

BAB II

TINJAUAN TEORITIS

2.1 Kajian Pustaka

2.1.1 Keterampilan Kolaborasi

2.1.1.1 Pengertian Keterampilan Kolaborasi

Dalam dunia kerja dan pendidikan keterampilan kolaborasi merupakan kemampuan individu dalam menuntut kerja dalam tim guna mencapai tujuan bersama. Dalam proses kolaborasi, setiap anggota tim harus mampu berbagi tugas sesuai dengan keahlian masing-masing, menjaga koordinasi yang baik, serta bertanggung jawab atas peran yang diemban. Selain itu, pertukaran informasi menjadi elemen kunci yang memungkinkan setiap anggota tim saling mendukung dan melengkapi, sehingga pekerjaan dapat diselesaikan dengan lebih efektif dan efisien. Menurut Bunga Aditya & Wahyudi, (2024) keterampilan kolaborasi merupakan kemampuan untuk bekerja bersama dengan orang lain atau dalam tim guna mencapai tujuan yang sama. Hal ini melibatkan pembagian tugas, koordinasi yang baik, serta tanggung jawab dan pertukaran informasi secara bersama-sama.

Tujuan kolaborasi merupakan hal untuk memberi kesempatan kepada individu yang terlibat untuk bekerja sama dalam menghasilkan gagasan, sambil juga menerima umpan balik tentang gagasan-gagasan tersebut (Fajarwati, 2023). Dimana hal tersebut memberikan peluang bagi individu yang terlibat untuk bekerja bersama dalam merumuskan dan mengembangkan gagasan-gagasan baru. Melalui kolaborasi, setiap anggota tim dapat berkontribusi dengan perspektif dan ide mereka, yang kemudian dibahas dan dipertajam melalui proses diskusi. Selain itu, kolaborasi juga memungkinkan terjadinya umpan balik yang konstruktif terhadap gagasan-gagasan tersebut, sehingga setiap ide dapat dievaluasi dan disempurnakan secara kolektif. Dengan demikian, kolaborasi tidak hanya menghasilkan gagasan yang lebih matang, tetapi juga mengembangkan kemampuan individu untuk saling belajar dan tumbuh dalam sebuah tim.

Sejalan dengan pendapat Kimpton & Maynard, (2025) bahwa Kerja sama tim adalah kemampuan vital yang melibatkan komunikasi dan kolaborasi efektif antar anggota demi mencapai tujuan bersama. Guna mengembangkan kemampuan ini, kolaborasi dapat diasah melalui penugasan kelompok, yang mendorong peserta

didik untuk berbagi pandangan dan bersinergi dalam menyelesaikan pekerjaan secara efisien dan efektif. dikembangkan melalui penugasan kelompok, di mana peserta didik didorong untuk berbagi pandangan dan ide mereka sambil bekerja sama dalam menyelesaikan tugas secara efisien dan efektif. Melalui proses ini, peserta didik belajar bagaimana berkomunikasi dengan baik, mendengarkan pendapat orang lain, serta membagi tanggung jawab secara adil dalam tim. Dengan demikian, penugasan kelompok menjadi sarana yang efektif untuk melatih kemampuan kolaborasi, sekaligus mempersiapkan peserta didik untuk menghadapi tantangan kerja sama di masa depan. Menurut Trilling & Fadel, (2009) mengemukakan bahwa kolaborasi dianggap sebagai salah satu hasil pendidikan yang penting karena pembelajaran di abad ke-21 mencakup empat keterampilan utama, yaitu kolaborasi, kreativitas, berpikir kritis, dan komunikasi.

Dari berbagai pendapat yang disampaikan, dapat disimpulkan bahwa keterampilan kolaborasi adalah kemampuan penting yang memungkinkan individu untuk bekerja bersama dalam sebuah tim guna mencapai tujuan bersama. Keterampilan ini melibatkan pembagian tugas, koordinasi yang baik, serta pertukaran informasi yang efektif. Melalui proses kolaborasi, ide-ide dan gagasan dapat dikembangkan dengan lebih matang melalui diskusi dan umpan balik yang konstruktif. Kolaborasi juga dapat dilatih dan dikembangkan melalui penugasan kelompok, di mana peserta didik belajar untuk berbagi pandangan, mendengarkan pendapat orang lain, serta bekerja sama secara efisien dan efektif. Hal ini tidak hanya membantu dalam penyelesaian tugas, tetapi juga mempersiapkan individu untuk tantangan kolaboratif di masa depan.

2.1.1.2 Indikator Keterampilan Kolaborasi

Angket ini dirancang menggunakan skala penilaian yang disusun dalam bentuk deskripsi naratif. Skala ini memberikan penjelasan yang lebih detail dan kontekstual pada setiap tingkatan jawaban, memungkinkan responden memilih opsi yang paling sesuai dengan kondisi atau perilaku mereka.

Adapun indikator yang akan digunakan untuk mengukur keterampilan kolaborasi peserta didik menggunakan angket *Collaboration Self-Assessment Tool*.

Berikut indikator *Collaboration Self-Assessment Tool* dapat dilihat melalui Tabel 2.1, yaitu:

Tabel 2. 1 Indikator Keterampilan Kolaborasi

No.	Indikator
1.	<i>Contribution</i> (Kontribusi)
2.	<i>Motivation/ Participation</i> (Motivasi/partisipasi)
3.	<i>Quality of Work</i> (Kualitas kerja)
4.	<i>Time Management</i> (Pengelolaan waktu)
5.	<i>Team Support</i> (Dukungan kelompok)
6.	<i>Preparedness</i> (Persiapan)
7.	<i>Problem Solving</i> (Pemecahan masalah)
8.	<i>Team Dynamics</i> (Dinamika kelompok)
9.	<i>Interactions with Others</i> (Interaksi)
10.	<i>Role Flexibility</i> (Fleksibilitas)
11.	<i>Reflection</i> (Refleksi)

Sumber: (Ofstedal & Dahlberg, 2009)

2.1.2 Literasi Ekologi

2.1.2.1 Pengertian Literasi Ekologi

Literasi ekologi, atau ekoliterasi, adalah kemampuan individu untuk memahami sistem alam yang mendukung kehidupan di bumi serta prinsip-prinsip pengorganisasian komunitas manusia yang berkelanjutan. Konsep ini mencakup pemahaman tentang hubungan antara organisme dan lingkungan serta pengaruh faktor lingkungan terhadap kehidupan. Literasi ekologi tidak hanya melibatkan pengetahuan tentang lingkungan, tetapi juga sikap positif terhadapnya dan keterampilan dalam menjaga kelestariannya. Sebagai contoh, Keefe & Copeland, (2011) menjelaskan bahwa literasi ekologi melibatkan kemampuan untuk memahami pentingnya menjaga kelestarian lingkungan, yang didukung oleh pengetahuan lingkungan sadar lingkungan. Mereka menekankan bahwa literasi ekologi mencakup kemampuan untuk memahami sistem alam, sikap positif terhadap lingkungan, dan keterampilan dalam menjaga lingkungan.

Literasi ekologi, juga dikenal sebagai literasi lingkungan yang merupakan kemampuan seseorang untuk memahami pentingnya menjaga lingkungan dan membuat keputusan yang mendukung kelestariannya. Ini mencakup pemahaman tentang bagaimana interaksi dalam ekosistem bekerja dan kesadaran akan tindakan

yang diperlukan untuk menjaga keseimbangan lingkungan tersebut Afrianda *et al.*, (2019). Ini melibatkan pemahaman tentang bagaimana komponen ekosistem berinteraksi dan kesadaran akan peran individu dalam menjaga keseimbangan ekologi demi keberlanjutan lingkungan.

Menurut D. Rachmawati *et al.*, (2022) ekoliterasi merupakan kemampuan untuk melibatkan kesadaran kritis terhadap isu-isu lingkungan serta kemampuan untuk berpartisipasi dalam upaya pelestarian lingkungan secara efektif dan berkelanjutan. Kesadaran tersebut sangat penting dimiliki oleh setiap peserta didik, karena dengan kesadaran yang tinggi terhadap isu-isu lingkungan yang ada di sekitar mereka, peserta didik dapat lebih responsif dan proaktif dalam menjaga dan melestarikan lingkungan. Hal ini juga akan membantu mereka dalam mengembangkan rasa tanggung jawab serta keterampilan kritis yang diperlukan untuk menghadapi berbagai tantangan lingkungan di masa depan.

Kesimpulan dari beberapa pendapat para ahli tersebut yaitu kemampuan yang mencakup pemahaman mendalam tentang sistem alam dan ekosistem yang menopang kehidupan, serta kesadaran dan sikap positif terhadap pentingnya menjaga kelestarian lingkungan. Literasi ini tidak hanya berfokus pada pengetahuan, tetapi juga pada keterampilan praktis dalam menjaga lingkungan serta peran individu dalam upaya pelestarian. Dengan memiliki ekoliterasi, terutama bagi peserta didik, mereka dapat menjadi lebih kritis, responsif, dan bertanggung jawab dalam menghadapi isu-isu lingkungan, yang pada akhirnya berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan di masa depan.

2.1.2.2 Indikator Literasi Ekologi

Adapun indikator literasi ekologi yang dijadikan acuan dalam penelitian kali ini adalah indikator menurut Ha *et al.*, (2022) yang meliputi 5 indikator. Pada indikator tersebut memiliki turunan dengan masing-masing 4 sub indikator di setiap 1 indikator. Berikut Tabel 2.2 merupakan indikator literasi ekologi:

Tabel 2. 2 Indikator Literasi Ekologi

No.	Indikator	Sub Indikator
1.	Literasi Pengetahuan Ekologi	Pengetahuan ekosistem
		Pengetahuan tentang kerusakan lingkungan ekologi
		Pengetahuan tentang hubungan antara manusia dan alam
		Pengetahuan ekologi dan perlindungan lingkungan
2.	Literasi Kesadaran Ekologi	Kesadaran subjek perilaku perlindungan lingkungan ekologis
		Kesadaran nilai perlindungan lingkungan yang ekologis
		Kesadaran akan beratnya masalah ekologi dan lingkungan saat ini
		Membuat penilaian terhadap kerusakan lingkungan ekologi yang dialami
3.	Literasi Etika Ekologi	Mengenali dengan benar hubungan antara manusia dan alam
		Etika dan moralitas dalam melindungi lingkungan ekologi
		Menegaskan peran alam
		Menghormati dan menyayangi semua makhluk hidup
4.	Literasi Emosional Ekologis	Kekaguman terhadap lingkungan alam
		Cinta terhadap lingkungan alam
		Kepekaan terhadap perlindungan lingkungan alam
		Kemampuan untuk mengambil tanggung jawab terhadap masalah ekologi dan lingkungan
5.	Literasi Perilaku Ekologis	Praktik sehari-hari perlindungan lingkungan
		Partisipasi dalam kegiatan pendidikan lingkungan hidup
		Keterampilan dan metode ilmiah perlindungan lingkungan

No.	Indikator	Sub Indikator
		Pengaruh positif terhadap perilaku perlindungan lingkungan orang lain

Sumber: Ha et al., (2022)

2.1.3 Pengertian Media Pembelajaran

Dengan pesatnya kemajuan teknologi saat ini, dunia pendidikan mengalami perubahan signifikan dalam cara penyampaian materi kepada peserta didik. Di tengah perkembangan era digital, penggunaan media pembelajaran berbasis teknologi telah menjadi kebutuhan penting dalam proses pendidikan. Media ini tidak hanya memudahkan transfer pengetahuan, tetapi juga meningkatkan interaksi dan keterlibatan peserta didik secara lebih efektif. Di tengah perkembangan era digital, penggunaan media pembelajaran berbasis teknologi telah menjadi kebutuhan penting dalam proses Pendidikan (Permana *et al.*, 2024).

Salah satu bentuk media pembelajaran digital yang sangat efektif, khususnya untuk sains, adalah penggunaan simulasi atau permainan interaktif (*interactive games*). Salah satu contoh penerapan konsep ini adalah *Rabbit Population Dynamic* (RPD). *Rabbit Population Dynamic* (RPD) adalah alat pembelajaran interaktif untuk mengatasi kesulitan visualisasi konsep ekologi dalam pendidikan biologi (Ramdani et al., n.d.). Game ini dirancang untuk mensimulasikan dinamika populasi kelinci di dalam suatu ekosistem yang dapat dikelola dan dimodifikasi oleh siswa. Pendekatan ini bertujuan untuk memberikan pengalaman belajar yang lebih menyenangkan dan bermakna serta mendorong keterlibatan aktif siswa dalam proses pembelajaran. RPD menciptakan lingkungan belajar yang interaktif dan realistis, memungkinkan siswa untuk terlibat langsung dalam simulasi masalah dunia nyata terkait dinamika populasi. Melalui simulasi ini, siswa dapat mengidentifikasi masalah ekologi, seperti ketidakseimbangan populasi, dan merancang strategi pemecahan masalah yang relevan, seperti mengelola sumber daya atau mengendalikan predator. Sifat interaktif game ini memungkinkan siswa untuk bereksperimen dengan berbagai strategi dan melihat dampak hasilnya secara langsung (umpan balik instan dan visual), yang sangat penting untuk melatih kemampuan berpikir kritis dan analitis, serta keterampilan aplikasi, evaluasi, dan refleksi solusi mereka.

2.1.4 Ekosistem

Lingkungan hidup merupakan salah satu elemen penting dalam kehidupan manusia yang terdiri atas komponen biotik dan abiotik, yang saling berinteraksi membentuk suatu ekosistem. Interaksi yang terjadi dalam ekosistem mencerminkan keseimbangan antara makhluk hidup dan unsur tak hidup, sehingga keberlanjutannya sangat bergantung pada pemahaman dan kesadaran manusia terhadap pengelolaan dan pelestarian lingkungan. Ekosistem adalah kesatuan yang mencakup komponen hidup dan tak hidup di suatu lingkungan yang saling berinteraksi serta bergantung satu sama lain. Interaksi ini melibatkan hubungan antara makhluk hidup dengan unsur-unsur tidak hidup di dalam lingkungan tersebut. Komponen ekosistem terdiri dari dua jenis, yaitu komponen biotik dan abiotik (Ainiyah et al., 2022).

a. Komponen-Komponen Ekosistem

Ekosistem merupakan konsep dalam ekologi yang menggambarkan hubungan timbal balik antara komponen biotik dan abiotik dalam suatu lingkungan. Secara umum, suatu ekosistem terdiri dari berbagai komponen yang saling berinteraksi secara harmonis untuk menciptakan keseimbangan dalam sistem tersebut. Komponen biotik meliputi makhluk hidup seperti tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme, sedangkan komponen abiotik mencakup faktor lingkungan seperti air, udara, tanah, cahaya matahari, dan suhu. Interaksi antara komponen-komponen ini membentuk suatu kesatuan yang teratur dan dinamis.

Adapun komponen ekosistem yang terdiri dari 2 jenis (Azal, 2022):

- 1). Komponen biotik: Komponen abiotik terdiri dari unsur-unsur seperti suhu, cahaya, tanah, udara, dan air.
- 2). Komponen abiotik: Komponen biotik meliputi semua hewan, tumbuhan, dan mikroorganisme.

Adapun dari segi trofik atau nutrisi, komponen biotik ekosistem terdiri dari 2 jenis

1). Komponen autotrofik

Produsen adalah organisme yang mampu memproduksi makanan mereka sendiri (autotrof) karena memiliki klorofil, yang memungkinkan mereka untuk

melakukan fotosintesis (Fitri et al., 2021). Dalam fotosintesis, yang umumnya terjadi pada tumbuhan hijau, alga, dan beberapa bakteri, klorofil berperan penting dalam menangkap cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi kimia, yang kemudian digunakan untuk mengubah karbon dioksida dan air menjadi glukosa dan oksigen. Sementara itu, kemosintesis dilakukan oleh beberapa jenis bakteri yang dapat menghasilkan makanan dengan menggunakan energi dari reaksi kimia, seperti oksidasi senyawa anorganik. Dengan kemampuan ini, organisme autotrofik menjadi dasar bagi rantai makanan dan ekosistem, menyediakan sumber energi bagi organisme heterotrofik yang tidak dapat memproduksi makanan sendiri

2). Komponen heterotrofik

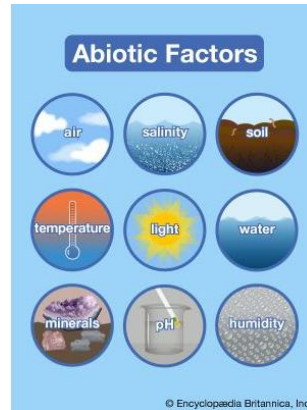
Heterotrof memperoleh bahan organiknya melalui cara utama kedua dalam memberi makan. Karena tidak dapat membuat makanannya sendiri, heterotrof hidup dari senyawa yang dihasilkan oleh organisme lain (hetero berarti yang lain). Heterotrof adalah konsumen biosfer. Bentuk paling jelas dari memakan organisme lain, terjadi ketika hewan memakan tumbuhan atau hewan lain. Namun, nutrisi heterotrofik mungkin lebih halus. Beberapa heterotrof mengonsumsi sisa-sisa organisme yang mati dengan cara memecah dan mengonsumsi limbah organik seperti bangkai, feses, dan daun yang gugur; organisme ini dikenal sebagai pengurai (Campbell *et al.*, 2010).

Ekosistem ditinjau dari segi penyusunnya yaitu komponen abiotik komponen biotik yang mencakup Produsen konsumen dan pengurai:

1). Komponen abiotik

Komponen abiotik dalam ekosistem meliputi Cahaya matahari, air, udara, suhu, tanah, dan mineral. Komponen abiotik yang membentuk elemen fisik dan kimia dalam sebuah ekosistem. Komponen-komponen ini berperan penting dalam menciptakan kondisi lingkungan yang mendukung berbagai proses kehidupan, seperti fotosintesis, siklus air, dan keseimbangan suhu, yang semuanya dibutuhkan oleh komponen biotik untuk bertahan hidup. Komponen abiotik merupakan bagian dari ekosistem yang terdiri atas unsur-unsur fisika dan kimia yang tidak hidup. Komponen abiotik adalah unsur tidak hidup yang terdiri dari benda-benda mati. Unsur-unsur ini membentuk lingkungan yang berperan penting dalam mendukung

kelangsungan hidup komponen biotik dalam ekosistem Gambar 2.1 (Yudasmar, 2015).



Gambar 2. 1 Contoh Abiotik

Sumber: *Encyclopedia Britannica* (2024)

2). Komponen biotik

Komponen biotik merujuk pada komponen hidup dalam ekosistem, yang mencakup berbagai organisme baik berukuran mikroskopis maupun berukuran besar. Komponen biotik dalam suatu ekosistem mencakup semua elemen yang ada di dalam ekosistem tersebut terdiri dari makhluk hidup, seperti tumbuhan, manusia, hewan, bakteri dan fungi Gambar 2.2 (Arafat *et al.*, 2023)



Gambar 2. 2 Contoh Biotik

Sumber: *Encyclopedia Britannica* (2024)

3). Komponen produsen

Produsen adalah semua organisme yang memiliki kemampuan fotosintesis karena mengandung klorofil, sehingga dapat membuat makanannya sendiri. Dalam ekosistem, produsen juga disebut sebagai organisme autotrof. Sebagai contoh,

pada ekosistem hutan mangrove, pohon mangrove merupakan salah satu jenis produsen (Husain *et al.*, 2024). Selain berperan sebagai penghasil energi, produsen juga memiliki fungsi penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Mereka menjadi sumber makanan utama bagi konsumen tingkat pertama, seperti herbivora, yang kemudian mendukung kelangsungan rantai makanan. Di ekosistem perairan, misalnya, fitoplankton berperan sebagai produsen utama yang menyediakan energi bagi berbagai organisme laut. Dengan demikian, keberadaan produsen menjadi pondasi utama dalam struktur ekosistem yang berkelanjutan.

4). Komponen konsumen

Konsumen adalah organisme yang tidak mampu memproduksi makanannya sendiri (Husain *et al.*, 2024). Dalam ekosistem, konsumen dibagi menjadi beberapa tingkatan, yaitu konsumen tingkat pertama (primer), konsumen tingkat kedua (sekunder), konsumen tingkat ketiga (tersier), dan konsumen tingkat keempat (kuarterner). Selain itu, konsumen juga berperan penting dalam proses aliran energi dan daur materi di ekosistem. Mereka membantu mentransfer energi dari tingkat trofik yang lebih rendah ke tingkat yang lebih tinggi. Melalui aktivitas makan dan dimakan, konsumen mendukung siklus nutrisi, seperti karbon dan nitrogen, yang penting bagi kelangsungan hidup organisme lain. Dengan demikian, konsumen tidak hanya menjadi bagian dari rantai makanan, tetapi juga berkontribusi dalam menjaga stabilitas ekosistem secara keseluruhan. Campbell *et al.*, (2010) mendefinisikan bahwa konsumen digolongkan dalam beberapa tingkatan, yaitu:

a) Konsumen pertama

Konsumen pertama, atau konsumen primer, adalah organisme yang secara langsung memakan produsen. Mereka umumnya berupa herbivora, seperti sapi, kelinci, ulat, dan belalang. Konsumen ini bergantung pada tumbuhan atau alga sebagai sumber energi utama untuk kelangsungan hidupnya.

b) Konsumen kedua

Konsumen kedua, atau konsumen sekunder, adalah organisme yang memakan konsumen pertama. Mereka biasanya berupa karnivora atau omnivora, seperti katak, burung pemakan serangga, atau ikan kecil. Konsumen kedua mendapatkan

energi dengan memangsa herbivora dan berperan penting dalam mengendalikan populasi konsumen pertama.

c) Konsumen ketiga

Konsumen ketiga, atau konsumen tersier, adalah organisme yang berada di puncak rantai makanan. Mereka memakan konsumen kedua dan biasanya merupakan predator utama, seperti elang, harimau, dan hiu. Konsumen ketiga membantu menjaga keseimbangan populasi dalam ekosistem dengan mengontrol jumlah konsumen di bawahnya.

d) Konsumen keempat

Konsumen kuarternier, sebagai tingkat trofik keempat dalam rantai makanan, memangsa konsumen tersier (predator puncak) seperti paus pembunuh (Orca) yang memakan hiu. Menurut Campbell Biology, keberadaan konsumen kuarternier ini jarang ditemukan karena keterbatasan energi pada tingkat trofik tinggi (berdasarkan hukum 10% energi), namun mereka sering berperan sebagai spesies kunci (keystone species) yaitu organisme yang memiliki pengaruh sangat besar terhadap struktur dan kestabilan ekosistem meskipun jumlah populasinya sedikit, contohnya Orca yang mengendalikan populasi hiu untuk menjaga keseimbangan rantai makanan.

e) Komponen pengurai

Pengurai, yang juga disebut detritivora, adalah organisme yang bertugas menguraikan sisa-sisa makhluk hidup atau bahan organik. Mereka mendapatkan energi dengan mengonsumsi detritus, yaitu materi organik dari organisme yang telah mati (Husain *et al.*, 2024). Contoh pengurai di ekosistem darat dan udara meliputi cacing tanah, siput, serta kepiting. Pengurai memiliki peran penting dalam siklus nutrisi dan keseimbangan ekosistem. Dengan memecah bahan organik menjadi senyawa sederhana, mereka membantu mengembalikan nutrisi penting ke dalam tanah, yang kemudian dapat dimanfaatkan oleh produsen seperti tumbuhan. Proses ini tidak hanya mendukung kesuburan tanah, tetapi juga memastikan bahwa bahan organik dari organisme mati tidak menumpuk, sehingga ekosistem tetap bersih dan berfungsi dengan baik.

b. Interaksi Antarkomponen dalam Ekosistem

Interaksi antarkomponen dalam ekosistem melibatkan hubungan timbal balik antara komponen biotik, seperti organisme hidup (tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme), serta komponen abiotik, seperti udara, tanah, cahaya matahari, dan udara. Setiap komponen mempunyai peranan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem, perubahan mana pada salah satu komponen dapat mempengaruhi kelangsungan hidup komponen lainnya. Misalnya, peningkatan populasi predator akan menekan populasi mangsa, sementara perubahan faktor abiotik seperti curah hujan atau suhu dapat mempengaruhi produktivitas tumbuhan yang menjadi sumber energi bagi berbagai organisme. Oleh karena itu, pemahaman interaksi antarkomponen sangat penting untuk menjaga ekosistem dan mengelola sumber daya alam secara berkelanjutan. Salah satunya terdapat interaksi antarorganisme yang dapat dijelaskan, sebagai berikut:

1) Netralisme

Netralisme adalah jenis interaksi di mana dua organisme hidup berdampingan tanpa saling mempengaruhi satu sama lain, baik secara positif maupun negatif, sehingga tidak ada dampak yang dirasakan oleh salah satu organisme (Diller *et al.*, 2020).

2) Amensalisme

Amensalisme adalah jenis interaksi antar spesies di mana satu populasi dirugikan oleh interaksi tersebut, sementara populasi lainnya tidak mendapatkan keuntungan atau kerugian yang berarti (Suhri *et al.*, 2024). Dalam interaksi ini, dampak hanya dirasakan oleh satu pihak, biasanya akibat aktivitas spesies yang secara tidak sengaja merugikan spesies lainnya. Sebagai contoh, pohon besar yang menghalangi cahaya matahari bagi tanaman kecil di bawahnya menyebabkan tanaman kecil mengalami kesulitan dalam pertumbuhannya, sementara pohon besar tetap tidak terpengaruh oleh keberadaan tanaman tersebut. Amensalisme menggambarkan bagaimana interaksi antar spesies dalam ekosistem dapat berlangsung tanpa adanya keuntungan atau balasan yang saling menguntungkan.

3) Parasitisme

Parasitisme adalah jenis interaksi antar spesies di mana satu organisme, yang disebut parasit, memperoleh keuntungan dengan memanfaatkan organisme lain, yang disebut inang (Suhri *et al.*, 2024). Dalam hubungan ini, parasit memperoleh manfaat, seperti makanan dan perlindungan, sementara inang biasanya mengalami kerugian, yang dapat bervariasi dari gangguan ringan hingga penyakit serius atau bahkan kematian. Salah satu contoh yaitu *cuscuta* dari genus tumbuhan parasit yang terkenal karena kemampuannya melilit dan menghisap nutrisi dari tanaman inangnya (Gambar 2.3). Tumbuhan ini tidak memiliki klorofil, sehingga tidak dapat melakukan fotosintesis sendiri dan bergantung sepenuhnya pada tanaman lain untuk bertahan hidup. *Cuscuta* melilit tanaman inang dengan membentuk jaringan khusus yang disebut *haustoria*, yang menembus jaringan tanaman inang dan menyedot air serta nutrisi. Tanaman inang yang terinfeksi oleh *Cuscuta*, seperti tanaman blueberry (*Vaccinium*), dapat mengalami pengurangan kesehatan dan produktivitas karena kehilangan nutrisi penting.



Gambar 2. 3 Parasit *Cuscuta* Penghasil Biji, Melilit Tanaman Blueberry (*Vaccinium*).

Sumber: *Encyclopedia Britannica* (2025)

4) Predasi

Interaksi predasi terjadi ketika satu spesies, yaitu predator, memakan individu dari spesies lain yang menjadi mangsanya. Predasi merupakan fenomena yang umum terjadi di alam dan berperan penting dalam menentukan dinamika populasi kedua spesies tersebut (Suhri *et al.*, 2024). Predator mendapatkan sumber makanan untuk bertahan hidup melalui predasi, sementara jumlah individu dalam populasi mangsa berkurang. Interaksi ini memiliki pengaruh besar terhadap pola penyebaran dan kelimpahan spesies dalam suatu komunitas ekologi. Salah satu

contoh yaitu cheetah yang melakukan perburuan terhadap rusa yang menggambarkan interaksi antara predator (cheetah) dan mangsa (rusa) dalam ekosistem alami (Gambar 2.4). Cheetah adalah predator karnivora yang menggunakan kecepatan dan strategi berburu untuk menangkap mangsanya, yang sering kali termasuk rusa atau interaksi ini sering disebut predasi.



Gambar 2. 4 Cheetah Berburu Rusa
Sumber: *National Geographic* (2020)

5) Komensalisme

Komensalisme adalah interaksi antar populasi di mana salah satu populasi memperoleh keuntungan tanpa memberikan pengaruh yang berarti, baik positif maupun negatif, pada populasi lainnya (Suhri *et al.*, 2024). Dalam hubungan ini, spesies yang mendapatkan keuntungan disebut sebagai komensal, sedangkan spesies lainnya disebut inang. Contohnya adalah Ikan pilot (*Naucrates Ductor*), yang sering mengikuti hiu untuk mencari sisa-sisa makanan yang ditinggalkan oleh hiu *Carcharhinus Longimanus* setelah berburu, seperti potongan tubuh mangsa (Gambar 2.5). Ikan pilot mendapatkan keuntungan berupa akses mudah ke sumber makanan tersebut, sementara hiu tidak terpengaruh oleh keberadaan ikan pilot. Interaksi ini sering terjadi di alam dan dapat mencakup berbagai bentuk manfaat, seperti perlindungan, transportasi, atau akses makanan, tanpa adanya efek negatif terhadap inang.



Gambar 2. 5 Ikan *Naucrates Ductor* Berenang di samping Hiu *Carcharhinus Longimanus*

Sumber: *Encyclopedia Britannica* (2019)

6) Protokooperasi

Dalam hubungan ini merupakan dasar untuk terciptanya hubungan simbiosis antara dua spesies yang terlibat memperoleh manfaat dari hubungan tersebut, namun interaksi ini bersifat fakultatif, artinya tidak wajib untuk kelangsungan hidup masing-masing spesies. Hubungan ini terjadi tanpa ketergantungan mutlak, sehingga setiap organisme tetap dapat bertahan hidup meskipun tidak terlibat dalam protokooperasi, salah satu contoh pada penelitian yogurt oleh Mihail *et al.*, (2009) mengenai *S. thermophilus* dan *Lb. bulgaricus*

7) Mutualisme

Dalam hubungan mutualisme, terdapat individu-individu yang selalu hidup berdampingan, sementara yang lain hanya berinteraksi sesekali tanpa harus selalu bersama (Astuti *et al.*, 2022). Interaksi antar spesies dimana kedua belah pihak saling memperoleh manfaat. Kedua spesies bekerja sama untuk keuntungan bersama, yang dapat meningkatkan kelangsungan hidup atau keberhasilan reproduksi masing-masing. Contoh paling umum yaitu hubungan mutualisme antara ngengat burung kolibri dan bunga *Dianthus*, kedua spesies saling mendapatkan manfaat (Gambar 2.6). Ngengat burung kolibri mengumpulkan nektar dari bunga *Dianthus* sebagai sumber makanannya, sementara bunga tersebut mendapatkan bantuan dalam proses penyerbukan.



Gambar 2. 6 Ngengat Burung Kolibri Menyerbuki Bunga *Dianthus*
Sumber: *Encyclopedia Britannica* (2019)

Selain itu, Interaksi antarkomponen dalam ekosistem juga terdapat interaksi antarpopulasi. Adapaun interaksi antar populasi, yaitu:

1) Alelopati

Alelopati adalah interaksi kimiawi antar organisme (biasanya tumbuhan) di mana satu populasi menghasilkan senyawa bioaktif (allelokimia) yang mempengaruhi pertumbuhan, reproduksi, atau kelangsungan hidup populasi lain (Reigosa et al., 2006). Misalnya pohon Walnut (*Juglans* spp.) mengeluarkan juglone yang menghambat pertumbuhan tumbuhan bawah.

2) Kompetisi

a) Kompetisi Tipe Gangguan Langsung

Kompetisi Tipe Gangguan Langsung merupakan hal yang dapat terjadi antara dua spesies mana pun. Kedua spesies saling menghalangi atau merugikan satu sama lain dalam usaha mereka untuk memperoleh sumber daya tersebut. Persaingan ini dapat menyebabkan penurunan jumlah individu dalam salah satu spesies atau keduanya, tergantung pada seberapa efektif mereka dalam bersaing. Salah satu contoh yaitu karang yang bersaing (Gambar 2.7). Meskipun karang tidak tampak seperti organisme yang kompetitif, mereka sebenarnya terlibat dalam kompetisi langsung dengan karang lainnya untuk memperebutkan sumber daya berupa ruang, makanan, dan cahaya (*Biologydictionary*, 2018).



Gambar 2. 7 Kompetisi Berbagai Spesies Karang
Sumber: *Biology Dictionary* (2018)

b) Kompetisi Tipe Penggunaan Sumber Daya Alam

Kompetisi tipe penggunaan sumber daya alam terjadi ketika dua atau lebih spesies bersaing dalam memanfaatkan sumber daya alam yang jumlahnya terbatas. Dalam persaingan ini, setiap spesies saling merugikan satu sama lain dalam upaya mereka untuk memperoleh sumber daya yang terbatas tersebut. Dengan semakin banyak spesies yang terlibat, semakin sedikit sumber daya yang tersedia untuk setiap individu, yang dapat mempengaruhi kemampuan mereka untuk bertahan hidup dan berkembang biak. Salah satu contoh yaitu kompetisi antara spesies anjing liar, khususnya dholes (*Cuon alpinus*), dalam merebutkan bangkai sering terjadi di alam liar, terutama saat ada sumber makanan terbatas (Gambar 2.8). Dholes, yang juga dikenal sebagai "anjing liar Asia," adalah predator sosial yang hidup dalam kelompok besar. Mereka sering berburu dalam tim yang terkoordinasi, tetapi juga bisa terlibat dalam persaingan dengan spesies lain atau bahkan antar anggota kelompok sendiri untuk mendapatkan akses ke bangkai atau mangsa yang baru diburu.



Gambar 2. 8 Kompetisi Spesies Anjing Liar (Dholes) Merebutkan Bangkai
Sumber: *Biology Dictionary* (2019)

Dalam Interaksi antarkomponen dalam ekosistem juga terdapat interaksi komunitas adalah kumpulan populasi berbagai jenis organisme yang hidup dalam suatu wilayah yang sama dan saling berinteraksi.. Adapun interaksi antar komunitas, yaitu (Maknun, 2017):

1) Komunitas Sawah

Komunitas sawah terdiri dari beragam organisme, seperti tanaman padi, belalang, burung, ular, dan gulma.

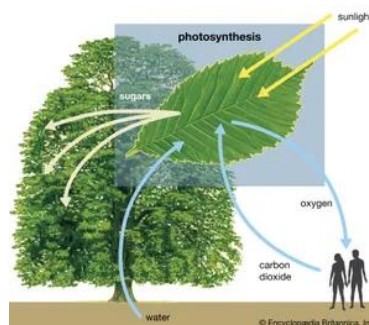
2) Komunitas Sungai

Komunitas sungai mencakup organisme seperti ikan, ganggang, zooplankton, fitoplankton, dan dekomposer. Kedua komunitas ini saling berinteraksi, misalnya melalui aliran nutrisi dari air sungai ke sawah serta pergerakan organisme di antara kedua komunitas tersebut.

Dalam Interaksi antarkomponen dalam ekosistem juga terdapat interaksi antarkomponen biotik dan abiotik. Interaksi antara komponen biotik dan abiotik adalah hubungan timbal balik antara makhluk hidup dan lingkungannya yang tidak hidup. Adapun interaksi komponen antar biotik dan abiotik, yaitu (Susilo et al., 2016):

1) Fotosintesis

Fotosintesis adalah reaksi kimia yang mengubah senyawa anorganik menjadi senyawa organik dengan memanfaatkan energi cahaya matahari. Secara ringkas, mekanisme ini dapat diamati pada Gambar 2.9. Melalui fotosintesis, dihasilkan senyawa organik seperti gula yang berperan sebagai sumber nutrisi bagi kelangsungan hidup berbagai organisme.



Gambar 2. 9 Fotosintesis

Sumber: *Ensiklopedia Britannica* (2022)

c. Aliran Energi

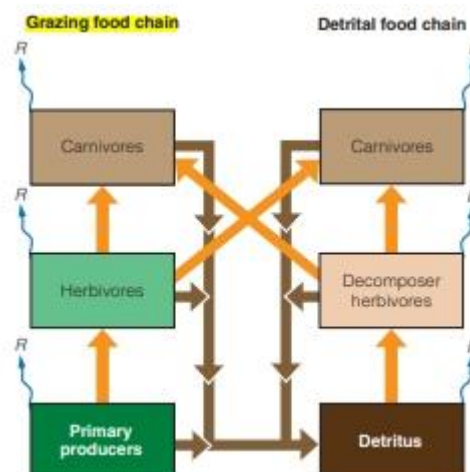
Aliran energi dalam ekosistem merupakan proses perpindahan energi dari satu tingkat trofik ke tingkat trofik lainnya, dimulai dari organisme autotrof seperti tumbuhan hijau yang berperan sebagai produsen. Energi matahari yang ditangkap melalui fotosintesis oleh produsen diubah menjadi energi kimia dalam bentuk bahan organik, yang kemudian dimanfaatkan oleh organisme lain. Konsumen primer, seperti herbivora, memperoleh energi dengan memakan produsen, sementara konsumen sekunder dan tersier mendapatkan energi dengan memangsa organisme di tingkat trofik sebelumnya. Dalam setiap perpindahan energi, sebagian besar energi hilang sebagai panas akibat proses metabolisme, sehingga hanya sekitar 10% energi yang ditransfer ke tingkat berikutnya. Siklus ini menunjukkan bagaimana energi bergerak melalui ekosistem, menjaga keseimbangan ekologi sekaligus mendukung kehidupan berbagai organisme. Di dalam ekosistem, terdapat hubungan saling ketergantungan antara berbagai organisme maupun antara organisme dengan lingkungannya dan hubungan ini menciptakan aliran energi yang berkelanjutan dalam ekologi (Sandika, 2021).

1) Rantai makanan

Rantai makanan adalah pengalihan energi dari sumbernya dalam tumbuhan melalui sederetan organisme yang makan dan yang dimakan (Sandika, 2021). Dalam rantai makanan, perpindahan energi dan materi terjadi melalui hubungan makan dan dimakan antar organisme di tingkat trofik yang berbeda. Tumbuhan hijau sebagai produsen berada di tingkat trofik pertama, memanfaatkan energi matahari untuk fotosintesis dan menghasilkan bahan organik. Energi ini kemudian ditransfer ke herbivora, yang berperan sebagai konsumen primer. Selanjutnya, herbivora menjadi sumber energi bagi karnivora, yang merupakan konsumen sekunder, dan karnivora ini dapat dimangsa oleh karnivora lain di tingkat trofik lebih tinggi sebagai konsumen tersier. Dalam setiap perpindahan, energi yang diteruskan semakin berkurang karena sebagian besar energi hilang sebagai panas. Proses ini menggambarkan bagaimana setiap organisme di dalam rantai makanan saling bergantung, dengan kehidupan suatu organisme menjadi pendukung bagi kehidupan organisme lainnya, sehingga ekosistem dapat tetap seimbang. Setiap

ekosistem terdiri dari dua komponen utama, yaitu rantai makanan rerumputan dan rantai makanan detritus. Aliran energi melalui konsumsi antar tingkat trofik digambarkan dengan panah oranye. Panah biru menunjukkan energi yang hilang dari setiap tingkat trofik akibat proses respirasi. Selain itu, panah cokelat menggambarkan sisa-sisa biomassa yang tidak dimakan dan limbah yang dihasilkan, yang kemudian menjadi bagian dari materi organik mati dalam ekosistem.

Menurut Smith & Smith, (2015), dalam ekosistem terdapat dua jalur utama aliran energi, yaitu Grazing Food Chain (Rantai Makanan Perumput) adalah rantai makanan yang dimulai dari produsen utama (tumbuhan atau fitoplankton) yang dimakan oleh konsumen primer (herbivora), lalu dilanjutkan ke konsumen sekunder dan tersier (karnivora) dan Detrital Food Chain (Rantai Makanan Detritus) adalah rantai makanan yang dimulai dari detritus (sisa-sisa organisme mati dan bahan organik membusuk), yang dikonsumsi oleh detritivor (seperti cacing tanah dan serangga pemakan bangkai), lalu diteruskan ke karnivora kecil dan besar. Keduanya berperan dalam transfer energi dan siklus materi, tetapi memiliki perbedaan dalam sumber energinya. Dalam konsep ini, dekomposer tidak masuk ke dalam tingkatan trofik utama karena mereka tidak mendapatkan energi dengan memangsa organisme hidup (Gambar 2.10).

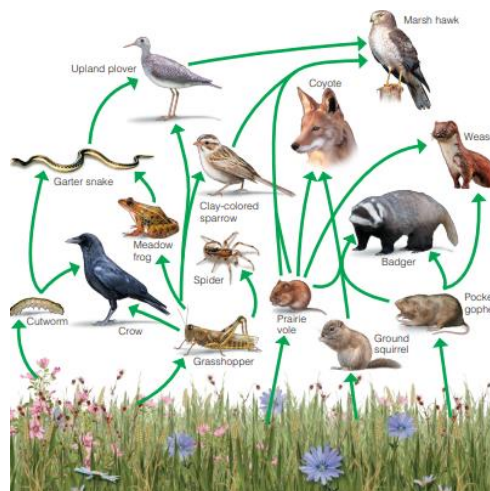


Gambar 2. 10 Alur Aliran Energi pada Rantai Makanan
Sumber: Smith & Smith, (2015)

2) Jaring makanan

Hubungan makan di alam tidak sesederhana rantai makanan linear dimana energi hanya mengalir dari produsen ke konsumen primer, konsumen sekunder, dan seterusnya. Sebaliknya, hubungan makan di alam menciptakan jaring makanan yang kompleks, yang terdiri dari banyak rantai makanan saling terkait. Dalam jaring makanan, organisme sering terlibat dalam beberapa hubungan makan, misalnya, satu spesies dapat menjadi mangsa bagi beberapa predator atau menjadi predator bagi berbagai spesies lain. Di ekosistem padang rumput ini, energi berpindah dari tumbuhan ke hewan-hewan yang memakannya. Ulat dan belalang makan tumbuhan, lalu dimakan oleh burung dan laba-laba. Burung kecil kemudian dimangsa oleh serigala dan burung pemangsa. Katak dimakan oleh gagak, sementara ular menjadi santapan burung lain. Tikus dan tupai dimakan oleh luwak, cerpelai, dan serigala, yang juga memangsa hewan lain (Gambar 2.11).

Rantai makanan ini menunjukkan bahwa tumbuhan adalah sumber makanan utama bagi hewan pemakan tumbuhan. Hewan-hewan ini kemudian dimakan oleh pemangsa, sehingga tercipta keseimbangan dalam ekosistem padang rumput.



Gambar 2. 11 Jaring-Jaring Makanan

Sumber: Smith & Smith, (2015)

3) Tingkat trofik

Tingkatan trofik menggambarkan proses perpindahan energi dan materi di dalam ekosistem, dari satu tingkat atau kelompok organisme ke tingkat berikutnya (Almohdar & Souisa, 2017). Proses ini dimulai dari produsen primer, yang

menghasilkan energi melalui fotosintesis, kemudian dilanjutkan ke konsumen primer seperti herbivora, lalu ke konsumen sekunder dan tersier, hingga akhirnya mencapai predator puncak sebagai tingkat trofik tertinggi. Adapun pemahaman tingkat trofik, yang mana organisme dalam ekosistem dikelompokkan sebagai berikut:

- a) Tingkat trofik pertama terdiri dari semua organisme yang berperan sebagai produsen. Kelompok ini mencakup semua jenis tumbuhan hijau yang menghasilkan energi melalui fotosintesis.
- b) Tingkat trofik kedua mencakup semua organisme herbivora, yang juga dikenal sebagai konsumen primer. Herbivora memanfaatkan energi yang dihasilkan oleh produsen untuk kelangsungan hidup mereka.
- c) Tingkat trofik ketiga terdiri dari organisme karnivora kecil yang berfungsi sebagai konsumen sekunder.
- d) Tingkat trofik keempat terdiri dari karnivora besar atau karnivora tingkat tinggi yang berada di puncak rantai makanan sebagai predator utama.
- e) Tingkat trofik kelima terdiri dari organisme yang berperan dalam proses penguraian, seperti dekomposer dan detritivor.

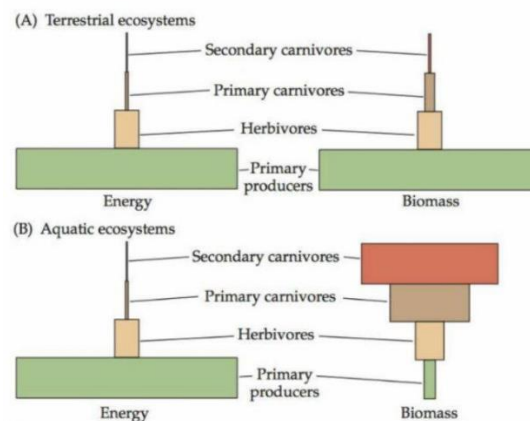
4) Piramida ekologi

Piramida ekologi yang digunakan untuk menggambarkan aliran energi dan materi di antara tingkat trofik dalam suatu ekosistem (Bowman *et al.*, 2017). Piramida ini disusun dengan tingkat trofik yang lebih rendah, seperti produsen, berada di dasar, dan tingkat trofik yang lebih tinggi, seperti konsumen primer, sekunder, dan predator puncak, di bagian atas. Melalui piramida ekologi, kita dapat memahami bagaimana efisiensi energi yang rendah dalam transfer antar tingkat trofik membatasi jumlah energi atau biomassa yang tersedia untuk organisme di tingkat trofik yang lebih tinggi, serta menunjukkan pentingnya produsen sebagai fondasi ekosistem yang menopang seluruh rantai makanan. Adapun beberapa tipe piramida, yaitu:

- a) Piramida jumlah menunjukkan jumlah individu di setiap tingkat trofik, yang biasanya lebih banyak di tingkat produsen.

- b) Piramida biomassa menggambarkan total massa organisme di setiap tingkat trofik, yang cenderung berkurang ke atas.
- c) Piramida energi menunjukkan aliran energi yang berkurang setiap kali berpindah ke tingkat trofik lebih tinggi.

Pada ekosistem darat (A), piramida energi dan biomassa biasanya serupa. Dalam banyak ekosistem perairan, piramida biomassa terbalik relatif terhadap piramida energi (B). Piramida biomassa terbalik dalam ekosistem perairan paling umum terjadi di perairan miskin nutrisi dengan biomassa autotrof rendah (Gambar 2.12).



Gambar 2. 12 Skema Piramida Biomassa

Sumber: *Ekology* (Bowman *et al.*, 2017)

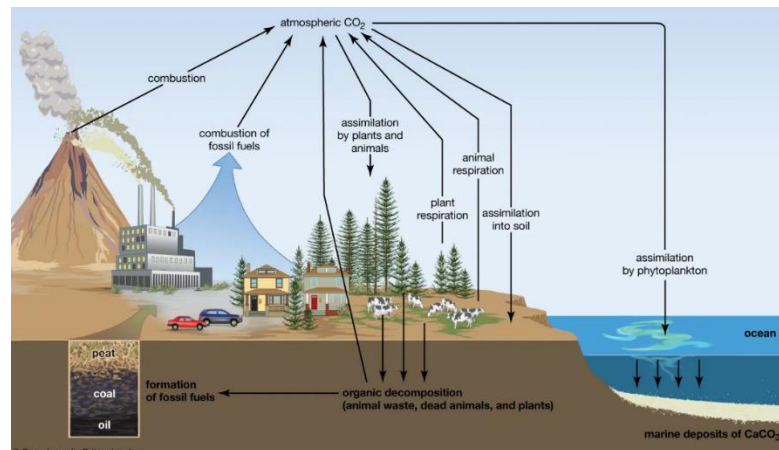
d. Siklus Biogeokimia

Semua organisme, mulai dari virus (ambang kehidupan), bakteri, tumbuhan dan hewan, hingga manusia, terdiri dari materi dan membutuhkan sekitar 40 unsur untuk pertumbuhan dan proses kehidupannya. Konstituen dominan dari materi ini adalah hidrogen, karbon dan oksigen. Materi tersebut terus beredar antara organisme dengan lingkungannya melalui jalur siklus melingkar yang dikenal sebagai siklus biogeokimia. Istilah "bio" merujuk pada organisme hidup, "geo" mengacu pada elemen seperti tanah dan batuan, sementara "kimia" mengacu pada unsur-unsur serta senyawa yang terkait (Dash & Dash, 2009). Secara umum, siklus biogeokimia terbagi menjadi dua jenis utama yaitu siklus gas seperti karbon (karbon dioksida), oksigen, nitrogen, dll. Siklus sedimen seperti belerang, fosfor, dll. Adapun siklus-siklus dalam biogeokimia yang dijelaskan oleh Dash & Dash, (2009). sebagai berikut:

1) Siklus karbon

Karbon adalah elemen penting dalam kehidupan di Bumi karena menjadi dasar penyusun molekul-molekul seperti protein, karbohidrat, dan lemak. Di alam, karbon ditemukan dalam berbagai bentuk, seperti grafit, berlian, dan karbon dioksida (CO_2) di atmosfer. Karbon juga memiliki kemampuan luar biasa untuk membentuk ikatan dengan elemen lain, seperti hidrogen, oksigen, nitrogen, dan fosfor, yang memungkinkan pembentukan berbagai molekul yang kompleks. Kemampuan ini menjadikan karbon elemen utama dalam proses kehidupan.

Siklus karbon menunjukkan pada Gambar 2.13 bagaimana karbon bergerak melalui berbagai proses di bumi. Proses ini dimulai dari pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak, dan gas oleh pabrik, kendaraan, serta gunung berapi yang melepaskan karbon dioksida (CO_2) ke atmosfer. Selain itu, respirasi makhluk hidup juga turut meningkatkan kadar CO_2 di udara. Tumbuhan menyerap karbon dari atmosfer melalui fotosintesis, mengubahnya menjadi energi dan biomassa yang kemudian dimakan oleh hewan. Namun, baik tumbuhan maupun hewan juga melepaskan kembali karbon ke atmosfer melalui proses respirasi. Saat tumbuhan dan hewan mati, karbonnya masuk ke tanah melalui proses dekomposisi, di mana mikroorganisme menguraikan sisa-sisa organik dan melepaskan sebagian karbon kembali ke lingkungan. Seiring waktu yang sangat lama, sisa-sisa organisme yang tertimbun di bawah tanah mengalami tekanan dan panas tinggi, akhirnya membentuk bahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak bumi. Di lautan, fitoplankton juga menyerap CO_2 untuk fotosintesis, sementara karbon lainnya mengendap di dasar laut dalam bentuk kalsium karbonat (CaCO_3) dari sisa-sisa makhluk laut seperti kerang dan plankton. Semua proses ini menunjukkan bagaimana karbon terus berpindah antara atmosfer, daratan, dan lautan, menjaga keseimbangan ekosistem bumi.



Gambar 2. 13 Siklus Karbon

Sumber: *Encyclopedia Britannica* (2025)

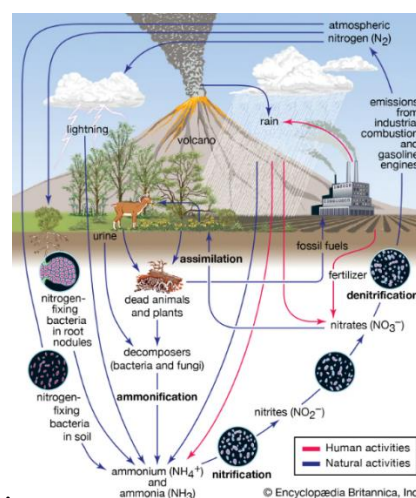
2) Siklus nitrogen

Siklus nitrogen adalah proses sirkulasi nitrogen yang terjadi antara atmosfer, tanah, organisme hidup, dan kembali ke atmosfer. Siklus nitrogen menggambarkan bagaimana nitrogen berpindah melalui udara, tanah, tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme. Sebagian besar nitrogen di bumi terdapat di atmosfer dalam bentuk gas nitrogen (N_2), yang tidak dapat langsung digunakan oleh makhluk hidup. Agar dapat dimanfaatkan, nitrogen harus melalui proses fiksasi, yang terjadi melalui dua cara. Fiksasi biologis dilakukan oleh bakteri pengikat nitrogen yang hidup di akar tumbuhan tertentu atau di tanah, mengubah nitrogen menjadi amonia (NH_3) dan amonium (NH_4^+). Sementara itu, fiksasi abiotik terjadi saat petir mengikat nitrogen dari udara dan membentuk senyawa yang larut dalam air hujan, yang kemudian masuk ke tanah sebagai nitrat (NO_3^-).

Setelah berada di dalam tanah, nitrogen mengalami proses amonifikasi, yaitu penguraian zat organik dari hewan dan tumbuhan yang mati atau limbah seperti urin oleh bakteri dan jamur, menghasilkan amonia dan amonium. Selanjutnya, melalui nitrifikasi, bakteri nitrifikasi mengubah amonia dan amonium menjadi nitrit (NO_2^-), lalu menjadi nitrat (NO_3^-), yang bisa diserap oleh tumbuhan dalam proses asimilasi. Hewan kemudian mendapatkan nitrogen dengan memakan tumbuhan atau hewan lainnya.

Siklus ini juga mencakup proses denitrifikasi, di mana bakteri tertentu mengubah nitrat (NO_3^-) kembali menjadi gas nitrogen (N_2) yang dilepaskan ke

atmosfer, mengembalikan nitrogen ke siklus awalnya (Gambar 2.14). Selain proses alami, aktivitas manusia juga berpengaruh dalam siklus ini, seperti penggunaan pupuk yang menambahkan nitrogen ke tanah dalam jumlah besar, serta pembakaran bahan bakar fosil oleh industri dan kendaraan yang melepaskan senyawa nitrogen ke udara, berkontribusi pada polusi dan hujan asam. Siklus nitrogen ini penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem karena nitrogen merupakan unsur esensial bagi pertumbuhan makhluk hidup



Gambar 2. 14 Siklus Nitrogen
Sumber: *Encyclopedia Britannica* (2025)

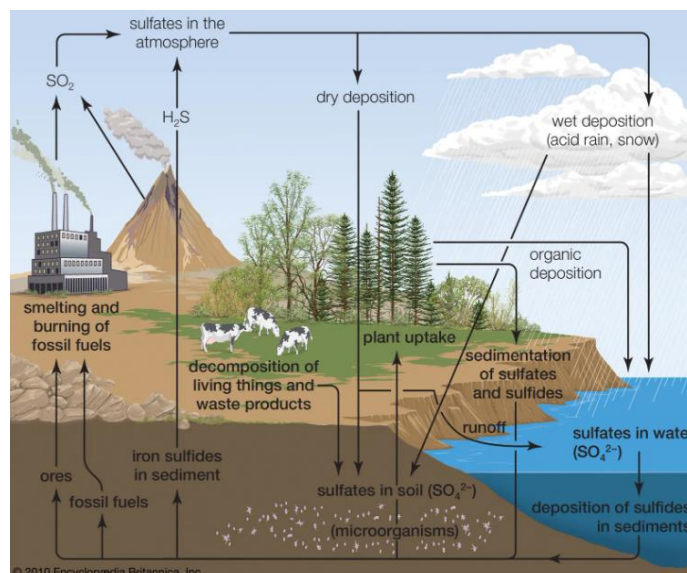
3) Siklus belerang

Siklus sulfur menggambarkan bagaimana unsur sulfur berpindah melalui atmosfer, tanah, air, dan makhluk hidup. Proses ini dimulai ketika pembakaran bahan bakar fosil dan peleburannya oleh industri menghasilkan gas sulfur dioksida (SO_2), yang dilepaskan ke udara (Gambar 2.15). Selain itu, aktivitas gunung berapi juga mengeluarkan gas hidrogen sulfida (H_2S), yang kemudian bereaksi dengan oksigen di atmosfer membentuk sulfat (SO_4^{2-}). Sulfat ini dapat kembali ke tanah melalui dua cara, yaitu deposisi kering berupa partikel kecil yang jatuh langsung ke tanah atau deposisi basah dalam bentuk hujan asam dan salju yang mengandung sulfur.

Setelah masuk ke dalam tanah, sulfur diserap oleh tumbuhan melalui akar dalam bentuk sulfat. Hewan mendapatkan sulfur dengan memakan tumbuhan atau hewan lain. Ketika tumbuhan dan hewan mati, jasad mereka terurai oleh

mikroorganisme, melepaskan sulfur kembali ke tanah dalam bentuk sulfat atau gas hidrogen sulfida. Sebagian sulfur juga mengalami proses sedimentasi di perairan, di mana sulfat yang terbawa aliran air mengendap di dasar laut atau danau, membentuk endapan besi sulfida yang dalam waktu lama bisa menjadi batuan atau bahan bakar fosil (Gambar 2.15).

Siklus ini penting karena sulfur merupakan unsur esensial bagi protein dan enzim dalam makhluk hidup. Namun, aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil dalam jumlah besar meningkatkan kadar sulfur di atmosfer, yang dapat menyebabkan polusi udara dan hujan asam, merusak ekosistem dan kehidupan makhluk hidup.



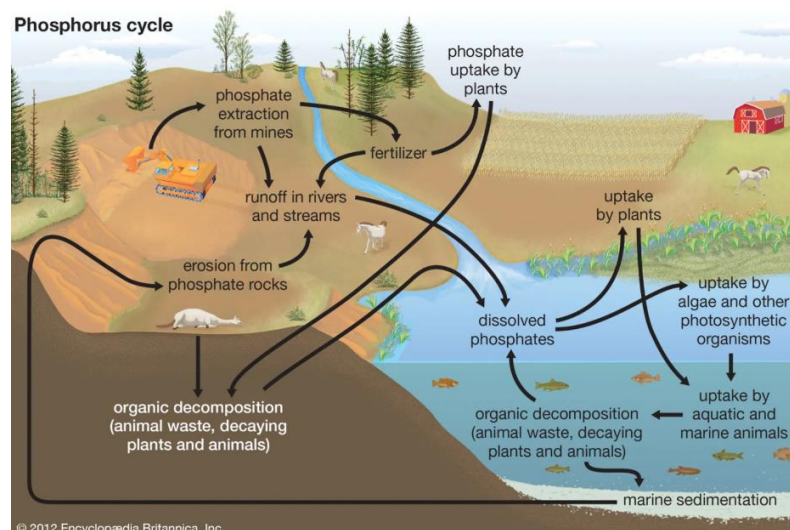
Gambar 2. 15 Siklus Belerang
Sumber: *Encyclopedia Britannica* (2010)

4) Siklus fosfor

Siklus fosfor berpindah melalui berbagai komponen lingkungan, termasuk tanah, udara, dan organisme hidup. Siklus fosfor menggambarkan bagaimana fosfor berpindah di alam melalui tanah, air, dan makhluk hidup. Fosfor berasal dari batuan yang mengalami erosi, melepaskan fosfat ke tanah dan air. Fosfat ini kemudian diserap oleh tanaman melalui akarnya dan masuk ke dalam rantai makanan saat hewan memakan tanaman tersebut. Selain itu, manusia juga menambahkan fosfat ke tanah dalam bentuk pupuk untuk meningkatkan kesuburan tanaman (Gambar 2.16).

Sebagian fosfat terbawa oleh aliran air hujan ke sungai dan laut. Di perairan, fosfat ini diserap oleh alga dan organisme fotosintesis lainnya, yang kemudian dimakan oleh hewan air. Ketika tumbuhan dan hewan mati, fosfat yang ada dalam tubuh mereka akan terurai dan kembali ke tanah atau air melalui proses dekomposisi oleh mikroorganisme.

Sebagian fosfat yang masuk ke laut akan mengalami sedimentasi dan mengendap di dasar laut, membentuk batuan fosfat baru dalam waktu yang sangat lama. Fosfor tidak mengalami perpindahan melalui atmosfer seperti karbon atau nitrogen, sehingga siklusnya cenderung lebih lambat. Namun, aktivitas manusia seperti penambangan batuan fosfat dan penggunaan pupuk dalam jumlah besar dapat mengganggu keseimbangan siklus ini dan menyebabkan pencemaran air, seperti pertumbuhan alga berlebih yang dapat merusak ekosistem perairan (Gambar 2.16)



Gambar 2. 16 Siklus Fosfor
Sumber: *Encyclopedia Britannica* (2012)

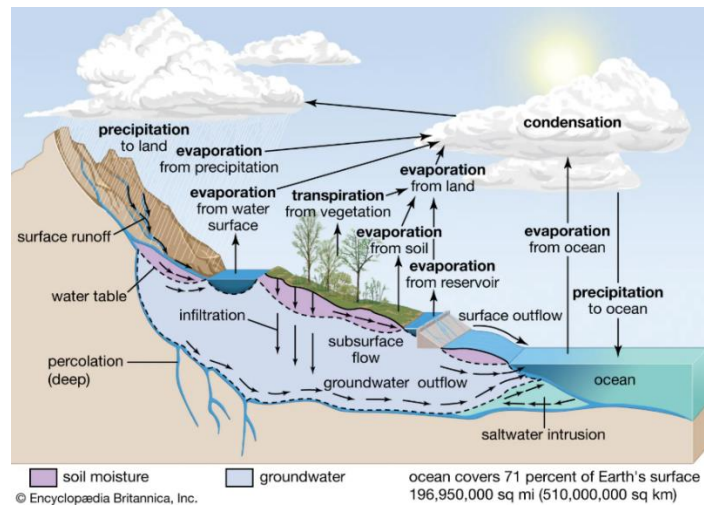
5) Siklus air

Siklus air adalah proses alami yang melibatkan peredaran air di Bumi, menghubungkan atmosfer, daratan, dan lautan. Air menentukan distribusi, struktur, dan fungsi organisme dalam ekosistem, karena menjadi pelarut universal yang memungkinkan terjadinya siklus unsur lain seperti karbon, nitrogen, dan fosfor. Selain itu, air sangat penting untuk fotosintesis, proses dimana tumbuhan

mengubah cahaya matahari menjadi energi kimia. Siklus air dimulai dengan presipitasi , yaitu proses jatuhnya hujan atau salju dari awan ke permukaan bumi, baik ke daratan maupun langsung ke lautan. Sebagian air hujan yang jatuh ke tanah akan mengalir di permukaan sebagai aliran permukaan, menuju sungai, danau, atau lautan. Sebagian lainnya meresap ke dalam tanah melalui proses infiltrasi , mengisi lapisan air tanah dan mengalir perlahan melalui aliran bawah permukaan hingga mencapai sumber air lain seperti sungai atau laut. Air tanah juga dapat keluar kembali ke permukaan melalui aliran air tanah, yang membantu menjaga keseimbangan ekosistem perairan (Gambar 2.17).

Selain itu, air yang berada di berbagai permukaan, seperti sungai, danau, dan lautan, akan mengalami penguapan, yaitu perubahan udara menjadi uap akibat panas matahari. Tidak hanya dari badan udara, evaporasi juga terjadi dari tanah dan permukaan lain seperti waduk atau waduk. Tumbuhan juga berpartisipasi dalam siklus ini melalui transpirasi, di mana mereka melepaskan uap air ke atmosfer melalui stomata daunnya. Seluruh proses ini menghasilkan uap air yang naik ke atmosfer dan mengalami kondensasi, membentuk awan yang nantinya akan kembali turun menjadi hujan.

Di wilayah pesisir, terdapat fenomena yang disebut intrusi air laut, di mana air laut meresap ke dalam air tanah akibat perubahan keseimbangan hidrologi, seperti penggunaan air tanah yang berlebihan. Dengan semua proses ini, siklus udara terus berlangsung secara alami, menjaga ketersediaan udara di bumi dan mendukung kehidupan makhluk hidup.



Gambar 2. 17 Siklus Air

Sumber: *Encyclopedia Britannica* (2024)

2.2 Hasil Penelitian yang Relevan

Penelitian juga sejalan dengan penelitian Dwi Rigawati et al., (2024) yang menggunakan metode *Game Based Learning*, dimana hasil menunjukkan respon peserta didik terhadap pembelajaran *Game Based Learning* berbasis dimensi kolaborasi 21CLD pada materi sistem gerak dengan persentase rata-rata sebesar 80,6%, yang termasuk dalam kategori sangat baik. Sedangkan pada kelas kontrol, respon peserta didik hanya mencapai 50,26% dari kelas eksperimen, menunjukkan bahwa terdapat pengaruh pada kelas eksperimen yang lebih unggul dalam meningkatkan keterlibatan dan kolaborasi peserta didik.

Hasil Penelitian relevan yang sejalan juga dilakukan oleh Arslan & Karakuş, (2024), yang menguji efek permainan digital (*digital games*) terhadap Literasi Lingkungan siswa terhadap Tingkat Literasi Lingkungan dan Sikap terhadap Lingkungan. Hasilnya menunjukkan bahwa kelas eksperimen yang belajar menggunakan digital games mengalami peningkatan skor literasi yang signifikan, dari rata-rata 3.10 menjadi 4.15. Sebaliknya, kelas kontrol yang belajar tanpa digital games hampir tidak mengalami peningkatan (hanya dari 3.12 menjadi 3.20). Penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan media interaktif seperti digital games sangat efektif dalam meningkatkan literasi lingkungan siswa. Temuan ini sangat relevan dengan penelitian ini, mengingat Literasi Ekologi merupakan salah

satu komponen inti dan fundamental di dalam lingkup Literasi Lingkungan tersebut.

Penelitian Rahman & Na'ima, (2024) pada kelas eksperimen, hasil pretest menunjukkan persentase sebesar 62,54%, sedangkan hasil posttest meningkat menjadi 87,48%, dengan selisih peningkatan sebesar 24,94%. Sementara itu, pada kelas kontrol, persentase pretest tercatat sebesar 63,75%, dan setelah mengikuti pembelajaran, hasil posttest meningkat menjadi 67,75%, dengan peningkatan sebesar 4%. Hal ini menunjukkan bahwa model *Problem Based Learning* (PBL) memiliki potensi yang besar dalam meningkatkan keterampilan kolaborasi peserta didik pada materi biologi. Melalui pendekatan ini, peserta didik diajak untuk bekerja dalam tim, saling bertukar pendapat, berbagi tanggung jawab, dan menyelesaikan masalah secara kolektif. Temuan ini menunjukkan bahwa sintaks PBL, yang menuntut siswa bekerja dalam tim dan menyelesaikan masalah secara kolektif, merupakan model pendukung yang ideal untuk melatih keterampilan kolaborasi. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi penting karena mensintesis kedua temuan relevan tersebut, yakni menguji Media RDP yang terbukti kuat di literasi yang dijalankan di dalam Model PBL sebagai model yang terbukti kuat di kolaborasi.

Penelitian lain mengenai game berbasis digital oleh Ismaya *et al.*, (2024) menunjukan bahwa media pembelajaran digital juga berpengaruh terhadap proses belajar anak. Penggunaan media digital memiliki dampak signifikan terhadap peningkatan keterampilan proses sains dan kemampuan berpikir kritis peserta didik. Temuan ini relevan karena menunjukkan bahwa media digital secara umum memiliki potensi untuk melatih berbagai Keterampilan Berpikir Tingkat Tinggi (HOTS). Meskipun penelitian tersebut berfokus pada KPS dan berpikir kritis, temuannya mendukung penelitian ini yang juga menguji keterampilan kompleks lainnya, yakni keterampilan kolaborasi dan literasi ekologi.

2.3 Kerangka Konseptual

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penggunaan media pembelajaran *Rabbit Population Dynamics* terhadap keterampilan kolaborasi dan literasi ekologi peserta didik pada materi ekosistem. Dalam konteks pembelajaran

ekosistem, banyak peserta didik yang kesulitan memahami konsep ekosistem dan dinamika populasi. Mereka sering kali mengalami kesulitan dalam memahami hubungan antara organisme, lingkungan, dan faktor-faktor yang mempengaruhi keseimbangan ekosistem. Selain itu, keterampilan kolaborasi peserta didik juga masih kurang berkembang. Padahal, keterampilan kolaborasi sangat penting untuk kerja sama antar peserta didik dalam menyelesaikan masalah, baik dalam konteks akademis maupun kehidupan sehari-hari. Diperlukan pendekatan pembelajaran yang lebih interaktif dan aplikatif untuk membantu peserta didik memahami konsep ekologi secara lebih mendalam. Hal ini merujuk pada Smith dengan penelitian yang menemukan bahwa pembelajaran ekologi secara konvensional seringkali gagal karena bersifat abstrak dan pasif. Oleh karena itu, peneliti menawarkan solusi berupa media simulasi interaktif *Rabbit Population Dynamics* (RPD).

Literasi ekologi dalam konteks ini mencakup pemahaman mengenai keseimbangan ekosistem, interaksi antara organisme, dan dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan. Sementara itu, keterampilan kolaborasi mencakup kemampuan untuk bekerja dalam tim, berbagi informasi, saling mendukung, dan memecahkan masalah secara bersama-sama. Dengan mengintegrasikan prinsip-prinsip ini, diharapkan media ini dapat memberikan dampak positif terhadap keterampilan kolaborasi dan literasi ekologi peserta didik.

Berdasarkan teori pembelajaran kolaboratif dan konstruktivisme, peserta didik belajar melalui interaksi sosial dan pengalaman langsung. Pembelajaran berbasis proyek (PBL) dan simulasi interaktif, seperti *Rabbit Population Dynamics*, memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk berkolaborasi, berinteraksi, dan mengembangkan keterampilan memecahkan masalah. Media ini juga memungkinkan peserta didik untuk berpartisipasi aktif dalam proses pembelajaran, sehingga mereka tidak hanya memahami konsep secara teoritis, tetapi juga mampu menerapkannya dalam situasi dunia nyata. Keterampilan kolaborasi sangat penting untuk kerja sama antar peserta didik dalam menyelesaikan masalah, sementara literasi ekologi diperlukan agar peserta didik dapat memahami konsep-konsep ekologi dan dampak interaksi antar elemen dalam ekosistem.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan media pembelajaran yang efektif dan inovatif, serta memberikan wawasan baru dalam upaya meningkatkan kualitas pembelajaran ekologi. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi dasar bagi pengembangan media pembelajaran lainnya yang lebih terarah dan sesuai dengan kebutuhan peserta didik dalam memahami konsep ekologi.

2.4 Hipotesis Penelitian

- H₁ : Ada pengaruh media *Rabbit Population Dynamics* terhadap keterampilan kolaborasi pada materi ekosistem di kelas X SMAN 1 Ciamis tahun ajaran 2024/2025
- H₂ : Ada pengaruh media *Rabbit Population Dynamics* terhadap Literasi Ekologi pada materi ekosistem di kelas X SMAN 1 Ciamis tahun ajaran 2024/2025.