dengan temuan penelitian biomassa padi di berbagai lokasi di Indonesia. Menurut pandangan (Mujiyo et al., 2022), melaporkan bahwa sistem pertanian organik pada sawah mampu mencapai sekuestrasi karbon total 72,49 Mg/ha, sementara sistem konvensional menunjukkan nilai yang lebih rendah. Perbedaan ini menekankan pentingnya praktik pengelolaan lahan dalam menentukan kapasitas sekuestrasi karbon, sekaligus memberikan peluang untuk mengoptimalkan jasa ekosistem ini melalui transisi menuju praktik pertanian yang lebih berkelanjutan.

Jasa Ekosistem Pengurangan SO₂ dan NO₂

Nilai ekonomi penyerapan SO₂ (Rp48,3 juta/ha/tahun) dan NO₂ (Rp27,1 juta/ha/tahun) yang secara gabungan menyumbang 95,1% dari total nilai ekosistem, merupakan temuan yang penting dan sering diabaikan dalam studi valuasi jasa ekosistem sawah konvensional. Proses deposisi tanaman yang memungkinkan tanaman menyerap polutan gas dari atmosfer telah didokumentasikan secara ekstensif dalam penelitian tanaman perkotaan (Chaudhuri & Kumar, 2022). Kajian sistematis terhadap tanaman hijau perkotaan menunjukkan bahwa SO₂ mengalami reduksi konsentrasi rata-rata 30% secara spasial akibat tanaman dalam skala lanskap (Chaudhuri & Kumar, 2022), yang mendukung relevansi penerapan pendekatan ini pada ekosistem sawah.

Temuan ini menggaris bawahi perlunya memperluas cakupan penilaian jasa ekosistem sawah di luar sekuestrasi karbon. Dalam konteks kawasan yang berdekatan dengan zona industri seperti Sidoarjo, kemampuan sawah dalam menyerap polutan SO₂ dan NO₂ merepresentasikan jasa lingkungan yang sangat berharga. Sebagai perbandingan, penelitian di Guangzhou, China menunjukkan bahwa vegetasi perkotaan mampu menyerap total 312 ton SO₂, NO₂, dan partikulat dalam setahun. Kapasitas sawah Kedungbocok yang jauh lebih terbatas dalam hal skala area mencerminkan kontribusi yang proporsional dan signifikan dalam konteks lokal.

Implikasi Kebijakan

Temuan ini memiliki implikasi signifikan terhadap perencanaan tata ruang di Indonesia semi-urban. Total nilai jasa ekosistem sebesar Rp79,25 juta/ha/tahun memberikan basis empiris yang kuat untuk beberapa kebijakan strategis.

Pertama, skema Pembayaran Jasa Ekosistem (Payment for Ecosystem Services/PES). Petani yang mempertahankan sawah dapat menerima kompensasi yang mencerminkan sebagian dari manfaat lingkungan yang diberikan lahan mereka. Bahkan pembayaran moderat yang mewakili 10–20% dari nilai jasa ekosistem akan secara substansial meningkatkan pendapatan petani. Beberapa tantangan implementasi PES di Indonesia telah diidentifikasi dalam literatur, termasuk kebutuhan akan kerangka kelembagaan yang kuat, kepastian hukum mengenai hak lahan, dan mekanisme pendanaan yang berkelanjutan (Osewe et al., 2023). Pengalaman dari skema PES

kehutanan di Indonesia dapat memberikan pembelajaran berharga untuk adaptasi dalam konteks persawahan.

Kedua, penilaian dampak konversi lahan. Proposal pembangunan yang melibatkan konversi sawah harus mengintegrasikan jasa ekosistem yang akan hilang dalam analisis biaya-manfaat. Kehilangan tahunan sebesar Rp79,25 juta/ha manfaat lingkungan merupakan eksternalitas signifikan yang sering tidak diperhitungkan dalam kalkulasi ekonomi pembangunan. Reformulasi kebijakan perlindungan lahan sawah yang mengintegrasikan nilai jasa ekosistem ke dalam mekanisme insentif ekonomi dinilai penting untuk mempertahankan fungsi lingkungan sawah (Kholik et al., 2025). Undang-Undang No. 41 Tahun 2009 tentang Perlindungan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan memberikan kerangka hukum yang relevan, namun implementasinya di lapangan masih menghadapi berbagai tantangan.

Ketiga, integrasi dalam perencanaan tata ruang. Penetapan kawasan pertanian yang dilindungi seharusnya mempertimbangkan penyediaan jasa ekosistem di samping ketahanan pangan. Kawasan peri-urban seperti di Sidoarjo, Malang, dan Karawang memerlukan pendekatan tata ruang yang lebih holistik yang mengakui nilai lingkungan lahan sawah (Pratika & Hudalah, 2024).

Perbandingan dengan Studi Terdahulu dan Keterbatasan

Nilai ekonomi CO₂ yang dihasilkan (Rp3,86 juta/ha/tahun) sejalan dengan temuan studi valuasi karbon serupa di lahan basah dan sawah di Asia Tenggara. Studi penilaian ekosistem sawah di India oleh (Brief, 2023) melaporkan bahwa nilai karbon dalam sistem sawah organik adalah dua kali lebih tinggi dibandingkan sistem konvensional. Di Korea Selatan, (Myeong & Yi, 2023) menggunakan CVM untuk mengkuantifikasi kesediaan membayar masyarakat untuk jasa ekosistem sawah, yang menghasilkan nilai total ekosistem yang substansial, mengkonfirmasi pentingnya ekosistem sawah sebagai aset lingkungan yang bernilai tinggi. Di China, (Yuan et al., 2022) mendokumentasikan sistem pertanian terpadu padi-ikan-bebek yang memberikan nilai regulasi dan pemeliharaan sebesar 1,32 miliar CNY, menunjukkan bahwa ekosistem sawah multifungsi dapat memberikan nilai ekonomi yang sangat signifikan.

Keterbatasan utama penelitian ini meliputi: (1) studi terbatas pada satu desa dan mungkin tidak mewakili semua lanskap sawah semi-urban di Indonesia; (2) data konsentrasi polutan mencerminkan pengukuran titik bukan rata-rata spasial; (3) kampanye lapangan dua bulan tidak menangkap variasi musiman dalam produksi biomassa atau deposisi polutan; dan (4) analisis tidak memperhitungkan potensi interaksi antara vegetasi sawah dan kimia atmosfer yang dapat mempengaruhi konsentrasi NO₂ secara kompleks. Penelitian mendatang harus mengatasi keterbatasan ini melalui perbandingan multi-situs, pemantauan kontinu sepanjang tahun, dan penggunaan model atmosfer yang lebih komprehensif.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengkuantifikasi nilai ekonomi jasa pengurangan polusi udara yang disediakan oleh sawah di desa semi-urban Indonesia. Berdasarkan hasil penelitian, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: Sawah di Desa Kedungbocok (140 ha) dengan sistem tanam dua musim per tahun mampu menyerap 9.464 ton CO₂, 4,11 ton SO₂, dan 2,31 ton NO₂ setiap tahun melalui mekanisme fotosintesis dan deposisi tanaman. Kapasitas penyerapan ini secara langsung berkaitan dengan produktivitas biomassa sawah dan konsentrasi polutan udara sekitar di kawasan yang berdekatan

dengan zona industri. Total nilai ekonomi jasa ekosistem tersebut mencapai Rp11,09 miliar/tahun setara Rp79,25 juta/ha/tahun. Nilai ini merupakan estimasi konservatif karena hanya memperhitungkan tiga polutan utama tanpa memasukkan komponen jasa ekosistem lain seperti regulasi air, keanekaragaman hayati, dan nilai budaya.

Jasa penyerapan SO₂ dan NO₂ yang seringkali terabaikan dalam penilaian jasa ekosistem memberikan kontribusi nilai ekonomi jauh lebih besar (95,1%) dibandingkan sekuestrasi karbon saja (4,9%) dalam konteks sawah semi-urban yang berbatasan dengan kawasan industri. Temuan ini menegaskan perlunya pendekatan valuasi yang komprehensif yang mencakup seluruh jasa regulasi udara. Temuan ini menunjukkan bahwa sawah menyediakan manfaat non-pasar yang substansial di luar produksi pangan. Integrasi nilai jasa ekosistem ke dalam perencanaan tata ruang dan pengembangan mekanisme kompensasi bagi petani harus diprioritaskan untuk mencegah konversi lahan yang secara ekologis dan pertanian bernilai tinggi.

Beberapa aspek metodologi perlu didiskusikan untuk memastikan interpretasi yang tepat. Pendekatan avoided cost yang digunakan untuk valuasi SO₂ dan NO₂ mungkin menghasilkan estimasi nilai yang berbeda dibandingkan metode valuasi berbasis preferensi konsumen (Hanley & Barbier, 2020). Literatur menunjukkan bahwa metode berbeda dapat menghasilkan rentang nilai yang cukup lebar untuk jasa ekosistem yang sama (Freeman et al., 2014). Berdasarkan data (Dinas Lingkungan Hidup, 2024), pendekatan biaya yang dihindari dipandang paling sesuai untuk konteks perencanaan kebijakan di Indonesia karena menggunakan data pengeluaran aktual yang dapat diverifikasi dari instansi pemerintah.

DAFTAR PUSTAKA

- Assajjad, R. I., Kedhaton, A. S., Juwari, & Sandy, A. T. (2026). AVAILABILITY OF SUSTAINABLE FOOD RESOURCES TO IMPROVE FOOD SECURITY IN SAMBOJA, EAST KALIMANTAN. *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 19(1), 89–102. <https://doi.org/10.19184/jsep.v19i1.60024>
- BARBIER, E. B., HACKER, S. D., KENNEDY, C., KOCH, E. W., STIER, A. C., & SILLIMAN, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169–193. <https://doi.org/10.1890/101510.1>
- Bhattacharyya, P., Neogi, S., Roy, K. S., Dash, P. K., Tripathi, R., & Rao, K. S. (2013). Net ecosystem CO₂ exchange and carbon cycling in tropical lowland flooded rice ecosystem. *Nurt Cycl Agroecosyst*, 95, 133–144. <https://doi.org/10.1007/s10705-013-9553-1>
- BPS, I. (2025). *Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2024 (Angka Tetap)*. 2024(15). <https://www.bps.go.id/pressrelease/2025/02/03/2414/>
- BPS, K. S. (2023). *Kecamatan Tarik Dalam angka 2023*. <https://sidoarjokab.bps.go.id/id/publication/2023/09/26/c398c822fc65447f74cb3812/kecamatan-tarik-dalam-angka-2023.html>
- Brief, I. P. (2023). Strengthening and scaling payments for ecosystem services in India SERVICES IN INDIA: CONTEXT. *ICASS Policy Brief*, 5, 1–8.

- <https://www.tncindia.in/content/dam/tnc/nature/en/documents/Strengthening-d-scaling-PES-in-India.pdf>
- Chaudhuri, S., & Kumar, A. (2022). Urban greenery for air pollution control : a meta - analysis of current practice , progress , and challenges. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(235). <https://doi.org/10.1007/s10661-02209808-w>
- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., Farber, S., & Turner, R. K. (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28, 1– 16. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>
- Dinas Lingkungan Hidup, K. S. (2024). *Laporan Kinerja Instansi Pemerintah Tahun 2024*. [https://adminweb.sidoarjo.kab.go.id/upload/files/1753849305-LKJIP Kabupaten Th 2024.pdf](https://adminweb.sidoarjo.kab.go.id/upload/files/1753849305-LKJIP-Kabupaten%20Th%2024.pdf)
- Freeman, III A. M., Herriges, J. A., & Kling, C. L. (2014). *The Measurement of Environmental and Resource Values : Theory and Methods*. RFF Press. <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781315780917/measurement-environmental-resource-values-myrick-freeman-iii-joseph-herriges-catherine-kling>
- Hanley, N., & Barbier, E. B. (2020). *Pricing Nature: Cost–Benefit Analysis and Environmental Policy*. Edward Elgar Publishing.
- IDX, C. (2024). *IDX Carbon Monthly Report June 2024*. <https://www.idxcarbon.co.id/document/share/64/59b63385-5eb8-4e0c-91209cb52dbc42d5>
- Kholik, S., Nurlinda, I., Muttaqin, Z., & Priyanta, M. (2025). Reformulation of Policies to Prevent Land Conversion of Rice Fields In Achieving Indonesia ’ s National Food Security. *F1000Research*, 13(945), 1–13. <https://doi.org/10.12688/f1000research.151364.1>
- Mujiyo, Nugroho, D., Sutarno, Herawati, A., Herdiansyah, G., & Rahayu. (2022). Evaluasi Kemampuan Lahan sebagai Dasar Rekomendasi Penggunaan Lahan di Kecamatan Ngadirojo Kabupaten Wonogiri. *Jurnal Agricultural*, 33(1), 56–67. <https://doi.org/10.20961/agsjpa.v38i2>
- Mulya, S. P., Purboyo, H., Putro, H., & Hudalah, D. (2023). Geography and Sustainability Review of peri-urban agriculture as a regional ecosystem service. *Geography and Sustainability*, 4, 244–254. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2023.06.001>
- Myeong, S., & Yi, D. (2023). An Estimation of Ecosystem Service Value of Rice Paddy Wetland in Korea Using Contingent Valuation Method. *Water*, 15(4263), 1–13. <https://doi.org/10.3390/w15244263>
- Ning, P., Xia, X., & Jiang, Y. (2023). An Estimation Model of the Ultimate Shear Strength of Root-Permeated Soil , Fully Considering Interface Bonding. *Forests*, 14(819), 1–25. <https://doi.org/10.3390/f14040819>
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Hoehn, R. (2013). Modeled PM 2 . 5 removal by trees in ten U . S . cities and associated health effects. *Environmental Pollution*, 178, 395–402. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.050>
- Osewe, I., Aureliu-Florin Hălălis, A., Talpă, N., & Popa, B. (2023). Critical Analysis of Payments for Ecosystem Services : Case Studies in Kenya , Uganda and Tanzania. *Forests*, 14(1209). <https://doi.org/10.3390/f14061209>
- Patiung, M. (2022). Nilai Ekonomi Lahan Sawah sebagai Manfaat Produk Jasa

- Lingkungan di Era Pertanian Milenial Tahun 2022. *Prosiding Seminar Nasional Magister Agribisnis*, 14, 1–8.
<https://semagri.upnjatim.ac.id/index.php/semagri/article/view/14/11>
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Irving, W., & Krug, T. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC.
<https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- Pratika, S., & Hudalah, D. (2024). Regional Sustainability Agricultural intensity for sustainable regional development: A case study in peri-urban areas of Karawang Regency, Indonesia. *Regional Sustainability*, 5(1), 100117.
<https://doi.org/10.1016/j.regsus.2024.100117>
- Schwantes, A. M., Firkowski, C. R., Rodriguez, P. S., Gonzalez, A., & Fortin, M.-J. (2022). A comparison of approaches to quantify carbon for ecosystem service assessments through time. *Canadian Science Publishing*, 9(Ipcc 2006), 1–13.
<https://doi.org/10.1139/facets-2023-0053>
- Sumani, Adjie, E. M. A., Mujiyo, M., Maro'ah, S., Herawati, A., & Herdiansyah, G. (2024). Total Carbon Sequestration on Soil and Plant Biomass Under Different Farming Systems of. *International Information and Engineering Technology Association*, 19(1), 101–109.
<https://doi.org/10.18280/ij dne.190112%0AReceived>
- Yafi, M. A., & Rondhi, M. (2024). Urbanisation, Paddy Field Conversion and its Impact on Rice Production in Indonesia: A Synthesis of Panel Data 2015-2019. *Atlantis Press*, 2023(41). <https://doi.org/10.2991/978-94-6463-445-7>
- Yuan, Y., Xu, G., Shen, N., Nie, Z., Li, H., Lin, Z., Yunchong, G., He, Y., Ma, X., Zhang, H., Zhu, J., Duan, J., & Xu, P. (2022). Valuation of Ecosystem Services for the Sustainable Development of Hani Terraces: A Rice – Fish – Duck Integrated Farming Model. *Environmental Research and Public Health*, 19(8549). <https://doi.org/10.3390/ijerph19148549>