

Pemahaman Konsep Siklus Air Pada Siswa MI/SD Melalui Penjelasan Sederhana Dan Contoh Nyata Dalam Kehidupan Sehari Hari

Faizatul Fitriyah¹, Alisa Nurul Putri Rahayu², Moh Fadli Hamzah³

¹ PGMI, Universitas Islam Negeri Kh Achmad Shiddiq Jember

² PGMI, Universitas Islam Negeri Kh Achmad Shiddiq Jember

³ PGMI, Universitas Islam Negeri Kh Achmad Shiddiq Jember

[1faizatulfitriyah681@email.com](mailto:faizatulfitriyah681@email.com), [2alishanurul.2005@email.com](mailto:alishanurul.2005@email.com), [3hamzahfadli027@gmail.com](mailto:hamzahfadli027@gmail.com)

Abstrak

Pembelajaran IPA untuk tingkat MI/SD membutuhkan pendekatan yang sederhana dan nyata agar siswa mampu memahami konsep secara utuh. Salah satu materi penting adalah siklus air, yang sering kali dianggap abstrak oleh siswa. Artikel ini bertujuan untuk menjelaskan supaya meningkatkan pemahaman konsep siklus air melalui penjelasan sederhana dan contoh nyata dalam kehidupan sehari-hari. Metode yang digunakan adalah pendekatan deskriptif kualitatif dengan menekankan pada penggunaan bahasa yang mudah dipahami serta pengaitan materi dengan pengalaman langsung siswa, seperti hujan, penguapan air, dan proses terbentuknya awan. Hasil pembahasan menunjukkan bahwa penyampaian materi secara sederhana dan kontekstual bisa membantu siswa lebih dalam memahami tahapan siklus air, meningkatkan minat belajar, serta mendorong keaktifan dalam proses pembelajaran. Dengan demikian, penggunaan contoh nyata dalam kehidupan sehari-hari menjadi strategi yang efektif dalam mendukung pembelajaran IPA di tingkat MI/SD.

Kata Kunci: siklus air, pembelajaran IPA, siswa MI/SD, pemahaman konsep, kontekstual

PENDAHULUAN

Pembelajaran IPA pada tingkat MI/SD pada hakikatnya perlu disajikan dengan cara yang mudah, jelas, dan relevan dengan kehidupan sehari-hari agar siswa dapat memahami konsep secara mendalam, terutama pada materi yang bersifat abstrak dan berurutan seperti siklus air. Berbagai metode konvensional maupun modern telah diterapkan dalam pengajaran IPA selama ini, termasuk metode ceramah, penggunaan media visual, pendekatan kontekstual, serta pembelajaran berbasis pengalaman langsung *experiential learning*. Secara umum, implementasi di lapangan menunjukkan bahwa pendekatan kontekstual serta penerapan contoh yang nyata jauh lebih berhasil dalam meningkatkan pemahaman dan retensi memori siswa dibandingkan dengan metode tradisional yang cenderung monoton. Meskipun demikian, penerapan metode inovatif tersebut saat ini masih menghadapi beberapa tantangan krusial di ruang kelas, seperti penggunaan bahasa materi yang kurang disederhanakan oleh pengajar serta masih minimnya hubungan langsung antara teks pelajaran dengan pengalaman empiris siswa sehari-hari, yang pada akhirnya membuat konsep-konsep sains yang kompleks menjadi sulit diterima secara menyeluruh oleh peserta didik usia dasar.

Oleh karena itu, sangat dibutuhkan sebuah rekonstruksi strategi pembelajaran baru yang secara khusus menyoroti penjelasan yang simpel dan komunikatif, lalu dikombinasikan secara integratif dengan contoh-contoh nyata dari fenomena yang kerap dijumpai siswa dalam kehidupan sehari-hari. Melalui formulasi strategi ini, siswa diharapkan dapat mengidentifikasi, mengonseptualisasi, dan memahami setiap tahap-tahap siklus air dengan jauh lebih baik, mulai dari proses evaporasi hingga presipitasi. Pendekatan ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi teoritis maupun praktis yang signifikan dalam pengembangan strategi pembelajaran IPA yang lebih efisien, kontekstual, serta mudah diimplementasikan oleh para guru di tingkat MI/SD. Maka dari itu, tujuan utama dari penulisan artikel ini adalah untuk menggambarkan secara komprehensif bagaimana pemahaman konsep siklus air di kalangan siswa MI/SD dapat dioptimalkan melalui penjelasan yang sederhana dan pemanfaatan contoh nyata dalam kehidupan sehari-hari guna meningkatkan kualitas pembelajaran IPA secara berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini menerapkan pendekatan deskriptif kualitatif yang bertujuan untuk memahami secara mendalam bagaimana siswa MI/SD memaknai konsep siklus air melalui penjelasan yang sederhana serta pemanfaatan contoh nyata dalam kehidupan sehari-hari. Fokus penelitian ini diarahkan secara spesifik pada dinamika proses pembelajaran di dalam kelas, khususnya pada interaksi instruksional yang terjadi antara guru dan siswa, tingkat pemahaman konsep yang dicapai siswa, serta sejauh mana keterkaitan materi tersebut dengan pengalaman empiris mereka. Pendekatan deskriptif kualitatif ini dipilih karena kapasitasnya yang mampu memberikan gambaran komprehensif, utuh, dan mendalam mengenai proses sekaligus hasil pembelajaran IPA secara kontekstual di lingkungan sekolah dasar, tanpa melibatkan perhitungan statistik atau manipulasi variabel yang rumit. Adapun subjek dalam penelitian ini adalah siswa kelas IV atau V MI/SD yang sedang menempuh materi

siklus air, sedangkan objek penelitiannya berpusat pada pemahaman konsep siklus air melalui penerapan penjelasan sederhana dan contoh konkret dalam pembelajaran IPA. Pemilihan subjek tersebut dilakukan menggunakan teknik *purposive*, yaitu didasarkan pada asas kesesuaian dan relevansi dengan materi pokok yang sedang diajarkan di kelas saat penelitian berlangsung.

Untuk memperoleh data yang valid, pengumpulan data dilakukan melalui kombinasi beberapa teknik, yaitu observasi langsung guna mengamati seluruh aktivitas dan perilaku siswa selama proses pembelajaran berlangsung, wawancara mendalam untuk menggali serta mengonfirmasi tingkat pemahaman subjektif siswa terhadap konsep siklus air, serta dokumentasi yang mencakup catatan lapangan pembelajaran, hasil pekerjaan siswa, dan foto kegiatan. Seluruh instrumen penelitian yang digunakan meliputi lembar observasi aktivitas siswa, pedoman wawancara, dan dokumen pembelajaran—disusun secara sistematis berdasarkan indikator pemahaman konsep, seperti kemampuan siswa dalam menjelaskan proses siklus air (evaporasi, kondensasi, dan presipitasi) menggunakan bahasa yang sederhana serta mengaitkannya dengan contoh nyata. Selanjutnya, analisis data dilakukan dengan menggunakan teknik deskriptif kualitatif model interaktif yang mencakup tiga tahapan runtut, yaitu reduksi data (menyeleksi, memfokuskan, dan menyederhanakan data mentah yang relevan), penyajian data (mengorganisasikan dan merangkai data dalam bentuk narasi yang sistematis), serta penarikan kesimpulan atau verifikasi (menafsirkan secara logis hasil pembelajaran yang ditemukan). Secara teoritis, metode yang diterapkan ini mengacu pada landasan pendekatan pembelajaran kontekstual *contextual teaching and learning* dan konstruktivistik yang telah banyak diterapkan sebelumnya, namun diberikan modifikasi dan penyesuaian khusus pada aspek penggunaan bahasa instruksional yang lebih sederhana serta penguatan contoh-contoh nyata yang dekat dengan kehidupan sehari-hari siswa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembelajaran sains di tingkat Sekolah Dasar/Madrasah Ibtidaiyah (SD/MI) menuntut pemahaman yang mendalam mengenai bagaimana siswa berpikir, memproses informasi, dan mengatasi hambatan belajar yang khas pada fase operasional konkret (O.K.) serta konteks perkembangan kognitif lainnya. Kerangka teori kognitif (mis. Piaget) menekankan bahwa anak-anak SD berada pada rentang tahap operasional konkret, di mana mereka dapat mengoperasikan logika terhadap objek yang konkret namun sering menghadapi keterbatasan dalam abstraksi dan pemahaman konsep yang lebih abstrak ketika dihadapkan pada skema baru (misalnya konsep sains abstrak atau eksperimen yang tidak langsung terlihat)¹. Berbagai studi terbaru juga menyoroti bahwa implementasi pendekatan berbasis teori kognitif, pembelajaran kontekstual, instruksi yang berpusat pada siswa, serta penggunaan media konkret dapat meningkatkan pemahaman konsep IPA dan literasi sains pada siswa SD/MI. Di sisi lain, hambatan belajar pada level SD/MI mencakup faktor kognitif seperti kesulitan memori kerja, diskriminasi huruf/bunyi, dyslexia, dysgraphia, diskalkulia, serta ADHD, yang berdampak pada kemampuan membaca, menulis, berhitung, dan mengikuti prosedur eksperimen sains (misalnya observasi, perencanaan eksperimen, analisis data) (Abdullah & Uslan, 2022; Mindaryani et al., 2024; Rahma & Rosita, 2024). Karena itu, kajian ini mengintegrasikan dua alur utama: (1) tahap perkembangan kognitif menurut teori Piaget dan implikasinya untuk desain pembelajaran sains di SD/MI; (2) hambatan belajar kognitif beserta strategi penanganannya yang relevan bagi guru sains di SD/MI².

1. Karakteristik Kognitif Siswa SD/MI dalam Belajar Sains

a. Tahap perkembangan kognitif dan implikasinya bagi pembelajaran sains SD/MI

Tahap Operasional Konkret (7–11 tahun); karakteristik utamanya yaitu kemampuan berpikir logis terhadap objek konkret, mengklasifikasikan, memahami hubungan sebab-akibat yang dapat diamati secara langsung, serta mampu memecahkan masalah yang terkait dengan pengalaman konkret siswa. Pembelajaran IPA sebaiknya berorientasi pada pengalaman langsung, eksperimen sederhana, manipulasi objek fisik, dan tugas yang mengaitkan konsep dengan fenomena nyata di lingkungan sekolah atau lingkungan sekitar siswa. Media pembelajaran yang konkret (mis., alat peraga, manipulatives, model fisik) digunakan untuk memfasilitasi konstruksi konsep ilmiah secara bertahap, sehingga siswa dapat mengoperasikan konsep secara lebih jelas sebelum beralih ke konsep abstrak. Guru: sebagai fasilitator yang menyediakan pengalaman ilmiah konkret, memandu observasi terstruktur, dan membantu siswa menjembatani antara fenomena konkret dengan pengertian ilmiah yang lebih umum. Penggunaan pembelajaran berbasis proyek dan

¹ Nur Luluk Indah, "Implementasi Teori Kognitif Dalam Meningkatkan Prestasi Belajar Siswa Sekolah Dasar," *Syntax Idea* 6, no. 5 (May 31, 2024): 2334–42, <https://doi.org/10.46799/syntax-idea.v6i5.3378>.

² Norazilawati Abdullah and Uslan, "PEMBELAJARAN IPA BERASASKAN PENGETAHUAN TEMPATAN TANAMAN FALOK (Sterculia Quadrifida R.Br) SEBAGAI SOLUSI PEMBELAJARAN IPA DI SEKOLAH DASAR," *Jurnal Pendidikan Dasar Flobamorata* 3, no. 2 (October 1, 2022): 331–37, <https://doi.org/10.51494/jpdf.v3i2.785>.

kooperatif dapat meningkatkan pemahaman konsep melalui pemecahan masalah nyata yang relevan dengan konteks siswa³.

Tahap Pra-Operasional (2–7 tahun); karakteristiknya berpikir secara visual-ikonik dan simbolik minimal; kurang mampu abstraksi formal; cenderung mengandalkan pengalaman konkret yang sederhana. Meskipun sebagian siswa SD/MI masih berada pada transisi dari Pra-Operasional ke Operasional Konkret, desain pembelajaran sains perlu mengakomodasi kebutuhan visualisasi, narasi yang berhubungan dengan dongeng, permainan peran, eksperimen sederhana, dan kegiatan berbasis pengalaman multisensori untuk membangun landasan konsep sains secara bertahap.

Tahap Formal (11 tahun ke atas); Secara umum di SD/MI fase formal tidak dominan; beberapa siswa sudah mulai mengilustrasikan pemikiran abstrak pada bagian-bagian tertentu, tetapi pembelajaran IPA di SD/MI tetap menekankan konkritisasi hingga tingkat lanjutnya di jenjang yang lebih tinggi. Referensi menyatakan bahwa pemahaman sains pada usia SD lebih banyak tergantung pada pengalaman konkret dan skema yang terdiferensiasi, sehingga guru perlu menyusun aktivitas yang kontekstual dan berorientasi pengalaman nyata.

Beberapa sumber menekankan bahwa usia saja tidak menentukan kemajuan kognitif; pengalaman belajar, stimulasi lingkungan, dan perbedaan individu turut mempengaruhi laju perkembangan kognitif siswa SD/MI. Oleh karena itu, pemetaan karakteristik peserta didik, diferensiasi instruksional, dan pendekatan pembelajaran yang berpusat pada siswa sangat relevan untuk menyesuaikan dengan tahap perkembangan yang beragam di kelas SD/MI.

b. Hambatan belajar kognitif pada pembelajaran sains di SD/MI dan strategi penanganannya

Hambatan dalam proses membaca, menulis, dan berhitung terkait dengan disabilitas kognitif (disleksia, disgrafia, diskalkulia, disfraksia) serta ADHD dapat mempengaruhi kemampuan siswa untuk mengikuti eksperimen IPA, mencatat observasi, dan memproses informasi ilmiah secara sistematis. Studi-deskriptif-kualitatif menunjukkan bahwa faktor-faktor hambatan kognitif ini berdampak pada kemampuan belajar konsep IPA, keterampilan proses sains, serta kemampuan literasi sains siswa SD/MI. Dampaknya beberapa studi menunjukkan bahwa masalah psikososial dan kognitif pada siswa kelas rendah dapat mempengaruhi motivasi, kepercayaan diri, dan keterlibatan dalam pembelajaran sains. BK (bimbingan konseling) perlu memberi dukungan untuk meningkatkan resiliensi dan suasana belajar yang kondusif bagi siswa SD/MI⁴.

Hambatan implementasi pendidikan inklusif dalam pembelajaran sains akibat variasi jenis disabilitas, kekurangan media pembelajaran yang sesuai untuk disabilitas kognitif, dan kurangnya GPK (guru pendamping kelas) di sekolah inklusif. Hal ini menghambat penyediaan pengalaman belajar IPA yang inklusif dan bermakna bagi semua siswa. Hambatan terkait kurikulum dan kebijakan: kebijakan inklusif dan implementasi teori pendidikan Ki Hajar Dewantara di SD/MI mengindikasikan perlunya dukungan kebijakan, fasilitas, dan sumber daya serta kesejajaran antara proses pembelajaran dan kebijakan untuk mencapai pembelajaran sains yang lebih inklusif dan bermakna.

Keterbatasan penggunaan teknologi dan media pembelajaran berbasis digital dapat menghambat upaya membantu siswa memahami konsep IPA dengan cara yang kontekstual. Namun, teknologi juga berpotensi meningkatkan akses ke materi, visualisasi konsep, simulasi laboratorium virtual, dan pembelajaran jarak jauh yang dapat diadaptasi untuk siswa SD/MI dengan kebutuhan berbeda.

Berbagai studi menekankan pentingnya literasi sains sejak dini melalui pendekatan sains kontekstual, pemanfaatan pengetahuan lokal, etnopedagogi, dan STEAM, untuk meningkatkan minat, motivasi, dan pemahaman siswa SD/MI terhadap sains. Hambatan terkait literasi sains dapat diatasi dengan desain pembelajaran yang berbasis proyek, integrasi STEAM, dan pendekatan etnopedagogi yang relevan budaya setempat.

Hambatan psikososial memerlukan dukungan BK untuk membantu siswa melewati hambatan emosional dan sosial yang dapat menghambat proses belajar sains. Program konseling berbasis kelompok, IEP, dan pendekatan SFBT dapat meningkatkan kesiapsiagaan mental siswa untuk belajar IPA secara lebih efektif.

³ Lin Herlina and Uus Kusnadi, "EFEKTIVITAS PEMBELAJARAN STEM DENGAN MEDIA STRONGER BRIDGE TERHADAP HASIL BELAJAR KOGNITIF PESERTA DIDIK," *Khazanah Pendidikan* 17, no. 2 (September 26, 2023): 9, <https://doi.org/10.30595/jkp.v17i2.17837>.

⁴ Siti Hartinah, Muslihati Muslihati, and Triyono Triyono, "Problematika Psikososial Dan Kognitif Siswa Sekolah Dasar Kelas Rendah Dan Implikasinya Terhadap Bimbingan Dan Konseling Di Sekolah Dasar," *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian, Dan Pengembangan* 6, no. 10 (October 30, 2021): 1567–80, <https://doi.org/10.17977/jptpp.v6i10.15055>.

Desain pembelajaran sains di SD/MI yang berpusat pada siswa harus menempatkan mereka sebagai aktor utama dengan mengadopsi prinsip pembelajaran kognitif. Berdasarkan pemikiran Herlina & Kusnadi (2023) serta Indah (2024), proses ini dilakukan dengan memanfaatkan organikitas pengalaman belajar dan mengaktifkan memori kerja siswa melalui tugas-tugas berurutan yang menguatkan pengolahan, pemrosesan, penyimpanan, dan pengambilan kembali informasi. Guna meminimalkan beban kognitif tersebut, penguatan instruksional disarankan melalui penggunaan alat bantu visual, representasi konkret, model fisik, serta kegiatan berbasis masalah yang relevan dengan konteks kehidupan sehari-hari siswa (Herlina & Kusnadi, 2023; Indah, 2024). Keselarasan ini diperkuat oleh pandangan bahwa pemahaman konsep-konsep IPA akan jauh lebih optimal jika instruksi disesuaikan dengan bagaimana anak-anak secara alami berpikir, terutama pada tahap Operasional Konkret⁵.

Untuk mengimplementasikan pembelajaran bertahap yang sesuai dengan perkembangan kognitif tersebut, guru perlu membedakan perlakuan berdasarkan usia dan kesiapan siswa. Pada tahap Operasional Konkret, desain aktivitas IPA sebaiknya menyediakan fenomena nyata yang dapat diamati, mendorong siswa membuat prediksi, melakukan eksperimen sederhana, mendokumentasikan hasil observasi, serta memanfaatkan gambar, diagram, dan materi konkret untuk menyusun konsep ilmiah dasar (Fortuna & Kusuma, 2023; Herlina & Kusnadi, 2023; Indah, 2024). Sementara itu, bagi siswa yang masih berada pada transisi tahap Pra-Operasional di kelas awal SD/MI, kebutuhan literasi sains dasarnya dapat dipenuhi melalui kegiatan naratif, bermain peran, eksperimen yang sangat sederhana, serta pemodelan konseptual berbasis pengalaman langsung.

Selain faktor usia, inklusivitas melalui diferensiasi instruksional menjadi kunci penting dengan melakukan pemetaan karakteristik siswa yang mencakup kemampuan kognitif, literasi sains, minat, hingga kebutuhan khusus. Implementasi diferensiasi ini memungkinkan guru untuk menyesuaikan beban tugas, ritme pembelajaran, dan media yang tepat bagi keragaman siswa, termasuk mereka yang memiliki disabilitas kognitif atau membutuhkan dukungan khusus melalui bimbingan konseling (BK) di sekolah. Oleh karena itu, sekolah inklusif wajib memperkuat dukungan media pembelajaran yang aksesibel, meningkatkan jumlah Guru Pendamping Khusus (GPK), serta mempererat kerja sama tripartit antara guru kelas, petugas BK, dan orang tua, yang didukung oleh pelatihan guru sains serta strategi konseling untuk menjaga kesiapsiagaan emosional siswa.

Strategi penanganan ini menjadi sangat krusial karena adanya keterkaitan erat antara hambatan kognitif dan hambatan kontekstual di lapangan. Hambatan kognitif yang dialami siswa seperti disleksia, disgrafia, diskalkulia, dan ADHD terbukti dapat menurunkan kemampuan mereka dalam mengakses konten IPA, mencatat hasil observasi, serta melakukan eksperimen secara mandiri. Kondisi ini sering kali diperparah oleh hambatan kontekstual seperti minimnya media pembelajaran inklusif dan kurangnya ketersediaan GPK; sehingga solusi yang terstruktur harus melibatkan penyediaan media konkret, penyesuaian kurikulum, dan intervensi BK yang solid⁶.

Sebagai langkah pengayaan, pemanfaatan pendekatan STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics) dapat diterapkan untuk meningkatkan minat, keterlibatan, dan kemampuan kognitif siswa melalui pembelajaran terintegrasi yang kontekstual. Walaupun penerapannya membutuhkan tantangan tersendiri dalam hal dukungan fasilitas, alokasi waktu, dan pelatihan guru, STEAM dapat dialihkan untuk memperkaya literasi sains, kemampuan berpikir kritis, dan keterampilan abad 21 melalui proyek berbasis kajian sains yang relevan dengan lingkungan lokal. Langkah ini disempurnakan dengan mengintegrasikan literasi sains dan literasi budaya melalui etnopedagogi serta pemanfaatan pengetahuan lokal (kearifan lokal) agar pembelajaran IPA menjadi lebih bermakna dan relevan secara kultural, di mana segala hambatan implementasinya dapat diatasi melalui pelatihan guru yang berkelanjutan, perbaikan infrastruktur media, dan penyesuaian kurikulum.

Kesimpulannya Tahap Operasional Konkret menuntut desain pembelajaran IPA berbasis pengalaman konkret, manipulatif, dan kontekstual untuk mengoptimalkan pemahaman konsep sains di SD/MI. Pembelajaran yang berpusat pada siswa, pemanfaatan media konkret, serta pendekatan proyek/kooperatif secara konsisten direkomendasikan untuk meningkatkan pemahaman IPA pada siswa SD/MI. Hambatan belajar kognitif pada SD/MI termasuk disabilitas kognitif, gangguan belajar, serta hambatan psikososial. Strategi penanganan meliputi diferensiasi instruksional, dukungan BK, media pembelajaran yang sesuai, serta pembelajaran berbasis proyek dan STEAM untuk

⁵ Aurelia Tari Fortuna and Yanda Bara Kusuma, "Pengembangan Metode Steam Sebagai Upaya Peningkatan Kemampuan Anak Usia 5-15 Tahun Di Tangerang Selatan," *Cakrawala: Jurnal Pengabdian Masyarakat Global* 2, no. 3 (July 7, 2023): 93–99, <https://doi.org/10.30640/cakrawala.v2i3.1346>.

⁶ Ikmal Choirul Huda and Mega Renny Kumalasari, "STRATEGI EFEKTIF DALAM PENGAJARAN DI SEKOLAH DASAR MELALUI PEMETAAN KARAKTERISTIK PESERTA DIDIK," *Jurnal Ilmiah PENDAS: Primary Educational Journal* 5, no. 2 (December 1, 2024): 72–82, <https://doi.org/10.29303/pendas.v5i2.5332>.

meningkatkan minat dan literasi sains. Pemetaan karakteristik peserta didik, peningkatan kapasitas guru melalui pelatihan inklusif, serta dukungan kebijakan dan fasilitas menjadi kunci peningkatan kualitas pembelajaran IPA di SD/MI. Integrasi teori kognitif, STEAM, etnopedagogi, dan pendekatan kontekstual diyakini dapat secara sinergis meningkatkan kognisi, motivasi, dan keterampilan abad 21 siswa SD/MI serta meminimalkan hambatan pembelajaran sains.

2. Dekonstruksi Konsep Siklus Air untuk Siswa SD/MI

Dekonstruksi Konsep Siklus Air untuk Siswa SD/MI secara Sederhana Berikut penyajian dekonstruksi sederhana mengenai siklus air yang terdiri atas evaporasi, kondensasi, presipitasi, transpirasi, limpasan (runoff), dan infiltrasi. Penjelasan ini dirancang agar mudah dipahami siswa SD/MI dengan bahasa yang jelas, contoh konkret, dan hubungan antara prosesnya. Setiap bagian didukung pemahaman umum tentang siklus air yang relevan dengan pembelajaran IPA di SD/MI.

a) Evaporasi (pengapan)

Evaporasi adalah perubahan status cair menjadi uap yang terjadi di permukaan air atau permukaan vegetasi, dan merupakan tahap penting dalam daur air global. Proses ini memindahkan energi laten dari permukaan cair ke atmosfer dan menjadi tahap awal dalam siklus hidrologi yang mengatur aliran air dari lautan, daratan, hingga atmosfer. Evaporasi tidak hanya terjadi pada permukaan badan air besar, tetapi juga relevan pada permukaan daun dan tumbuhan melalui transpirasi (evaporasi melalui stomata dan kutikula) sebagai bagian dari interaksi tumbuhan–lingkungan. Evaporasi memerlukan gradien energi (bahang) serta defisit tekanan uap air antara permukaan air dan udara di atasnya, dan laju evaporasi meningkat seiring meningkatnya radiasi matahari, suhu udara, defisit tekanan uap air, serta pergerakan udara (angin) di atas permukaan. Dalam konteks agroekologi, defisit tekanan uap air (saturated vapor pressure vs. actual vapor pressure) dan kecepatan angin adalah faktor dominan yang mengatur laju evaporasi pada interval harian/dasarian, sedangkan suhu udara berperan melalui peningkatan energi bahang yang tersedia untuk penguapan. Secara intinya, evaporasi adalah proses fisik murni yang menghasilkan uap dari cairan di permukaan, berbeda dengan transpirasi yang melibatkan proses fisiologis pada jaringan hidup tumbuhan tetapi keduanya saling terkait melalui aliran air dan pelepasan panas.

Evaporasi adalah perpindahan panas yang memindahkan uap air dari permukaan cair ke atmosfer dan dapat dipicu oleh radiasi matahari serta perbedaan tekanan uap air antara permukaan dan udara sekeliling. Pada tumbuhan, transpirasi adalah proses kehilangan air melalui stomata, kutikula, atau lentisel yang terjadi dalam jaringan hidup tanaman dan terkait erat dengan pengangkutan air dari akar ke daun; sebagian air yang menguap melalui stomata juga merupakan bagian dari evaporasi, namun perbedaannya terletak pada adanya komponen fisiologis yang mengatur bukaan stomata dan dinamika tekanan air dalam jaringan tumbuhan. Banyak sumber menegaskan bahwa evaporasi kontekstual meliputi dua arena: evaporasi fisik dari permukaan cair (tanpa keterlibatan jaringan hidup secara langsung) dan transpirasi yang melibatkan mekanisme biologis pada jaringan tumbuhan, sehingga keduanya bisa berkontribusi pada laju kehilangan air dan pendinginan lingkungan sekitar⁷.

Transpirasi tumbuhan berperan sebagai mekanisme pendinginan utama dengan kehilangan air melalui stomata; proses ini bersamaan dengan fotosintesis dan memerlukan energi radiasi matahari untuk menjaga suhu tumbuhan agar tidak melampaui ambang stres termal. Karena jumlah energi yang dibutuhkan untuk menguapkan air sangat besar (sekitar 580 kalori untuk setiap gram air yang diuapkan), transpirasi dapat menurunkan suhu lingkungan sekitar tumbuhan relatif terhadap suhu udara di sekitar, sehingga memberikan efek pendinginan mikroklimat sekitar kanopi tanaman. Terdapat nuansa: evaporasi melalui stomata pada daun adalah bagian dari transpirasi tetapi juga bagian dari evaporasi yang lebih luas; beberapa literatur membedakan antara transpirasi (proses fisiologis pada jaringan hidup) dan evaporasi (fasa fisik) dengan definisi yang tumpang tindih pada kenyataannya, meskipun mekanisme dan kendali bukaan stomata membedakan keduanya secara operasional. Pada praktik, efek gabungan keduanya berkontribusi pada pendinginan mikroklimat di bawah kanopi tumbuhan dan pada suhu udara di sekitarnya, terutama pada kondisi iklim mikro yang dimodifikasi melalui vegetasi ruang terbuka hijau (RTH) maupun pepohonan arsir. Efek pendinginan yang dihasilkan oleh transpirasi evaporasi berkontribusi pada penurunan suhu udara di lingkungan sekitar, misalnya terhadap penurunan suhu di bawah kanopi pohon pada siang hari terik sekitar beberapa derajat Celsius dalam kondisi cukup air (mis. pengamatan di beberapa studi lapangan dan ulasan terkait transpirasi/evaporasi yang menghubungkan mikroklimat dengan suhu udara). Hal ini relevan untuk desain taman kota dan buah-buahan, karena vegetasi berperan sebagai “pendingin” mikroklimat bawah kanopi yang

⁷ Srinatalia Silaen, “PENGARUH TRANSPIRASI TUMBUHAN DAN KOMPONEN DIDALAMNYA,” *Agroprimatech* 5, no. 1 (October 30, 2021): 14–20, <https://doi.org/10.34012/agroprimatech.v5i1.2081>.

bisa menurunkan beban panas pada lingkungan perkotaan dan meningkatkan kenyamanan termal pada manusia serta hewan.

Dalam konteks hewan ternak dan produksi perairan, iklim kandang menyebabkan perubahan laju evaporasi melalui suhu dan kelembapan, memicu mekanisme termoregulasi seperti evaporasi melalui kulit dan pernapasan. Data iklim kandang (THI, suhu, kelembapan) berhubungan dengan metabolisme dan beban panas hewan, di mana evaporasi menjadi jalur penting dalam pelepasan panas; suhu lingkungan yang lebih tinggi meningkatkan keperluan penguapan untuk mempertahankan homeostasis termal pada hewan ternak.

Evaporasi juga memainkan peran penting dalam sistem desalinasi berbasis evaporator air laut, di mana proses evaporasi dipakai untuk menghasilkan uap yang kemudian dikondensasikan menjadi air tawar; desain evaporator, transfer panas, dan koefisien kehilangan panas total (overall heat loss coefficient) mempengaruhi laju evaporasi dan efisiensi sistem, menunjukkan relevansi fisika perpindahan panas pada aplikasi teknik. Pada sistem pertanian berkelanjutan, pemodelan neraca air lahan yang memasukkan laju transpirasi/evaporasi membantu memprediksi ketersediaan air bagi tanaman serta kebutuhan irigasi, karena laju penguapan bergantung pada input energi bahang dan kondisi iklim. Ini tercermin dalam model neraca air lahan yang menghubungkan transpirasi dengan ketersediaan air tanah dan radiasi matahari, serta peran udara terhadap laju evaporasi.

Evaporasi adalah mekanisme fisik yang mengubah cairan menjadi uap dengan kebutuhan energi bahang yang besar, dipicu oleh radiasi matahari dan defisit tekanan uap air, dan dipengaruhi oleh kecepatan angin serta suhu udara (Tisen, 2017; Wati et al., 2015). Iklim yang dimodifikasi melalui vegetasi (RTH) memiliki dampak pada iklim mikro termasuk suhu udara, kelembapan, dan curah hujan lokal, melalui proses transpirasi/evaporasi yang saling terkait, sehingga vegetasi dapat menurunkan suhu lingkungan sekitar hingga beberapa derajat Celsius pada siang hari terik (Susanto, 2013; Suwarno & Mushawwir, 2019). Sistem teknik seperti evaporator dalam desalinasi dan desain solar still menunjukkan bagaimana penguapan dapat dioptimalkan untuk tujuan teknis, dengan faktor desain seperti koefisien kehilangan panas keseluruhan mempengaruhi laju evaporasi dan efisiensi proses⁸.

b) Kondensasi (pengembunan)

Kondensasi adalah proses perubahan uap air menjadi cairan ketika uap mendingin di atas permukaan yang lebih dingin atau ketika jenuh terjadi pada massa uap air yang melingkupi suatu permukaan. Secara umum, kondensasi merupakan tahap kunci dalam pembentukan awan, embun, embun beku, serta fog dan memainkan peran penting dalam neraca air, siklus energi, serta aliran materi di ekosistem dan sistem teknis seperti pemanenan air atmosfer (dew/fog/rain collection) dan sistem kondensasi industri. Dalam konteks siklus air, kondensasi adalah mekanisme yang memungkinkan uap air mengubah Statusnya menjadi cairan, sehingga menyediakan air bagi tumbuhan, tanah, dan ekosistem lainnya, maupun sebagai bagian dari input NRW (non-rainfall water) ke dalam kanopi dan biosfer. Pada tingkat atmosfer, kondensasi terjadi ketika udara didinginkan hingga mencapai titik embun (T_d), sehingga uap air mengembun membentuk tetes-tetes awan atau embun pada permukaan. Proses ini dipicu oleh penurunan suhu udara, peningkatan kelembapan relatif, serta adanya inti kondensasi awan (CCN) yang memfasilitasi pertumbuhan tetes awan.

Di permukaan tanah atau tumbuhan, kondensasi dapat menghasilkan embun ketika permukaan kehilangan radiasi panas ke langit (radiasi dingin), sehingga suhu permukaan turun mendekati T_d dan uap air di sekitarnya mengembun menjadi tetes air pada daun, tanah, atau benda permukaan lainnya. Model keseimbangan energi Beysens sering digunakan untuk memperkirakan potensi embun berdasarkan variabel cuaca seperti cloud cover, v , T_a , T_d , RH, dan faktor ketinggian serta radiasi langit-hijau. Kondensasi juga membentuk fog (awan kabut dekat permukaan) melalui kombinasi pendinginan lokal, kelembapan tinggi, dan CCN yang cukup; fog berdampak pada visibilitas dan input air ke ekosistem melalui deposisi kabut terhadap tanah dan vegetasi⁹.

Secara isotopik, komposisi δ^2H dan $\delta^{18}O$ pada tetesan awan dan embun dapat memori sejarah massa udara dan kondisi pembentukannya, memungkinkan pemisahan sumber uap air yang berkontribusi terhadap kondensasi di

⁸ Kunto Aji et al., "IMPLEMENTASI DATA LOGGER SEBAGAI PERANGKAT MONITORING PADA SISTEM DESALINASI HYBRID BERBASIS ENERGI TERBARUKAN," *MULTITEK INDONESIA* 15, no. 1 (October 4, 2021): 1–16, <https://doi.org/10.24269/mtkind.v15i1.3334>.

⁹ Prashant Goswami and Sumana Sarkar, "An Analogue Dynamical Model for Forecasting Fog-induced Visibility: Validation over <sc>D</sc> Elhi," *Meteorological Applications* 24, no. 3 (July 26, 2017): 360–75, <https://doi.org/10.1002/met.1634>.

bawah kanopi maupun di atmosfer lebih luas (Spiegel et al., 2012). Perbedaan isotop ini juga membantu memisahkan pengaruh kondensasi dari evaporasi di lingkungan mikro seperti kanopi pohon.

Perbedaan antara kondensasi, pengembunan, embun, fog, dan fog water harvesting. Embun (dew) adalah hasil kondensasi pasif uap air di permukaan yang mengalami radiasi pendinginan; laju pembentukannya sangat dipengaruhi oleh energi radiasi yang tersedia terhadap permukaan, cloud cover, dan v (v = kecepatan angin) serta $T_d - T_a$ (selisih antara T_d dan T_a) sebagai indikator kondisi pembentukan embun. Fog adalah awan yang menempel di dekat permukaan dan menyebabkan penurunan visibilitas; pembentukannya dipicu oleh pendinginan radiasi malam hari, kelembapan tinggi, serta adanya CCN; fog dapat berperan sebagai input NRW melalui deposisi kabut pada vegetasi dan tanah. Fog water harvesting adalah teknik pengumpulan air atmosfer melalui kondensasi kabut di permukaan konduktor atau nanoteknologi kondenser kabut; studi-studi menunjukkan potensi yang signifikan di wilayah kering jika desain konduktor dan kondisi udara menguntungkan (dekat laut, relief topografi, serta kelembapan tinggi pada fase tertentu).

Kondensasi terkait pengembunan (dew) memiliki batasan energi radiatif sekitar 50-100 W m⁻², sehingga yield embun di kondisi tertentu (mis. lingkungan urban) bisa rendah namun tetap menjadi sumber NRW yang penting terutama pada daerah arid/semi-arid jika dimanfaatkan melalui desain konduktor yang efisien.

Kondensasi adalah proses fisik utama yang memungkinkan konversi uap air menjadi cairan pada atmosfer dan permukaan, sangat dipengaruhi oleh $T_d - T_a$, RH, cloud cover, radiasi, serta CCN; kondensasi menghasilkan embun, kabut, serta bedah input NRW ke ekosistem. Embun dan fog memiliki peran penting dalam siklus air lokal dan input NRW, dengan potensi pemanfaatan melalui teknologi dew/fog collection yang telah diuji di berbagai kondisi iklim (arid hingga tropis) dan topografi. Sistem teknis seperti desalinasi berbasis kondensasi mengandalkan mekanisme kondensasi terhadap uap air laut, dengan desain evaporator, konduksi, konveksi, dan kehilangan panas menjadi faktor-faktor kunci yang memengaruhi laju kondensasi dan efisiensi total sistem.

c) Transpirasi

Transpirasi merupakan proses penguapan air dari jaringan tumbuhan, terutama melalui stomata daun, yang menjadi komponen utama dari evapotranspirasi (ET) atau gabungan evaporasi permukaan dan transpirasi pada ekosistem bervegetasi. Dalam siklus hidrologi, proses ini bertindak sebagai jalur utama pengembalian air dari biosfer ke atmosfer yang memediasi aliran air di antara tanah, kanal perakaran, kanopi tumbuhan, dan atmosfer, sehingga memengaruhi neraca air lokal maupun regional. Secara mekanis, transpirasi mengalirkan air dari akar melalui xilem menuju daun didorong oleh gradien tekanan air internal serta perbedaan tekanan uap antara permukaan daun dan udara, dengan dukungan energi termal matahari. Di sisi lain, meskipun pelepasan uap air ini mengurangi air dari tanah, keberadaan jaringan akar secara bersamaan membantu infiltrasi dan retensi air, membuat tanaman aktif memodulasi ketersediaan air lokal serta stabilitas air tanah dalam Daerah Aliran Sungai (DAS)¹⁰.

Laju transpirasi dikendalikan oleh beberapa faktor utama, salah satunya adalah defisit tekanan uap (VPD) antara udara dan permukaan daun; VPD yang tinggi cenderung memperlebar bukaan stomata untuk meningkatkan ET, namun saat terjadi stres air, stomata akan menutup demi mempertahankan air. Selain VPD, sinar matahari dan radiasi surya menyediakan energi penguapan yang menentukan jumlah air yang ditranspirasikan per satuan luas daun dalam periode tertentu. Kemampuan akar untuk menyerap air juga sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air tanah serta karakteristik fisik tanah seperti infiltrasi, tekstur, dan porositas. Kondisi lingkungan mikro, seperti suhu udara tinggi dan kelembapan relatif rendah, turut memacu permintaan transpirasi karena peningkatan VPD, meskipun panas yang berlebihan justru dapat menekan proses ini jika tanaman mengalami stres. Terakhir, faktor vegetasi spesifik berupa morfologi daun (luas, tebal, dan struktur stomata) serta sifat kanopi juga menciptakan variasi laju transpirasi yang signifikan antarspesies, seperti yang terlihat pada studi empirik pohon ketapang dan spesies lainnya.

Dalam sistem hidrologi yang lebih luas, kombinasi transpirasi dan evaporasi menggambarkan kehilangan air total dari lahan berkanopi yang menentukan berapa banyak air hilang dari lanskap menuju udara dibandingkan dengan input curah hujan serta infiltrasi. Oleh karena itu, parameter evapotranspirasi potensial (ET_p) dan evapotranspirasi aktual (ET_a) menjadi instrumen kunci dalam perancangan irigasi dan manajemen air untuk memperkirakan kebutuhan air tanaman serta alokasi air di wilayah DAS, di mana perbedaan antara keduanya mencerminkan adanya pembatasan sumber air atau kendali biologis kanopi. Selain mengatur keseimbangan air, aktivitas transpirasi ini juga memengaruhi iklim mikrokanopi dan termal lingkungan sekitarnya melalui pelepasan

¹⁰ ASNIAR, "EVALUASI DIMENSI SALURAN PRIMER DAERAH IRIGASI MULYASRI KABUPATEN LUWU TIMUR," August 2, 2023, <https://doi.org/10.31219/osf.io/j4x7u>.

panas laten dari kanopi; kontribusi vegetasi ini terbukti efektif dalam memodulasi suhu udara dan memberikan efek pendinginan mikroklimat lokal, baik di kawasan perkotaan maupun perdesaan.

d) Presipitasi

Presipitasi merupakan bentuk keluarnya air ke permukaan bumi seperti hujan, salju, embun beku, dan kabut yang berakar dari proses kondensasi serta pengendapan awan di atmosfer. Sebagai komponen utama neraca air atmosfer-bumi, presipitasi bertindak selaku mekanisme utama pengembalian air ke permukaan demi mempertahankan keseimbangan air skala lokal hingga global, yang esensial bagi ketersediaan air permukaan, siklus hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS), serta dinamika ekosistem tanaman dan tanah di tengah variasi iklim serta aktivitas manusia. Proses ini bermula ketika uap air di udara mencapai kondisi jenuh atau supersaturasi, di mana inti kondensasi awan (CCN) memfasilitasi pembentukan dan pertumbuhan tetes awan melalui dinamika konveksi serta mikrofisika awan hingga mencapai ukuran kritis untuk jatuh sebagai presipitasi (Chen et al., 2022; Choi et al., 2025; Guo et al., 2019; Lin et al., 2000; Nelson & L'Ecuyer, 2018). Selain mengalirkan air, presipitasi berkontribusi signifikan terhadap pelepasan panas laten *latent heat* ke atmosfer yang mengubah keseimbangan energi atmosferik dan memodulasi sirkulasi cuaca regional maupun global¹¹.

Karakteristik presipitasi secara umum terbagi menjadi tipe konvektif dan stratiform, di mana presipitasi konvektif memiliki intensitas lebih tinggi dengan puncak di sore hari terutama di daerah tropis, sedangkan tipe stratiform mendominasi wilayah *mid-latitude* dengan durasi panjang namun intensitas lebih rendah. Di wilayah atmosfer tropis, siklus diurnal presipitasi sangat dipengaruhi oleh radiasi matahari, kelembapan, dan konveksi lokal daratan, sementara di wilayah samudra atau subtropis, polanya lebih digerakkan oleh sistem cuaca skala besar, dinamika udara atas, atau sistem badai skala meso. Selain itu, pada area dengan topografi kompleks seperti pegunungan, pola diurnal ini berinteraksi dengan efek angin gunung-lembah/darat-laut serta aliran uap laut. Seiring dengan perubahan iklim global, distribusi intensitas ini mengalami pergeseran mikrofisika yang memicu tren peningkatan kejadian presipitasi kategori ringan dan sangat berat, sementara peristiwa hujan sedang cenderung menurun.

Variabilitas spasial dan temporal presipitasi menunjukkan bahwa wilayah daratan tropis umumnya mencapai puncak aktivitas konvektif pada sore atau malam hari, berbeda dengan area lautan tropis yang sering kali mengalami puncak di pagi hari akibat mekanisme kondensasi dan pergerakan awan yang berbeda. Kendati demikian, pemodelan global dan data satelit seperti TRMM/GPM kerap kali menunjukkan bias dalam mereproduksi siklus diurnal ini, sehingga evaluasi parameterisasi awan dan konveksi terus dilakukan untuk memperbaiki akurasi fase serta amplitudonya. Secara periodik, laju dan komposisi presipitasi juga berubah secara musiman serta regional akibat pengaruh sirkulasi monsun, pola *El Niño-La Niña*, dan perubahan iklim global yang dipantau melalui observasi lapangan serta data satelit tingkat lanjut seperti IMERG/TRMM. Menariknya, pendekatan hidrologi modern kini memanfaatkan analisis isotop stabil pada air hujan untuk melacak asal-usul massa udara serta memisahkan kontribusi uap air atmosfer dari evaporasi atau transpirasi lokal, seperti yang sukses diterapkan di Sydney Basin¹².

Pada ranah aplikasi praktis, karakteristik presipitasi membawa implikasi besar terhadap ekologi, sektor pertanian, dan perencanaan sumber daya air. Presipitasi secara langsung mengontrol ketersediaan air tanah serta limpasan permukaan *runoff* melalui infiltrasi yang memengaruhi produksi biomassa, dinamika tanah, dan siklus nutrisi makro di dalam DAS. Oleh karena itu, integrasi data presipitasi berbasis satelit maupun darat ke dalam pemodelan neraca air sangat krusial untuk mengestimasi hubungan antara hujan alami dan evapotranspirasi guna merancang sistem irigasi, tata kelola alokasi air, serta mitigasi risiko. Terlebih lagi, proyeksi perubahan iklim jangka panjang mengindikasikan adanya peningkatan frekuensi cuaca ekstrem berupa banjir bandang atau kekeringan berkepanjangan yang mengancam ketahanan pangan dan infrastruktur vital. Kondisi ini menuntut analisis berkelanjutan terhadap aspek frekuensi, intensitas, dan durasi presipitasi sebagai fondasi utama dalam menyusun kebijakan adaptasi sumber daya air yang tangguh dan berkelanjutan.

e) Limpasan (run-off)

¹¹ Xingchao Chen et al., "Precipitation-Moisture Coupling Over Tropical Oceans: Sequential Roles of Shallow, Deep, and Mesoscale Convective Systems," *Geophysical Research Letters* 49, no. 7 (April 16, 2022), <https://doi.org/10.1029/2022GL097836>.

¹² Simone Lolli et al., "Vertically Resolved Precipitation Intensity Retrieved through a Synergy between the Ground-Based NASA MPLNET Lidar Network Measurements, Surface Disdrometer Datasets and an Analytical Model Solution," *Remote Sensing* 10, no. 7 (July 11, 2018): 1102, <https://doi.org/10.3390/rs10071102>.

Limpasan permukaan adalah bagian dari aliran air yang dihasilkan ketika curah hujan atau air permukaan tidak dapat meresap ke dalam tanah secara cukup cepat akibat kapasitas infiltrasi tanah terlampaui oleh input air, kondisi tanah jenuh, atau karena permukaan yang sangat tidak permeabel, sehingga air mengalir di atas permukaan tanah menuju sungai, kolam, atau badan air lainnya. Dalam kerangka neraca air lahan, limpasan berperan sebagai jalur utama transportasi air dari permukaan ke perairan permukaan yang bergantung pada input curah hujan, kapasitas infiltrasi, kehilangan air melalui evapotranspirasi *green water*, serta kapasitas penyimpanan tanah dan karakteristik vegetasi. Karakteristik fisik berupa kemiringan lereng, luas Daerah Aliran Sungai (DAS), tekstur dan kedalaman tanah, serta tingginya *basin relief* secara signifikan memodulasi bagaimana air bergerak di atas permukaan. Terlebih lagi, konversi lahan menjadi permukaan impermeabel akibat urbanisasi pesat terbukti meningkatkan proporsi limpasan terhadap total input hujan serta mengubah *timing* dan *magnitude* aliran, yang sering dipertegas melalui model hidrologi seperti SWAT dan kurva aliran berbasis HRU *hydrological response unit* yang menunjukkan penurunan infiltrasi sekaligus pengurangan *recharge* air tanah.

Secara spasial dan temporal, limpasan permukaan menunjukkan variabilitas yang tidak seragam di seluruh DAS. Sub-basin dengan tutupan lahan urban, lahan terbangun, atau tanah dengan infiltrasi rendah cenderung menghasilkan limpasan permukaan yang jauh lebih tinggi dibandingkan sub-basin dengan vegetasi lebat dan tanah berkapasitas infiltrasi tinggi. Penggunaan model SWAT dengan pendekatan HRU memungkinkannya eksplorasi mendalam mengenai perbedaan kontribusi antara limpasan permukaan (SurfQ), aliran lateral (LatQ), dan debit air tanah (GwQ) terhadap total *yield* air di setiap unit lahan. Secara temporal, fluks limpasan merupakan fungsi dari pola curah hujan bulanan atau harian (jumlah, intensitas, dan durasi) serta perubahan musiman; di mana limpasan permukaan melonjak tajam selama periode hujan utama dan menurun drastis pada periode kering ketika tanah mempertahankan kelembapan atau saat evapotranspirasi mengambil porsi besar dari input air. Dinamika ini kian kompleks akibat eskalasi urbanisasi, perubahan tutupan lahan dari waktu ke waktu, serta dampak perubahan iklim global yang memodifikasi pola dan durasi hujan ekstrem sehingga memicu tren peningkatan limpasan di berbagai wilayah, meskipun responsnya bervariasi tergantung pada region dan parameter model yang digunakan¹³.

Fenomena peningkatan limpasan permukaan ini membawa implikasi besar terhadap aspek ekologis, ekonomi, dan manajemen sumber daya air secara berkelanjutan. Lonjakan limpasan permukaan secara langsung meningkatkan risiko banjir singkat *flash floods* baik di kawasan perkotaan maupun pedesaan, sehingga memerlukan strategi mitigasi yang komprehensif seperti konservasi tanah, praktik pertanian konservasi, dan pembangunan infrastruktur pengelolaan limpasan untuk menahan laju aliran sekaligus menstimulasi infiltrasi di daerah kritis. Selain memicu banjir, limpasan yang tinggi juga berkorelasi erat dengan peningkatan transportasi sedimen dan polutan dari permukaan ke badan air; dalam hal ini, model SWAT sering diandalkan untuk memprediksi dampak perubahan penggunaan lahan (LULC) dan praktik manajemen terhadap penurunan kualitas air melalui proses limpasan permukaan, aliran lateral, dan perkolasi. Oleh karena itu, pemodelan estimasi kontribusi *runoff* terhadap total *yield* air sangat penting dalam perencanaan irigasi, konservasi air, dan evaluasi kebijakan tata guna lahan. Pada prospek masa depan, penerapan model mutakhir seperti SWAT+ menunjukkan bagaimana perubahan iklim secara global terus memodifikasi komponen-komponen neraca air DAS, yang menuntut adanya adaptasi kebijakan dan strategi pengelolaan air terpadu yang mampu mengantisipasi pergeseran tren hidrologi tersebut.

f) Infiltrasi

Infiltrasi adalah proses masuknya air hujan atau air permukaan ke dalam tanah melalui pori-pori tanah yang dipandu oleh gaya gravitasi, kapilaritas, serta sifat hidraulik tanah. Sebagai tahap awal dalam neraca air tanah yang mendasari pembentukan air tanah dan aliran dasar sungai, infiltrasi menghubungkan curah hujan dengan akumulasi air di dalam tanah *soil moisture*, *zona vadose*, hingga ke akuifer melalui perkolasi. Fluks penyerapan ini memegang peran kunci dalam menentukan distribusi komponen hidrologi lokal; di mana input curah hujan sebagian akan diserap untuk meningkatkan kelembapan tanah hingga mencapai kapasitas lapang dan kapasitas air tersedia (*available water capacity/AWC*), sementara sisa air yang melampaui kapasitas infiltrasi akan langsung dikonversi menjadi limpasan permukaan *runoff*. Akumulasi air yang berhasil masuk ke dalam profil tanah ini secara perlahan akan dilepaskan menjadi aliran basal *baseflow* yang menjaga pasokan air sungai selama periode musim kering¹⁴.

¹³ Sheharyar Ahmad et al., "Quantifying Climate Change Impacts on Hydrological Dynamics and Sedimentation Using <sc>GIS</sc> and <sc>SWAT</sc> + Modelling," *Hydrological Processes* 39, no. 2 (February 13, 2025), <https://doi.org/10.1002/hyp.70082>.

¹⁴ Josip Janjić and Lidija Tadić, "Fields of Application of SWAT Hydrological Model—A Review," *Earth* 4, no. 2 (May 2, 2023): 331–44, <https://doi.org/10.3390/earth4020018>.

Laju infiltrasi dikendalikan secara ketat oleh variasi determinan fisik, biologis, dan iklim yang dinamis. Sifat fisik tanah seperti tekstur (proporsi liat, pasir, debu), kandungan bahan organik, porositas, densitas bulk, ketebalan lapisan tanah, dan struktur agregat sangat menentukan kecepatan perambatan air; tanah berliat yang didominasi pori mikro umumnya memiliki laju infiltrasi lebih rendah dibandingkan tanah berpori makro. Keberadaan tutupan lahan vegetatif, naungan tanaman, kerapatan akar, dan biomasa tanah mampu meningkatkan stabilitas agregat, membuka pori makro biologis, serta mereduksi kompaksi tanah guna memaksimalkan retensi air; sebaliknya, wilayah terbangun atau lapisan impermeabel justru menurunkan infiltrasi secara drastis. Selain itu, faktor eksternal berupa intensitas dan durasi hujan turut memengaruhi proses ini, di mana hujan lebat yang berkepanjangan berisiko memicu genangan akibat keterbatasan kapasitas tampung tanah *infiltration excess overland flow* kecuali jika diimbangi oleh kapasitas infiltrasi lapisan bawah yang tinggi atau pengelolaan biologis tanah yang baik.

Secara keseluruhan, karakteristik infiltrasi menampilkan variabilitas spasial-temporal yang nyata sekaligus berdampak besar pada neraca air Daerah Aliran Sungai (DAS). Secara spasial, kapasitas infiltrasi bervariasi antar-tata guna lahan dan lokasi akibat perbedaan densitas tanah maupun topografi, sedangkan secara temporal, laju infiltrasi cenderung sangat tinggi pada awal hujan saat tanah belum jenuh dan akan menurun secara bertahap seiring meningkatnya kejenuhan air tanah. Dalam pemodelan hidrologi modern seperti SWAT, interaksi spasial antara infiltrasi, evapotranspirasi, dan limpasan dinilai melalui pembagian fungsional aliran permukaan (SurfQ), aliran lateral (LatQ), dan debit air tanah (GwQ)¹⁵. Infiltrasi yang tinggi terbukti mampu menggeser keseimbangan neraca air DAS ke arah *groundwater recharge* dan mengurangi debit banjir; sebaliknya, insiden penurunan infiltrasi akibat pemadatan tanah ekstrem atau meluasnya area kedap air akan melonjakkan volume limpasan permukaan, memicu risiko banjir bandang serta erosi parah, sekaligus menurunkan kapasitas retensi air tanah jangka panjang di dalam DAS.

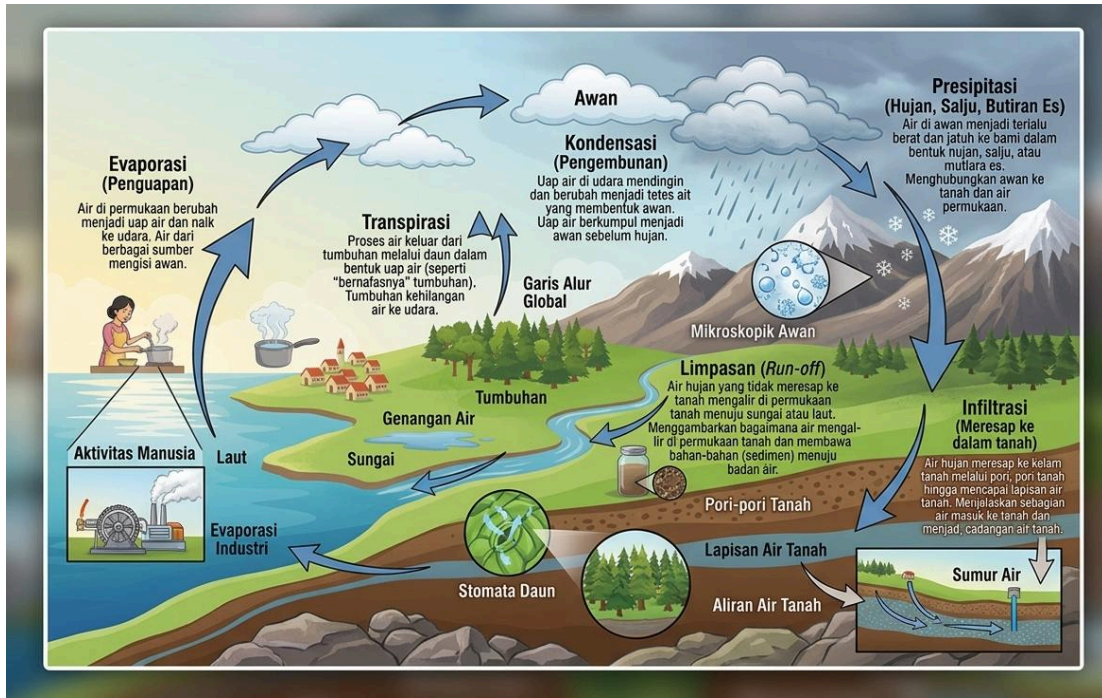
Kesimpulan inti pembahasan pada setiap tahap siklus tersebut sebagai berikut!

a. Evaporasi (penguapan)	Air di permukaan sungai, laut, dan genangan air berubah menjadi uap air dan naik ke udara. Hubungan dengan pembelajaran yaitu menjelaskan bagaimana air dari berbagai sumber bisa menjadi uap dan mengisi awan di langit. Contoh praktis: merebus air dan mengamati uapnya
b. Kondensasi (pengembunan)	Uap air di udara mendingin dan berubah menjadi tetes air yang membentuk awan.. Hubungan dengan pembelajaran: Menjelaskan bagaimana uap air di langit bisa berkumpul menjadi awan sebelum turun sebagai hujan
c. Transpirasi	Proses air keluar dari tumbuhan melalui daun dalam bentuk uap air (seperti “bernafasnya” tumbuhan). Hubungan dengan pembelajaran: Menunjukkan bahwa tumbuhan juga kehilangan air ke udara, mendukung gambaran siklus air secara keseluruhan.
d. Presipitasi (hujan, salju, butiran es)	Air di awan menjadi terlalu berat dan jatuh ke bumi dalam bentuk hujan, salju, atau mutiara es. Hubungan dengan pembelajaran: Menghubungkan awan dengan belakangnya menjadi air yang kembali ke tanah dan air permukaan.
e. Limpasan (run-off)	Air hujan yang tidak meresap ke tanah mengalir di permukaan tanah menuju sungai atau laut. Hubungan dengan pembelajaran: Menggambarkan bagaimana air mengalir di permukaan tanah dan bisa membawa bahan-bahan dari tanah (sedimen) menuju badan air
f. Infiltrasi	Air hujan meresap ke dalam tanah melalui pori-pori tanah hingga mencapai lapisan air tanah. Hubungan dengan pembelajaran: Menjelaskan bagaimana sebagian air tidak langsung terlihat di permukaan, tetapi masuk ke tanah dan menjadi cadangan air tanah.

Evaporasi mengisi udara dengan uap air → kondensasi membentuk awan → presipitasi mengembalikan air ke bumi → infiltrasi dan limpasan mengatur bagaimana air kembali ke tanah dan badan air. Transpirasi menambah uap air dari tumbuhan, sehingga vegetasi juga berkontribusi pada siklus air. Ketika hujan turun, air bisa meresap atau mengalir di permukaan. Faktor-faktor seperti jenis tanah, kemiringan tanah, dan vegetasi mempengaruhi proporsi infiltrasi vs. limpasan.

¹⁵ Abdennabi Alitane et al., “Towards a Decision-Making Approach of Sustainable Water Resources Management Based on Hydrological Modeling: A Case Study in Central Morocco,” *Sustainability* 14, no. 17 (August 31, 2022): 10848, <https://doi.org/10.3390/su141710848>.


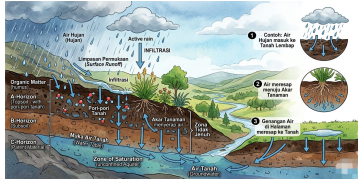
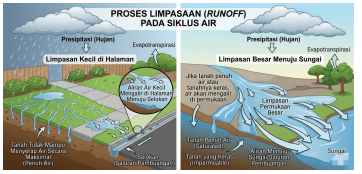
Contoh Ilustrasi !



3. Integrasi Contoh Nyata Siklus Air dalam Kehidupan Sehari-hari

Berikut disajikan contoh nyata yang mudah dipahami siswa SD/MI untuk setiap tahap siklus air: evaporasi, kondensasi, presipitasi, transpirasi, limpasan (runoff), infiltrasi. Setiap contoh dihubungkan dengan aktivitas harian, fenomena lingkungan sekitar sekolah, serta penjelasan sederhana yang relevan secara konsep. Sumber-sumber literatur terkait digunakan untuk memperkuat pemahaman umum tentang proses-proses ini dalam pembelajaran IPA di SD/MI.

<p>Evaporasi (penguapan)</p>	<p>Contoh nyata : Embun pagi yang muncul di tanaman dan dedaunan saat suhu turun semalaman; uap air di permukaan kolam atau genangan air yang menghilang ketika hangatnya matahari pagi meningkatkan kecepatan penguapan.</p> <p>Air di permukaan air (kolam, sungai, genangan) berubah menjadi uap dan naik ke udara karena panas matahari</p>	<p>Contoh ilustrasi :</p>
<p>Kondensasi (pengembunan)</p>	<p>Contoh nyata : Kabut atau awan kecil yang terbentuk saat uap air mendingin di atmosfer; embun menempel di daun pada pagi hari; kaca jendela berkaca-kaca akibat uap air yang mengembun saat ruangan lebih hangat daripada udara luar.</p> <p>Uap air di udara mendingin dan berubah menjadi tetes air yang membentuk awan di langit.</p>	<p>Contoh ilustrasi :</p>
<p>Transpirasi (penguapan melalui tumbuhan)</p>	<p>Contoh nyata : Tanaman di kebun sekolah yang mengeluarkan uap air dari daun saat cuaca hangat; uap air yang terlihat menetes dari ujung daun saat stomata membuka.</p>	<p>Contoh ilustrasi :</p>

	<p>Tanaman “bernapas” dengan mengeluarkan uap air melalui daun. Transpirasi menambah uap air ke atmosfer.</p>	
<p>Presipitasi (hujan, salju, butiran es)</p>	<p>Contoh nyata : Hujan turun dari langit yang membawa air kembali ke tanah; salju turun di musim dingin. Butiran es kecil saat bada hujan es atau hail dalam cuaca ekstrem.</p> <p>Awan tidak bisa menahan air terus-menerus, sehingga air turun ke bumi sebagai hujan, salju, atau es.</p>	<p>Contoh ilustrasi :</p> 
<p>Infiltrasi (meresap ke dalam tanah)</p>	<p>Contoh nyata : Air hujan yang masuk ke tanah saat tanahnya lembap; air meresap menuju akar tanaman; genangan air di halaman yang akhirnya meresap ke tanah di bawahnya.</p> <p>Beberapa air hujan tidak langsung mengalir keluar sebagai limpasan, melainkan masuk ke dalam tanah melalui pori-pori tanah sampai mencapai air tanah</p>	<p>Contoh ilustrasi :</p> 
<p>Limpasan (run-off)</p>	<p>Contoh nyata : Air hujan yang mengalir di permukaan tanah ketika tanah tidak mampu menyerap air secara maksimal; aliran air kecil yang mengalir di halaman menuju selokan.</p> <p>Jika tanah penuh air atau tanahnya keras, Air akan mengalir di permukaan menuju sungai atau saluran pembuangan.</p>	<p>Contoh ilustrasi :</p> 

Konsep evaporasi secara umum terkait pergerakan air dari permukaan ke udara didiskusikan dalam kajian tentang dinamika air dalam siklus hidrologi dan peran evaporasi dalam ET (evapotranspirasi). Proses kondensasi sebagai bagian dari siklus air, yang mengubah uap air menjadi bentuk air cair di awan atau permukaan, adalah bagian inti dari bagaimana siklus air bekerja. Transpirasi adalah bagian penting dari ET (evapotranspirasi) dan berhubungan dengan konsumsi air tumbuhan serta pelepasan uap air ke udara. Presipitasi adalah komponen utama yang membawa air kembali ke permukaan bumi dari awan. Infiltrasi adalah bagian penting dari keseimbangan air tanah dan aliran air di tanah, berbeda dengan limpasan langsung di permukaan. Runoff adalah bagian dari aliran permukaan yang terjadi ketika infiltrasi tidak mampu memenuhi curah hujan, berkaitan dengan keseimbangan air tanah dan limpasan¹⁶.

Evaporasi meningkatkan uap di udara → Kondensasi membentuk awan → Presipitasi mengembalikan air ke bumi → Infiltrasi dan Limpasan mengatur bagaimana air kembali ke tanah dan badan air; Transpirasi menambah uap air melalui tumbuhan, memperkaya dinamika ET dalam siklus air.

KESIMPULAN

Pada pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa pemahaman siswa MI/SD terhadap konsep abstrak siklus air dapat ditingkatkan secara signifikan melalui pendekatan pembelajaran yang konduktif, komunikatif, dan kontekstual. Mengingat siswa sekolah dasar berada pada tahap perkembangan kognitif operasional konkret, materi sains yang rumit didekonstruksi menjadi penjelasan yang lebih sederhana dan diintegrasikan langsung dengan fenomena nyata dalam kehidupan sehari-hari guna meminimalkan beban kognitif mereka. Melalui metode deskriptif kualitatif, jurnal ini menguraikan tahapan siklus air yang meliputi proses evaporasi (penguapan air permukaan), kondensasi (pembentukan awan), transpirasi (penguapan dari tumbuhan), presipitasi (turunnya hujan), limpasan (run-off), dan infiltrasi (penyerapan air ke dalam tanah). Hasilnya

¹⁶ Svitlana Trotska, “RESEARCH OF THE HYDROLOGICAL CYCLE IN FOREST ECOSYSTEMS UNDER CLIMATE CHANGE: CONCEPTS, SIGNIFICANCE, METHODS,” in *FORESTRY HORTICULTURAL AND AGRICULTURE MANAGEMENT: INTERNATIONAL AND NATIONAL STRATEGIC GUIDELINES OF SUSTAINABLE SPATIAL DEVELOPMENT* (RS Global Sp. z O.O., 2024), <https://doi.org/10.31435/rsglobal/059-9>.

menunjukkan bahwa pengaitan materi dengan pengalaman langsung siswa seperti mengamati uap air atau embun berhasil meningkatkan minat belajar, pemahaman konsep, serta keaktifan mereka di dalam kelas.

Selain itu, pembahasan jurnal ini menekankan pentingnya peran guru dalam mengidentifikasi serta mengatasi berbagai hambatan belajar yang mungkin dihadapi siswa di sekolah inklusif, seperti disleksia, kesulitan memori, maupun gangguan konsentrasi (ADHD). Sebagai solusi praktis, guru disarankan untuk menerapkan strategi diferensiasi instruksional dan memanfaatkan alat peraga atau media pembelajaran konkret yang dapat disentuh langsung oleh siswa. Jurnal ini juga merekomendasikan integrasi pendekatan inovatif berbasis proyek seperti Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) serta etnopedagogi yang mengangkat kearifan lokal. Dengan memadukan metode penyampaian yang kontekstual dan strategi pembelajaran inklusif tersebut, proses internalisasi konsep siklus air dapat berjalan dengan lebih efektif, bermakna, dan mampu merangkul keberagaman kebutuhan belajar seluruh siswa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih dari kami, kami ucapkan rasa syukur yang mendalam kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga jurnal dengan topik pembelajaran kontekstual siklus air ini dapat terselesaikan dengan baik. Terima kasih yang sebesar-besarnya kami sampaikan kepada dosen pengampu, rekan-rekan sejawat, serta seluruh staf pengajar yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan dukungan moral yang sangat berharga selama proses penyusunan jurnal ini. Kami juga menyampaikan apresiasi tertinggi kepada seluruh rekan yang telah bersedia menjadi partisipan dan memberikan kerja sama yang luar biasa selama penyusunan jurnal ini berlangsung. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan strategi pembelajaran sains yang inklusif, komunikatif, dan bermakna bagi dunia pendidikan dasar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Norazilawati, and Uslan. "PEMBELAJARAN IPA BERASASKAN PENGETAHUAN TEMPATAN TANAMAN FALOK (Sterculia Quadrifida R.Br) SEBAGAI SOLUSI PEMBELAJARAN IPA DI SEKOLAH DASAR." *Jurnal Pendidikan Dasar Flobamorata* 3, no. 2 (October 1, 2022): 331–37. <https://doi.org/10.51494/jpdf.v3i2.785>.
- Ahmad, Sheharyar, Muhammad Shareef Shazil, Syed Amer Mahmood, M. Abdullah-Al-Wadud, and Aqil Tariq. "Quantifying Climate Change Impacts on Hydrological Dynamics and Sedimentation Using <sc>GIS</Sc> and <sc>SWAT</Sc> + Modelling." *Hydrological Processes* 39, no. 2 (February 13, 2025). <https://doi.org/10.1002/hyp.70082>.
- Aji, Kunto, Miftachul Ulum, Haryanto -, and Riza Alfita. "IMPLEMENTASI DATA LOGGER SEBAGAI PERANGKAT MONITORING PADA SISTEM DESALINASI HYBRID BERBASIS ENERGI TERBARUKAN." *MULTITEK INDONESIA* 15, no. 1 (October 4, 2021): 1–16. <https://doi.org/10.24269/mtkind.v15i1.3334>.
- Alitane, Abdennabi, Ali Essahlaoui, Ann Van Griensven, Estifanos Addisu Yimer, Narjisse Essahlaoui, Meriame Mohajane, Celray James Chawanda, and Anton Van Rompaey. "Towards a Decision-Making Approach of Sustainable Water Resources Management Based on Hydrological Modeling: A Case Study in Central Morocco." *Sustainability* 14, no. 17 (August 31, 2022): 10848. <https://doi.org/10.3390/su141710848>.
- ASNIAR. "EVALUASI DIMENSI SALURAN PRIMER DAERAH IRIGASI MULYASRI KABUPATEN LUWU TIMUR," August 2, 2023. <https://doi.org/10.31219/osf.io/j4x7u>.
- Aurelia Tari Fortuna, and Yanda Bara Kusuma. "Pengembangan Metode Steam Sebagai Upaya Peningkatan Kemampuan Anak Usia 5-15 Tahun Di Tangerang Selatan." *Cakrawala: Jurnal Pengabdian Masyarakat Global* 2, no. 3 (July 7, 2023): 93–99. <https://doi.org/10.30640/cakrawala.v2i3.1346>.
- Chen, Xingchao, L. Ruby Leung, Zhe Feng, and Qiu Yang. "Precipitation-Moisture Coupling Over Tropical Oceans: Sequential Roles of Shallow, Deep, and Mesoscale Convective Systems." *Geophysical Research Letters* 49, no. 7 (April 16, 2022). <https://doi.org/10.1029/2022GL097836>.
- Goswami, Prashant, and Sumana Sarkar. "An Analogue Dynamical Model for Forecasting Fog-induced Visibility: Validation over <sc>D</Sc> Elhi." *Meteorological Applications* 24, no. 3 (July 26, 2017): 360–75. <https://doi.org/10.1002/met.1634>.
- Hartinah, Siti, Muslihati Muslihati, and Triyono Triyono. "Problematika Psikososial Dan Kognitif Siswa Sekolah Dasar Kelas Rendah Dan Implikasinya Terhadap Bimbingan Dan Konseling Di Sekolah Dasar." *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian, Dan Pengembangan* 6, no. 10 (October 30, 2021): 1567–80. <https://doi.org/10.17977/jptpp.v6i10.15055>.
- Herlina, Lin, and Uus Kusnadi. "EFEKTIVITAS PEMBELAJARAN STEM DENGAN MEDIA STRONGER BRIDGE TERHADAP HASIL BELAJAR KOGNITIF PESERTA DIDIK." *Khazanah Pendidikan* 17, no. 2 (September 26, 2023): 9. <https://doi.org/10.30595/jkp.v17i2.17837>.
- Huda, Ikmal Choirul, and Mega Renny Kumalasari. "STRATEGI EFEKTIF DALAM PENGAJARAN DI SEKOLAH DASAR MELALUI PEMETAAN KARAKTERISTIK PESERTA DIDIK." *Jurnal Ilmiah PENDAS: Primary Educational Journal* 5, no. 2 (December 1, 2024): 72–82. <https://doi.org/10.29303/pendas.v5i2.5332>.
- Janjić, Josip, and Lidija Tadić. "Fields of Application of SWAT Hydrological Model—A Review." *Earth* 4, no. 2 (May 2, 2023): 331–44. <https://doi.org/10.3390/earth4020018>.
- Lolli, Simone, Leo Pio D'Adderio, James R. Campbell, Michaël Sicard, Ellsworth J. Welton, Andrea Binci, Alessandro Rea, et al. "Vertically Resolved Precipitation Intensity Retrieved through a Synergy between the Ground-Based NASA MPLNET Lidar Network Measurements, Surface Disdrometer Datasets and an Analytical Model Solution." *Remote Sensing* 10, no. 7 (July 11, 2018): 1102. <https://doi.org/10.3390/rs10071102>.
- Luluk Indah, Nur. "Implementasi Teori Kognitif Dalam Meningkatkan Prestasi Belajar Siswa Sekolah Dasar." *Syntax Idea* 6, no. 5 (May 31, 2024): 2334–42. <https://doi.org/10.46799/syntax-idea.v6i5.3378>.

- Silaen, Srinatalia. "PENGARUH TRANSPIRASI TUMBUHAN DAN KOMPONEN DIDALAMNYA." *Agroprimatech* 5, no. 1 (October 30, 2021): 14–20. <https://doi.org/10.34012/agroprimatech.v5i1.2081>.
- Trotska, Svitlana. "RESEARCH OF THE HYDROLOGICAL CYCLE IN FOREST ECOSYSTEMS UNDER CLIMATE CHANGE: CONCEPTS, SIGNIFICANCE, METHODS." In *FORESTRY HORTICULTURAL AND AGRICULTURE MANAGEMENT: INTERNATIONAL AND NATIONAL STRATEGIC GUIDELINES OF SUSTAINABLE SPATIAL DEVELOPMENT*. RS Global Sp. z O.O., 2024. <https://doi.org/10.31435/rsglobal/059-9>.