

BAB 2

TINJAUAN TEORITIS

2.1 Kajian Pustaka

2.1.1 Keterampilan Kolaborasi

2.1.1.1 Pengertian Keterampilan Kolaborasi

Kolaborasi didefinisikan sebagai kemampuan untuk bekerja sama dan memegang tanggung jawab atas tugas yang diberikan. Mengingat persaingan di abad ke-21, keterampilan kolaborasi ini sangat penting untuk dikembangkan peserta didik karena memungkinkan mereka untuk bekerja secara efektif dalam tim (Sufajar & Qosyim, 2022). Keterampilan kolaborasi mencakup kemampuan untuk bekerja secara efektif dan penuh dalam tim yang beragam. Keterampilan ini menuntut individu untuk bersikap fleksibel dan memiliki keinginan untuk mencapai tujuan bersama, serta mengambil tanggung jawab bersama untuk kerja kolaboratif (Najaah, 2021). Menurut Rayhana (2024), keterampilan kolaborasi merupakan aktivitas kerjasama yang dilakukan oleh dua orang atau lebih, yang mana dalam proses ini mereka berupaya saling memahami, memecahkan masalah bersama dan meraih tujuan yang telah disepakati. Singkatnya, keterampilan kolaborasi adalah strategi kolektif untuk mencapai tujuan dengan cara melakukannya bersama.

Keterampilan kolaborasi dapat diartikan sebagai kemampuan dalam kerja tim antar dua peserta didik atau lebih yang memerlukan pembagian peran, tanggung jawab dan akuntabilitas bersama. Fokus utama dari proses ini adalah mencapai pemahaman bersama mengenai identifikasi dan penyelesaian masalah (Pramiswari, 2024). Sedangkan menurut Aldian & Wahyudiati (2023) mengemukakan bahwa keterampilan kolaborasi merupakan kemampuan untuk membangun hubungan interpersonal yang kuat, khususnya saat berpartisipasi dalam kegiatan belajar. Dengan saling menghargai, kolaborasi menciptakan suasana pembelajaran yang baik sehingga tujuan pembelajaran dapat tercapai. Keterampilan kolaborasi memiliki peranan penting dalam proses belajar karena membantu peserta didik memproses informasi lebih banyak dan mencapai tujuan pembelajaran. Selain itu,

kolaborasi juga memperkuat interaksi sosial antar peserta didik untuk mencapai tujuan pembelajaran (Anam *et al.*, 2024). Berdasarkan beberapa pendapat, dapat disimpulkan bahwa keterampilan kolaborasi merupakan kemampuan penting untuk bekerja sama secara efisien dan saling menghormati dalam kelompok yang beragam, yang dicirikan dengan pembagian tanggung jawab demi tercapainya tujuan bersama. Keterampilan ini sangat penting dalam dunia pendidikan karena memfasilitasi proses belajar, memperkuat interaksi sosial, dan membentuk karakter peserta didik.

2.1.1.2 Indikator Keterampilan Kolaborasi

Indikator keterampilan kolaborasi yang dijadikan acuan dalam penelitian ini yaitu dari teori (Ofstedal & Dahlberg, 2009). Kathleen Ofstedal dan Kathryn Dahlberg, mengembangkan *Collaboration Self-Assessment Tool* (CSAT) yang terdapat 11 indikator keterampilan kolaborasi yang dianggap penting untuk mencapai keberhasilan khususnya dalam konteks pengalaman mengajar peserta didik (*student teaching*).

Keterampilan kolaborasi dapat diukur melalui kuisioner CSAT, yang di isi oleh peserta didik baik sebelum atau sesudah diberi perlakuan. Ofstedal & Dahlberg juga mengkategorikan tingkat keterampilan kolaborasi ke dalam tiga tahapan utama berdasarkan skor total yang dicapai. Tiga kategori tersebut yaitu, muncul (*emerging*), berkembang (*developing*), dan terbangun (*established*).

Tabel 2. 1 Indikator Keterampilan Kolaborasi

Indikator	Definisi Indikator
Kontribusi	Peserta didik dapat berbagi ide, informasi dan sumber daya yang berkaitan dengan tugas kelompoknya.
Pemecahan Masalah	Peserta didik dapat mencari solusi secara aktif untuk masalah yang ada, berpartisipasi dalam pemecahan masalah dengan pikiran yang terbuka, berbagi pikiran dan ide.
Interaksi Sesama Anggota Kelompok	Peserta didik dapat mendengarkan, menghormati, mengakui dan mendukung upaya orang lain.

Indikator	Definisi Indikator
Dukungan Kelompok	Peserta didik secara publik mendukung anggota kelompoknya dan upaya-upaya anggota kelompok lainnya.
Dinamika Tim	Peserta didik dapat saling mendukung terhadap kebutuhan rekan dalam satu kelompoknya.
Motivasi/Partisipasi	Peserta didik memiliki keinginan untuk berpartisipasi dan tetap terlibat dalam kelompok.
Kualitas Pekerjaan	Peserta didik dapat memberikan usaha terbaiknya untuk meningkatkan kualitas pekerjaan dalam kelompoknya.
Manajemen waktu	Peserta didik dapat menyelesaikan tugasnya dengan baik dan tepat waktu.
Persiapan	Kesiapan peserta didik untuk bekerja di dalam kelompoknya.
Fleksibilitas	Peserta didik memiliki kemampuan untuk bergerak dengan mudah antara menjadi pemimpin atau pengikut dalam kelompoknya.
Refleksi	Peserta didik mampu mengevaluasi kegiatan kolaborasi dan hasil kerja dari kelompok.

Sumber: (Ofstedal & Dahlberg, 2009)

2.1.2 Literasi Digital

2.1.2.1 Pengertian Literasi Digital

Definisi dari literasi merupakan istilah yang merujuk kepada seperangkat keterampilan dasar yang dimiliki individu yaitu dalam membaca, menulis, berbicara, menghitung, dan menyelesaikan permasalahan pada tingkat dan keahlian tertentu yang diperlukan dalam kehidupan sehari-hari. Dengan demikian, literasi selalu erat kaitannya dengan keterampilan berbahasa (Ginting, 2021). Jika literasi dasar adalah kemampuan untuk membaca dan menulis teks fisik, maka literasi digital adalah kemampuan untuk membaca, memahami, mengevaluasi, dan menciptakan informasi yang disajikan melalui media, perangkat, dan jaringan digital.

Menurut Gilster (1997) dalam bukunya yang berjudul *Digital Literacy* (1997), literasi digital diartikan sebagai salah satu kemampuan dalam memahami dan menggunakan informasi dalam bentuk dari berbagai sumber yang sangat luas yang diakses melalui komputer. Menurut Syafrial (2023) literasi digital adalah kemampuan dalam menggunakan media dan teknologi komunikasi digital. Kemampuan ini mencakup memilah, mengolah, dan membuat informasi dengan penuh tanggung jawab, kecerdasan, dan kepatuhan terhadap aturan hukum agar pemanfaatan teknologi dapat optimal dalam kehidupan sehari-hari. Menurut Fajri *et al.*, (2023) literasi digital didefinisikan sebagai pemanfaatan teknologi untuk mengumpulkan, mengelola, dan membagikan informasi yang bersifat digital.

Dalam artian yang lebih luas, literasi digital lebih tidak sekadar kemampuan teknis menggunakan perangkat keras dan lunak. Ini mencakup pemahaman dalam mengenai etika online, keamanan siber, cara kerja pemrosesan data, dan yang terpenting kemampuan berpikir kritis di tengah perubahan digital (Cynthia & Sihotang, 2023). Oleh karena cakupannya yang luas, peran edukatif literasi digital sangat penting. Literasi digital memungkinkan peserta didik untuk memahami konsekuensi penggunaan teknologi terhadap diri sendiri dan lingkungan. Ini menumbuhkan kesadaran etika digital dan tanggung jawab saat berinteraksi daring, yang pada akhirnya memperkuat moral dan membangun karakter pengguna teknologi yang bertanggung jawab (Arifin *et al.*, 2024).

2.1.2.2 Indikator Literasi Digital

Paul Gilster (1997) membagi empat kompetensi literasi digital yang perlu ada di setiap diri individu, antara lain kemampuan dalam pencarian di internet (*internet searching*), kemampuan dalam menjelajahi dan memahami struktur panduan arah *hypertext* (*hypertextual navigation*), kemampuan mengevaluasi konten yang ditemukan (*content evaluation*), dan kemampuan menyusun suatu informasi menjadi pengetahuan yang utuh (*knowledge assembly*).

Tabel 2. 2 Dimensi Dan Indikator Kompetensi Literasi Digital

No	Dimensi	Indikator
1.	<i>Internet Searching</i>	1. Penggunaan mesin pencari internet

No	Dimensi	Indikator
		2. Mencari informasi melalui internet
		3. Melakukan aktivitas dan memenuhi kebutuhan informasi melalui internet
2.	<i>Hypertextual Navigation</i>	1. Memahami navigasi <i>hypertext</i> dalam website dan browser
		2. Memahami cara kerja website
		3. Memahami fungsi link pada website
		4. Pengetahuan perbedaan membaca buku dan membaca informasi pada website dan media digital
		5. Pengetahuan tentang <i>bandwidth</i> , <i>http</i> , <i>html</i> , dan <i>url</i>
		6. Pengetahuan tentang karakteristik website dan media digital
3.	<i>Content Evaluation</i>	1. Memahami website yang kredibel
		2. Memahami latar belakang informasi pada website dan media digital
		3. Keinginan mencari informasi lebih dalam melalui website dan media digital
		4. Pengetahuan jenis domain untuk lembaga dan negara
		5. Pengetahuan tentang <i>Frequently Asked Question</i> (FAQ) dalam newsgroup/grup diskusi
		6. Analisis mendalam terhadap informasi yang didapatkan melalui internet
4.	<i>Knowledge Assembly</i>	1. Kemampuan mendapatkan informasi melalui internet dan media digital
		2. Kemampuan membuat informasi dan berita baru

		3. Kemampuan menganalisis informasi yang diperoleh
		4. Kemampuan membuktikan kebenaran informasi dengan berbagai media digital
		5. Kemampuan menyusun informasi baru dengan informasi yang didapatkan melalui internet, media, dan teknologi digital

Sumber: Gillster (dalam Heriyanto, 2018)

2.1.3 Model RADEC Berbasis *Liveworksheet*

2.1.3.1 Pengertian Model Pembelajaran RADEC Berbasis *Liveworksheet*

Model pembelajaran RADEC berbasis *Liveworksheet* merupakan model pembelajaran yang mengintegrasikan *Liveworksheet* sebagai media yang ada di setiap sintaks model tersebut. Model pembelajaran RADEC dikembangkan oleh Sopandi *et al.*, (2021), dengan tujuan meningkatkan kualitas pembelajaran dan secara spesifik dirancang untuk mendorong peserta didik menguasai kompetensi dan keterampilan yang dibutuhkan di era global abad ke-21. Menurut Yulianti *et al.*, (2023), metode pembelajaran ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan peserta didik Indonesia dalam menguasai banyak materi dalam waktu yang singkat. Model pembelajaran RADEC adalah model pembelajaran yang menggunakan tahapannya sebagai nama model itu sendiri, yaitu *Read* (membaca), *Answer* (menjawab), *Discuss* (berdiskusi), *Explain* (menjelaskan), and *Create* (mencipta) (Pratama *et al.*, 2020).

Model pembelajaran RADEC juga merupakan salah satu alternatif model pembelajaran inovatif yang sesuai dengan tuntutan pendidikan Indonesia, dimana peserta didik dituntut untuk memahami beragam konsep ilmu pengetahuan dalam waktu yang terbatas (Rindiana *et al.*, 2022). Model pembelajaran ini memiliki serangkaian tahapan pelaksanaan yang efisien dan tidak memakan waktu lama. Selain itu, model RADEC juga terbukti efektif dalam mendorong minat baca peserta didik, meningkatkan pemahaman materi, dan memotivasi mereka untuk menguasai kompetensi yang ada di era modern (Januaripin, 2024). Melalui model pembelajaran RADEC, peserta didik didorong untuk bekerja sama dalam sebuah

tim untuk menyelesaikan masalah, menciptakan gagasan baru, dan menyelesaikan serangkaian aktivitas yang mengarah pada penguasaan konsep (Hasibuan *et al.*, 2024).

Model pembelajaran RADEC memiliki keunggulan dibandingkan model lain karena prinsip dasarnya yang meyakini bahwa setiap pelajar memiliki potensi untuk belajar secara mandiri, menguasai beragam pengetahuan dan keterampilan, serta mampu mencapai tingkat pembelajaran yang lebih tinggi. Selain itu, salah satu kekuatan model ini adalah tahapannya yang mudah dipahami dan diadaptasi oleh pendidik di semua jenjang pendidikan, dari tingkat dasar, menengah, hingga perguruan tinggi (Iwanda *et al.*, 2022). Kelebihan-kelebihan ini didukung dengan karakteristik utama model pembelajaran RADEC yang bertujuan untuk memaksimalkan potensi siswa. Karakteristik ini mencakup mendorong partisipasi aktif peserta didik, baik individu maupun kelompok, serta memotivasi mereka untuk belajar secara mandiri. Selain itu, model ini memperkuat pemahaman konseptual dengan cara menghubungkan ide dan konsep pelajaran dengan pengalaman pribadi peserta didik dan mengaitkan materi dengan topik atau isu-isu terkini (Novitasari *et al.*, 2025). Terakhir, RADEC menstimulasi pembelajaran kolaborasi di mana siswa aktif terlibat dalam diskusi, merencanakan pembelajaran, dan menarik kesimpulan. Model ini juga menekankan persiapan mendalam dengan mendorong siswa mencari dan menguasai materi melalui latihan dan soal-soal sebelum proses pembelajaran formal dimulai (Hutapea & Saddia, 2024).

2.1.3.2 Sintaks Model RADEC (*Read, Answer, Discuss, Explain, And Create*)

Untuk memahami model pembelajaran RADEC, perlu untuk mempelajari sintaks dari model itu sendiri. Sintaks model pembelajaran RADEC dirancang untuk mendorong keterlibatan aktif siswa dalam berbagai kegiatan, seperti membaca, berdiskusi, menjelaskan, meneliti, memecahkan masalah, dan menciptakan karya (termasuk karya seni). Berikut ini sintaks dari model pembelajaran RADEC yang dikembangkan oleh Sopandi, yang terdiri dari *Read, Answer, Discuss, Explain, and Create* (Rindiana *et al.*, 2022). Pada penerapannya, setiap sintaks pembelajaran model RADEC dipadukan dengan penggunaan media pembelajaran *Liveworksheet*.

1. *Read*

Tahap *Read* (membaca) adalah fase pra-pembelajaran, yang mana idealnya dilakukan peserta didik di rumah. Pada tahap ini, peserta didik diminta untuk membaca materi ajar yang telah disiapkan guru agar sesuai dengan kompetensi dasar dan indikator pencapaian kompetensi. Untuk sintaks *Read* yang menggunakan *Liveworksheet*, peserta didik membaca sumber belajar atau materi yang disediakan oleh guru melalui lembar kerja *Liveworksheet*.

2. *Answer*

Tahap *Answer* (menjawab) dalam model RADEC memiliki fungsi penting sebagai alat diagnostik untuk mengukur pemahaman awal peserta didik sebelum kegiatan pembelajaran inti dimulai. Tujuan utamanya adalah untuk memastikan guru dapat mengidentifikasi materi apa saja yang telah dikuasai peserta didik. Untuk sintaks *Answer* yang menggunakan *Liveworksheet*, peserta didik mengerjakan dan mengisi beberapa soal yang telah tercantum di dalam *Liveworksheet* secara langsung.

3. *Discuss*

Tahap *Discuss* (berdiskusi) merupakan fase penting dalam model RADEC yang secara langsung mendorong keaktifan dan antusiasme siswa di kelas. Karena siswa sudah memiliki bekal materi yang cukup dari tahap sebelumnya (*Read* dan *Answer*), mereka menjadi siap untuk mendiskusikan permasalahan mata pelajaran dengan mendalam. Pada tahap ini, peserta didik secara berkelompok mendiskusikan jawaban atas pertanyaan atau tugas yang telah mereka kerjakan. Untuk sintaks *Discuss* yang menggunakan *Liveworksheet*, peserta didik berdiskusi secara kelompok untuk membahas jawaban yang telah mereka buat di *Liveworksheet* dan memperdalam pemahaman konsep.

4. *Explain*

Selanjutnya, proses pembelajaran berlanjut ke kegiatan *Explain* (menjelaskan), pada tahap ini peserta didik menjelaskan konsep esensial yang sudah dikuasainya di depan kelas. Sedangkan guru menjelaskan konsep esensial yang belum dikuasai oleh seluruh peserta didik. Untuk sintaks *Explain* yang

menggunakan *Liveworksheet*, setiap kelompok mempresentasikan hasil diskusinya melalui presentasi digital di *Liveworksheet*.

5. *Create*

Kegiatan pada tahap *Create* (Mencipta) bertujuan untuk mengembangkan ide ide kreatif siswa melalui pembuatan produk atau karya. Guru memberikan kebebasan penuh kepada siswa untuk mengeksplorasi, mencari, dan mewujudkan ide-ide unik mereka menjadi sebuah hasil karya nyata. Pada tahap ini, peserta didik mendiskusikan pemikiran kreatif yang sudah mereka pikirkan secara mandiri dengan kelompoknya lalu merealisasikannya. Untuk sintaks *Create* yang menggunakan *Liveworksheet*, karya yang telah dibuat oleh peserta didik kemudian diunggah ke *Liveworksheet* sebagai sarana refleksi dan penilaian hasil belajar.

2.1.3.3 Kelebihan Dan Kekurangan Model RADEC

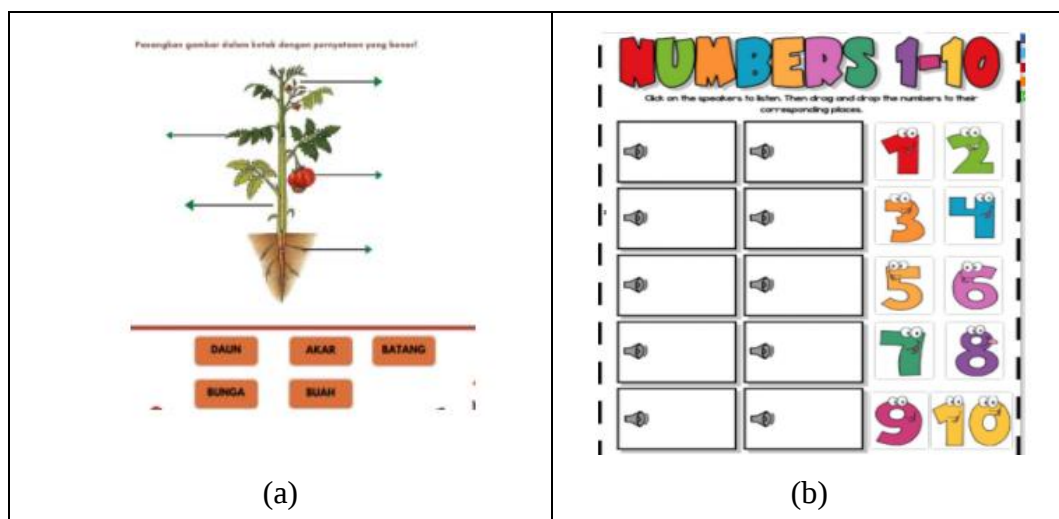
Model pembelajaran ini memiliki beberapa keunggulan signifikan yang berfokus pada pengembangan diri peserta didik. Secara fundamental, model ini memupuk minat dan meningkatkan kemampuan membaca pemahaman siswa, sekaligus meningkatkan kesiapan mereka untuk mengikuti pembelajaran lebih lanjut di kelas atau laboratorium. Model ini sangat efektif dalam meningkatkan keterampilan komunikasi siswa, baik secara lisan maupun tulisan, dan secara aktif melatih kemampuan kolaborasi mereka dalam kelompok. Lebih lanjut, siswa didorong untuk melatih kreativitas dengan menggunakan pengetahuan mereka untuk menemukan ide penyelidikan, memecahkan masalah, atau mengembangkan proyek yang relevan dengan kehidupan sehari-hari. Dari sisi pengajaran, model ini meningkatkan efektivitas guru dalam memberikan bantuan yang diperlukan karena sifatnya yang berpusat pada peserta didik. Pembelajaran di kelas difokuskan untuk melatih interaksi sosial antar peserta didik dalam mempelajari materi. Selain itu, model ini secara kuat menunjang peningkatan multiliterasi siswa, mencakup literasi di bidang teknologi, sains, komunikasi, bahasa, dan kebudayaan. Keunggulan praktis lainnya adalah sintaks atau langkah-langkah pembelajarannya mudah diingat dan dipahami oleh guru maupun peserta didik (Sopandi *et al.*, 2021).

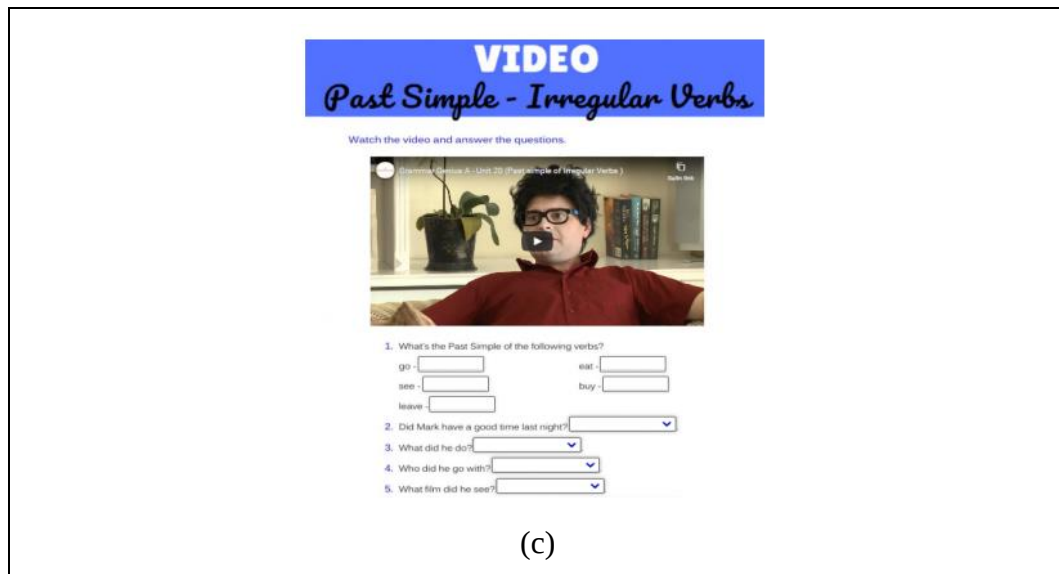
Namun demikian, model ini juga memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan. Keterbatasan utamanya terletak pada prasyarat sumber daya dan kemampuan siswa. Model ini memerlukan ketersediaan bahan bacaan yang memadai sebagai sumber belajar mandiri bagi peserta didik. Selain itu, implementasinya hanya dapat dilakukan pada peserta didik yang sudah menguasai kemampuan membaca permulaan, sehingga tidak cocok untuk siswa yang masih berada pada tahap awal belajar membaca (Sopandi *et al.*, 2021).

2.1.4 *Liveworksheet*

2.1.4.1 Pengertian *Liveworksheet*

Liveworksheet adalah platform yang disediakan *Google* untuk membuat Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) secara online. Platform ini menyediakan opsi untuk menyisipkan berbagai materi menarik seperti gambar, video, lagu, maupun simbol-simbol untuk menarik minat peserta didik (Surnaningsih, 2024). Menurut Yanti *et al* (2024), *Liveworksheet* adalah sebuah platform yang memfasilitasi guru untuk menciptakan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) yang interaktif dan dapat diakses secara online. Guru dapat menerapkan berbagai jenis tugas di dalamnya, seperti pilihan ganda, menjodohkan, *drop down*, soal bentuk bebas, *tick*, *drag and drop*, suara (*listening*), dan format lain sesuai kebutuhan dan kreativitas guru (Gambar 2.1).





Gambar 2. 1 (a) Fitur Drag & Down; (B) Fitur Listening; (C) Fitur Penambahan Video

Sumber: Rhosyida *et al* (2021)

Liveworksheet adalah sebuah platform digital yang kaya media, memungkinkan integrasi audio, video, dan grafik, serta menyediakan beragam format penilaian. Melalui platform ini, siswa dapat mempelajari dan berinteraksi dengan berbagai jenis konten, seperti soal pilihan ganda, mencocokkan, mencentang, menghubungkan, latihan mendengarkan dan berbicara, hingga penggunaan menu *drop-down*. Pemanfaatan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) secara online menggunakan *Liveworksheet* memberikan pengalaman belajar yang lebih menarik dan dinamis, tidak hanya mengajarkan keterampilan baru, tetapi juga mendorong siswa memperoleh ilmu melalui aktivitas berbasis digital. Dampaknya, platform ini secara signifikan meningkatkan literasi digital, keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran, dan memperluas wawasan mereka (Azis *et al.*, 2025).

2.1.4.2 Kelebihan Dan Kekurangan *Liveworksheet*

Keunggulan utama dari *Liveworksheet* adalah kemudahan aksesnya, dimana pengguna tidak perlu menginstal aplikasi atau mendaftar terlebih dahulu. Selain itu, platform ini mendukung penyisipan video langsung pada lembar kerja dan memiliki tampilan yang menarik, sehingga dapat meningkatkan minat peserta didik terhadap materi yang diajarkan (Nada *et al.*, 2022). Bagi peserta didik, *Liveworksheet* ini bersifat fleksibel yaitu bisa dilakukan dalam pembelajaran tatap muka maupun

online. *Liveworksheet* ini mampu menampung berbagai konten media seperti video pembelajaran, gambar, dan audio. Terdapat juga aspek interaksi seperti peserta didik dapat mengerjakan tugas secara langsung pada LKPD digital tersebut dan dilengkapi dengan sistem penilaian otomatis (Hariyati & Rachmadyanti, 2022).

Selain memiliki kelebihan, *Liveworksheet* juga memiliki beberapa kekurangan diantaranya yaitu, keterbatasan teknis, perlunya pelatihan sosialisasi bagi guru, keterbatasan waktu pembuatan E-LKPD ini memerlukan waktu yang tidak singkat, dan adanya keterbatasan dalam penggunaan *Liveworksheet* yaitu memerlukan akses internet sehingga peserta didik tidak dapat mengakses E-LKPD dalam *Liveworksheet* ini jika mereka terkendala dalam internetnya (Nurtanto & Suneki, 2024).

2.1.5 Materi Ekosistem

2.1.5.1 Pengertian Ekosistem

Ekosistem dapat didefinisikan sebagai kesatuan fungsional antara komunitas makhluk hidup dan lingkungannya, di mana terjadi interaksi atau hubungan timbal balik. Di dalam ekosistem, makhluk hidup saling berinteraksi, baik antara satu sama lain maupun dengan lingkungan sekitarnya, tidak hanya makhluk hidup, akan tetapi makhluk tak hidup juga merupakan komponen yang menyusun suatu ekosistem (Sandika, 2021). Ekosistem tidak hanya terdiri dari berbagai spesies tanaman dan hewan. Namun, ekosistem juga melibatkan semua jenis materi dan energi yang mengalir melalui siklus di dalam sistem tersebut. Untuk memperoleh energi dan materi yang dibutuhkan, maka seluruh makhluk hidup sangat bergantung pada lingkungannya (Sriyono, 2019).

2.1.5.2 Macam-Macam Ekosistem

Ekosistem dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu berdasarkan asalnya dan berdasarkan letak geografisnya.

1) Berdasarkan asalnya, ekosistem dibedakan menjadi ekosistem alami dan ekosistem buatan.

a. Ekosistem Alami

Ekosistem alami dapat dikatakan sebagai ekosistem yang terbentuk secara alami tanpa intervensi manusia, di mana unsur biotik dan abiotik berinteraksi

menciptakan keseimbangan yang stabil. Kestabilan ekosistem ini didukung oleh siklus biogeokimia yang berjalan efisien serta peran krusial dekomposer dalam mendaur ulang nutrisi. Karakteristiknya sangat beragam tergantung lokasi dan iklim serta biasanya memiliki tingkat keanekaragaman hayati yang tinggi, terutama di wilayah tropis (Ikhsan *et al.*, 2024).

b. Ekosistem Buatan

Ekosistem buatan merupakan lingkungan yang sengaja dibentuk atau dibuat oleh manusia dengan komponen yang cenderung terbatas. Karena keterbatasan ini, maka ekosistem tersebut menjadi kurang stabil sehingga sangat bergantung pada perawatan serta pasokan energi luar agar tidak mudah rusak. Contoh dari ekosistem buatan yaitu, sawah, tambak, dan kebun (Mukharomah, 2021).

2) Berdasarkan Letak Geografisnya

Berdasarkan letak geografisnya, ekosistem dibedakan menjadi ekosistem darat dan ekosistem perairan.

a. Ekosistem darat

Ekosistem darat merupakan lingkungan yang fisiknya berupa daratan. Secara geografis, ekosistem ini terbagi menjadi beberapa bioma utama yang penyebarannya dipengaruhi oleh letak garis lintang (Barlian & U, 2020). Berikut ini, beberapa macam bioma yang terdapat di permukaan bumi:

1. Bioma Tundra

Bioma tundra terletak di wilayah lingkaran kutub utara sehingga iklimnya adalah iklim kutub. Istilah tundra sendiri yaitu dataran tanpa pohon. Bioma tundra memiliki ciri yaitu suhu dan intensitas cahaya matahari yang rendah serta memiliki tumbuhan yang dominan berupa lumut kerak (Lichenes), *Sphagnum* sp, dan beberapa tumbuhan rumput. Tumbuhan pada bioma tundra memiliki karakteristik berupa badan tumbuhan yang tidak besar dan berumur pendek (Gambar 2.2). Tidak hanya itu, bioma ini juga memiliki beberapa hewan yang mampu hidup di daerah ini, seperti karibou, bison, beruang kutub, yang mana hewan-hewan yang tinggal di daerah ini memiliki rambut atau bulu yang tebal (Sandika, 2021).



Gambar 2. 2 Bioma Tundra

Sumber: (Sandika, 2021)

2. Bioma Hutan Hujan Tropis

Bioma hutan hujan tropis adalah bioma dengan tingkat keanekaragaman spesies tumbuhan dan hewan yang paling tinggi. Bioma ini mencakup wilayah seperti daerah aliran sungai Amazon-Orinoco, Amerika Tengah, sebagian besar Asia Tenggara dan Papua Nugini, serta lembah Kongo Afrika. Bioma hutan hujan tropis memiliki ciri khas dengan curah hujan dan intensitas cahaya matahari yang tinggi (Gambar 2.3). Sehingga menjadikan daerah ini memiliki ekosistem yang paling kompleks. Terdapat juga beratus-ratus spesies tumbuhan dengan ciri khasnya yaitu liana dan epifit. Selain itu, terdapat pohon-pohon dengan ketinggian mencapai 20 hingga 40 m. Untuk hewan ciri khasnya yaitu hewan-hewan yang bersifat nokturnal, contohnya burung hantu, babi hutan, dan macan tutul (Sandika, 2021).



Gambar 2. 3 Bioma Hutan Hujan Tropis

Sumber:(Sandika, 2021)

3. Bioma Taiga

Bioma taiga dapat dikatakan sebagai hutan homogen dan terdapat di daerah antara subtropis dengan kutub, seperti di daerah Siberia, Rusia, Skandinavia, Alaska dan Kanada. Bioma ini memiliki ciri yaitu musim panas bersuhu tinggi dan musim dingin bersuhu sangat rendah. Selain itu, bioma Taiga didominasi oleh pohon berdaun jarum atau tumbuhan konifer, yang mana salah satu contoh tumbuhan konifernya yaitu Pinus merkusii (pinus) (Gambar 2.4). Dengan demikian, keanekaragaman tumbuhan di bioma taiga itu rendah karena vegetasinya nyaris seragam, sehingga disebut sebagai hutan homogen. Untuk fauna yang terdapat di daerah ini, yaitu beruang hitam, serigala, dan ajak (Sandika, 2021).



Gambar 2. 4 Bioma Taiga
Sumber: (Sandika, 2021)

4. Bioma Hutan Gugur

Bioma ini terdapat di daerah yang memiliki empat musim, yang mana keempat musim tersebut yaitu musim panas, musim semi, musim dingin dan musim gugur. Bioma hutan gugur terdapat di Eropa Barat, Asia Timur, Chili, dan Amerika Serikat. Bioma hutan gugur memiliki ciri yaitu curah hujan merata sepanjang tahun serta suhu sedang. Tumbuhan pada daerah ini memiliki ciri berupa daun yang lebar dan besar, yang mana nantinya memungkinkan banyak sinar matahari yang dapat diserap, sehingga membantu berlangsungnya fotosintesis. Pada saat mendekati musim dingin, intensitas radiasi sinar matahari mulai menurun, dan suhu udara mulai turun. Akibatnya, tumbuhan kesulitan mendapatkan air, sehingga daunnya berubah warna menjadi merah dan coklat dan akhirnya gugur (Gambar 2.5).

Dengan demikian, periode tersebut dinamakan musim gugur. Beberapa hewan yang banyak ditemukan di bioma ini yaitu serangga, burung dan bajing (Sriyono, 2019)



Gambar 2. 5 Bioma Hutan Gugur

Sumber: (Widodo *et al.*, 2021)

5. Bioma Gurun

Bioma gurun banyak ditemukan di Afrika Utara, Amerika Utara, Asia Barat dan Australia. Bioma gurun memiliki ciri curah hujan sangat rendah dan temperatur yang sangat panas dengan intensitas cahaya yang tinggi (Gambar 2.6). Hal ini menjadikan hanya sedikit hewan maupun tumbuhan yang mampu bertahan hidup. Karakteristik tumbuhan yang ada di bioma gurun yaitu tumbuhan yang dapat beradaptasi dengan daerah kering atau yang memiliki daun yang sangat ramping hingga menyerupai duri, serta batangnya dapat membesar untuk menyimpan cadangan air, contohnya tumbuhan-tumbuhan sukulen (kaktus). Sedangkan untuk hewan yang dapat hidup di daerah ini yaitu umumnya hewan yang mampu menyimpan cadangan air, contohnya unta (Sriyono, 2019).



Gambar 2. 6 Bioma Gurun

Sumber: (Widodo *et al.*, 2021)

b. Ekosistem Perairan

Ekosistem perairan terbagi menjadi ekosistem air tawar dan ekosistem air laut. Pembagian ini berdasarkan pada perbedaan sifat fisik dan kimiawi yang mempengaruhi komunitas organisme di perairan tersebut. Bioma air tawar biasanya memiliki konsentrasi garam kurang dari 1%, sedangkan bioma laut umumnya memiliki konsentrasi garam sekitar 3% (Hasna, 2018).

1. Ekosistem Air Tawar

Ekosistem air tawar memiliki beberapa ciri, diantaranya yaitu variasi suhu yang tidak mencolok, penetrasi cahaya yang kurang, tingkat salinitas yang rendah, serta sangat dipengaruhi oleh iklim dan cuaca (Gambar 2.7). Ekosistem air tawar, dibedakan menjadi dua yaitu ekosistem air tenang berupa danau dan rawa, sedangkan air mengalir berupa sungai. Komponen-komponen biotik pada ekosistem air tawar memiliki beberapa peranan, yaitu autotrof dan fagotrof. (Srinoyo). Tidak hanya itu, ekosistem air tawar bagi manusia memberikan manfaat seperti dijadikan sumber air minum dan irigasi pesawahan (Widodo *et al.*, 2021).



Gambar 2. 7 Ekosistem Air Tawar (Danau)

Sumber: (Sandika, 2021)

2. Ekosistem air laut

Ekosistem air laut ini adalah ekosistem yang ada di perairan laut. Ekosistem air laut, dicirikan oleh luasnya air laut yang berfungsi sebagai tempat hidup bagi biota laut dan tumbuhan laut, misalnya ganggang dan terumbu karang. Ekosistem air laut ini terdiri dari berbagai subsistem, seperti ekosistem pantai pasir dangkal, ekosistem laut dalam, dan ekosistem zona pasang surut (Widodo *et al.*, 2021).

2.1.5.3 Komponen Ekosistem

Komponen ekosistem terdiri dari dua macam yaitu komponen biotik dan komponen abiotik.

1) Komponen Biotik

Komponen biotik adalah komponen yang terdiri dari semua makhluk hidup, baik tumbuhan maupun hewan. Dalam ekologi, tumbuhan berperan sebagai produsen (menghasilkan makanan mereka sendiri), hewan berperan sebagai konsumen (memakan organisme lain), dan mikroorganisme berperan sebagai dekomposer atau pengurai (memecah materi organik mati). Berdasarkan fungsinya, komponen biotik dapat dibedakan menjadi 3 kelompok, yaitu kelompok produsen, kelompok konsumen, dan kelompok dekomposer (Sandika, 2021).

a. Produsen

Produsen adalah organisme autotrof yang dapat menghasilkan makanan sendiri dengan mengubah senyawa anorganik menjadi senyawa organik. Tumbuhan hijau sebagai produsen menghasilkan bahan makanan berupa karbohidrat melalui proses fotosintesis. Hasil makanan tersebut digunakan oleh tumbuhan maupun oleh makhluk hidup lain. Oleh karena itu, produsen berperan sebagai sumber energi utama bagi organisme lain, yaitu para konsumen (Maknun, 2017).

b. Konsumen

Konsumen merupakan makhluk hidup yang tidak mampu memproduksi makanan sendiri, sehingga mereka harus mendapatkan nutrisi dan energi dengan memperolehnya dari makhluk hidup lain. Konsumen bergantung pada produsen, sehingga disebut sebagai organisme heterotrof. Berdasarkan jenis makanannya, hewan dikelompokkan menjadi 3 kelompok, yaitu kelompok herbivora, kelompok karnivora, dan kelompok omnivora (Yanuar, 2019).

1. Herbivora merupakan kelompok hewan yang sumber makanan utamanya adalah tumbuh-tumbuhan, seperti kambing, domba, dan kelinci. Kelompok ini dapat dikategorikan lebih spesifik berdasarkan bagian tumbuhan yang dimakannya yaitu, frugivora adalah pemakan buah (contoh: kera dan orang utan), foliovora yaitu pemakan daun (contoh: bekantan dan monyet daun),

dan gummivora yaitu pemakan getah atau cairan pohon (contoh: tamarin dan marmoset) (Sumarto & Koneri, 2016).

2. Karnivora adalah hewan yang diklasifikasikan sebagai pemakan daging atau predator karena mereka memperoleh makanan dengan cara memburu dan memangsa hewan lain. Dalam rantai makanan, kedudukan karnivora sering kali lebih tinggi karena posisi mereka sebagai pemangsa utama. Contoh hewan karnivora yaitu singa, harimau, elang, dan anjing (Yn *et al.*, 2024).
3. Omnivora adalah jenis hewan yang memakan segala, baik tumbuhan maupun daging. Kelompok ini sangat beragam dan mencakup banyak spesies, seperti beruang, musang, ayam, babi, dan itik. Beberapa jenis burung, seperti jalak dan kutilang. Omnivora memiliki susunan gigi yang unik, yaitu gabungan dari ciri gigi herbivora dan karnivora. Susunan ini memungkinkan mereka untuk mengonsumsi berbagai jenis makanan: gigi taring berfungsi untuk mengerat makanan, gigi seri untuk memotong, dan gigi geraham digunakan untuk melumat makanan (Borichlev & Dirgantara, 2022).

c. Dekomposer

Pengurai atau dekomposer adalah organisme seperti bakteri dan jamur yang memiliki peran vital dalam siklus nutrisi. Mereka memecah sisa-sisa materi organik dari makhluk hidup yang sudah mati menjadi zat anorganik. Proses ini memastikan bahwa nutrisi dasar dapat didaur ulang dan digunakan kembali oleh produsen (tumbuhan) untuk menghasilkan makanan baru (Sandika, 2021).

2) Komponen Abiotik

Komponen abiotik adalah faktor tak hidup yang meliputi faktor fisik dan kimia. Faktor fisik utama yang mempengaruhi ekosistem adalah suhu, sinar matahari, air, tanah, udara, dan kelembapan.

a. Suhu

Suhu sangat berperan penting bagi kelangsungan makhluk hidup di bumi. Suhu di berbagai tempat sangat bervariasi, tetapi kebanyakan organisme cenderung bertahan hidup di suhu optimal pada kisaran suhu antara 0°C hingga 40 °C.

Perbedaan suhu ini secara langsung dipengaruhi oleh jumlah radiasi atau panas matahari yang diterima oleh suatu lokasi tersebut (Sriyono, 2019).

b. Air

Air merupakan unsur yang sangat penting bagi kelangsungan semua makhluk hidup. Hampir seluruh makhluk hidup mengandung 5% air. Air juga dijadikan sebagai tempat hidup berbagai organisme air, contohnya ikan (Sriyono, 2019). Bagi tumbuhan, air sangat dibutuhkan untuk dalam pertumbuhan, perkecambahan, dan penyebaran biji. Bagi hewan dan manusia, air berfungsi sebagai air minum dan sarana hidup lainnya. Bagi unsur abiotik lain seperti tanah dan batuan, air bertindak sebagai agen pelarut dan pelapuk (Sandika, 2021).

c. Cahaya Matahari

Cahaya matahari merupakan energi utama makhluk hidup di bumi, yang mana tidak ada satu pun makhluk hidup yang tidak membutuhkan cahaya matahari. Cahaya matahari bagi tumbuhan diperlukan dalam proses fotosintesis, di mana proses fotosintesis ini akan menghasilkan karbohidrat yang menjadi sumber energi bagi tubuh tumbuhan itu sendiri dan bagi hewan herbivora (Sriyono, 2019).

d. Tanah

Tanah merupakan tempat hidup bagi semua makhluk hidup di bumi. Tanah juga memiliki unsur hara dan mineral-mineral yang dibutuhkan oleh tumbuhan untuk proses pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan tersebut. Selain itu, tanah juga dijadikan sebagai media bagi tumbuhan untuk proses pertumbuhannya (Yanuar, 2019).

e. Udara

Udara merupakan salah satu komponen abiotik yang dibutuhkan oleh makhluk hidup karena didalamnya terkandung berbagai unsur, seperti oksigen, karbon dioksida, dan hidrogen. Oksigen dibutuhkan oleh makhluk hidup untuk pernafasan, sedangkan karbon dioksida dan hidrogen digunakan oleh tumbuhan untuk proses fotosintesis (Yanuar, 2019).

f. Kelembapan

Kelembapan di suatu ekosistem dipengaruhi oleh intensitas sinar matahari, angin dan curah hujan. Kelembapan sangat mempengaruhi pertumbuhan tumbuhan.

Daerah dengan tingkat kelembapan berbeda akan menghasilkan ekosistem dengan komposisi tumbuhan yang berbeda.

2.1.5.4 Interaksi Antar Komponen Ekosistem

Bentuk interaksi yang terjadi antar sesama makhluk hidup sangat beragam. Interaksi tersebut dapat terjadi baik antara individu dalam satu populasi, antara individu dari populasi yang berbeda atau bahkan antara individu dari jenis yang berbeda. Berbagai interaksi ini bervariasi, yang mana dapat berupa saling menguntungkan, saling merugikan, dan atau hanya salah satu yang diuntungkan atau dirugikan, berikut ini beberapa interaksi antar makhluk hidup di ekosistem.

1) Netralisasi

Netralisasi merupakan hubungan tidak saling mengganggu antar individu dalam habitat yang sama yang bersifat tidak menguntungkan dan tidak merugikan kedua belah pihak (Sandika, 2021). Contoh dari netralisasi yaitu ayam dan kambing, dimana keduanya tidak mempengaruhi satu sama lain karena makan dan cara hidupnya berbeda.

2) Kompetisi

Kompetisi terjadi pada spesies-spesies yang berada dalam satu komunitas, yang mana kompetisi ini terjadi terutama dalam hal perebutan sumber makanan, pasangan, maupun habitat. Ketika ketersediaan sumber makanan di suatu wilayah yang tidak sebanding dengan jumlah populasi yang ada di wilayah tersebut, maka kompetisi akan cenderung meningkat. Selain itu, keterbatasan wilayah atau habitat juga menjadi faktor yang juga dapat memperbesar tingkat persaingan saat antar individu mempertahankan habitatnya. Kompetisi terjadi menjadi dua jenis yaitu kompetisi intraspesifik yaitu kompetisi yang terjadi pada satu spesies yang sama. Selanjutnya kompetisi interspesifik yaitu kompetisi yang terjadi pada spesies yang berbeda atau berlainan spesies (Hasna, 2018). Contoh kompetisi bisa dilihat pada (Gambar 2.8), yaitu burung gelatik dan burung gereja, yang dimana mereka saling memperebutkan dalam mencari makanan. Selain itu juga ada harimau dan singa, yang mana mereka memanfaatkan atau menggunakan sumber daya yang sama.



Gambar 2. 8 Contoh Kompetisi
 Sumber: (Sumarto & Koneri, 2016)

3) Predasi

Predasi merupakan peristiwa di antara mangsa dan pemangsa (predator). Hubungan ini sangat erat sebab tanpa mangsa, maka predator tidak dapat hidup. Begitupun sebaliknya pemangsa dapat berfungsi dalam mengendalikan pengatur populasi mangsa. Jika seandainya predator tidak dalam suatu ekosistem, maka populasi atau mangsa akan meledak (Sandika, 2021). Contoh dari predasi bisa dilihat pada (Gambar 2.9), yaitu harimau dan kijang dimana harimau sebagai predator alami dan kijang sebagai mangsa. Selain itu juga ada kuskus beruang dan ular sanca, yang mana kuskus beruang sebagai mangsa dan ular sanca sebagai predator.



Gambar 2. 9 Contoh Predasi
 Sumber: (Sumarto & Koneri, 2016)

4) Mutualisme

Mutualisme merupakan hubungan antara dua individu yang berbeda, yang mana di dalam hubungan ini, kedua belah individu saling menguntungkan (Sandika, 2021). Simbiosis mutualisme dapat dilihat pada (Gambar 2.10), yaitu komodo dan bakteri-bakteri pada liurnya, dimana komodo memanfaatkan bakteri yang dapat

menyebabkan kematian pada mangsa yang digigitnya, sementara bakteri mendapatkan nutrisi dari komodo. Selain itu, terdapat juga burung jalak dengan kerbau, dimana burung jalak mendapatkan makanan dengan memakan kutu yang ada di kerbau dan kerbau terbebas dari kutu.



Gambar 2. 10 Contoh Simbiosis Mutualisme

Sumber: (Sumarto & Koneri, 2016)

5) Parasitisme

Parasitisme merupakan hubungan antar individu yang berbeda spesies dimana satu individu menggantungkan hidupnya pada organisme lain (inang) dan mengambil makanan dari inang tersebut sehingga bersifat merugikan inangnya (Sandika, 2021). Simbiosis parasitisme adalah tumbuhan tali putri yang menempel pada inangnya, sebagaimana ditunjukkan pada (Gambar 2. 11).



Gambar 2. 11 Contoh Simbiosis Parasitisme

Sumber: (Sutowijoyo *et al.*, 2020)

6) Komensalisme

Komensalisme merupakan hubungan antara dua individu yang berbeda, yang satu mengalami keuntungan, sedangkan yang satunya tidak merasa dirugikan. Contoh dari simbiosis komensalisme adalah tumbuhan paku dan pohon inang, dimana tumbuhan paku ini menempel pada pohon inang akan tetapi pohon inang

tidak merasa dirugikan dan diuntungkan dari keberadaan tumbuhan paku, sebaliknya tumbuhan paku diuntungkan karena mendapatkan tempat hidup yang baik dan bagus (Gambar 2. 12) (Sandika, 2021).



Gambar 2. 12 Contoh Simbiosis Komensalisme

Sumber: (Sutowijoyo *et al.*, 2020)

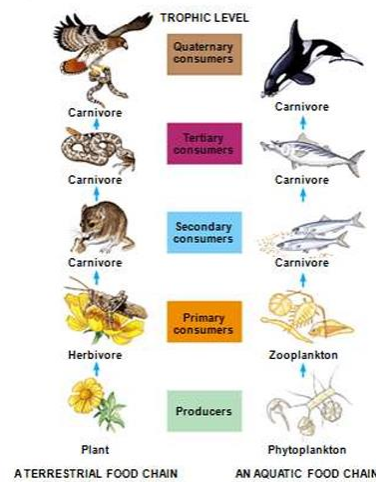
2.1.5.5 Aliran Energi

1) Rantai Makanan

Rantai makanan adalah perpindahan energi dan materi yang berlangsung melalui proses makan dan dimakan. Energi yang awalnya diperoleh produsen (tumbuhan) dari sinar matahari, dipindahkan ke organisme lain melalui rantai makanan. Peristiwa makan dan dimakan ini merupakan mekanisme perpindahan energi dari produsen ke konsumen tingkat pertama (I), dan kemudian diteruskan secara bertahap ke konsumen tingkat berikutnya (I, II, dst) (Sriyono, 2019). Setiap kali energi dipindahkan dari satu trofik ke tingkat berikutnya, sejumlah besar energi yaitu 80-90% terbuang dalam bentuk panas. Kehilangan yang signifikan inilah yang membatasi panjang rantai makanan menjadi hanya 4 atau 5 langkah. Oleh karena itu, energi yang tersedia akan maksimal pada ekosistem yang memiliki rantai makan yang lebih pendek (Maknun, 2017).

Di dalam rantai makanan, terdapat tingkatan trofik. Tingkatan trofik adalah klasifikasi organisme berdasarkan posisi mereka dalam interaksi makan-memakan di ekosistem. Produsen (tumbuhan) berada di dasar. Organisme yang mengonsumsi produsen diklasifikasikan sebagai konsumen I (misalnya belalang). Pemangsa konsumen I disebut konsumen II (seperti tikus), yang kemudian dimakan oleh konsumen III (misalnya ular). Selanjutnya ular pohon akan dimakan oleh elang maka elang disebut konsumen IV dan seterusnya. Urutan spesifik dari perpindahan

ini yang ditunjukkan oleh tumbuhan → belalang → tikus → ular → burung elang, dikenal sebagai rantai makanan (Gambar 2.13) (Sandika, 2021).



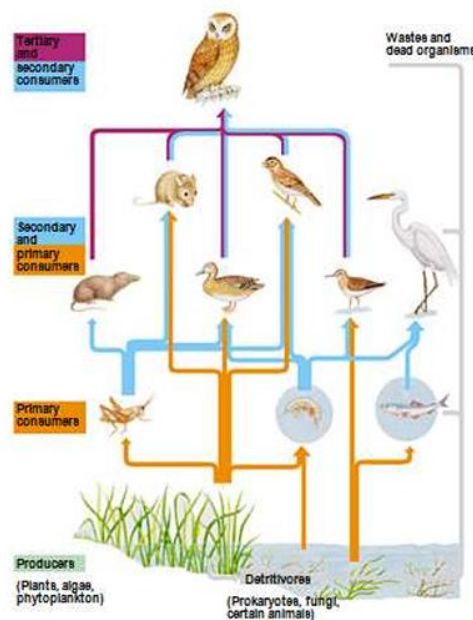
Gambar 2. 13 Rantai Makanan Di Daratan Dan Perairan
Sumber: (Sandika, 2021)

2) Jaring-Jaring Makanan

Ketika kita menyusun semua rantai makan dalam suatu habitat, maka kita akan melihat bahwa organisme tidak hanya terlibat dalam suatu urutan makan memakan saja. Ada organisme yang dimakan oleh lebih dari satu pemangsa. Sebaliknya, ada organisme yang memangsa lebih dari satu jenis mangsa. Interaksi yang saling-silang ini menyebabkan rantai-rantai makan tersebut terjalin satu sama lain, membentuk struktur yang lebih kompleks yang disebut jaring-jaring makanan (Sandika, 2021). Pada intinya, jaring-jaring makanan itu adalah sekumpulan rantai makan yang saling berhubungan. Rangkaian proses makan dan dimakan tidaklah sederhana, melainkan saling simpang siur sehingga disebut sebagai jaring-jaring makanan (Yanuar, 2019).

Makhluk hidup menjalin hubungan makan dan dimakan, yang mana hubungan antar organisme ini membentuk suatu jaring-jaring makan. Dalam komunitas yang lebih kompleks, jaring-jaring ini menjadi lebih rumit dan rapat, di mana beberapa rantai makanan saling terkait satu sama lain (Sriyono, 2019). Sifat jaring-jaring ini sangat fleksibel dan dapat dilihat dalam kehidupan sehari-hari, contohnya rumput dapat dimakan oleh berbagai hewan seperti belalang, ulat, kambing, dan sapi. Dari hal ini, berarti jalur makan tidak selalu tunggal, misalkan

kelinci dimangsa oleh ular atau serigala. Demikian pula jagung dapat dimakan oleh belalang, kambing, atau manusia. Tikus juga bisa dimangsa oleh kucing, lalu belalang dimakan oleh burung kecil, dan seterusnya (Gambar 2.14) (Sandika, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa satu organisme dalam ekosistem dapat memiliki peran trofik yang beragam, misalnya bertindak sebagai konsumen I dalam satu rantai, akan tetapi sebagai konsumen tingkat II dalam rantai yang lain. Melalui interaksi yang beragam dan saling terhubung ini, seluruh makhluk hidup di bumi menjalin jaringan ekologis yang luas (Sriyono, 2019).



Gambar 2. 14 Jaring-Jaring Makanan
Sumber: (Sandika, 2021)

2.1.5.6 Piramida Ekologi

Piramida ekologi merupakan susunan tingkat trofik secara berurutan sesuai dengan pola rantai makan atau jaring-jaring makan. Piramida ini dapat disusun berdasarkan tiga parameter utama, yaitu jumlah individu, massa kering (biomassa) atau potensi energi yang tersimpan pada setiap tingkat trofik (Hasna, 2018).

1) Piramida Jumlah

Piramida jumlah merupakan piramida yang menunjukkan jumlah organisme yang ada di setiap tingkat trofik. Pada umumnya, sebagian besar komunitas, jumlah organismenya menurun secara signifikan seiring kenaikan tingkat trofik. Dalam

sebagian besar komunitas normal, jumlah tumbuhan selalu lebih besar dibandingkan organisme herbivora. Begitu pula, jumlah herbivora selalu lebih banyak daripada karnivora tingkat I, dan karnivora tingkat I lebih banyak daripada karnivora tingkat II dan seterusnya. Oleh karena itu, piramida jumlah dibangun berdasarkan jumlah organisme di setiap tingkat trofik, bukan berdasarkan ukuran tubuh organisme tersebut. Jika digambarkan dalam bentuk diagram, piramida jumlah berbentuk segitiga tegak (Gambar 2.15) (Hasna, 2018).



Gambar 2. 15 Piramida Jumlah

Sumber: (Maknun, 2017)

2) Piramida Biomassa

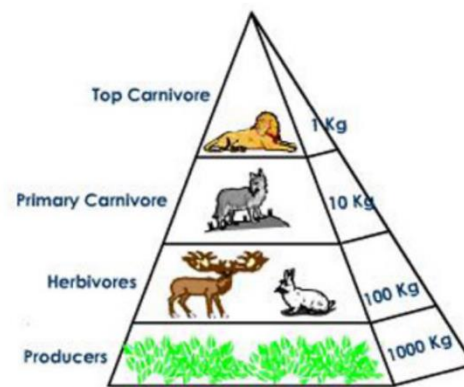
Piramida jumlah yang sederhana seringkali tidak cukup efektif untuk mengilustrasikan aliran energi dalam ekosistem. Sebaliknya, piramida biomassa dapat memberikan penggambaran yang lebih akurat. Biomassa merupakan ukuran berat materi hidup pada suatu waktu tertentu. Untuk menentukan biomassa di setiap tingkat trofik, langkah awal adalah mengukur rata-rata berat organisme pada tingkat tersebut, baru kemudian memperkirakan organisme di tingkat yang sama (Maknun, 2017). Piramida biomassa digunakan untuk menggambarkan total massa semua organisme yang ada di suatu habitat, dengan satuan pengukuran dalam gram. Untuk mencegah kerusakan pada habitat, maka hanya sejumlah kecil sampel yang diambil dan diukur, lalu massa total seluruh biomassa diperhitungkan (Gambar 2. 16). Pendekatan pengukuran semacam ini memungkinkan diperolehnya informasi yang lebih akurat mengenai kondisi ekosistem (Sandika, 2021).

Piramida biomassa terbagi menjadi dua jenis yaitu:

- a. Piramida tegak: merupakan jenis piramida ekologis di mana total biomassa (massa gabungan) semua produsen jauh lebih besar daripada total biomassa

gabungan di setiap tingkat konsumen di atasnya. Piramida ini biasanya menggambarkan ekosistem darat.

- b. Piramida terbalik: kebalikan dari piramida tegak, yaitu piramida biomassa dimana massa gabungan total produsen lebih kecil daripada massa gabungan total konsumen yang ada di atasnya. Piramida ini sering ditemukan di dalam ekosistem perairan (Hasna, 2018).

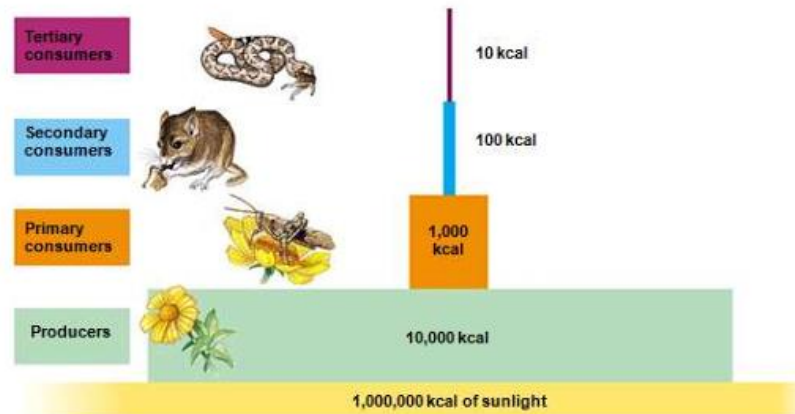


Gambar 2. 16 Piramida Biomassa

Sumber: (Tolangara *et al.*, 2022)

3) Piramida Energi

Piramida energi adalah piramida yang menggambarkan penurunan energi di setiap tahap trofik. Total energi di setiap tingkatan trofik menuju puncak piramida semakin berkurang. Beberapa penyebab dari kurangnya energi yaitu, hanya sebagian makanan yang diperoleh dan dimakan oleh trofik selanjutnya dan hanya sebagian makanan yang dapat dicerna menjadi bagian dari tubuh organisme sedangkan sisanya sebagai sumber energi. Piramida ini memberikan gambaran yang paling akurat tentang aliran energi dalam ekosistem dibandingkan dengan piramida jumlah atau piramida biomassa (Gambar 2. 17). Piramida energi dianggap sebagai model terbaik karena beberapa alasan, seperti tidak dipengaruhi ukuran/metabolisme, menunjukkan efisiensi ekologis, dan menggambarkan fungsi ekosistem (Hasna, 2018).



Gambar 2. 17 Piramida Energi

Sumber: (Sandika, 2021)

2.1.5.7 Siklus Biogeokimia

Siklus biogeokimia merupakan proses kompleks dalam ekosistem yang mengatur perputaran energi dan materi di lingkungan. Proses ini mencakup aliran energi satu arah yang secara terus-menerus disuplai dan diperbarui oleh sinar matahari, serta siklus bahan kimia yang memastikan materi terus beredar di alam. Siklus ini tidak hanya di dalam tubuh organisme (lingkungan biotik) tetapi juga terjadi di lingkungan abiotik (Widodo *et al.*, 2021). Adapun macam-macam siklus biogeokimia antara lain siklus air, siklus karbon, siklus nitrogen, siklus oksigen, siklus sulfur, dan siklus fosfor.

1) Siklus Air

Siklus air atau siklus hidrologi merupakan pergerakan air yang tidak pernah berhenti dari atmosfer menuju bumi dan kembali lagi ke atmosfer. Proses sirkulasi yang tidak pernah berhenti ini melibatkan beberapa tahapan utama seperti kondensasi, presipitasi, evaporasi (penguapan), dan transpirasi (pelepasan uap air oleh tumbuhan). Siklus air menggambarkan pergerakan molekul air yang berkelanjutan dari permukaan bumi menuju atmosfer dan kemudian kembali lagi. Energi matahari memiliki peran besar dalam siklus ini secara terus-menerus (Widodo *et al.*, 2021).



Gambar 2. 18 Siklus Air

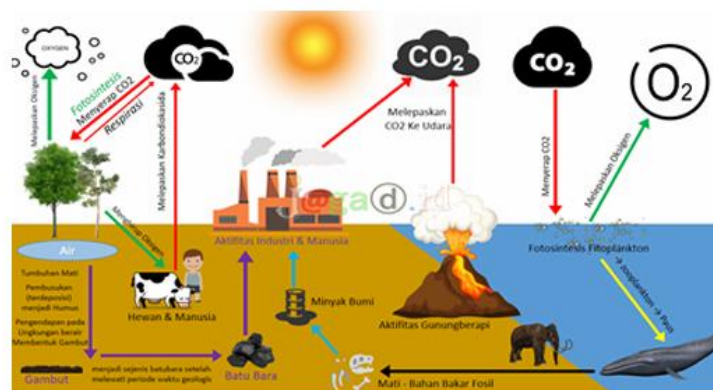
Sumber: (Widodo *et al.*, 2021)

Proses dari siklus air bisa dilihat pada (Gambar 2.18), dimana siklus ini memiliki beberapa tahapan yaitu diawali dengan proses evaporasi, dimana proses ini yaitu air mengalami penguapan dari permukaan laut, sungai, dan badan air yang nantinya air ini berubah menjadi uap air dan naik ke atmosfer. Selain itu, ada tahap transpirasi, dimana pelepasan uap air oleh tumbuhan setelah mereka menyerap dan menggunakan air tanah untuk fotosintesis. Tahapan selanjutnya, setelah air naik ke atmosfer dan berubah menjadi uap air, maka uap air ini dibawa ke atas oleh arus udara dingin. Di udara yang lebih sejuk, uap air akan berkondensasi (perubahan uap air menjadi titik air atau kristal es) membentuk awan dan tetesan air dapat menghasilkan presipitasi (seperti hujan, salju, atau hujan es). Ketika presipitasi jatuh ke permukaan tanah, maka air ini akan memiliki dua jalur utama yaitu, sebagian akan meresap ke dalam tanah (infiltrasi) menjadi air tanah, sementara sebagian lainnya akan mengalir di permukaan sebagai runoff menuju sungai dan akhirnya kembali lagi ke lautan, mengulang kembali siklusnya (Widodo *et al.*, 2021).

2) Siklus Karbon

Siklus karbon merupakan proses biogeokimia yang melibatkan pergerakan unsur karbon melalui empat reservoir utama Bumi: makhluk hidup (biosfer), lapisan bumi/batuan (geosfer), air (hidrosfer), dan udara (atmosfer). Siklus karbon menggambarkan pertukaran unsur karbon yang berkelanjutan antara atmosfer, daratan, dan lautan, sebuah proses yang didorong oleh kegiatan alami dan aktivitas

manusia (Gambar 2.19). Di daratan, tumbuhan menyerap CO_2 dari atmosfer melalui fotosintesis, melepaskan oksigen, sementara semua organisme (termasuk hewan dan manusia) melepaskan CO_2 kembali melalui respirasi. Setelah mati, materi organik diuraikan, melepaskan CO_2 tambahan, atau terkubur menjadi gambut atau bahan bakar fosil (seperti minyak bumi dan batu bara) selama periode geologis. Di lautan, fitoplankton juga menyerap CO_2 melalui fotosintesis, yang kemudian mengalir ke seluruh rantai makanan laut. Pelepasan CO_2 besar-besaran ke atmosfer terjadi akibat aktivitas alami seperti letusan gunung berapi dan yang paling signifikan, melalui aktivitas industri dan manusia yang membakar bahan bakar fosil. Peningkatan konsentrasi CO_2 di atmosfer dari sumber-sumber ini menjadikannya gas rumah kaca utama yang berperan penting dalam pemanasan global (Widodo *et al.*, 2021).

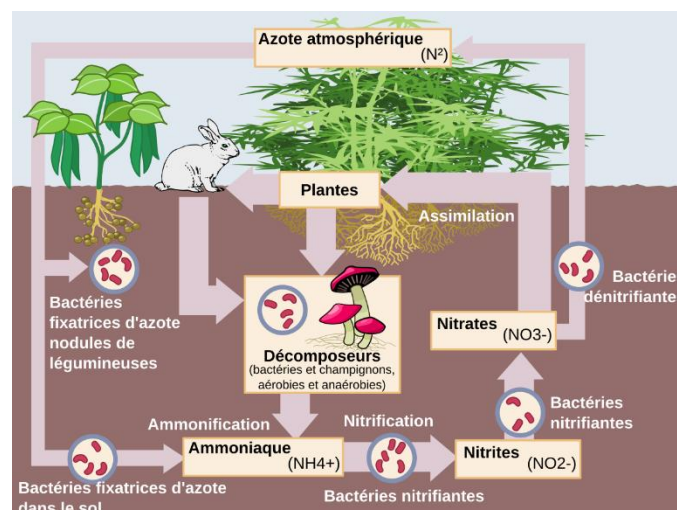


Gambar 2. 19 Siklus Karbon
Sumber: (Widodo *et al.*, 2021)

3) Siklus Nitrogen

Siklus nitrogen merupakan serangkaian konversi yang mengubah senyawa nitrogen menjadi berbagai bentuk kimiawi yang berbeda. Beberapa proses penting dalam siklus ini meliputi fiksasi nitrogen, mineralisasi, nitrifikasi, dan denitrifikasi (Widodo *et al.*, 2021). Proses dari siklus nitrogen dapat dilihat pada (Gambar 2.20), yaitu dimulai dengan fiksasi nitrogen, dimana nitrogen gas (N_2) yang tidak reaktif di atmosfer diubah menjadi amonia (NH_3) oleh bakteri fiksator nitrogen, seperti *Rhizobium* dalam akar tanaman legum, atau melalui proses industri seperti pembuatan pupuk. Selanjutnya, mineralisasi terjadi ketika bahan organik dari sisa tanaman atau hewan diuraikan oleh mikroorganisme menjadi NH_3 . NH_3 kemudian

mengalami nitrifikasi, yaitu konversi menjadi nitrit (NO_2^-) oleh bakteri seperti *Nitrosomonas*, dan selanjutnya menjadi nitrat (NO_3^-) oleh bakteri *Nitrobacter*. Nitrat ini diserap oleh tanaman untuk sintesis protein dan pertumbuhan, kemudian masuk ke rantai makanan melalui herbivora, omnivora, dan karnivora. Tahap terakhir, denitrifikasi yaitu mengembalikan nitrogen ke atmosfer sebagai N_2 , dilakukan oleh bakteri denitrifikasi seperti *Pseudomonas* dalam kondisi anaerobik, seperti di tanah basah. Siklus ini juga dipengaruhi oleh aktivitas manusia, seperti penggunaan pupuk urea yang dihidrolisis menjadi NH_3 oleh enzim urease, membantu menyediakan nitrogen bagi pertanian. Keseluruhan proses ini menjaga keseimbangan nitrogen di ekosistem, meskipun polusi dapat mengganggu (Sandika, 2021).

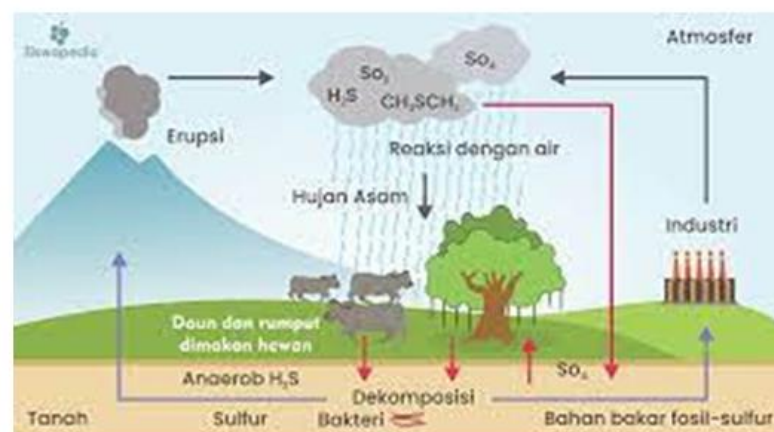


Gambar 2. 20 Siklus Nitrogen
Sumber: (Widodo *et al.*, 2021)

4) Siklus Sulfur

Siklus sulfur adalah pertukaran belerang yang berkelanjutan antara komponen biotik dan abiotik. Sulfur ditemukan di alam dalam bentuk mineral, sebagai gas sulfur dioksida SO_2 di udara, dan sebagai penyusun protein dalam tubuh organisme. Proses siklus sulfur bisa dilihat pada (Gambar 2.21), yang mana siklus ini dimulai di tanah di mana sulfur dalam bentuk ion sulfat SO_4^{2-} diserap oleh tumbuhan untuk membentuk protein. Sulfur kemudian berpindah melalui rantai makanan ke hewan dan manusia. Ketika hewan dan tumbuhan mati, sulfur organik dalam sisa-sisa hasil metabolisme atau materi mati diuraikan oleh bakteri pereduksi

sulfat (seperti *Desulfomaculum* dan *Desulfovibrio*) yang mengubahnya menjadi hidrogen sulfida H_2S , yang kemudian dilepaskan ke udara. H_2S juga dapat dihasilkan dari letusan gunung berapi. H_2S yang dilepaskan ke udara kemudian bereaksi dengan oksigen membentuk sulfur dioksida (SO_2). Di atmosfer, SO_2 bereaksi dengan air dan oksigen membentuk asam sulfat (H_2SO_4), yang turun ke bumi sebagai hujan asam (juga diperburuk oleh polusi industri), menyebabkan kerusakan lingkungan dan merusak tanaman. Setelah jatuh ke tanah, H_2SO_4 dipecah kembali menjadi ion sulfat (SO_4^{2-}) oleh bakteri, sehingga dapat diserap kembali oleh tumbuhan dan melanjutkan siklus. Selain itu, terdapat bakteri kemoautotrof (seperti *Thiobacillus*) yang mengoksidasi H_2S menjadi sulfat atau sulfur dioksida, serta bakteri fotoautotrof anaerob (*Chromatium*) yang menggunakan H_2S untuk menghasilkan oksigen (Widodo *et al.*, 2021).



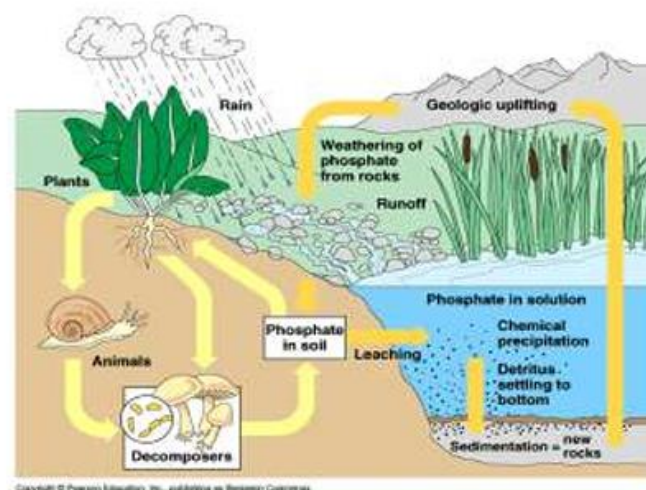
Gambar 2. 21 Siklus Sulfur
Sumbær: (Widodo *et al.*, 2021)

5) Siklus Fosfor

Siklus fosfor (P) merupakan siklus biogeokimia yang unik karena berbeda dengan daur lain, fosfor tidak memiliki komponen gas di atmosfer yang signifikan. Fosfor adalah elemen penting bagi kehidupan, dibutuhkan oleh makhluk hidup dalam bentuk ion fosfat PO_4^{3-} terutama sebagai penyusun ATP (sumber energi sel). Untuk proses siklus fosfor dapat dilihat pada (Gambar 2.22), siklus ini dimulai di geosfer dimana fosfat ditemukan di dalam batuan sedimen. Proses erosi dan pelapukan (*weathering*) memecah batuan ini, melepaskan fosfat ke dalam tanah

(sebagai *phosphate in soil*) atau mengalirkannya melalui air (*runoff*) ke sungai dan lautan, di mana ia dapat membentuk sedimen baru.

Di daratan, tumbuhan menyerap ion fosfat yang terlarut dari tanah. Fosfat kemudian berpindah melalui rantai makanan, dari herbivora yang memakan tumbuhan, ke karnivora yang memakan herbivora. Setelah hewan dan tumbuhan mati, serta melalui ekskresi (urin dan feses), fosfat organik dikembalikan ke tanah. Di tanah, dekomposer (seperti bakteri dan jamur) mengurai bahan-bahan organik tersebut, melepaskan kembali ion fosfat anorganik ke dalam tanah (*leaching*) agar dapat diambil kembali oleh tumbuhan, sehingga siklus biologisnya terus berlanjut. Sementara itu, pergerakan dasar bumi (*geologic uplifting*) dapat mengangkat sedimen yang mengandung fosfat ke permukaan, memulai kembali siklus pelapukan (Sandika, 2021)



Gambar 2. 22 Siklus Fosfor

Sumber: (Sandika, 2021)

2.1.5.8 Keseimbangan Ekosistem

Keseimbangan ekosistem diatur oleh berbagai faktor yang rumit. Faktor-faktor yang terlibat dalam mekanisme keseimbangan ekosistem antara lain mencakup mekanisme yang mengatur penyimpanan bahan-bahan, pelepasan hara, pertumbuhan organisme dan populasi, proses produksi, serta dekomposisi bahan organik. Ekosistem yang dikatakan seimbang adalah apabila semua

komponen baik biotik maupun abiotik berada pada porsi yang seharusnya baik jumlah maupun peranannya dalam lingkungan.

Terdapat dua faktor penting yang menyebabkan terganggunya ekosistem yaitu:

- 1) Faktor alam (misalnya: banjir, gempa bumi, gunung meletus, tsunami).
- 2) Faktor manusia (penebangan pohon liar, pembakaran hutan, perburuan hewan terus menerus, penggunaan pupuk berlebihan, pembuangan limbah dan sampah).

Akibatnya dampak terjadinya ketidakseimbangan ekosistem terhadap makhluk hidup adalah salah satunya sebagai berikut:

- 1) Kepunahan suatu spesies atau populasi
- 2) Kerusakan atau bencana
- 3) Munculnya keanehan ekosistem

2.2 Hasil Penelitian Yang Relevan

Kurniayati *et al* (2025), melakukan penelitian terkait pengaruh model pembelajaran RADEC dalam meningkatkan keterampilan kolaborasi siswa. Penelitian tersebut menunjukkan delapan indikator keterampilan kolaborasi telah muncul pada siswa sekolah dasar selama pembelajaran RADEC berlangsung. Setengah dari mereka telah mendapatkan skor maksimum, yang mana hal tersebut telah menunjukkan bahwa mereka dapat menerapkan keterampilan kolaborasi. Beberapa bentuk kolaborasi dapat distimulasi melalui pembelajaran RADEC yang dibuktikan dengan persentase dan indikator keterampilan kolaborasi yang dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal. Hal ini juga menunjukkan bahwa model pembelajaran RADEC dapat dijadikan alternatif bagi guru untuk melatih keterampilan kolaborasi siswa.

Kemudian penelitian oleh Yulia *et al* (2025), mengenai implementasi E LKPD untuk meningkatkan literasi digital pada pembelajaran ekonomi. Dalam penelitian tersebut, pembelajaran ekonomi berbantuan E-LKPD yang terintegrasi dengan *Liveworksheet* telah terbukti dapat meningkatkan kemampuan literasi digital peserta didik kelas X-2 SMAN 6 Pekanbaru. Berdasarkan hasil yang telah diperoleh, kemampuan literasi peserta didik mengalami peningkatan pada siklus I

62 (basic), siklus II sebesar 80 (medium), dan siklus II sebesar 96. Dari hasil data tersebut, maka dapat dikatakan bahwa pengimplementasian pembelajaran dengan E-LKPD yang terintegrasi dengan *Liveworksheet* dapat meningkatkan literasi digital peserta didik yang mana akan membantu peserta didik menghadapi tantangan di masa datang.

Penelitian selanjutnya mengenai pengaruh *Liveworksheet* terhadap literasi digital serupa dengan temuan oleh Simamora & Asri (2024), dengan judul penelitiannya “Pengembangan E-LKPD Interaktif untuk melatih Kemampuan Literasi Digital. Dalam penelitian ini, E-LKPD dan *Liveworksheet* memiliki kesamaan sebagai alat pembelajaran interaktif berbasis teknologi yang dirancang untuk mempermudah siswa dalam memahami materi, mengembangkan keterampilan belajar secara mandiri maupun kolaboratif, serta mendukung fungsi utamanya sebagai media pembelajaran interaktif. Dengan demikian, dalam hasil penelitian Simamora *et al.*, (2024) menunjukkan rata-rata keseluruhan hasil pretest dari penilaian per indikator literasi digital didapatkan sebesar 66,9% dengan kategori cukup, yang kemudian meningkat dengan hasil *posttest* menjadi 87,5% dan termasuk dalam kategori sangat baik. Dari hasil tersebut dapat terlihat bahwa E LKPD dan *Liveworksheet* dapat meningkatkan literasi digital peserta didik.

2.3 Kerangka Berpikir

Pembelajaran di abad ke-21 menempatkan keterampilan kolaborasi dan literasi digital sebagai keterampilan yang harus dikuasai oleh peserta didik. Keterampilan kolaborasi menjadi penting agar peserta didik dapat berkontribusi secara produktif dalam kerja tim, memecahkan masalah, dan menyesuaikan diri dengan kebutuhan dan dinamika dunia kerja yang terus berkembang. Sejalan dengan itu, literasi digital tidak hanya tentang bisa memakai gawai, akan tetapi memiliki kemampuan untuk mencari, memahami, menilai, dan menghasilkan informasi dengan bijak dan bertanggung jawab di dunia digital.

Namun pada kenyataannya, di lapangan menunjukkan bahwa penguasaan kolaborasi dan literasi digital peserta didik masih tergolong rendah dan sedang sehingga masih bisa untuk ditingkatkan atau dioptimalkan. Peserta didik cenderung memanfaatkan teknologi sebagai hiburan atau komunikasi pasif, yang berdampak

pada kurangnya tingkat literasi digital dalam proses pembelajaran. Selain itu, metode pembelajaran yang masih berpusat pada guru, membatasi kesempatan peserta didik untuk berinteraksi, berbagi peran, dan mengambil tanggung jawab bersama, sehingga dapat menghambat peningkatan keterampilan kolaborasi peserta didik.

Untuk mengatasi tantangan kurang optimalnya kedua keterampilan tersebut, penelitian ini menawarkan solusi inovatif melalui penerapan Model Pembelajaran RADEC (*Read, Answer, Discuss, Explain, and Create*) berbasis *Liveworksheet*. Model pembelajaran RADEC memiliki sintaks yang terstruktur, di mana pada fase *Discuss* secara langsung memfasilitasi interaksi dan kerja sama kelompok (kolaborasi), sementara fase lainnya mendukung pembelajaran mandiri. Model ini diperkuat dengan pemanfaatan *Liveworksheet*, sebuah platform pembelajaran interaktif, memfasilitasi peserta didik dalam mengakses materi, menjawab soal, berdiskusi, menjelaskan konsep dan menciptakan karya. Sehingga, semuanya dapat berkontribusi dalam pemahaman literasi digital dan keterampilan kolaborasi.

Berdasarkan penjelasan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh model pembelajaran RADEC berbasis *Liveworksheet* terhadap peningkatan literasi digital dan hasil belajar siswa pada materi Ekosistem di kelas X SMAN 8 Tasikmalaya. Secara spesifik, model ini diharapkan mampu meningkatkan keterampilan kolaborasi peserta didik dengan adanya penekanan pada aktivitas berbasis kelompok dan komunikasi dalam sintaks RADEC. Bersamaan dengan itu, penggunaan *Liveworksheet* juga diharapkan dapat mengasah berbagai dimensi literasi digital peserta didik, termasuk kapabilitas mereka dalam mencari, mengelola, dan mengevaluasi informasi digital dengan lebih kritis.

2.4 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

Ha₁ : Ada pengaruh model pembelajaran RADEC berbasis *Liveworksheet* terhadap keterampilan kolaborasi peserta didik pada materi ekosistem.

Ha₂ : Ada pengaruh model pembelajaran RADEC berbasis *Liveworksheet* terhadap literasi digital peserta didik pada materi ekosistem.