

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Augmented Reality*

Augmented Reality (AR) merupakan suatu medium teknologi yang menggabungkan unsur digital mencakup objek 2D/3D, teks, audio serta animasi ke dalam persepsi pengguna terhadap dunia nyata. Tujuan AR adalah untuk menambah informasi, konteks, atau fungsi pada objek fisik (Craig, 2013, h. 15). AR berbeda dari *Virtual Reality* (VR) karena AR menambah realitas fisik, bukan mengganti realitas yang ada (h. 20). AR menempatkan lapisan-lapisan informasi digital yang sinkron secara spasial/temporal terhadap dunia nyata sehingga pengguna dapat melihat kedua lapisan secara simultan (h. 95).

AR adalah teknologi multimodal yang dapat meningkatkan pemahaman konsep abstrak, meningkatkan motivasi belajar, dan menyediakan pengalaman eksplorasi yang sulit dicapai melalui media konvensional (Chen, Wu & Yen, 2022). Hasil empirisnya dipengaruhi desain instruksional, jenis AR, dan konteks pembelajaran. Terdapat efek positif AR pada prestasi dan motivasi tetapi dengan heterogenitas yang signifikan. Efek AR tergantung pada aspek teknis, pedagogis dan populasi peserta (Lee & Chung, 2021).

Alan Craig (2013) dalam bukunya *Understanding Augmented Reality: Concept and Applications* menjelaskan bahwa dalam sistem *Augmented Reality* (AR), terdapat tiga elemen utama yang mencakup sensor, prosesor, dan *display*. Komponen-komponen tersebut memiliki peran penting dalam menghubungkan dunia nyata dengan elemen virtual. Elemen dalam AR mencakup (h. 50):

1. Sensor

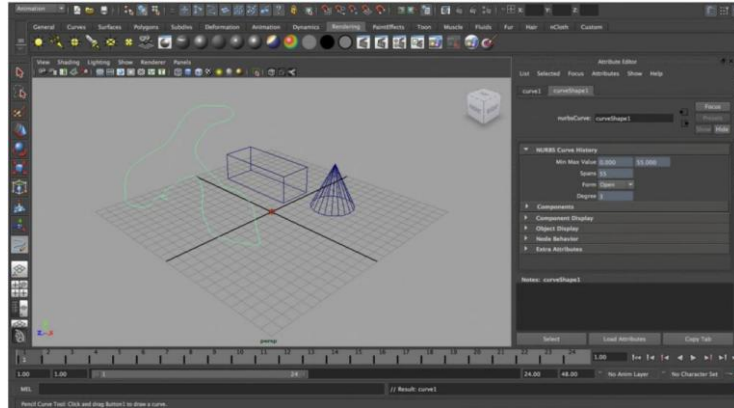
Menurut Craig (2013), sensor berfungsi sebagai alat penangkap data yang menjadi dasar interaksi antara pengguna dan lingkungan sekitarnya. Melalui sensor, sistem AR dapat mendeteksi posisi, arah pandang, serta pergerakan pengguna. Data ini biasanya

diperoleh dari perangkat pintar seperti *smartphone*, tablet, kamera, hingga perangkat interaksi khusus. Dengan demikian, sensor tidak hanya berperan sebagai “mata” sistem, tetapi juga sebagai mekanisme pelacak (*tracker*) yang memastikan objek digital dapat menyatu secara tepat dengan ruang nyata (seperti dikutip Koparan, Dinar, & Haldan, 2023).



2. Prosesor

Prosesor merupakan inti pengolah informasi dalam AR. Semua data yang ditangkap sensor akan dianalisis dan diinterpretasikan oleh prosesor sebelum ditransformasikan menjadi keluaran visual atau audio. Prosesor juga mengatur penyimpanan data, mengeksekusi program AR, serta menghasilkan sinyal untuk mengaktifkan konten virtual. Perangkat yang berfungsi sebagai prosesor dapat bervariasi, mulai dari gawai seperti *smartphone* dan tablet, hingga komputer dengan kemampuan pemrosesan tinggi (Koparan, Dinar, & Haldan, 2023).

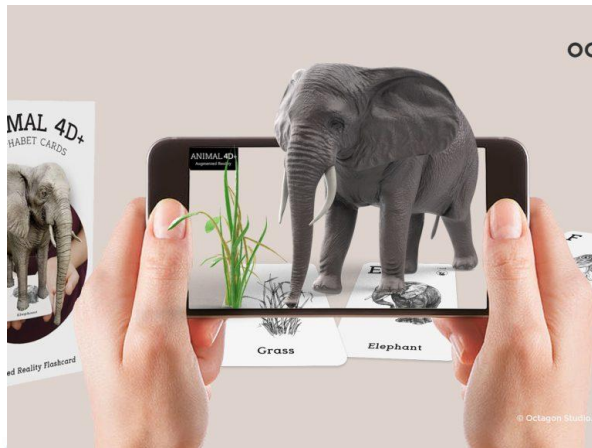


Gambar 2.2 Prosesor AR
Sumber: Craig (2013)

Melalui kinerja prosesor, sistem *Augmented Reality* mampu mengintegrasikan data dari berbagai sensor secara *real-time* sehingga konten virtual dapat ditampilkan secara presisi dan responsif terhadap lingkungan pengguna. Kemampuan pemrosesan ini memungkinkan objek virtual berinteraksi secara dinamis dengan dunia nyata, baik melalui penyesuaian posisi, skala, maupun sudut pandang, sehingga pengalaman AR yang dihasilkan menjadi lebih imersif dan mendukung efektivitas penyampaian informasi.

3. Display

Display berperan sebagai sarana bagi pengguna untuk melihat dan merasakan hasil integrasi AR. Menurut Craig (2013), tampilan ini bisa berupa monitor, layar ponsel, kacamata pintar, bahkan proyektor, yang berfungsi menyajikan objek digital ke dalam persepsi indera manusia. Selain menampilkan visual, *display* juga dapat menghadirkan output dalam bentuk suara melalui *speaker*, sehingga pengalaman AR menjadi lebih imersif dan interaktif (Koparan, Dinar, & Haldan, 2023).



Gambar 2.3 AR *Display*
 Sumber: <https://octagon.studio/wp-content/...>

Berdasarkan uraian mengenai konsep *Augmented Reality* (AR), dapat ditarik kesimpulan bahwa AR merupakan teknologi yang menghadirkan integrasi antara objek digital dengan dunia nyata secara interaktif. Teknologi ini memungkinkan animasi, model tiga dimensi, maupun konten visual lain ditampilkan seolah-olah berada di ruang fisik pengguna, sehingga menciptakan pengalaman yang lebih realistis. Sistem AR bekerja melalui tiga elemen utama, yakni sensor sebagai pendeteksi posisi dan lingkungan, prosesor yang mengolah serta mengeksekusi data dari sensor, dan *display* yang menyajikan hasil dalam bentuk visual maupun audio. Melalui kombinasi tersebut, AR tidak hanya memperkaya pengalaman visual, tetapi juga membuka peluang pemanfaatan di berbagai bidang, seperti pendidikan, hiburan, hingga pemasaran, dengan menghadirkan interaksi nyata dan maya secara bersamaan.

2.1.1 Manfaat *Augmented Reality* (AR)

Augmented Reality (AR) menawarkan berbagai manfaat yang signifikan di berbagai bidang, terutama dalam meningkatkan pengalaman interaktif di dunia nyata. Dengan menambahkan elemen virtual yang imersif, AR mampu menciptakan pengalaman yang terasa lebih nyata dan menarik bagi pengguna (Mahartika, 2023).

2.1.1.1 Dunia Pendidikan

Dalam konteks pendidikan, AR berfungsi sebagai alat yang membantu siswa memahami konsep yang bersifat abstrak, memvisualisasikan objek tiga dimensi, melakukan praktik interaktif, serta memberikan dukungan bertahap (*scaffolding*) pada tugas-tugas kognitif yang kompleks. AR dapat meningkatkan hasil belajar pada mata pelajaran yang membutuhkan pemahaman ruang, seperti biologi dan geometri. AR meningkatkan motivasi dan minat siswa jika diterapkan dengan metode pembelajaran yang tepat, misalnya dengan menggabungkan AR dan model pembelajaran aktif. Namun, efek dan ukuran efek dipengaruhi oleh faktor lain seperti:

1. Kualitas model 3D atau visual
2. Sejauh mana aktivitas AR diintegrasikan
3. Pelatihan guru dan penggunaan perangkat yang andal

Studi pengembangan kartu bergambar berbantuan AR untuk anak usia dini yang dilakukan Maharani (2022), menunjukkan bahwa bila dikembangkan dengan model ADDIE dan diuji validitas serta efektivitasnya, media kartu-AR dapat meningkatkan kemampuan bahasa dan keterlibatan anak. Implementasi yang sukses menunjukkan pentingnya *alignment* tujuan pembelajaran dimana teknologi AR harus melayani tujuan pedagogis tertentu dan bukan sekadar menarik.

2.1.1.2 Pelatihan professional, kesehatan, dan keselamatan

Menurut Buchner et al. (2022), AR terbukti dapat meningkatkan kinerja dalam tugas-tugas praktis sambil menjaga atau bahkan menurunkan beban kognitif dibanding metode pembelajaran tradisional. Misalnya dalam kategori *task assistance* yang meliputi pelatihan medis, *surgery* atau navigasi tugas praktis. AR menghasilkan performa lebih baik dengan beban kognitif yang lebih rendah dalam banyak studi. Ini penting dalam konteks pelatihan keselamatan dan kesehatan, karena latihan berbasis risiko tinggi (seperti bedah)

membutuhkan simulasi yang aman, visual yang jelas, dan praktik yang realistis agar transfer keterampilan ke situasi nyata maksimal.

Review tersebut juga menunjukkan bahwa jenis AR spatial dimana konten virtual di-*overlay* langsung ke lingkungan fisik cenderung lebih efektif dibanding AR yang hanya melihat melalui lensa transparan (*see-through AR*) dalam aspek beban kognitif dan performa. Misalnya, visualisasi 3D dalam spatial AR memberikan keuntungan bagi pelaksanaan tugas fisik atau prosedural, karena memungkinkan pengguna melihat objek/materi anatomi atau instrumen medis dalam perspektif ruang nyata yang memfasilitasi pemahaman dan latihan praktis. Namun, review juga mengingatkan bahwa tanpa desain instruksi yang baik, *interface* yang rumit, atau penggunaan perangkat AR yang kurang sesuai dapat menambah beban kognitif dan malah menurunkan efektivitas pelatihan.

2.1.1.3 Industri, museum, dan hiburan

Menurut PTC yang ditulis dalam *Augmented Reality solutions for service and maintenance*, dalam sektor industri, penerapan AR terbukti meningkatkan efisiensi operasional. Teknisi dapat mengakses instruksi pemeliharaan secara *real-time* melalui perangkat AR, yang memungkinkan identifikasi masalah dan perbaikan dilakukan lebih cepat dan akurat (Craig, 2013). Hal ini mengurangi waktu henti mesin dan meningkatkan ketersediaan peralatan. Selain itu, AR juga memfasilitasi pelatihan teknisi dengan menyediakan panduan visual yang interaktif, mempercepat proses pembelajaran dan meningkatkan keterampilan praktis mereka.

AR memberikan pengalaman yang lebih mendalam bagi pengunjung museum dengan memungkinkan mereka melihat rekonstruksi 3D dari artefak atau situs bersejarah yang telah rusak atau hilang. Teknologi ini juga menyediakan informasi kontekstual tambahan, seperti narasi sejarah atau penjelasan ilmiah, yang dapat diakses melalui perangkat AR. Penerapan AR dalam museum tidak hanya meningkatkan

pemahaman pengunjung, tetapi juga menarik minat pengunjung muda yang lebih akrab dengan teknologi digital (MuseumNext, 2021).

Dalam industri hiburan, AR memperkaya pengalaman pengguna dengan mengintegrasikan elemen digital ke dalam dunia nyata. Misalnya, dalam konser atau pertunjukan teater, AR dapat menampilkan visual efek yang menakjubkan atau informasi tambahan secara langsung di atas panggung. Selain itu, AR juga digunakan dalam permainan video untuk menciptakan pengalaman bermain yang lebih imersif, di mana pemain dapat berinteraksi dengan elemen virtual yang muncul di lingkungan nyata mereka (FFFace, 2022).

2.1.2 Jenis *Augmented Reality* (AR)

Pemilihan jenis AR harus disesuaikan dengan tujuan. AR diklasifikasikan ke beberapa jenis teknis yang berimplikasi langsung pada desain konten, biaya implementasi, dan pengalaman pengguna.

2.1.2.1 *Marker-based AR (fiducial/trigger marker)*

Marker-based AR menggunakan *marker* visual (*QR-like*, *fiducial*) sebagai referensi spasial untuk menempatkan dan meregistrasi objek virtual relatif terhadap dunia nyata. Kelebihannya yaitu stabilitas registrasi relatif mudah dicapai, pemasangan konten menjadi deterministik (konten muncul ketika *marker* dikenali). Keterbatasannya adalah ketergantungan pada kondisi *marker* (pencahayaan, kualitas cetak) serta kurangnya fleksibilitas lokasi (Siltanen, 2012).



Gambar 2.4 *Marker Based AR*

Sumber: [https://www.researchgate.net/profile/Krit-Salah-Ddine/...](https://www.researchgate.net/profile/Krit-Salah-Ddine/)

Dalam konteks kartu bergambar AR (*AR-card*) pendekatan marker-based sering dipilih karena kesederhanaan *deployment* (cukup cetak target *marker* pada kartu) dan dukungan luas oleh platform seperti *Vuforia*, *ARCore* dan *ARToolkit* (Siltanen, 2012). Rancangan pedagogis untuk kartu berbasis marker harus memperhitungkan ukuran marker, margin toleransi, dan feedback pengguna supaya pengalaman interaksi terasa natural dan tidak mudah terputus. Studi pengembangan media kartu AR menunjukkan bahwa pendekatan *marker-based* efektif untuk pembelajaran anak usia dini (Maharani et al, 2022).

2.1.2.2 *Marker-less / Location-based / SLAM*

Marker-less AR, termasuk teknologi seperti GPS, Kompas, SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) memungkinkan konten ditempatkan relatif terhadap dunia tanpa marker fisik. Pendekatan ini berguna untuk aplikasi berbasis lokasi dan aplikasi yang memerlukan kebebasan bergerak. Kelebihannya adalah interaksi terasa lebih natural dan tidak memerlukan media cetak. Namun, akurasi penempatan objek bisa menurun, terutama di dalam ruangan, dan kebutuhan komputasinya lebih tinggi. Jenis AR ini semakin populer karena perangkat *mobile modern* dan algoritma SLAM yang lebih handal, tetapi pengembang harus memperhatikan faktor lingkungan, seperti pencahayaan dan tekstur permukaan, agar pelacakan tetap akurat (Sadeghi-Niaraki, 2020).



Gambar 2.5 *Marker-less* AR

Sumber: <https://cyber-fox.net/wp-content/uploads/2022/07/ar.jpg>

2.1.2.3 *Projection-based & Superimposition / Hybrid*

Projection-based AR menggunakan proyektor untuk menampilkan objek digital langsung pada permukaan fisik, sehingga pengguna dapat berinteraksi dengan objek virtual tanpa perangkat tambahan seperti headset. Teknik ini banyak diterapkan pada instalasi museum, pameran seni, maupun industri untuk menampilkan instruksi kerja. Keunggulan metode ini adalah kemampuannya menyediakan informasi secara *real-time* dan dapat digunakan oleh banyak orang sekaligus, meskipun performanya dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan dan permukaan media proyeksi (Van der Veen, 2021).

Superimposition AR menambahkan objek digital ke pandangan dunia nyata melalui layar perangkat mobile, misalnya pada aplikasi navigasi atau pelatihan medis. Metode ini memungkinkan pengguna memperoleh konteks tambahan secara langsung, tetapi kualitas pengalaman sangat bergantung pada akurasi pelacakan dan rendering objek virtual (Van der Veen, 2021).



Gambar 2.6 *Projection-based* AR
Sumber: <https://augmented.org/wp-content/uploads/2012/05/pbAR-9.jpg>

Hybrid AR menggabungkan beberapa teknik AR untuk menciptakan pengalaman yang lebih fleksibel, seperti kombinasi *marker-based* dan *gesture-based* AR. Pendekatan ini memungkinkan interaksi yang lebih kompleks dan adaptif terhadap berbagai kondisi pengguna, namun menuntut pengembangan dan pengujian yang lebih intensif. *Hybrid* AR telah terbukti meningkatkan pemahaman pengguna

dalam simulasi produk karena memanfaatkan kekuatan dari berbagai metode sekaligus (Hadi, 2024).

2.1.3 Elemen *Augmented Reality* (AR)

Augmented Reality (AR) adalah pengalaman yang menggabungkan elemen dunia nyata dengan dunia virtual sehingga pengguna dapat berinteraksi dengan konten digital secara *real-time*. Keberhasilan AR bergantung pada integrasi beberapa elemen inti yang saling mendukung. Elemen-elemen ini bukan hanya aspek teknis, tetapi juga konseptual dan pengalaman pengguna. Dengan memahami setiap elemen secara mendalam, pengembang dapat merancang aplikasi AR yang lebih efektif, imersif, dan sesuai dengan tujuan penggunaan, baik dalam pendidikan, hiburan, maupun industri. Elemen utama AR mencakup *content*, *interaction*, *technology*, *the physical world*, dan *participant(s)* (Craig, 2013, h. 66–67).

2.1.3.1 *Content*

Konten menjadi inti dari setiap pengalaman AR. Craig (2013, hlm. 66) menyatakan bahwa konten mencakup seluruh objek, ide, narasi, stimulus sensor, dan aturan atau “*laws of nature*” yang mengatur apa yang terjadi selama pengalaman AR. Konten tidak hanya berupa visual 3D atau animasi, tetapi juga mencakup logika interaksi, simulasi, dan kontrol sistem yang menentukan bagaimana objek virtual merespons tindakan pengguna. Dalam konteks edukasi, konten dapat berupa model 3D hewan atau tanaman yang dapat disentuh, label informasi, narasi audio, serta simulasi proses ilmiah. Konten yang dirancang dengan baik dapat meningkatkan keterlibatan, memperjelas konsep abstrak, dan mendukung tujuan pembelajaran) (Craig, 2013, h. 66).

2.1.3.2 *Interaction*

Interaksi adalah elemen wajib dalam AR karena pengalaman ini harus responsif terhadap tindakan pengguna. Craig (2013, h. 66) menekankan bahwa interaksi dapat berupa pengamatan dari sudut berbeda, gestur fisik, sentuhan layar, atau perintah suara. Dalam praktiknya, interaktivitas memungkinkan peserta merasakan keterlibatan

langsung dengan objek virtual dan mengendalikan bagaimana konten muncul dan bergerak di dunia nyata. Misalnya, dalam aplikasi edukatif, anak-anak dapat memutar model organ tubuh 3D atau mengubah warna bunga melalui gestur tangan, sehingga pemahaman menjadi lebih aktif dan mendalam. Interaksi yang dirancang baik meningkatkan pengalaman imersif dan membuat AR lebih efektif dibanding media pasif.

2.1.3.3 Technology

Teknologi merupakan elemen yang menggabungkan dunia nyata dan virtual secara teknis. Teknologi meliputi sensor untuk mendeteksi lingkungan fisik, sistem komputasi untuk memproses data, dan mekanisme display untuk menampilkan objek virtual. Sensor dapat berupa kamera, GPS, *accelerometer*, atau *gyroscope*. Sistem komputasi mengintegrasikan input sensor dengan konten digital, sementara *display* berupa layar *smartphone*, tablet, atau *headset* AR. Kualitas teknologi menentukan keakuratan *tracking*, stabilitas objek, dan *latency*. Penggunaan teknologi yang tepat penting agar pengalaman AR tidak terganggu, aman, dan nyaman bagi peserta (Craig, 2013, h. 66).

2.1.3.4 The Physical World

Dunia fisik adalah latar tempat terjadinya pengalaman AR dan memengaruhi efektivitas interaksi virtual. Craig (2013, hlm. 67) menjelaskan bahwa AR tidak hanya menampilkan objek digital, tetapi mengintegrasikannya ke dunia nyata sehingga lokasi, ukuran, dan orientasi fisik memengaruhi persepsi pengguna. Misalnya, simulasi dekorasi menara Eiffel lebih realistis jika diterapkan di lokasi nyata menara atau ruang terbuka. Dunia fisik juga menentukan batasan interaksi, pencahayaan, dan perspektif yang tersedia. Perancangan AR harus menyesuaikan konten dan interaksi dengan kondisi fisik agar pengalaman lebih imersif dan menyenangkan (Craig, 2013, h. 66-67).

2.1.3.5 Participant(s)

Peserta adalah pusat dari seluruh pengalaman AR. Craig (2013, hlm. 67) menekankan bahwa AR berfungsi untuk memberikan

rangsangan buatan yang membuat peserta percaya bahwa sesuatu terjadi, meskipun sebenarnya tidak ada di dunia fisik. Peran peserta meliputi gerakan, interaksi, dan keputusan yang memengaruhi bagaimana sistem merespons. Dalam aplikasi multi-peserta, interaksi menjadi kompleks karena setiap tindakan individu dapat memengaruhi pengalaman orang lain. Keaktifan peserta dalam mengeksplorasi dan mengendalikan objek virtual adalah kunci keberhasilan AR dalam mencapai tujuan edukatif, hiburan, maupun profesional (Craig, 2013, h. 67).

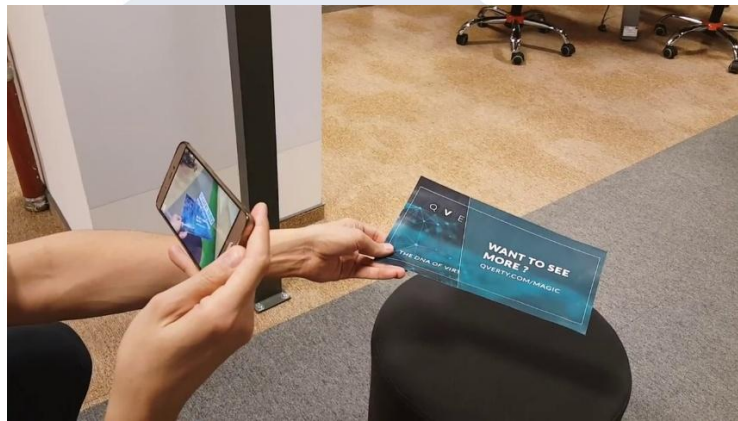
Berdasarkan penjelasan yang telah diuraikan, lima elemen AR yaitu *content*, *interaction*, *technology*, *the physical world*, dan *participant(s)*, menjadi fondasi penting untuk merancang pengalaman AR yang efektif. Setiap elemen memiliki peran spesifik dan manfaatnya masing-masing. Integrasi yang tepat dari kelima elemen ini menentukan keberhasilan aplikasi AR, baik dari sisi interaktivitas, imersi, maupun pencapaian tujuan pembelajaran.

2.1.4 Kartu *Augmented Reality* (AR)

Kartu *Augmented Reality* (*AR Card*) adalah media pembelajaran yang menggabungkan kartu bergambar dua dimensi dengan teknologi *Augmented Reality*, sehingga gambar statis pada kartu dapat berubah menjadi objek tiga dimensi interaktif ketika dipindai menggunakan perangkat digital seperti *smartphone* atau tablet. Media ini memberikan pengalaman belajar yang lebih menarik karena menghadirkan visualisasi animasi, suara, dan teks secara bersamaan. Menurut Maharani, Agung, & Tirtayani (2022), *AR Card* dirancang dengan memadukan media cetak berupa kartu bergambar dengan aplikasi berbasis Android yang mampu menampilkan animasi 3D dan audio, sehingga pembelajaran menjadi dinamis dan mudah dipahami anak usia dini.

Fungsi utama *AR Card* adalah menjembatani materi abstrak agar lebih konkret dan mudah dipahami peserta didik. Anak-anak pada usia dini cenderung kesulitan memahami konsep jika hanya disajikan dalam bentuk gambar statis atau teks. Kehadiran *AR Card* membuat gambar hewan, benda, maupun tokoh pada kartu dapat divisualisasikan dalam bentuk animasi

bergerak yang disertai efek suara. Hal ini menjadikan pembelajaran tidak monoton dan mendorong rasa ingin tahu anak untuk mengeksplorasi informasi lebih banyak. Maharani dkk. (2022) menegaskan bahwa AR dapat merealisasikan dunia virtual ke dalam dunia nyata dengan menampilkan gambar dua dimensi menjadi tiga dimensi, sehingga pembelajaran menjadi lebih menarik dan tidak membosankan (h. 362).



Gambar 2.7 Kartu AR

Sumber: <https://mojoapps.co/wp-content/uploads/2017/...>

Dari segi perancangan, *AR Card* terdiri atas dua komponen utama, yaitu media cetak dan aplikasi digital. Media cetak berupa kartu bergambar didesain sesuai dengan tema pembelajaran, misalnya hewan atau lingkungan. Gambar pada kartu dilengkapi *marker* khusus yang berfungsi sebagai penanda ketika dipindai kamera perangkat. Sementara itu, aplikasi digital dikembangkan menggunakan perangkat lunak seperti Blender untuk animasi dan Unity untuk integrasi objek 3D ke dalam aplikasi. Dengan kombinasi tersebut, *AR Card* dapat menampilkan objek 3D, teks penjelasan, suara, hingga efek audio lain yang sesuai dengan tema (Maharani et al., 2022, h. 364).

Lebih lanjut, Kartu *Augmented Reality (AR Card)* juga dirancang agar memiliki daya tarik visual yang tinggi. Desain pesan mencakup pemilihan warna, tipografi, tata letak teks, serta kejelasan gambar. Pada penelitian Maharani, kartu AR memuat animasi 3D anggota keluarga, lengkap dengan suara dubbing dan efek audio yang relevan. Selain itu, media ini mudah digunakan karena dilengkapi petunjuk operasional yang sederhana. Guru

maupun siswa dapat menggunakannya secara berulang tanpa kehilangan fungsi utama. Kejelasan instruksi serta kesesuaian desain menjadikan media ini praktis sekaligus efektif untuk menunjang pembelajaran (h. 365).

Efektivitas penggunaan *AR Card* telah dibuktikan melalui penelitian di PAUD Kumara Warmadewa. Hasil uji coba menunjukkan adanya peningkatan signifikan pada hasil belajar anak setelah menggunakan media ini. Nilai rata-rata anak meningkat dari 55 pada *pre-test* menjadi 83 pada *post-test*. Analisis uji-t juga memperlihatkan bahwa media *AR Card* memberikan pengaruh positif yang signifikan terhadap capaian belajar. Hal ini menunjukkan bahwa media tersebut tidak hanya valid secara teoretis, tetapi juga efektif diterapkan dalam pembelajaran (Maharani et al., 2022, h. 366).

Selain hasil belajar, penggunaan *AR Card* juga berdampak pada motivasi dan keterlibatan siswa. Anak-anak yang awalnya cepat bosan dengan metode konvensional, menjadi lebih tertarik dan antusias saat belajar menggunakan *AR Card*. Guru juga terbantu karena materi dapat disampaikan dengan cara yang lebih kreatif dan sesuai dengan karakteristik anak usia dini yang gemar bermain. Menurut Maharani dkk., suasana belajar yang menyenangkan melalui *AR Card* mampu meningkatkan semangat belajar sekaligus memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna (h. 361–362).

Dari sisi validasi, *AR Card* memperoleh penilaian sangat baik dari berbagai ahli. Ahli isi pembelajaran memberikan skor 96,66%, ahli desain instruksional 100%, dan uji coba perorangan maupun kelompok kecil masing-masing sekitar 94%. Hanya penilaian ahli media pembelajaran yang berada pada kategori “baik” dengan skor 88,33%, namun tetap menunjukkan bahwa media ini layak digunakan. Secara keseluruhan, persentase validasi berada di atas 90%, yang berarti *AR Card* memenuhi kriteria sebagai media pembelajaran inovatif yang dapat digunakan secara luas (Maharani et al., 2022, h. 365–366).

Dengan mempertimbangkan semua aspek tersebut, *AR Card* dapat dipandang sebagai inovasi media pembelajaran yang efektif, menarik, dan sesuai dengan kebutuhan pendidikan modern. Media ini tidak hanya menggabungkan teknologi dengan metode konvensional, tetapi juga membuka

peluang pembelajaran yang lebih interaktif. Bagi penelitian ini, konsep *AR Card* relevan untuk diterapkan dalam pengenalan hewan beracun dan berbisa, karena dapat menyajikan ilustrasi hewan dalam bentuk animasi 3D lengkap dengan suara serta penjelasan, sehingga siswa memperoleh pengalaman belajar yang lebih konkret, interaktif, dan mudah dipahami.

2.1.5 Interaktivitas

Interaktivitas dalam *Augmented Reality* (AR) merupakan aspek penting yang menentukan bagaimana pengguna dapat berhubungan dengan konten digital yang diproyeksikan ke lingkungan nyata. Tanpa interaksi, AR hanya akan menjadi media visual pasif. Interaktivitas memungkinkan pengguna memberi perintah, menerima umpan balik visual maupun audio, serta mengendalikan animasi objek virtual. Hal ini membuat pengalaman belajar menjadi lebih aktif dan bermakna. Menurut Dirin dan Laine (2018), kualitas interaktivitas memengaruhi kepuasan pengguna secara langsung karena keterlibatan aktif meningkatkan persepsi positif terhadap sistem. Dengan demikian, interaktivitas adalah fondasi utama bagi terciptanya pengalaman AR yang efektif dan menyenangkan.

Dalam konteks pendidikan, interaktivitas memberi peluang peserta didik mengeksplorasi materi sesuai gaya belajarnya. Anak dapat memutar objek, memperbesar detail, atau mendengarkan penjelasan audio melalui satu kartu AR. Hal ini menjembatani konsep abstrak agar lebih mudah dipahami. Graser, Kirschenlohr, dan Böhm (2024) menegaskan bahwa interaktivitas mendorong keterlibatan emosional dan meningkatkan retensi informasi. Semakin baik rancangan interaksi, semakin tinggi motivasi belajar siswa. Oleh sebab itu, keberhasilan media berbasis AR sangat ditentukan oleh kualitas interaktivitas yang dihadirkan.

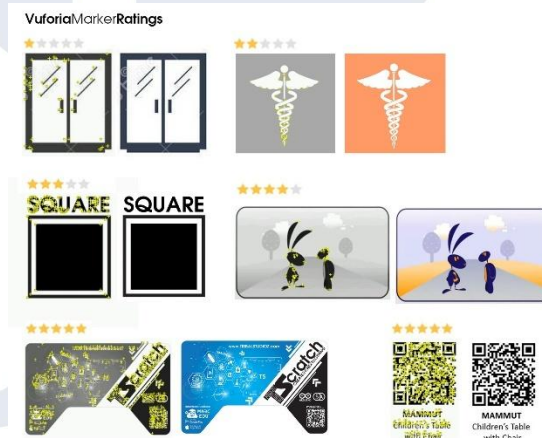
2.1.5.1 User Interface (UI)

User Interface (UI) adalah bagian dari sistem AR yang terlihat langsung oleh pengguna, mencakup tata letak elemen, ikon, tombol, hingga penempatan animasi di layar. Dalam AR, UI tidak hanya sebatas menu, tetapi juga marker dan overlay yang terintegrasi dengan dunia

nyata. UI yang baik harus intuitif, mudah dipelajari, serta tidak mengganggu fokus pengguna. Menurut Hapsari dkk. (2024), desain UI berbasis *User Centered Design* terbukti membantu pengguna lebih cepat memahami instruksi karena disusun sesuai kebutuhan target audiens.

1. *Marker atau Target Detection*

Marker adalah elemen visual yang digunakan sistem AR untuk mengenali dan menampilkan objek virtual. *Marker* harus memiliki kontras yang jelas, pola yang sederhana, serta mudah dibaca kamera agar interaksi tidak terhambat. Kegagalan deteksi marker dapat mengganggu alur pembelajaran dan menurunkan kepuasan pengguna. Penelitian Graser et al. (2024) menunjukkan bahwa akurasi *marker* berhubungan langsung dengan efisiensi penggunaan aplikasi AR. Dengan *marker* yang stabil, pengguna dapat berinteraksi lebih lama tanpa frustrasi.



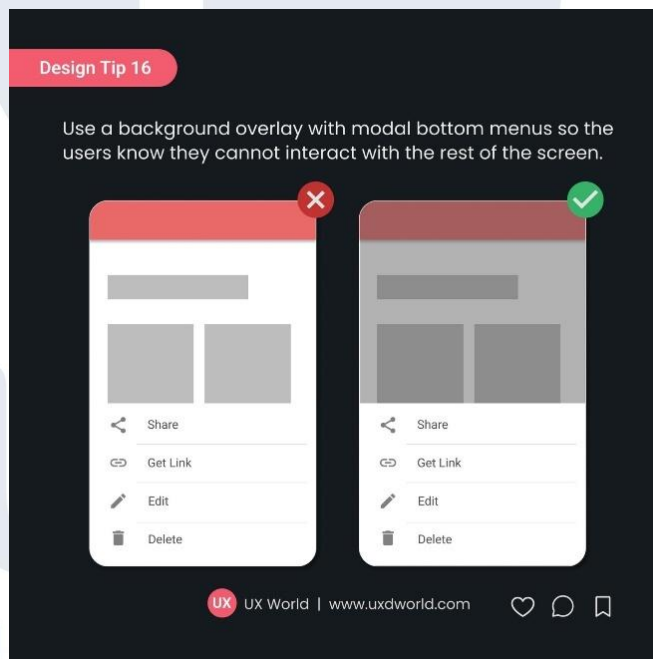
Gambar 2.8 *Marker atau Target Detection*
Sumber: <https://marcedu.tribalstudioz.com/wp-content/...>

Selain itu, *marker* juga memengaruhi tingkat kepraktisan media. Jika *marker* sulit dipindai, pengguna akan cepat kehilangan minat. Oleh karena itu, desain *marker* harus memperhatikan ukuran, kualitas cetak, dan kontras warna. Menurut Chen dan Chan (2019), *marker* yang sederhana namun jelas terbukti lebih efektif dalam pembelajaran anak usia dini karena mengurangi kesalahan

teknis. Dengan *marker* yang optimal, *AR Card* dapat menghadirkan pengalaman belajar yang konsisten dan menyenangkan.

2. *Layout dan Overlay*

Layout dalam UI AR mencakup penempatan teks, ikon, serta posisi objek virtual pada layar. *Layout* yang buruk dapat menutupi objek utama atau mengganggu pandangan pengguna. Menurut Dirin dan Laine (2018), tata letak harus mempertimbangkan keseimbangan antara konten nyata dan virtual agar interaksi tetap nyaman. Penempatan tombol sebaiknya berada di area yang mudah dijangkau, sementara teks harus terbaca jelas tanpa menutupi objek 3D.



Gambar 2.9 *Overlay* dalam UI
Sumber: <https://uxdworld.com/wp-content/...>

Overlay juga memainkan peran penting dalam memberikan informasi tambahan, seperti keterangan teks atau instruksi. Studi Hapsari dkk. (2024) menekankan bahwa *overlay* yang transparan dan minimalis lebih disukai dibandingkan yang penuh warna mencolok, karena tidak menimbulkan gangguan

visual. Dengan *layout* yang tepat, pengguna dapat fokus pada materi utama tanpa kehilangan konteks.

3. Kontrol Navigasi

Kontrol navigasi dalam AR mencakup cara pengguna berinteraksi dengan objek, seperti memutar, memperbesar, atau mengganti tampilan. Navigasi harus mudah dipelajari dan tidak membingungkan, khususnya bagi anak-anak. Menurut penelitian *Exploring User Interfaces and User Satisfaction in AR* (2021), navigasi berbasis gestur atau tombol sederhana lebih disukai pengguna dibandingkan sistem yang kompleks.

Selain itu, navigasi juga harus responsif terhadap sentuhan dan tidak menimbulkan jeda lama. *Delay* dalam navigasi dapat menurunkan kepuasan dan membuat pengalaman belajar terganggu. Studi Graser et al. (2024) menunjukkan bahwa keterlambatan sekecil apapun dapat memengaruhi persepsi pengguna terhadap keandalan aplikasi. Oleh karena itu, kontrol navigasi harus dirancang ringan, stabil, dan sesuai dengan perangkat target.

4. Estetika Visual

Estetika visual meliputi pemilihan warna, tipografi, dan ikon dalam UI AR. Tampilan visual yang menarik meningkatkan minat pengguna sekaligus memperkuat pemahaman materi. Menurut Jesionkowska dan Wild (2020), estetika dalam AR harus sederhana, kontras tinggi, serta selaras dengan tema aplikasi agar tidak membingungkan pengguna.

Tipografi juga memengaruhi keterbacaan. Teks yang terlalu kecil atau warna yang bertabrakan dengan latar belakang dapat menyulitkan pengguna, terutama anak-anak. Hapsari dkk. (2024) menekankan pentingnya konsistensi visual karena estetika yang baik meningkatkan persepsi kualitas aplikasi. Dengan estetika

visual yang tepat, *AR Card* mampu menyajikan pengalaman belajar yang profesional sekaligus menyenangkan.

5. Usability

Usability atau kegunaan adalah bagaimana performa dan efisiensi UI. Bagaimana UI dapat digunakan dengan mudah, efisien, dan bebas error. UI yang rumit akan meningkatkan beban kognitif pengguna. Menurut Graser et al. (2024), *usability* dalam AR diukur melalui kecepatan menyelesaikan tugas, jumlah error, dan tingkat kepuasan pengguna.

Penelitian Chen dan Chan (2019) menemukan bahwa anak-anak lebih cepat memahami aplikasi AR dengan antarmuka sederhana dan ikon besar dibandingkan dengan UI kompleks. Prinsip *less is more* sangat relevan dalam desain AR untuk pendidikan. Dengan *usability* yang baik, pengguna dapat lebih fokus pada materi daripada beradaptasi dengan sistem.

2.1.5.2 User Experience (UX)

User Experience (UX) mencakup seluruh pengalaman pengguna saat menggunakan AR, mulai dari kenyamanan, kepuasan emosional, hingga efektivitas dalam belajar. UX tidak hanya bergantung pada tampilan UI, tetapi juga pada respons sistem, kualitas interaksi, serta keterlibatan emosional. Menurut Dirin dan Laine (2018), UX yang baik dalam AR ditandai dengan pengalaman menyenangkan, minim gangguan, serta memicu motivasi untuk terus menggunakan aplikasi.

1. Emotional Response

AR mampu memicu respons emosional seperti rasa kagum, penasaran, atau senang. Faktor ini penting karena emosi positif memperkuat motivasi belajar. Dirin dan Laine (2018) menyebut bahwa AR mobile sering kali meningkatkan keterlibatan emosional karena pengalaman imersif yang diberikan.

Jika desain UX gagal memicu emosi positif, pengguna akan cepat bosan. Oleh karena itu, penting untuk menambahkan

animasi menarik, suara relevan, dan visual interaktif agar pengalaman terasa hidup. Penelitian Han et al. (2015) menunjukkan bahwa anak-anak lebih antusias saat belajar menggunakan AR dibandingkan metode tradisional.

2. Engagement dan Motivasi

Engagement mengacu pada seberapa dalam pengguna terlibat dalam interaksi. UX AR yang baik membuat pengguna tidak sekadar melihat, tetapi aktif mengeksplorasi. Graser et al. (2024) menegaskan bahwa keterlibatan meningkat jika aplikasi memberikan umpan balik cepat dan alur interaksi jelas.

Motivasi belajar juga meningkat karena pengalaman belajar terasa seperti bermain. Menurut Kaur, Mantri, dan Horan (2020), penggunaan AR di kelas teknik terbukti meningkatkan motivasi mahasiswa untuk mempelajari materi kompleks. Dengan engagement tinggi, AR menjadi media efektif untuk pembelajaran jangka panjang.

3. Efisiensi dan Keandalan

Efisiensi UX AR diukur dari kecepatan dan akurasi sistem dalam merespons input pengguna. Aplikasi yang lambat akan menurunkan kepuasan, meskipun tampilan UI menarik. Graser et al. (2024) menyatakan bahwa keandalan sistem adalah faktor kunci dalam menjaga UX positif.

Penelitian *Exploring User Interfaces and User Satisfaction in AR* (2021) menunjukkan bahwa interface yang stabil menghasilkan tingkat error lebih rendah dan meningkatkan kepuasan keseluruhan. Oleh karena itu, AR untuk pendidikan harus dirancang ringan agar bisa berjalan di berbagai perangkat tanpa lag.

4. Pengguna

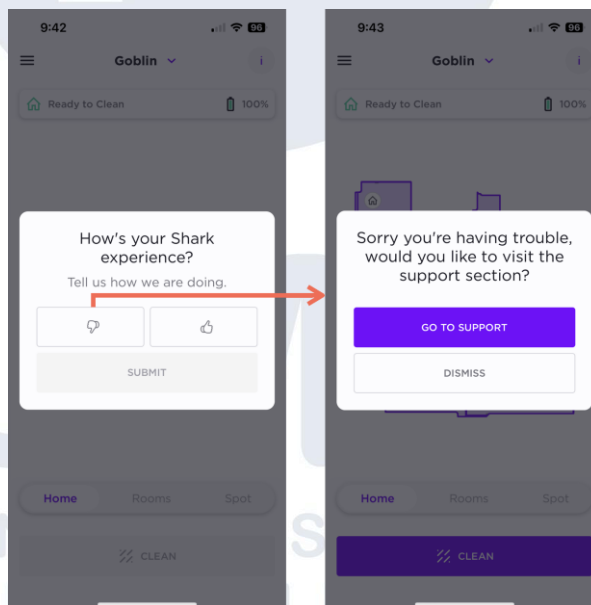
UX juga harus memperhatikan konteks target pengguna. Anak-anak membutuhkan desain sederhana, ikon besar, warna cerah, dan interaksi mudah. Hapsari dkk. (2024) menekankan

pentingnya pendekatan *User Centered Design* untuk menyesuaikan aplikasi dengan kebutuhan pengguna.

Sebaliknya, untuk pengguna dewasa, UX dapat dirancang lebih kompleks dengan opsi navigasi tambahan. Dengan mempertimbangkan karakteristik pengguna, aplikasi AR dapat memberikan pengalaman yang relevan dan mudah diakses bagi semua kalangan.

5. *Feedback*

Feedback adalah elemen penting dalam UX karena memberi tahu pengguna apakah tindakannya berhasil. *Feedback* dapat berupa suara, animasi, atau notifikasi visual. Menurut Jesionkowska dan Wild (2020), AR yang minim *feedback* sering dianggap tidak profesional.



Gambar 2.10 *Feedback* pengguna

Sumber: <https://media.nngroup.com/media/...>

Kepuasan keseluruhan dipengaruhi oleh kombinasi estetika, keandalan, dan kemudahan penggunaan. Jika semua faktor terpenuhi, pengguna akan merasa puas dan cenderung menggunakan aplikasi secara berulang. Hal ini penting untuk

memastikan AR tidak hanya digunakan sesaat tetapi juga berkelanjutan dalam jangka yang diinginkan.

Interaktivitas dalam AR bergantung pada kualitas UI dan UX yang dirancang. UI menyediakan sarana visual dan teknis bagi pengguna untuk berinteraksi melalui *marker*, *layout*, navigasi, estetika, dan *usability*. Sementara UX menentukan bagaimana pengguna merasakan pengalaman tersebut melalui emosi, engagement, efisiensi, konteks, serta feedback. Penelitian menunjukkan bahwa UI/UX yang baik mampu meningkatkan motivasi belajar, memudahkan pemahaman konsep abstrak, dan menciptakan pengalaman belajar yang bermakna. Dengan demikian, interaktivitas berbasis UI dan UX yang dirancang secara tepat menjadi kunci keberhasilan implementasi AR dalam pendidikan, termasuk pada media kartu hewan beracun dan berbisa.

2.2 Kartu Bergambar

Kartu bergambar merupakan media visual edukatif yang menggabungkan ilustrasi, teks, warna, serta tata letak dalam satu desain. Media ini banyak dipakai dalam pendidikan anak usia dini karena sesuai dengan cara belajar anak yang lebih mengandalkan indera penglihatan. Dengan bentuknya yang sederhana, kartu bergambar memudahkan siswa mengenali objek atau konsep abstrak. Musdalifah et al. (2021, h. 37) menegaskan bahwa media visual ini efektif untuk membantu anak memahami informasi melalui asosiasi gambar dan kata. Sahrul et al. (2024, h. 2) juga menemukan bahwa kartu bergambar mempermudah proses pembelajaran karena konkret. Selain itu, kartu bergambar juga memiliki unsur bermain yang membuat anak lebih termotivasi, sebagaimana dinyatakan oleh Prabowo et al. (2023, h. 7150). Ketika dipadukan dengan teknologi AR, kartu bergambar berfungsi ganda sebagai media cetak sekaligus pemicu konten digital (Maharani, Agung, & Tirtayani, 2022).

2.2.1 Ilustrasi

Ilustrasi adalah unsur penting dalam kartu bergambar yang digunakan untuk menyampaikan informasi secara visual. Menurut Dwiputra

dan Aryani (2021, h.2), ilustrasi berfungsi memudahkan penyampaian pesan sehingga lebih cepat dipahami, terutama oleh anak-anak yang mengandalkan persepsi visual. Dalam konteks kartu *augmented reality*, ilustrasi tidak hanya menampilkan representasi visual, tetapi juga menjadi penanda yang dapat dipindai perangkat digital. Karena itu, akurasi bentuk dan kesesuaian gaya ilustrasi dengan perkembangan anak perlu diperhatikan agar kartu bergambar tidak hanya berfungsi sebagai media cetak, tetapi juga sebagai pemicu interaktif digital (Maharani, Agung, & Tirtayani, 2022).

2.2.1.1 Jenis Ilustrasi

Evelyn Ghozalli (2020, h.9) menyebutkan bahwa ilustrasi dapat dikembangkan dalam beberapa corak yang berbeda, masing-masing dengan fungsi edukatif dan estetika yang unik. Pemilihan jenis ilustrasi tidak hanya terkait selera seni, tetapi juga strategi pedagogis. Pada kartu bertema hewan beracun dan berbisa, jenis ilustrasi yang digunakan harus mampu menyeimbangkan akurasi biologis dengan daya tarik visual agar anak dapat belajar sekaligus merasa nyaman. Variasi gaya ilustrasi juga memungkinkan perancang memilih pendekatan yang sesuai dengan tujuan pembelajaran.

1. Ilustrasi Realistis

Ilustrasi dengan corak realistis merupakan jenis penggambaran yang berfokus pada detail agar mendekati tampilan objek aslinya. Dalam prosesnya, seniman menyesuaikan anatomi, proporsi, serta perspektif secara cermat sehingga bentuk yang dihasilkan terlihat nyata. Dengan demikian, ilustrasi realistis mampu memberikan kesan alami dan akurat, seolah-olah penonton melihat langsung objek yang digambarkan. Jenis ini membantu anak mengenali detail penting, misalnya warna kulit katak beracun atau bentuk taring ular berbisa, sehingga fungsi edukatif lebih maksimal (Ghozalli, 2020, h.9).



Gambar 2.11 Ilustrasi Realistis

Sumber: <https://img.freepik.com/premium-vector/hand-drawn...>

Ilustrasi realistis umumnya diterapkan pada media edukasi yang menuntut ketepatan visual, seperti buku sains anak, ensiklopedia, kartu edukatif, dan media pembelajaran berbasis teknologi. Pendekatan ini berfungsi membantu anak membangun pemahaman visual yang akurat terhadap objek nyata, sehingga anak dapat mengenali ciri-ciri penting secara langsung. Dalam konteks pembelajaran hewan beracun dan berbisa, ilustrasi realistis berperan sebagai referensi visual yang mendekati kondisi asli di alam, sehingga meminimalkan kesalahan persepsi saat anak menemui hewan tersebut di lingkungan nyata.

2. Ilustrasi Dekoratif

Ilustrasi dekoratif menyajikan objek dengan pola bergaya, namun tetap mempertahankan karakter utamanya. Corak ini berguna untuk menjaga keseimbangan antara akurasi dan estetika sehingga tampilan lebih ramah (Ghozalli, 2020, h.9).



Gambar 2.12 Ilustrasi Dekoratif

Sumber: <https://media.istockphoto.com/id/1212418323/id/vektor/...>

Ilustrasi dekoratif banyak digunakan pada media anak seperti buku cerita bergambar, permainan edukatif, kemasan produk anak, dan media pembelajaran interaktif. Fungsi utama gaya ini adalah memperindah tampilan visual tanpa menghilangkan identitas objek yang ditampilkan. Dengan pendekatan dekoratif, ilustrasi menjadi lebih ramah, menyenangkan, dan mudah diterima oleh anak, sehingga mampu menarik perhatian sekaligus menjaga fokus belajar dalam durasi yang lebih lama.

3. Ilustrasi Karikaturis

Ilustrasi karikaturis menonjolkan fitur tertentu secara berlebihan. Pendekatan ini efektif untuk menekankan tanda bahaya, seperti bentuk sengat kalajengking yang diperbesar agar mudah diingat (Ghozalli, 2020, h.9).



Gambar 2.13 Ilustrasi Karikaturis
Sumber: <https://img.freepik.com/vektor-gratis/ilustrasi...>

Ilustrasi karikaturis umumnya diterapkan pada media yang bertujuan menekankan pesan tertentu secara cepat dan mudah diingat, seperti poster edukasi, rambu visual, atau materi kampanye keselamatan. Fungsi utama gaya ini adalah memperbesar atau menonjolkan bagian tertentu dari objek agar pesan utama tersampaikan jelas. Dalam media edukasi anak, pendekatan karikaturis efektif digunakan untuk menekankan ciri bahaya, sehingga anak dapat mengingat tanda visual penting tanpa harus memahami detail anatomi secara kompleks.

4. Ilustrasi Ekspresionis

Ilustrasi ekspresionis menekankan interpretasi emosional ilustrator. Jenis ini lebih menyoroti suasana yang ingin ditampilkan, misalnya nuansa bahaya pada warna tajam atau bentuk dinamis (Ghozalli, 2020, h.9).



Gambar 2.14 Ilustrasi Ekspresionis
Sumber: <https://img.freepik.com/vektor-premium/ular-berwarna...>

Ilustrasi ekspresionis sering digunakan pada media visual yang menekankan suasana dan emosi, seperti ilustrasi naratif, poster, atau konten visual yang bertujuan membangun kesan tertentu. Fungsi gaya ini adalah menyampaikan pesan emosional melalui warna, bentuk, dan komposisi yang dinamis. Dalam konteks edukasi, ilustrasi ekspresionis dapat digunakan untuk membangun atmosfer peringatan atau kewaspadaan, sehingga anak mampu menangkap pesan bahaya secara emosional tanpa perlu penjelasan teks yang panjang.

Menurut penjelasan Evelyn Ghozalli (2020), ilustrasi dapat dibedakan ke dalam empat corak utama. Corak realistis berupaya menampilkan anatomi dan proporsi objek yang mendekati bentuk aslinya. Corak dekoratif mengolah pola serta bentuk objek menjadi lebih bergaya, namun tetap mempertahankan ciri pokoknya. Corak karikaturis menonjolkan aspek tertentu secara berlebihan untuk menghasilkan kesan khusus. Sementara itu, corak ekspresionis menghadirkan bentuk yang tidak sepenuhnya sesuai realitas, tetapi masih dapat dikenali sebagai representasi objek. Variasi corak tersebut memperlihatkan bahwa ilustrasi memiliki fleksibilitas tinggi dalam menyampaikan pesan serta dapat disesuaikan dengan tujuan komunikasi visual yang berbeda.

2.2.1.2 Fungsi Ilustrasi dalam Kartu AR

Ilustrasi dalam kartu *augmented reality* tidak hanya berfungsi sebagai media representasi visual, tetapi juga memainkan peran teknis dan emosional. Dari perspektif edukatif, ilustrasi membantu anak memahami ciri hewan beracun dan berbisa melalui penekanan visual pada karakteristik utama. Garina et al. (2023, h.6) menjelaskan bahwa visual yang jelas dapat meningkatkan keterlibatan anak dalam proses belajar. Dari sisi teknis, ilustrasi harus berfungsi sebagai marker yang mudah dipindai kamera, sehingga desain garis, kontras warna, dan keseimbangan bentuk sangat berpengaruh pada keberhasilan pemindaian (Maharani et al., 2022). Dari aspek emosional, Cianci (2023, h.286) menegaskan bahwa bentuk membulat lebih ramah dibandingkan bentuk runcing yang diasosiasikan dengan bahaya. Dengan demikian, fungsi ilustrasi dalam kartu AR mencakup tiga dimensi utama: kognitif, teknis, dan emosional.

Ilustrasi memiliki peran sentral dalam desain kartu bergambar. Dengan variasi jenis seperti realistis, dekoratif, karikaturis, dan ekspresionis, perancang dapat memilih gaya yang paling sesuai dengan tujuan pembelajaran. Dalam kartu AR, ilustrasi bukan hanya representasi visual, tetapi juga marker teknis dan media pengendali emosi anak. Kombinasi fungsi ini menjadikan ilustrasi fondasi penting dalam keberhasilan media pembelajaran visual berbasis teknologi (Dwiputra & Aryani, 2021, h.2; Ghozalli, 2020, h.9).

2.2.2 Warna

Warna adalah salah satu elemen desain yang paling berpengaruh terhadap persepsi visual dan emosi anak. Cianci (2023, h.282) menjelaskan bahwa warna memiliki tiga atribut utama, yaitu *hue* atau rona, *saturation* atau kejenuhan, serta *lightness* atau kecerahan. Dalam pembelajaran anak usia dini, warna cerah berperan besar dalam menarik perhatian dan membantu proses pengkategorian objek (Pancare, 2022). Lebih jauh, Tarkett (n.d., h.65) menegaskan bahwa warna hangat mampu mempertahankan fokus anak dalam

kegiatan belajar. Oleh sebab itu, pemilihan warna pada kartu bergambar harus dirancang dengan cermat agar sesuai dengan fungsi edukatif sekaligus mendukung aspek interaktif AR.

2.2.2.1 Jenis Warna

Pembagian warna menjadi primer, sekunder, dan tersier penting dipahami agar desainer dapat memilih palet yang sesuai dengan audiens anak. Warna primer, yakni merah, biru, dan kuning, adalah dasar dari semua warna dan paling mudah dikenali. Warna sekunder seperti hijau, ungu, dan oranye muncul dari campuran dua warna primer. Sementara itu, warna tersier adalah hasil pencampuran antara warna primer dengan sekunder. Cianci (2023, h.282) menekankan bahwa pemanfaatan ketiga jenis warna ini harus disesuaikan dengan tujuan visualisasi. Untuk kartu bergambar anak, warna primer dan sekunder lebih disarankan karena lebih sederhana dan mudah diingat, sedangkan warna tersier digunakan terbatas agar tidak mengganggu keterbacaan *marker* AR.

2.2.2.2 Fungsi Psikologis Warna

Warna memiliki kekuatan psikologis yang dapat memengaruhi konsentrasi dan suasana hati. Cianci (2023, h.283) menjelaskan bahwa warna hangat seperti merah, kuning, dan oranye membangkitkan energi dan mampu menarik perhatian anak. Sebaliknya, warna dingin seperti biru dan hijau menciptakan suasana tenang, yang bermanfaat untuk menjaga kestabilan emosi. Warna netral seperti putih, hitam, dan abu-abu memberikan keseimbangan serta membantu menegaskan elemen utama dalam desain. Tarkett (n.d., h.65) menemukan bahwa penggunaan warna hangat yang cerah mampu meningkatkan fokus anak saat belajar. Fungsi psikologis ini menunjukkan bahwa pemilihan warna bukan hanya masalah estetika, melainkan juga strategi pedagogis untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran.

2.2.2.3 Asosiasi Emosi Warna

Asosiasi emosi warna memberi makna tambahan dalam pengalaman belajar anak. Cianci (2023, h.283–286) menyebutkan bahwa merah sering dikaitkan dengan energi dan bahaya, kuning dengan kebahagiaan, biru dengan kepercayaan dan kedamaian, ungu dengan imajinasi, oranye dengan optimisme, hijau dengan ketenangan, merah muda dengan kelembutan, emas dengan kemewahan, coklat dengan kesederhanaan, putih dengan kesucian, hitam dengan kekuatan, dan abu-abu dengan kedewasaan. Pemahaman ini membantu perancang menyesuaikan warna dengan pesan yang ingin disampaikan. Misalnya, bingkai merah dapat menandakan hewan berbahaya, sementara latar hijau memberi kesan edukatif. Dengan asosiasi emosional, warna menjadi sarana pedagogis yang memperkuat daya ingat anak.

Warna dalam kartu bergambar adalah media komunikasi visual yang melampaui fungsi estetika (Cianci, 2023). Dengan memahami jenis, fungsi psikologis, dan asosiasi emosional warna, desainer dapat menciptakan media yang menarik sekaligus efektif mendukung pembelajaran. Dalam kartu AR, pemilihan warna juga harus mempertimbangkan keterbacaan marker agar teknologi bekerja dengan stabil (Pancare, 2022).

2.2.3 Layout

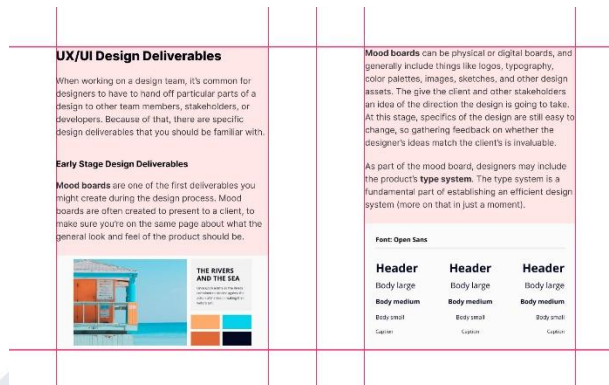
Layout atau tata letak adalah susunan elemen visual yang menentukan alur pandangan dan kenyamanan membaca. Kusumowardhani dan Maharani (2022, h. 249) menyatakan bahwa tata letak yang baik memadukan keterbacaan dan estetika sehingga informasi dapat tersampaikan secara efektif. *Layout* juga penting dalam kartu AR karena posisi *marker* harus ditempatkan secara strategis agar konten digital dapat terpicu tanpa mengganggu ilustrasi utama. Dengan demikian, tata letak berfungsi sebagai penghubung antara fungsi estetis dan teknis dalam desain kartu bergambar.

2.2.3.1 Jenis *Grid* dalam *Layout*

Penggunaan sistem *grid* adalah langkah fundamental untuk menciptakan tata letak yang konsisten dan mudah dibaca pada kartu bergambar. Desainer memilih tipe *grid* berdasarkan tujuan komunikasi dan karakter konten sehingga setiap elemen visual memperoleh tempat yang jelas dalam hierarki informasi. Grid dalam layout diklasifikasikan menjadi empat tipe utama yang relevan yaitu *manuscript grid*, *column grid*, *modular grid*, dan *hierarchical grid* (Designlab, 2022). Berikut uraian jenis *grid*:

1. *Manuscript Grid*

Manuscript grid adalah struktur satu kolom dominan yang dirancang untuk menonjolkan satu konten utama seperti ilustrasi penuh muka. Pada kartu bergambar edukasi yang berfokus pada pengenalan objek visual, sistem ini memungkinkan ilustrasi menjadi pusat perhatian sehingga anak langsung tertuju pada gambar. Kesederhanaan tata letak menjadikan teks pendukung dapat ditempatkan di area bawah atau atas tanpa mengganggu gambar utama. Dalam praktik konstruksi, *manuscript grid* membutuhkan margin luas di sekeliling gambar untuk memberi ruang aman dan mencegah pemotongan saat cetak. Pada kartu AR, area ini juga berfungsi sebagai buffer agar marker tidak tertutup elemen dekoratif. Label singkat atau ikon interaktif sebaiknya ditempatkan pada strip horizontal yang konsisten antar seri, sementara kontras tinggi antara teks dan latar memastikan keterbacaan walau ilustrasi ditampilkan penuh (Kusumowardhani & Maharani, 2022, h. 249).



Gambar 2.15 *Manuscript Grid*
Sumber: <https://img.uxcel.com/cdn-cgi/image/...>

2. *Column Grid*

Column grid membagi bidang menjadi beberapa kolom vertikal yang memfasilitasi penempatan gambar dan teks secara berdampingan. Sistem ini berguna untuk kartu yang memerlukan informasi sebaris, seperti gambar di kiri dan deskripsi di kanan atau versi bilingual. Jumlah kolom harus disesuaikan dengan ukuran media seperti pada kartu kecil maksimal dua kolom agar teks tetap terbaca.



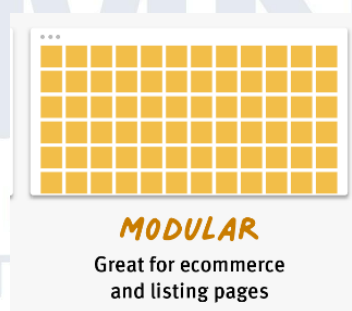
Gambar 2.16 *Column Grid*
Sumber: <https://media.nngroup.com/media/...>

Dalam penerapan AR, gutter atau jarak antar kolom perlu diperhatikan agar tidak menimbulkan garis pemisah yang mengganggu kamera ketika memindai *marker*. Kolom ilustrasi juga harus memberi ruang cukup untuk *overlay* digital sehingga

animasi tidak menutupi label penting. Penggunaan *baseline grid* untuk menyelaraskan teks antar kolom membantu anak mengikuti bacaan lebih mudah (Designlab, 2022, h. 5).

3. *Modular Grid*

Modular grid membagi bidang menjadi unit kotak modular yang fleksibel untuk menempatkan elemen seperti gambar, ikon, teks pendek, dan indikator interaktif. Sistem ini ideal untuk seri kartu yang membutuhkan tata letak konsisten tetapi bervariasi, misalnya kartu berisi ilustrasi, fakta singkat, ikon habitat, dan tingkat bahaya. Kelebihan modular terletak pada presisi hubungan antar elemen yang tetap terjaga meskipun isi berbeda. Dalam penerapan teknis, modul harus disusun dengan unit dasar berulang sehingga ikon dan tombol audio dapat ditempatkan secara konsisten. Pada kartu AR, modul tertentu dapat disisakan sebagai zona interaksi digital agar animasi tidak menimpa ilustrasi utama. Pengujian prototipe dengan perangkat nyata memastikan modul tetap terbaca ketika diperbesar atau ketika *overlay* virtual ditampilkan (Kusumowardhani & Maharani, 2022, h. 250).



Gambar 2.17 *Modular Grid*
Sumber: <https://media.nngroup.com/media/...>

4. *Hierarchical Grid*

Hierarchical grid bersifat adaptif dengan mengikuti kebutuhan konten tanpa pola kolom atau modul yang kaku.

Sistem ini cocok untuk kartu dengan variasi informasi berbeda yang membutuhkan fleksibilitas. Hierarki visual ditentukan oleh ukuran, kontras, dan posisi elemen sehingga mata pembaca diarahkan sesuai urutan informasi. Dalam aplikasi AR, sistem ini memungkinkan penempatan marker dan hotspot interaktif secara situasional sambil menjaga titik jangkar visual antar koleksi kartu. Meski fleksibel, aturan dasar seperti margin minimum, area aman *marker*, dan ukuran minimum teks harus ditetapkan agar keterbacaan tidak terganggu. Uji coba dengan pengguna nyata sangat penting untuk memastikan variasi tata letak tetap intuitif dan pemindaian AR berjalan optimal (Designlab, 2022, h.6).



Gambar 2.18 *Hierarchical Grid*
Sumber: <https://media.nngroup.com/media/...>

2.2.3.2 Prinsip *Layout*

Prinsip tata letak merupakan aturan dasar yang digunakan untuk menciptakan komunikasi visual yang teratur, seimbang, dan mudah dipahami. Kusumowardhani dan Maharani (2022, h.249) menjelaskan bahwa prinsip ini diperlukan agar desain media cetak maupun digital tidak hanya menarik secara estetis, tetapi juga efektif dalam menyampaikan informasi. Salah satu prinsip penting adalah *proximity*, yaitu kedekatan visual antar elemen yang menandakan adanya keterkaitan. Dengan menempatkan gambar hewan dan teks penjelasan dalam jarak dekat, anak-anak dapat lebih mudah memahami hubungan keduanya. Prinsip berikutnya adalah *alignment*, yang menekankan keselarasan posisi antar elemen. *Alignment* menciptakan keteraturan visual sehingga mata pengguna lebih mudah mengikuti alur informasi.

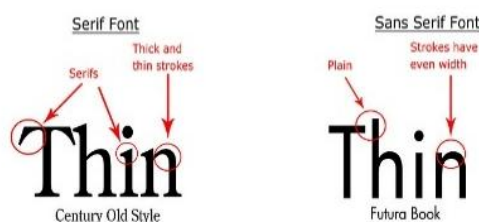
Prinsip lain yang penting adalah penggunaan *white space* atau ruang kosong. Menurut Kusumowardhani dan Maharani (2022, h.249), ruang kosong tidak boleh dianggap sebagai area terbuang, melainkan berfungsi memberi “napas” pada desain agar tidak terasa sesak. *White space* membantu memfokuskan perhatian pada ilustrasi utama dan teks kunci, terutama dalam kartu bergambar yang ditujukan untuk anak usia dini. Selain itu, hierarki visual menjadi fondasi penting dalam menyusun informasi. Elemen yang lebih penting harus dibuat menonjol dengan ukuran lebih besar, warna kontras, atau posisi strategis. Dalam kartu AR, hierarki ini memastikan anak lebih dahulu memperhatikan ilustrasi utama sebelum beralih pada informasi pendukung.

Dalam konteks *augmented reality*, penerapan prinsip layout memiliki fungsi tambahan. Marker yang menjadi pemicu konten digital harus ditempatkan di area yang tidak terganggu oleh kepadatan elemen lain. Jika marker diletakkan terlalu dekat dengan teks atau ikon, kamera perangkat dapat mengalami kesulitan mengenalinya, yang berakibat pada kegagalan pemindaian. Oleh karena itu, prinsip layout tidak hanya berfungsi untuk menjaga kejelasan komunikasi visual, tetapi juga untuk menjamin stabilitas interaksi digital. Dengan memperhatikan kedekatan, keselarasan, ruang kosong, dan hierarki visual, kartu AR dapat berfungsi secara optimal baik sebagai media cetak maupun pemicu interaktif (Kusumowardhani & Maharani, 2022, h.249).

2.2.4 Tipografi

Tipografi merupakan salah satu aspek penting dalam desain grafis yang mempelajari bentuk huruf dan penggunaannya dalam media visual, dengan tujuan agar teks dapat disesuaikan dengan target audiens serta fungsi komunikasi yang ingin dicapai (Mirza, 2022, h. 72). Dalam praktik desain, tipografi diklasifikasikan ke dalam beberapa kelompok utama, yaitu *serif*, *sans serif*, *script*, dan dekoratif, yang masing-masing memiliki ciri khas serta kegunaan yang berbeda (Zainudin, 2021, h. 34–39).

Huruf *serif* merupakan jenis tipografi yang ditandai dengan adanya ornamen kecil atau “kaki” pada ujung tiap hurufnya. Karakteristik ini memberikan kesan formal, klasik, dan elegan sehingga sering digunakan pada media cetak seperti buku, surat kabar, dan dokumen resmi. Berdasarkan bentuk dan perkembangan sejarahnya, huruf serif terbagi ke dalam beberapa kategori, yaitu *old style*, *transitional serif*, dan *modern serif*, yang masing-masing memiliki perbedaan pada kontras garis dan bentuk kaki huruf. Meskipun memiliki nilai estetika tinggi, penggunaan *serif* pada media digital atau untuk anak-anak perlu dipertimbangkan karena detail ornamen dapat mengurangi tingkat keterbacaan pada ukuran huruf kecil (Zainudin, 2021, h. 38).



Gambar 2. 19 Huruf *Serif & Sans Serif*
 Sumber: <https://agentestudio.com/uploads/ckeditor/...>

Huruf *sans serif* merupakan jenis tipografi yang tidak memiliki kaki pada ujung huruf, sehingga tampil lebih sederhana, bersih, dan modern. Karakter ini membuat sans serif memiliki tingkat keterbacaan yang lebih tinggi, terutama pada layar digital dan media interaktif. Oleh karena itu, jenis huruf ini banyak digunakan pada *interface* aplikasi, media digital, serta materi pembelajaran untuk anak. Contoh huruf *sans serif* yang umum digunakan antara lain *Helvetica*, *Futura*, dan *Gill Sans*. Kesederhanaan bentuk *sans serif* membantu teks terbaca dengan lebih mudah dan cepat, sehingga mendukung proses pemahaman informasi secara efektif (Zainudin, 2021, h. 38).

Selain itu, terdapat huruf *script* yang terinspirasi dari tulisan tangan. Karakter *script* dapat bersifat formal, dengan bentuk yang rapi dan dinamis,

maupun informal, yang lebih menyerupai tulisan *cursive* dan kasual. Beberapa font yang termasuk dalam kategori ini adalah *Brush Script*, *Kaufmann*, dan *Mistral*. Sementara itu, huruf dekoratif memiliki gaya visual yang unik dan bervariasi, sehingga mudah dikenali dan digunakan terutama pada iklan atau desain produk yang bertujuan menarik perhatian. Contoh font dekoratif adalah *Jokerman*, *Papyrus*, dan *Showcard Gothic* (Zainudin, 2021, h. 39).

Dalam konteks desain untuk anak-anak, pemilihan tipografi memerlukan pertimbangan khusus. Setiautami (2021, h. 72) menekankan bahwa aspek keterbacaan (*legibility*) harus menjadi prioritas utama, dengan penggunaan huruf sederhana yang tetap memiliki karakter ramah dan menarik. Anak-anak cenderung menyukai bentuk huruf yang tidak kaku, dekoratif namun tetap mudah dibaca, serta kontras yang jelas antara judul dan isi teks. Imtiyaz et al. (2023, h. 333) juga menambahkan bahwa tipografi untuk anak akan lebih efektif apabila disertai dengan hierarki visual yang jelas dan elemen tambahan seperti ilustrasi atau warna yang mendukung keterlibatan mereka dalam membaca.

Berdasarkan teori-teori tersebut, dapat disimpulkan bahwa tipografi bukan hanya sekadar pemilihan jenis huruf, melainkan juga bagian dari strategi komunikasi visual yang memperhatikan fungsi, konteks, dan target audiens. Huruf *serif* lebih sesuai untuk nuansa formal, sans *serif* lebih cocok untuk digital dan keterbacaan tinggi, *script* memberikan nuansa personal atau artistik, sementara dekoratif digunakan untuk menarik perhatian secara visual. Dalam perancangan media untuk anak-anak, tipografi harus mengutamakan kesederhanaan, keterbacaan, serta daya tarik visual agar mampu mendukung proses belajar secara efektif.

2.3 Hewan Beracun dan Berbisa

Hewan beracun (*poisonous animals*) dan hewan berbisa (*venomous animals*) merupakan dua kategori organisme yang sama-sama menghasilkan senyawa toksik, tetapi berbeda dalam mekanisme pelepasan dan cara racun masuk ke tubuh mangsanya. Memahami perbedaan ini sangat penting, terutama dalam konteks pendidikan anak, karena memberikan wawasan dasar tentang

keanekaragaman hayati sekaligus kesadaran akan bahaya yang dapat ditimbulkan. Pengetahuan mengenai kedua jenis hewan ini juga membantu anak-anak mengenali dan menghindari risiko lingkungan, sambil menumbuhkan apresiasi terhadap fungsi ekologis racun dalam sistem alam (Oliveira et al., 2023, h. 76).

2.3.1 Konsep Dasar Hewan Beracun dan Berbisa

Hewan beracun dan berbisa merupakan bagian dari kelompok organisme yang menghasilkan senyawa toksik sebagai strategi bertahan hidup. Racun tersebut dapat berfungsi untuk melindungi diri dari predator maupun untuk mendapatkan mangsa. Menurut Oliveira et al. (2023, h. 76), sistem racun pada hewan berkembang melalui proses evolusi yang kompleks, menghasilkan beragam molekul bioaktif dengan target yang sangat spesifik pada sistem tubuh korban, seperti saraf, darah, atau jaringan sel. Keberadaan racun ini tidak hanya penting dari sisi ekologi, tetapi juga memiliki nilai biomedis karena banyak senyawa toksik yang kemudian dikembangkan menjadi obat-obatan modern.

Perbedaan utama antara hewan beracun dan berbisa terletak pada cara racun ditransfer ke organisme lain. Hewan beracun menyimpan toksin dalam jaringan tubuhnya, sehingga racun berpindah ketika disentuh atau dimakan. Sebaliknya, hewan berbisa memiliki organ atau alat khusus untuk menyuntikkan racun, seperti taring pada ular atau sengat pada kalajengking. Nagy et al. (2024, h. 2) menekankan bahwa pemahaman tentang perbedaan ini penting tidak hanya untuk aspek biologi, tetapi juga untuk edukasi dan kesehatan masyarakat, khususnya dalam upaya pencegahan kasus keracunan maupun envenomasi.

2.3.1.1 Definisi Hewan Beracun

Hewan beracun adalah organisme yang mengandung senyawa kimia berbahaya dalam jaringan tubuhnya, yang berpindah ke tubuh organisme lain melalui kontak pasif, konsumsi, atau sentuhan. Menurut Jared et al. (2021), racun pada hewan beracun biasanya dikeluarkan melalui kulit atau membran mukosa, tanpa adanya mekanisme injeksi aktif. Contoh hewan beracun dapat ditemukan pada katak beracun (*poison dart frogs*) yang mengeluarkan batrachotoxin pada kulitnya, atau

ikan buntal (*pufferfish*) yang mengandung tetrodotoxin dalam organ dalamnya (Oliveira et al., 2023, h. 77). Di Eropa, hewan beracun yang sering menimbulkan kasus keracunan pada hewan peliharaan adalah *Salamandra salamandra* (fire salamander), yang menghasilkan senyawa samandarine dengan efek neurotoksik (Nagy et al., 2024, h. 3).

2.3.1.2 Definisi Hewan Berbisa

Hewan berbisa adalah hewan yang secara aktif menyuntikkan racunnya ke tubuh mangsa atau predator melalui alat khusus, seperti taring, sengat, atau duri. Racun yang dihasilkan umumnya merupakan campuran kompleks dari protein dan peptida dengan aktivitas biologis yang sangat bervariasi (Utkin, 2015, h. 28). Hewan berbisa menggunakan racun tidak hanya untuk bertahan diri tetapi juga untuk melumpuhkan mangsa. Contoh umum adalah ular berbisa (*Bothrops jararaca*), kalajengking, laba-laba, serta organisme laut seperti kerang kerucut (*cone snails*) dan ubur-ubur (Oliveira et al., 2023, h. 76–77). Racun pada hewan berbisa diketahui dapat terdiri dari ratusan komponen berbeda, yang menimbulkan efek fisiologis mulai dari hemotoksik, neurotoksik, hingga sitotoksik (Utkin, 2015, h. 29). Mekanisme injeksi racun ini menjadi pembeda utama dengan hewan beracun.

2.3.1.3 Perbedaan Hewan Beracun & Berbisa

Secara biologis, perbedaan utama antara hewan beracun dan berbisa terletak pada cara transfer racun. Hewan beracun bersifat pasif, racunnya berpindah saat disentuh atau dimakan; sedangkan hewan berbisa bersifat aktif, menyuntikkan racun melalui alat khusus (Oliveira et al., 2023, h. 77). Dari segi fisiologi, racun pada hewan berbisa biasanya lebih kompleks dan terdiri dari berbagai molekul bioaktif dengan target spesifik pada sistem tubuh korban, sementara racun pada hewan beracun umumnya bersifat pertahanan diri (Nagy et al., 2024, h. 2).

Tabel 2.1 Perbedaan Hewan Beracun & Berbisa

Aspek	Hewan Beracun	Hewan Berbisa
Mekanisme	Racun masuk secara pasif melalui sentuhan atau konsumsi	Racun masuk secara aktif melalui gigitan, sengatan, atau suntikan
Alat Injeksi	Tidak memiliki alat khusus	Memiliki taring, sengat, atau duri
Fungsi Utama	Pertahanan diri terhadap predator	Pertahanan diri sekaligus melumpuhkan mangsa

Dengan demikian, perbedaan antara hewan beracun dan berbisa tidak hanya terletak pada mekanisme transfer racunnya, tetapi juga pada fungsi biologis serta keberadaan alat khusus untuk menyuntikkan racun. Hewan beracun lebih mengandalkan racunnya sebagai strategi pertahanan diri pasif agar tidak dimakan predator, sedangkan hewan berbisa memiliki sistem yang lebih kompleks karena racunnya dapat digunakan baik untuk melindungi diri maupun melumpuhkan mangsa secara aktif. Perbedaan ini menunjukkan adanya variasi adaptasi evolusioner yang berbeda-beda pada masing-masing kelompok hewan.

2.3.2 Klasifikasi Hewan Berbisa di Indonesia

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara dengan keanekaragaman hayati terbesar di dunia, termasuk dalam hal fauna berbisa yang memiliki potensi medis dan ekologis yang signifikan. Kondisi geografis kepulauan tropis dengan ekosistem yang beragam, mulai dari hutan hujan, savana, rawa, hingga laut tropis, memungkinkan berkembangnya berbagai spesies hewan berbisa (Utkin, 2015, h. 28), baik dari kelompok reptil, amfibi, invertebrata darat, maupun hewan laut. Setiap kelompok hewan tersebut memiliki jenis racun dan mekanisme pertahanan yang berbeda, mulai dari neurotoksin, hemotoksin, hingga dermatoksin, yang dapat menimbulkan dampak serius terhadap

manusia maupun hewan lain (Oliveira et al., 2023, h. 76). Untuk memahami potensi ancaman serta peran ekologisnya, klasifikasi hewan berbisa di Indonesia perlu diuraikan secara sistematis berdasarkan taksonomi dan habitatnya. Dengan demikian, informasi ini dapat menjadi dasar bagi upaya mitigasi risiko, penelitian farmakologi, dan edukasi masyarakat mengenai bahaya serta manfaat keberadaan hewan-hewan berbisa.

2.3.2.1 Reptil

Reptil merupakan kelompok hewan vertebrata berdarah dingin (ektoterm) yang termasuk dalam kelas *Reptilia*. Secara morfologi, reptil memiliki kulit bersisik yang tersusun atas keratin, bernapas dengan paru-paru, serta berkembang biak secara *ovipar* atau *ovovivipar*. Ciri khas lainnya adalah adanya anggota gerak yang bervariasi, mulai dari lengkap pada kadal, kaki yang termodifikasi pada kura-kura, hingga tidak ada sama sekali pada ular (Oliveira et al., 2023, h. 76). Dalam ekosistem, reptil berperan sebagai predator maupun mangsa, menjaga keseimbangan rantai makanan melalui regulasi populasi hewan kecil seperti amfibi, mamalia kecil, dan invertebrata (Utkin, 2015, h. 28).

Sebagian reptil memiliki kemampuan menghasilkan racun, khususnya pada ordo *Squamata* (ular dan kadal berbisa). Racun pada reptil tersimpan di kelenjar khusus yang berhubungan dengan taring atau gigi yang termodifikasi. Fungsi biologis racun adalah untuk melumpuhkan mangsa dan sebagai mekanisme pertahanan diri. Kandungan utama bisa reptil meliputi neurotoksin, hemotoksin, dan sitotoksin, yang bekerja pada sistem saraf, darah, maupun jaringan tubuh (Nagy et al., 2024, h. 3). Racun ini memiliki keragaman biokimia yang luas, mencerminkan adaptasi evolusioner yang kompleks terhadap lingkungan dan strategi berburu (Oliveira et al., 2023, h. 78).

Di Indonesia, keberadaan reptil berbisa cukup dominan, terutama dari kelompok ular. Jenis yang paling banyak dilaporkan adalah anggota famili *Elapidae* (ular kobra, weling, dan ular laut) serta *Viperidae* (ular tanah, ular hijau). Kedua famili ini memiliki distribusi

luas dan sering menimbulkan kasus gigitan pada manusia. Selain itu, reptil berbisa juga memiliki signifikansi ilmiah, karena komponen racunnya telah banyak diteliti untuk pengembangan obat, antikoagulan, dan analgesik (Utkin, 2015, h. 30; Oliveira et al., 2023, h. 82).

1. Ular *Elapidae*

Famili *Elapidae* mencakup ular-ular berbisa kuat seperti kobra (*Naja sputatrix*), weling (*Bungarus candidus*), dan welang (*Bungarus fasciatus*), yang tersebar luas di wilayah tropis termasuk Indonesia. Ciri morfologis utama *Elapidae* adalah taring berbisa tetap (*proteroglifa*) yang relatif kecil tetapi efektif untuk menyuntikkan racun. Ular kobra dikenal dengan kemampuan mengembangkan leher (*hood*) ketika merasa terancam, sedangkan weling dan welang memiliki pola tubuh belang kontras hitam-putih atau hitam-biru sebagai bentuk aposematisme (Utkin, 2015, h. 29).

Habitat ular *Elapidae* di Indonesia bervariasi, mulai dari persawahan, hutan dataran rendah, hingga area pemukiman. Kobra jawa (*Naja sputatrix*) sering ditemukan di Jawa dan Bali, sementara weling dan welang lebih tersebar di Sumatera, Kalimantan, dan Sulawesi. Faktor lingkungan memengaruhi variasi racun, di mana kondisi geografis dapat menghasilkan perbedaan komposisi toksin intra-spesies (Utkin, 2015, h. 30).



Gambar 2.20 Ular Weling

Sumber: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/...>

Komposisi racun Elapidae umumnya didominasi oleh neurotoksin yang bersifat peptida atau protein kecil. Salah satu komponen paling terkenal adalah α -bungarotoxin, pertama kali diisolasi dari *Bungarus multicinctus*, yang berikatan secara irreversibel dengan reseptor nikotinik asetilkolin di sinaps neuromuskular. Hal ini menghambat transmisi saraf-ke-otot, menimbulkan kelumpuhan progresif, hingga gagal napas (Utkin, 2015, h. 31). Selain itu, racun kobra juga mengandung kardiotoxin dan sitotoksin yang dapat merusak jaringan lokal di sekitar gigitan (Oliveira et al., 2023, h. 78).

Secara klinis, gigitan ular Elapidae menyebabkan gejala neurotoksik seperti ptosis, diplopia, kesulitan menelan, dan akhirnya paralisis otot pernapasan. Penanganan medis utama adalah pemberian antibisa (*antivenom*) spesifik, ventilasi mekanis bila terjadi kegagalan napas, serta perawatan suportif lainnya (Utkin, 2015, h. 32). Oleh karena itu, Elapidae dipandang sebagai kelompok ular dengan risiko medis tinggi di Indonesia.

2. Ular *Viperidae*

Famili *Viperidae* meliputi ular-ular berbisa dengan taring panjang yang dapat dilipat ke belakang (*solenoglyfa*). Di Indonesia, spesies yang sering ditemui adalah ular hijau ekor merah (*Trimeresurus albolabris*) dan ular tanah (*Calloselasma rhodostoma*). Morfologi khas kelompok ini adalah tubuh kekar, kepala segitiga, dan adanya lekuk panas (*pit organ*) di antara mata dan lubang hidung, yang digunakan untuk mendeteksi radiasi infra merah dari mangsa berdarah panas (Utkin, 2015, h. 29).



Gambar 2.21 *Trimeresurus albolabris*
Sumber: <https://assetd.kompas.id/...>

Habitat *Viperidae* biasanya meliputi hutan tropis, perkebunan, dan area dekat pemukiman dengan vegetasi lebat. Ular hijau ekor merah banyak ditemukan di pepohonan atau semak dalam hutan di Jawa dan Sumatera, sedangkan ular tanah cenderung hidup di lantai hutan atau area perkebunan. Faktor ekologis dan geografis juga memengaruhi variasi toksin antarpopulasi, yang menjelaskan mengapa gejala klinis gigitan bisa berbeda antara daerah (Oliveira et al., 2023, h. 80).

Komposisi racun *Viperidae* berbeda signifikan dari *Elapidae*. *Viperidae* menghasilkan enzim proteolitik, hemotoksin, dan metalloproteinase yang menyebabkan kerusakan jaringan lokal, perdarahan, dan koagulopati. Komponen utama seperti *snake venom metalloproteinases* (SVMPs) merusak dinding pembuluh darah, menimbulkan perdarahan masif, dan nekrosis jaringan. Selain itu, terdapat serin protease yang dapat memengaruhi jalur koagulasi, menyebabkan trombosis maupun perdarahan sistemik (Nagy et al., 2024, h. 3).

Secara klinis, gigitan *Viperidae* di Indonesia sering menimbulkan gejala lokal seperti bengkak, nyeri hebat, lepuh, dan nekrosis, serta gejala sistemik berupa perdarahan spontan (epistaksis, hematuria), syok, dan gagal ginjal. Tidak jarang pasien memerlukan tindakan amputasi akibat kerusakan jaringan yang luas. *Antivenom* spesifik tetap menjadi terapi utama, namun

perawatan tambahan seperti transfusi darah, hemodialisis, dan kontrol infeksi juga sangat penting (Utkin, 2015, h. 32).

2.3.2.2 *Artropoda*

Artropoda merupakan filum terbesar dalam kerajaan hewan yang mencakup serangga, *arakhnida*, dan *krustasea*. Kelompok ini ditandai oleh tubuh bersegmen, eksoskeleton dari kitin, serta kaki beruas-ruas yang memberikan kemampuan mobilitas tinggi. Dari perspektif toksikologi, sejumlah artropoda memiliki kemampuan menghasilkan racun yang digunakan untuk berburu mangsa maupun mempertahankan diri dari predator (Oliveira et al., 2023, h. 76).

Beberapa kelompok artropoda berbisa yang penting di Indonesia adalah laba-laba, kalajengking, lipan (*Scolopendra* spp.), serta beberapa spesies serangga seperti semut api (*Solenopsis* spp.) dan ulat berbisa (*Lonomia* spp.). Racun artropoda umumnya terdiri dari campuran protein dan peptida kecil yang bersifat neurotoksik, sitotoksik, atau hemotoksik. Lipan, misalnya, menghasilkan komponen miotoksin dan neurotoksin yang menyebabkan nyeri hebat, edema, dan nekrosis lokal (Nagy et al., 2024, h. 3). Sementara itu, ulat *Lonomia obliqua* diketahui memiliki setae beracun yang mengandung zat prokoagulan kuat, dapat memicu sindrom hemoragik berat pada manusia (Utkin, 2015, h. 29).

Selain berdampak pada kesehatan manusia, *Artropoda* berbisa juga memiliki relevansi medis dan farmakologis. Racun laba-laba dan kalajengking, misalnya, banyak diteliti karena kandungan peptida bioaktifnya yang berpotensi sebagai model pengembangan obat analgesik, antimikroba, hingga antikanker (Oliveira et al., 2023, h. 82). Dengan demikian, pemahaman mengenai artropoda berbisa di Indonesia penting untuk aspek keamanan masyarakat dan juga memiliki nilai strategis bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan bioteknologi.

1. Kalajengking

Kalajengking termasuk dalam ordo *Scorpiones* dan tersebar luas di daerah tropis dan subtropis, termasuk Indonesia.

Morfologi khas kalajengking adalah tubuh bersegmen dengan sepasang pedipalpus besar menyerupai capit, serta *telson* (ujung ekor) yang dilengkapi kelenjar racun dan alat penyengat (*aculeus*). Dari ± 2.000 spesies kalajengking yang telah diidentifikasi, sekitar 30 spesies diketahui berbahaya bagi manusia karena bisa menyebabkan kematian (Oliveira et al., 2023, h. 76).



Gambar 2.22 *Heterometrus longimanus*

Sumber: <https://www.pierrewildlife.com/wp-content/uploads/...>

Spesies kalajengking di Indonesia umumnya dari famili *Buthidae*, misalnya *Heterometrus longimanus*. Habitatnya meliputi daerah lembap seperti hutan, kebun, atau tumpukan kayu. Racun kalajengking mengandung *neurotoksin peptida* yang bekerja pada saluran ion natrium dan kalium membran saraf, mengganggu depolarisasi dan menyebabkan hiperaktivitas sistem saraf perifer. Gejala klinis berupa nyeri hebat, parestesia, berkeringat, peningkatan tekanan darah, hingga kegagalan pernafasan pada kasus berat (Utkin, 2015, h. 30).

Kalajengking sering dipandang sebagai ancaman di daerah pedesaan Indonesia. Meski sebagian besar sengatan hanya menimbulkan nyeri lokal, kasus berat tetap berpotensi terjadi terutama pada anak-anak. Penanganan medis umumnya berupa analgesik, perawatan suportif, dan pada kasus berat penggunaan *antivenom* spesifik bila tersedia (Nagy et al., 2024, h. 3).

2. Laba-laba Beracun

Laba-laba (*Araneae*) memiliki lebih dari 45.000 spesies, tetapi hanya sebagian kecil yang berbahaya bagi manusia. Di Indonesia terdapat beberapa jenis tarantula lokal dan *Latrodectus spp.* (*black widow*) yang dilaporkan menimbulkan efek medis signifikan. Morfologi khas laba-laba beracun adalah *chelicerae* (taring) yang terhubung dengan kelenjar racun.



Gambar 2.23 *Latrodectus*

Sumber: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/...>

Racun laba-laba umumnya terdiri atas campuran peptida neurotoksik, enzim, dan protein kecil yang bekerja pada saluran ion saraf. *Latrodectus* menghasilkan α -latrotoxin yang memicu pelepasan neurotransmitter masif di sinaps, mengakibatkan nyeri otot berat, spasme, hipertensi, dan gangguan otonom (Oliveira et al., 2023, h. 78). Tarantula lokal di Indonesia jarang menyebabkan kematian, tetapi bisa menimbulkan reaksi alergi dan nekrosis lokal.

Habitat laba-laba berbisa meliputi hutan tropis, gua, dan area pemukiman. Dalam konteks kesehatan masyarakat, kasus gigitan laba-laba masih jarang dibandingkan gigitan ular, tetapi tetap memerlukan perhatian karena dapat menyebabkan reaksi sistemik. Penanganan medis berupa analgesik, antispasmodik, dan observasi ketat. *Antivenom Latrodectus* digunakan di beberapa negara, tetapi jarang tersedia di Indonesia (Utkin, 2015, h. 31).

3. Lipan

Lipan (*Chilopoda*) merupakan artropoda darat dengan tubuh bersegmen panjang dan setiap segmen dilengkapi sepasang kaki. Spesies lipan berukuran besar seperti *Scolopendra subspinipes* banyak ditemukan di Indonesia, khususnya di daerah tropis lembap, pekarangan, dan hutan.



Gambar 2.24 *Scolopendra subspinipes*

Sumber: <https://baliwildlife.com/wp-content/gallery/scolopendra...>

Lipan memiliki sepasang *forcipule* (kaki termodifikasi) yang terhubung ke kelenjar racun. Racunnya mengandung protein sitotoksik, serotonin, histamin, dan enzim proteolitik yang menimbulkan rasa nyeri hebat, inflamasi, dan edema pada lokasi gigitan. Meskipun jarang fatal, beberapa laporan menyebutkan reaksi sistemik berupa demam, pusing, palpitasi, hingga syok anafilaktik pada individu yang sensitif (Nagy et al., 2024, h. 4).

Gigitan lipan umumnya ditangani dengan analgesik, kompres hangat, dan antihistamin. Namun, edukasi masyarakat penting dilakukan mengingat lipan sering masuk ke dalam rumah di daerah pedesaan Indonesia. Peranannya sebagai predator serangga membuatnya memiliki ekologi penting, meskipun dianggap hama bagi manusia (Oliveira et al., 2023, h. 80).

2.3.2.3 Ikan Laut

Ikan laut merupakan salah satu kelompok hewan berbisa yang banyak ditemukan di perairan tropis, termasuk Indonesia. Lingkungan laut yang memiliki tekanan ekologis tinggi, seperti predasi dan kompetisi

sumber daya, mendorong evolusi berbagai mekanisme pertahanan, termasuk produksi racun. Racun pada ikan laut umumnya disimpan dalam kelenjar yang terhubung dengan duri sirip atau jaringan kulit, dan dilepaskan ketika ikan merasa terancam (Oliveira et al., 2023, h. 79).

Beberapa spesies ikan laut berbisa adalah ikan batu (*Synanceia verrucosa*), dan ikan lepu (*Pterois spp.*). Ikan batu, yang tersebar luas di terumbu karang Indonesia, merupakan salah satu ikan paling beracun di dunia. Racunnya mengandung protein yang bersifat neurotoksik dan kardiotoxik, disuntikkan melalui duri-duri punggung yang kokoh. Sengatan ikan batu dapat menimbulkan nyeri ekstrem, edema, nekrosis jaringan, hingga syok anafilaktik. Kasus yang tidak segera ditangani berpotensi berakibat fatal (Utkin, 2015, h. 29). Selain itu, ikan lepu atau *lionfish* memiliki duri berbisa dengan kandungan toksin yang menimbulkan rasa nyeri, mual, dan reaksi inflamasi pada korban sengatannya, meskipun jarang berakibat fatal.

Secara ekologi, racun ikan laut berfungsi ganda, baik sebagai alat pertahanan diri maupun sebagai sarana untuk meningkatkan peluang bertahan hidup di habitat dengan banyak predator. Dari sisi biomedis, beberapa komponen racun ikan laut telah diteliti sebagai kandidat untuk pengembangan obat analgesik dan kardiovaskular (Oliveira et al., 2023, h. 82). Oleh karena itu, pemahaman tentang ikan laut berbisa di Indonesia tidak hanya relevan untuk pencegahan kecelakaan di wilayah pesisir, tetapi juga penting dalam mendukung penelitian farmasi dan toksikologi.

1. Ikan Batu (*Synanceia verrucosa*)

Ikan batu termasuk famili *Synanceiidae*, yang dikenal sebagai ikan paling beracun di dunia. Morfologinya menyerupai batu karang dengan warna cokelat keabu-abuan dan tubuh penuh nodul kasar, berkamuflase sempurna di dasar laut dangkal. Ikan ini memiliki 13–14 duri punggung keras yang terhubung ke kelenjar racun. Saat terinjak atau tertekan, duri ini akan menyuntikkan racun ke dalam jaringan korban (Oliveira et al., 2023, h. 77).



Gambar 2.25 Ikan Batu

Sumber: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/...>

Habitat ikan batu meliputi perairan dangkal tropis dengan substrat berpasir atau berbatu, tersebar di Samudra Hindia dan Pasifik, termasuk perairan Indonesia timur (Maluku, Sulawesi, Papua). Racunnya terdiri atas protein toksik kompleks seperti *stonustoxin*, *verrucotoxin*, dan *trachynilysin*. Toksin ini menimbulkan efek neurotoksik, kardiotoxik, dan sitotoksik, dengan mekanisme utama berupa pembentukan pori pada membran sel yang mengakibatkan lisis seluler, hemolisis, serta pelepasan mediator inflamasi (Utkin, 2015, h. 32).

Secara klinis, sengatan ikan batu menimbulkan nyeri luar biasa, bengkak cepat, nekrosis lokal, hingga syok anafilaktik. Kasus kematian dapat terjadi akibat gagal napas atau henti jantung bila tidak segera ditangani. Terapi darurat meliputi perendaman luka dalam air panas (untuk menonaktifkan protein toksin termolabil), analgetik, *antivenom* spesifik, serta perawatan intensif bila gejala sistemik muncul (Oliveira et al., 2023, h. 78).

2. Ikan Lepu (*Pterois volitans*)

Ikan lepu termasuk famili *Scorpaenidae*, terkenal dengan sirip punggung, sirip dada, dan sirip dubur yang panjang menyerupai kipas dengan pola belang merah-putih yang mencolok. Spesies ini banyak ditemukan di perairan Indonesia, terutama di terumbu karang. *Lionfish* bersifat invasif di beberapa kawasan

(seperti Karibia), namun di Indonesia merupakan bagian dari ekosistem asli (Nagy et al., 2024, h. 4).



Gambar 2.26 Ikan Lepu

Sumber: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/...>

Morfologinya memiliki 18 duri berbisa yaitu 13 pada sirip punggung, 3 pada sirip anal, dan 2 pada sirip pelvis. Racunnya terdiri dari protein termolabil, asetilkolin, dan enzim proteolitik. Mekanisme toksinnya adalah melepaskan mediator inflamasi, menyebabkan nyeri lokal, eritema, dan edema. Pada kasus berat, dapat terjadi gejala sistemik berupa mual, muntah, pusing, hipotensi, hingga gagal pernapasan (Oliveira et al., 2023, h. 80).

Habitat *lionfish* adalah terumbu karang dangkal dengan kedalaman 2–60 meter. Pola warna tubuhnya berfungsi sebagai aposematisme, memberi sinyal kepada predator bahwa ikan ini berbahaya. Walau jarang menyebabkan kematian, sengatan *lionfish* berpotensi serius bagi penyelam dan nelayan di Indonesia.

Penanganan sengatan meliputi perendaman luka dengan air panas, analgetik, dan perawatan luka. *Antivenom* belum tersedia secara komersial untuk *lionfish*, sehingga terapi suportif menjadi pilihan utama (Utkin, 2015, h. 33).

2.3.2.4 Keong *Conus* (*Conus geographus*)

Keong laut dari genus *Conus* termasuk dalam kelas *Gastropoda*, famili *Conidae*, dengan lebih dari 800 spesies yang tersebar luas di perairan tropis. Salah satu yang paling berbahaya

adalah *Conus geographus*, sering disebut *geographic cone snail*, yang juga terdapat di perairan Indonesia. Hewan ini memiliki cangkang berbentuk kerucut dengan ukuran 4–15 cm, warna bervariasi coklat hingga krem dengan pola geometris khas. Walaupun terlihat indah, keong ini merupakan salah satu moluska paling beracun di dunia (Oliveira et al., 2023, h. 78).



Gambar 2.27 Keong Conus
Sumber: <https://asset.kompas.com/crops/...>

Keong *Conus* memiliki *proboscis* yang dapat dipanjangkan, di ujungnya terdapat radula berbentuk seperti harpun. Saat berburu mangsa (ikan kecil, cacing, atau moluska lain), keong ini menembakkan radula tersebut ke tubuh mangsa, menyuntikkan campuran racun yang dikenal sebagai *conotoxin*. Mekanisme ini juga dapat menjadi serangan dan membahayakan manusia jika secara tidak sengaja memegang atau menginjak keong tersebut (Nagy et al., 2024, h. 4).

Racun *Conus* merupakan salah satu campuran peptida paling kompleks di dunia hewan, terdiri dari lebih dari 100 jenis *conotoxin* yang masing-masing menargetkan saluran ion atau reseptor spesifik pada sistem saraf. *Conotoxin* dikelompokkan dalam beberapa kategori yaitu (Utkin, 2015):

1. *α -conotoxin*: menghambat reseptor nikotik asetilkolin, mengganggu transmisi neuromuskular.

2. *ω-conotoxin*: memblokir kanal kalsium tipe N pada neuron presinaptik, menghambat pelepasan neurotransmitter.
3. *δ-conotoxin*: memodulasi kanal natrium dan memperpanjang depolarisasi.
4. *μ-conotoxin*: menghambat kanal natrium pada otot rangka.

Kombinasi toksin ini menghasilkan efek neurotoksik parah berupa kelumpuhan progresif hingga gagal napas. Tidak ada antidotum spesifik untuk racun *Conus*. Salah satu langkah penanganan keselamatan adalah dengan terapi. Namun hanya membantu dengan ventilasi mekanis bila terjadi paralisis pernapasan (Oliveira et al., 2023, h. 80).

Conus geographus banyak ditemukan di perairan dangkal terumbu karang Indonesia, terutama di Maluku, Papua, dan Sulawesi. Keong ini biasanya bersembunyi di pasir atau celah karang pada malam hari untuk berburu. Masyarakat lokal yang mengoleksi cangkang laut sering berisiko disengat tanpa sadar.

Menariknya, beberapa *conotoxin* telah dikembangkan menjadi obat farmasi. Contoh paling terkenal adalah *Ziconotide*, analog sintesis dari *ω-conotoxin*, yang digunakan sebagai analgesik kuat untuk nyeri kronis pada pasien kanker. Hal ini menunjukkan potensi besar racun *Conus* tidak hanya sebagai ancaman, tetapi juga sumber bioaktif untuk kedokteran modern dan bisa dikembangkan menjadi obat. (Oliveira et al., 2023, h. 79).

2.3.2.5 Ubur-ubur Kotak (*Chironex fleckeri*, *Morbakka sp.*)

Cnidaria merupakan filum hewan laut sederhana yang mencakup ubur-ubur, anemon laut, dan koral. Di antara kelompok ini, ubur-ubur kotak (kelas *Cubozoa*) dikenal paling berbahaya karena mampu menghasilkan sengatan mematikan. Spesies yang penting secara

medis adalah *Chironex fleckeri* dan *Morbakka sp.*, yang dilaporkan juga terdapat di perairan tropis Indonesia (Oliveira et al., 2023, h. 79).

Ubur-ubur kotak memiliki tubuh berbentuk kubus dengan 4 sisi jelas. Setiap sudutnya memiliki tentakel panjang (bisa mencapai 3 meter) yang dilengkapi ribuan sel penyengat khusus disebut *cnidocyte*, yang berisi kapsul mikroskopis (*nematosista*). Saat tentakel menyentuh kulit, nematosista menembakkan mikrotubulus beracun ke jaringan korban dengan kecepatan tinggi (Nagy et al., 2024, h. 2).



Gambar 2.28 Ubur-ubur Kotak

Sumber: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/...>

Chironex fleckeri terutama ditemukan di perairan Australia dan Papua Nugini, tetapi laporan kasus sengatan *Morbakka sp.* juga ditemukan di perairan timur Indonesia. Habitatnya umumnya perairan dangkal dekat pantai, terutama di musim panas ketika populasi meningkat. Sengatan sering terjadi pada nelayan, penyelam, atau wisatawan pantai (Utkin, 2015, h. 30).

Racun ubur-ubur kotak terdiri atas protein porin, enzim proteolitik, dan komponen sitolitik yang bekerja sangat cepat. Mekanismenya melibatkan pembentukan pori pada membran sel, menyebabkan hemolisis, pelepasan mediator inflamasi, dan kerusakan jaringan masif. Beberapa toksin juga bersifat kardiotoksik. Kardiotoksik adalah toksin yang mengganggu kontraktilitas otot jantung dan menimbulkan aritmia fatal (Oliveira et al., 2023, h. 80).

Sengatan *Chironex fleckeri* terkenal sangat menyakitkan; korban sering mengalami nyeri intens seketika, eritema berbentuk jejak tentakel, edema, hipotensi, aritmia, hingga henti jantung dalam hitungan menit. Sengatan *Morbakka sp.* relatif lebih ringan tetapi tetap menimbulkan reaksi sistemik seperti mual, muntah, dan kesulitan bernapas (Nagy et al., 2024, h. 3).

Penanganan medis yang bisa dilakukan adalah menonaktifkan *nematosista* yang masih menempel, biasanya dengan cuka (asam asetat) yang menghambat pelepasan lebih lanjut. Luka kemudian dibilas dengan air laut (bukan air tawar, karena dapat memicu pelepasan racun tambahan). Penanganan medis lanjutan termasuk analgetik, kardiopulmoner resusitasi (CPR) bila perlu, dan pemberian *antivenom* khusus *Chironex fleckeri* di beberapa negara (Utkin, 2015, h. 32).

Sengatan ubur-ubur kotak merupakan salah satu penyebab utama kecelakaan laut fatal di kawasan Indo-Pasifik. Di Indonesia, edukasi masyarakat pesisir dan wisatawan sangat penting, termasuk pemasangan papan peringatan di area pantai berisiko. Penelitian terbaru juga berfokus pada pengembangan terapi molekuler berbasis inhibitor racun ubur-ubur (Oliveira et al., 2023, h. 80).

2.3.2.6 Gurita Cincin Biru (*Hapalochlaena spp.*)

Gurita cincin biru merupakan salah satu hewan laut berbisa paling berbahaya yang dapat ditemukan di perairan Indo-Pasifik, termasuk wilayah timur Indonesia. Spesies ini dikenal melalui pola cincin biru mencolok pada tubuhnya yang menjadi tanda peringatan aposematik bagi predator maupun manusia (Utkin, 2015, h. 30). Racun utamanya adalah *tetrodotoxin* (TTX), yaitu neurotoksin non-protein yang sangat poten. Racun ini juga ditemukan pada ikan buntal. Jenis senyawa ini bekerja dengan menghambat kanal natrium pada membran saraf dan otot. Racun ini mampu menghentikan transmisi impuls saraf secara total (Oliveira et al., 2023, h. 79).



Gambar 2.29 Gurita Cincin Biru
Sumber: <https://asset.kompas.com/crops/>

Efek klinis gigitan gurita cincin biru dapat muncul dalam hitungan menit, dimulai dengan parestesia, kelemahan otot, hingga paralisis respirasi yang berpotensi fatal. Menariknya, luka gigitan sering kali kecil dan tidak menimbulkan nyeri signifikan, sehingga korban kerap tidak menyadari bahaya sebenarnya. Tanpa penanganan darurat berupa bantuan pernapasan, kematian dapat terjadi (Nagy et al., 2024, h. 3).

Secara ekologi, racun gurita cincin biru berfungsi sebagai mekanisme pertahanan diri dan alat berburu mangsa kecil seperti kepiting dan udang. Namun dari sisi kesehatan manusia, hewan ini merupakan ancaman serius bagi masyarakat pesisir yang sering berinteraksi dengan lingkungan laut dangkal. Edukasi publik mengenai keberadaan gurita cincin biru serta pentingnya pertolongan pertama pada kasus envenomasi menjadi langkah penting untuk menekan angka mortalitas. (Oliveira et al., 2023, h. 82).

2.3.3 Klasifikasi Hewan Beracun di Indonesia

Selain hewan berbisa, Indonesia juga memiliki keanekaragaman hewan beracun, yaitu organisme yang menghasilkan senyawa toksik sebagai bentuk pertahanan diri, tetapi tidak menyuntikkannya secara aktif melalui taring atau sengat. Racun pada hewan beracun umumnya terdapat pada kulit, kelenjar, atau jaringan tubuh lain, dan hanya memberikan dampak ketika disentuh, tertelan, atau dikonsumsi oleh predator maupun manusia. Perbedaan

utama antara hewan beracun dan berbisa terletak pada mekanisme penyaluran racun: hewan berbisa aktif menyuntikkan, sedangkan hewan beracun pasif melepaskan toksin melalui kontak langsung (Nelsen et al., 2014, h. 452).

Di Indonesia, hewan beracun dapat dijumpai baik di darat maupun perairan. Contoh hewan beracun darat adalah katak dari genus *Bufo* yang memiliki kelenjar parotoid penghasil bufotoksin, senyawa steroid beracun yang dapat menyebabkan iritasi kulit hingga gangguan jantung bila tertelan (White, 2017, h. 11). Di lingkungan laut, beberapa spesies kepiting dari famili *Xanthidae* mengandung toksin yang bersifat mematikan, seperti *saxitoxin* dan *tetrodotoxin*, yang tetap aktif meskipun setelah dimasak (Widyastuti, 2003, h. 15). Selain itu, beberapa jenis serangga seperti kumbang blister (*Mylabris* spp.) menghasilkan *cantharidin*, senyawa kimia yang dapat menyebabkan lepuh pada kulit (Warrell, 2014, h. 225).

Secara ekologi, keberadaan hewan beracun di Indonesia memiliki fungsi penting dalam mempertahankan kelangsungan hidup spesies, karena racun menjadi penghalang alami terhadap predator. Dari perspektif biomedis, racun yang dihasilkan oleh hewan beracun berpotensi sebagai sumber bioaktif untuk penelitian farmakologi, meskipun keberadaannya sering kali menimbulkan risiko kesehatan bagi masyarakat yang tidak menyadarinya (Oliveira et al., 2023, h. 82). Pengklasifikasian hewan beracun di Indonesia tidak hanya penting untuk tujuan akademik, tetapi juga relevan untuk upaya mitigasi risiko, edukasi publik, serta pengembangan ilmu toksikologi modern.

2.3.3.1 Amfibi

Kodok Bangkok (*Duttaphrynus melanostictus*) termasuk dalam famili *Bufo*, yang dikenal menghasilkan racun berupa *bufotoxin*. Racun ini diekskresikan melalui kelenjar parotoid yang terletak di bagian dorsal kepala. Bufotoxin mengandung komponen seperti bufagin dan bufotenin, yang dapat menyebabkan iritasi kulit, muntah, hingga gangguan jantung bila tertelan oleh predator atau manusia (Nagy et al., 2024, h. 2–3).



Gambar 2.30 Kodong Bangkok Kolong
Sumber: <https://cdn.pixabay.com/photo/...>

Habitat kodok bangkong tersebar luas di Asia Selatan hingga Asia Tenggara, termasuk Indonesia. Mereka lebih sering ditemukan di sekitar pemukiman manusia, sawah, dan saluran air. Mekanisme pertahanan racun ini bersifat pasif, dilepaskan hanya ketika predator melakukan kontak langsung dengan tubuh kodok. Menurut Oliveira et al. (2023, h. 2), amfibi beracun umumnya melepaskan toksin melalui kulit sebagai mekanisme defensif pasif. Dampak racun kodok bangkong terhadap manusia relatif jarang mematikan, tetapi dapat menimbulkan keracunan serius pada hewan peliharaan yang tidak sengaja menjilat atau menggigit kodok ini, sebagaimana juga dilaporkan pada kasus toad poisoning di Eropa (Nagy et al., 2024, h. 3).

2.3.3.2 Ikan Laut

Ikan Buntal (*Tetraodontidae*) merupakan salah satu hewan laut paling beracun di dunia. Racun utamanya adalah tetrodotoxin (TTX), suatu neurotoksin yang sangat poten dan bekerja dengan cara menghambat kanal natrium pada membran sel saraf. Hal ini menyebabkan kelumpuhan otot, gagal napas, bahkan kematian dalam waktu singkat (Utkin, 2015, h. 30–31).



Gambar 2.31 Ikan Buntal
Sumber: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/...>

Habitat ikan buntal tersebar luas di perairan tropis dan subtropis, termasuk di Indonesia. Racun TTX tidak diproduksi langsung oleh ikan, tetapi dihasilkan oleh bakteri simbiosis yang hidup pada jaringan ikan buntal. Kandungan racun tertinggi biasanya terdapat pada organ hati, ovarium, usus dan kulit. Berbeda dengan ikan berbisa yang menyuntikkan racun melalui duri atau alat khusus, racun ikan buntal berbahaya jika dikonsumsi (Oliveira et al., 2023, h. 3).

Di Jepang, kasus keracunan akibat konsumsi buntal dikenal sebagai *fugu poisoning*, dan hal serupa juga berpotensi terjadi di Indonesia bila ikan buntal dikonsumsi tanpa pengolahan yang tepat. Menurut penelitian toksikologi laut, meskipun TTX sangat mematikan, dalam dosis sangat kecil senyawa ini sedang dieksplorasi potensinya sebagai analgesik (Utkin, 2015, h. 31).

2.3.3.3 Artropoda Darat

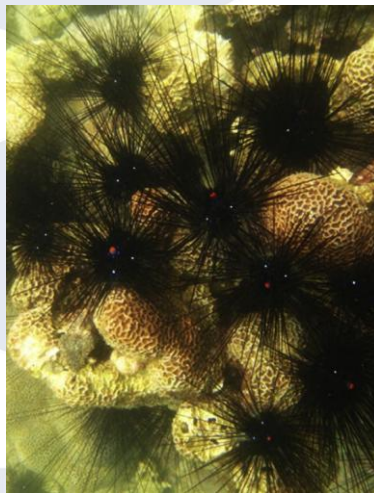
Ulat *Lonomia* atau ulat bulu beracun (*Lonomia obliqua*) termasuk dalam ordo *Lepidoptera*, famili *Saturniidae*. Ulat ini dikenal sebagai salah satu ulat paling beracun di dunia, walaupun lebih banyak kasusnya dilaporkan di Amerika Selatan, sementara di Asia terdapat spesies ulat beracun lain dengan mekanisme serupa. Tubuh ulat dilapisi dengan duri mikroskopis yang mengandung toksin hemotoksik. Saat manusia bersentuhan dengan duri ini, racun dapat masuk melalui kulit

dan menyebabkan sindrom hemoragik, gagal ginjal, hingga kematian (Oliveira et al., 2023, h. 4).

Mekanisme toksin ulat ini sangat kompleks karena terdiri dari berbagai protein bioaktif yang memengaruhi koagulasi darah. Menurut Utkin (2015, h. 29), perubahan kecil dalam komposisi peptida racun dapat memunculkan sifat biologis baru, sehingga keragaman toksin ulat menjadi perhatian besar dalam riset kedokteran.

2.3.3.4 Echinodermata Laut

Bulu Babi (*Diadema setosum*) merupakan anggota filum *Echinodermata*, kelas *Echinoidea*. Spesies *Diadema setosum* sering dijumpai di perairan tropis dangkal Indonesia. Hewan ini memiliki duri panjang dan tajam sebagai mekanisme pertahanan. Duri bulu babi bukan hanya berfungsi mekanis, tetapi juga dapat mengandung racun yang menyebabkan nyeri hebat, bengkak, dan infeksi sekunder jika tertusuk (Oliveira et al., 2023, h. 76).



Gambar 2.32 Bulu Babi

Sumber: <https://assets-a1.kompasiana.com/items/album/...>

Bulu babi biasanya hidup di ekosistem terumbu karang dengan populasi padat. Menurut laporan toksikologi laut, beberapa spesies echinodermata seperti bulu babi dan bintang laut juga menghasilkan senyawa bioaktif yang memiliki potensi farmakologis (Nagy et al., 2024,

h. 2). Kasus sengatan bulu babi pada penyelam dan nelayan cukup sering dilaporkan di wilayah pesisir Asia Tenggara. Selain menimbulkan rasa sakit, sengatan dapat mengakibatkan komplikasi seperti kelumpuhan lokal bila tidak segera ditangani.

2.3.4 Ciri-Ciri Morfologi dan Adaptasi

Hewan beracun dan berbisa memiliki ciri morfologi khusus yang berfungsi untuk bertahan hidup maupun mendapatkan mangsa. Pada hewan berbisa, ciri yang paling menonjol adalah adanya alat untuk menyuntikkan racun. Ular dari famili *Elapidae* dan *Viperidae*, misalnya, memiliki taring yang terhubung langsung dengan kelenjar bisa, sehingga racun dapat masuk dengan cepat ke tubuh korban. Lipan (*Scolopendra* spp.) memiliki forcipula, yaitu kaki depan yang termodifikasi menjadi alat sengat, sedangkan kalajengking memiliki telson pada ujung ekor yang berisi kelenjar racun (Utkin, 2015, h. 30; Oliveira et al., 2023, h. 83).

Berbeda dengan itu, hewan beracun tidak memiliki organ khusus untuk menginjeksikan racun. Toksin biasanya disimpan di kulit atau kelenjar tertentu, lalu dilepaskan bila disentuh atau dimakan. Katak *Bufonidae* mengeluarkan bufotoksin dari kelenjar parotoid, sementara ulat *Lonomia obliqua* memiliki bulu beracun pada permukaan tubuhnya (White, 2017, h. 13).

Selain organ dan kelenjar, adaptasi lain yang sering ditemukan adalah pola warna. Beberapa spesies menggunakan warna mencolok (aposematik) untuk memberi peringatan pada predator, sedangkan yang lain justru beradaptasi dengan kamuflase, seperti ikan batu (*Synanceia verrucosa*) yang menyamar menyerupai karang (Warrell, 2014, h. 229). Adaptasi ini menunjukkan bagaimana bentuk tubuh dan strategi pertahanan bekerja bersama untuk menjaga kelangsungan hidup spesies.

2.3.4.1 Ciri Visual Hewan Berbisa

Hewan berbisa umumnya memiliki organ khusus yang memungkinkan injeksi toksin secara aktif ke tubuh mangsa maupun predator. Organ ini berfungsi sebagai *aparat penyengat* atau *alat suntik*

biologis yang menjadi ciri khas morfologi kelompok berbisa. Pada ular, taring merupakan adaptasi paling menonjol. Taring ular dapat berbentuk soleng (terletak di depan mulut, misalnya pada viper) atau opisthoglyf (terletak di bagian belakang rahang pada beberapa colubrid), keduanya terhubung dengan kelenjar racun yang menyuntikkan bisa pada saat gigitan (Utkin, 2015, h. 29). Kalajengking dan serangga hymenoptera (tawon, lebah) memiliki sengat yang tersambung dengan kelenjar racun multiseluler, yang berfungsi tidak hanya untuk pertahanan, tetapi juga untuk melumpuhkan mangsa (Utkin, 2015, h. 30).

Selain itu, beberapa ikan seperti scorpionfish memiliki kelenjar racun yang terletak pada duri sirip atau operkulum insang. Sengatan pada manusia dapat menyebabkan nyeri hebat hingga komplikasi sistemik (Utkin, 2015, h. 30). Laba-laba dan kelabang (chilopoda) juga memperlihatkan modifikasi morfologi berupa *chelicera* atau *forcipule* yang terhubung dengan kelenjar racun. Ragam adaptasi ini menunjukkan bahwa hewan berbisa mengembangkan morfologi injektif yang sangat bervariasi namun memiliki fungsi biologis sama, yaitu mengantarkan racun ke target biologisnya (Oliveira et al., 2023, h. 4).

Dengan demikian, ciri visual utama hewan berbisa adalah adanya struktur anatomi khusus yang bertindak sebagai saluran racun aktif, seperti taring, sengat, dan duri beracun. Adaptasi ini membuat hewan berbisa lebih berbahaya dibandingkan hewan beracun, karena memungkinkan toksin bekerja langsung dalam sistem tubuh korban (Nagy et al., 2024, h. 7).

2.3.4.2 Ciri Visual Hewan Beracun

Berbeda dengan hewan berbisa, hewan beracun tidak memiliki organ khusus untuk menyuntikkan racun. Sebaliknya, toksin yang dimiliki tersimpan di jaringan tubuh atau sekresi kulit dan berpindah secara pasif ketika disentuh atau dimakan. Ciri visual yang paling umum adalah pola warna cerah dan kontras, yang dikenal sebagai aposematisme. Warna mencolok ini berfungsi sebagai sinyal peringatan

bagi predator bahwa hewan tersebut beracun dan sebaiknya dihindari. Contoh jelas ditemukan pada katak *Dendrobatidae*, yang menampilkan kombinasi warna biru, kuning, merah, dan hitam untuk memperingatkan predator (Utkin, 2015, h. 31).

Selain pewarnaan tubuh, morfologi hewan beracun juga dapat mencakup tekstur kulit atau permukaan tubuh yang unik. Kodok dari keluarga *Bufo* memiliki kulit berbintil dengan kelenjar parotoid besar yang mengeluarkan bufotoksin, suatu senyawa steroid beracun yang dapat menyebabkan gangguan jantung pada predator (Nagy et al., 2024, h. 5). Beberapa spesies ikan laut beracun seperti pufferfish (*Tetraodontidae*) menunjukkan adaptasi berupa kemampuan tubuh untuk mengembang saat terancam, sehingga mempersulit predator menelannya sekaligus memberikan peringatan visual (Oliveira et al., 2023, h. 5).

Hewan beracun juga dapat memiliki bentuk tubuh atau perilaku khas yang mendukung efek racun. Misalnya, ulat processionary (*Thaumetopoea pityocampa*) dilapisi rambut urtikating yang mengandung histamin dan menyebabkan iritasi kulit parah jika tersentuh (Nagy et al., 2024, h. 8). Dengan demikian, ciri visual hewan beracun lebih berfokus pada pewarnaan cerah, tekstur tubuh khusus, serta mekanisme pertahanan pasif seperti sekresi kulit atau kemampuan mengembangkan tubuh, yang semuanya berfungsi untuk mencegah interaksi dengan predator maupun manusia.

2.3.5 Habitat dan Persebaran di Indonesia

Indonesia dengan ekosistem tropisnya menyediakan berbagai habitat bagi hewan beracun dan berbisa. Hutan hujan, savana, rawa, pesisir, hingga laut dalam menjadi lingkungan hidup utama bagi spesies-spesies tersebut. Kondisi iklim yang lembap dan hangat mendukung keberlangsungan reptil berbisa seperti ular kobra (*Naja sputatrix*) yang banyak ditemukan di Jawa dan Nusa Tenggara, serta ular weling (*Bungarus candidus*) yang tersebar di Sumatra dan Jawa. Ular hijau (*Trimeresurus albolabris*) juga memiliki

distribusi luas di daerah pedesaan dan perkebunan (Oliveira et al., 2023, h. 79; Utkin, 2015, h. 30).

Artropoda berbisa seperti kalajengking dan lipan umumnya hidup di lingkungan lembap, bersembunyi di bawah batu, serasah daun, atau celah bangunan. Ulat *Lonomia* lebih sering ditemukan di wilayah hutan atau perkebunan yang memiliki vegetasi lebat (Utkin, 2015, h. 29). Sementara itu, hewan beracun laut seperti ikan batu (*Synanceia verrucosa*), ikan buntal (*Tetraodontidae*), serta kepiting *Xanthidae* banyak dijumpai di perairan tropis, terutama di kawasan terumbu karang Indonesia bagian timur (Widyastuti, 2003, h. 15; Warrell, 2014, h. 225).

Secara umum, persebaran hewan beracun dan berbisa di Indonesia dipengaruhi oleh faktor ekologi seperti ketersediaan mangsa, kondisi iklim, serta karakteristik habitat. Keberagaman geografis Indonesia menjadikan spesies-spesies tersebut tersebar luas hampir di seluruh wilayah, baik di darat maupun laut. Hal ini sekaligus menunjukkan pentingnya edukasi masyarakat tentang potensi bahaya yang ada di sekitar lingkungan tempat tinggal mereka.

2.3.5.1 Hewan Darat

Indonesia sebagai negara tropis dengan keanekaragaman hayati tinggi merupakan habitat ideal bagi berbagai hewan darat beracun maupun berbisa. Ular berbisa seperti kobra (*Naja sputatrix*), weling (*Bungarus candidus*), dan ular tanah (*Calloselasma rhodostoma*) banyak ditemukan di sawah, hutan, hingga pemukiman. Adaptasi morfologi berupa taring solenoglypha memungkinkan mereka menyuntikkan neurotoksin dan hemotoksin yang mematikan (Utkin, 2015, h. 29). Selain ular, kalajengking juga tersebar di hutan kering dan area berbatu, menggunakan sengat caudal yang terhubung dengan kelenjar racun untuk pertahanan diri. Sengatannya dapat menyebabkan rasa sakit intens dan reaksi sistemik pada manusia (Oliveira et al., 2023, h. 4).

Selain hewan berbisa, terdapat pula hewan beracun seperti kodok dari genus *Bufo* yang umum ditemukan di kebun dan area berumput dekat pemukiman. Kodok ini memiliki kelenjar parotoid besar

di belakang mata yang mensekresikan bufotoksin, racun steroid yang dapat menyebabkan keracunan serius jika tertelan. Bufotoksin telah lama dikenal sebagai salah satu racun amfibi yang berperan penting dalam ekologi predator-prey (Nagy et al., 2024, h. 5). Di sisi lain, ulat bulu tertentu, misalnya ulat sutera liar dan processionary caterpillar, ditemukan pada perkebunan dan hutan tropis. Ulat ini memiliki rambut urtikating yang menimbulkan iritasi kulit parah pada manusia (Nagy et al., 2024, h. 8).

Dengan demikian, habitat darat Indonesia yang beragam, mulai dari sawah hingga pemukiman menjadi ruang hidup bagi hewan beracun dan berbisa yang memiliki signifikansi medis maupun ekologis. Kondisi ini menuntut kewaspadaan masyarakat yang tinggal dekat habitat satwa tersebut, mengingat interaksi manusia dengan ular atau kodok beracun cukup sering terjadi.

2.3.5.2 Hewan Air Tawar

Ekosistem air tawar di Indonesia, seperti sungai, rawa, dan danau, juga dihuni oleh hewan beracun maupun berbisa. Beberapa spesies ikan air tawar memiliki kelenjar racun pada duri siripnya. Misalnya, ikan lele (*Clariidae*) yang umum di sungai dan sawah memiliki duri pectoral yang dapat menyebabkan luka tusukan disertai rasa nyeri dan inflamasi (Utkin, 2015, h. 30). Adaptasi serupa juga ditemukan pada ikan betok (*Anabas testudineus*) dan ikan gabus (*Channa striata*), meskipun toksisitasnya relatif lebih rendah.

Amfibi air tawar, khususnya katak dari keluarga *Dendrobatidae* dan *Bufonidae*, menghasilkan sekresi kulit beracun yang berfungsi melindungi diri dari predator. Beberapa spesies *Dendrobatidae* di Amerika Latin telah diteliti secara luas karena toksinnya yang kuat, namun di Indonesia famili *Bufonidae* lebih umum ditemui, terutama di area rawa dan persawahan (Nagy et al., 2024, h. 6). Sekresi beracun dari kulit kodok dapat menyebabkan iritasi pada manusia serta risiko keracunan jika tertelan hewan peliharaan.

Selain itu, hewan invertebrata seperti lintah dan beberapa serangga akuatik di air tawar memiliki komponen toksik dalam air liurnya. Walaupun tidak mematikan, komponen ini dapat menyebabkan reaksi alergi atau perdarahan lokal (Oliveira et al., 2023, h. 6). Maka, meskipun hewan air tawar tidak seterkenal ular atau ubur-ubur laut dalam hal toksisitas, peran mereka tetap penting dalam konteks risiko ekologis maupun medis bagi masyarakat yang bergantung pada ekosistem ini.

2.3.5.3 Hewan Laut

Habitat laut Indonesia, dengan ekosistem terumbu karang, pantai tropis, dan laut dalam, merupakan rumah bagi sejumlah besar hewan beracun dan berbisa. Ubur-ubur (kelas *Cnidaria*) merupakan salah satu contoh utama hewan berbisa di laut, dengan sel penyengat (*cnidocyte*) yang dapat menginjeksikan nematosista beracun. Sengatan ubur-ubur menyebabkan nyeri hebat, reaksi alergi, hingga komplikasi sistemik yang serius pada manusia (Utkin, 2015, h. 31). Beberapa spesies, seperti *Chironex fleckeri*, meskipun lebih umum di perairan Australia, memiliki kerabat yang juga ditemukan di perairan Asia Tenggara, termasuk Indonesia (Oliveira et al., 2023, h. 5).

Selain ubur-ubur, ikan beracun seperti stonefish (*Synanceia spp.*) dan lionfish (*Pterois spp.*) hidup di ekosistem terumbu karang Indonesia. Keduanya memiliki duri sirip beracun yang terhubung dengan kelenjar bisa. Sengatan stonefish dikenal sebagai salah satu yang paling menyakitkan di dunia, bahkan dapat menyebabkan kematian bila tidak segera ditangani. Adaptasi morfologi berupa kamuflase tubuh juga membuat ikan ini sulit terlihat, meningkatkan risiko sengatan bagi penyelam dan nelayan (Oliveira et al., 2023, h. 6).

Hewan beracun laut lain yang signifikan adalah pufferfish (*Tetraodontidae*), yang menghasilkan tetrodotoksin, salah satu racun paling mematikan dengan efek paralisis pada sistem saraf. *Pufferfish* tersebar luas di perairan laut dangkal Indonesia. Racun ini bersifat pasif dan hanya berbahaya bila ikan dimakan. Selain itu, kerang dari famili

Mytilidae dan *Xanthidae* diketahui dapat menumpuk biotoksin laut seperti saxitoksin atau palitoksin, yang berbahaya bagi manusia bila dikonsumsi (Nagy et al., 2024, h. 10).

Di laut dalam, beberapa siput laut (genus *Conus*) memiliki *harpoon-like radula* yang dapat menyuntikkan conotoxin, peptida neurotoksik yang sangat poten. Spesies ini ditemukan di banyak wilayah tropis termasuk perairan Indonesia, dan racunnya telah diteliti dalam proyek bioprospeksi karena potensinya sebagai kandidat obat analgesik (Cleopatra Project, 2022, h. 4). Dengan demikian, habitat laut Indonesia menyimpan keanekaragaman hewan beracun dan berbisa dengan signifikansi tinggi, baik dalam risiko medis maupun potensi farmasi.

2.3.6 Jenis Racun dan Mekanisme Kerjanya

Racun hewan (zootoksin) merupakan campuran kompleks dari protein, peptida, enzim, dan molekul kecil yang berevolusi sebagai senjata biologis untuk pertahanan maupun predasi (Oliveira et al., 2023, h. 76). Setiap jenis racun memiliki mekanisme kerja spesifik terhadap target fisiologis, seperti sistem saraf, darah, jaringan otot, hingga kulit. Pemahaman mengenai klasifikasi toksin sangat penting, tidak hanya untuk kedokteran dan toksikologi, tetapi juga untuk Pendidikan, agar masyarakat dapat mengenali bahaya dan peran ekologis hewan beracun dan berbisa (Utkin, 2015, h. 28).

2.3.6.1 Neurotoksin

Neurotoksin bekerja dengan mengganggu fungsi sistem saraf, baik melalui blokade transmisi sinaptik, penghambatan kanal ion, maupun ikatan dengan reseptor asetilkolin nikotik. Contoh klasik berasal dari bisa ular kobra (*Naja spp.*) dan weling (*Bungarus candidus*), yang mengandung α -bungarotoksin, suatu protein yang berikatan kuat dengan reseptor asetilkolin sehingga mengakibatkan kelumpuhan otot dan kegagalan pernapasan (Utkin, 2015, h. 30). Racun serupa juga ditemukan pada siput laut *Conus* yang menghasilkan conotoxin, yaitu peptida kecil dengan spesifisitas tinggi terhadap kanal ion saraf, sehingga menimbulkan nyeri ekstrem dan paralisis (Oliveira et al., 2023, h. 78).

Ikan buntal mengandung tetrodotoxin, neurotoksin non-protein yang mampu memblokir kanal natrium tergantung tegangan, menyebabkan parestesia, ataksia, hingga henti napas (Nagy et al., 2024, h. 3).

2.3.6.2 Hemotoksin

Hemotoksin menyerang komponen darah dan jaringan vaskular, mengakibatkan hemolisis, kerusakan pembuluh darah, serta gangguan koagulasi. Racun ini umumnya ditemukan pada ular viperidae seperti *Vipera berus* dan *Bothrops jararaca*. Toksin ini mengandung enzim proteolitik, disintegrin, serta fosfolipase A2 yang dapat merusak membran sel darah merah dan menghambat fungsi trombosit (Oliveira et al., 2023, h. 82). Kasus gigitan viper sering berujung pada perdarahan sistemik, nekrosis lokal, hingga gagal ginjal akibat disseminated intravascular coagulation (Nagy et al., 2024, h. 4).

2.3.6.3 Sitotoksin & Miotoksin

Sitotoksin adalah toksin yang merusak membran sel secara langsung, mengakibatkan lisis dan nekrosis jaringan. Beberapa ular, misalnya kobra (*Naja naja*), menghasilkan sitotoksin yang dapat menyebabkan ulserasi parah pada jaringan kulit di sekitar lokasi gigitan (Oliveira et al., 2023, h. 83). Miotoksin, di sisi lain, bekerja khusus pada sel otot, menyebabkan kerusakan serabut otot, pelepasan mioglobin, dan risiko gagal ginjal sekunder. Lipan (*Scolopendra* spp.) diketahui mengandung protein-protein dengan aktivitas miotoksik dan neurotoksik sekaligus, yang dapat menyebabkan nyeri hebat, pembengkakan, dan nekrosis lokal (Nagy et al., 2024, h. 3).

2.3.6.4 Dermotoksin / Racun Kulit

Dermotoksin atau racun kulit biasanya dihasilkan oleh hewan amfibi atau serangga tertentu sebagai mekanisme pertahanan pasif. Kodok bangkong (*Bufo bufo*) mengeluarkan bufotoksin dari kelenjar parotoidnya, yang bersifat iritan pada kulit dan mukosa, serta dapat menyebabkan aritmia jika tertelan (Nagy et al., 2024, h. 2). Ulat *Lonomia* (*Lonomia obliqua*), salah satu ulat paling berbahaya di Amerika Selatan,

memiliki setae beracun yang mengandung zat prokoagulan kuat, sehingga dapat memicu sindrom hemoragik fatal (Utkin, 2015, h. 29). Selain itu, salamander api (*Salamandra salamandra*) menghasilkan alkaloid samandarin yang bersifat neurotoksik sekaligus dermatotoksik, menyebabkan iritasi kulit, tremor otot, dan henti jantung pada kasus keracunan berat (Nagy et al., 2024, h. 2).

2.3.7 Dampak Racun pada Manusia

Racun hewan dapat menimbulkan dampak yang sangat beragam, mulai dari keluhan ringan di area kontak hingga gangguan organ vital dan kematian. Perbedaan efek ini ditentukan oleh jenis toksin, jumlah racun yang masuk, jalur paparan (misalnya gigitan, sengatan, atau kontak kulit), serta kondisi individu yang terpapar. Secara umum, manifestasi klinis terbagi menjadi dua kelompok besar, yaitu efek lokal di sekitar tempat masuknya racun dan efek sistemik yang melibatkan berbagai organ tubuh (Oliveira et al., 2023).

2.3.7.1 Gejala Klinis Umum

Racun hewan dapat menimbulkan gejala klinis yang bervariasi tergantung jenis racun dan jumlah yang masuk ke tubuh. Gejala umum meliputi nyeri lokal, bengkak, iritasi kulit, hingga kelumpuhan otot dan gagal napas. Misalnya, sengatan ubur-ubur kotak (*Chironex fleckeri*) dapat menyebabkan rasa sakit sangat hebat, luka seperti cambukan, hingga henti napas dan jantung dalam hitungan menit (Guideline ANZCOR, 2025, h.2–3).

Pada kasus gigitan ular, racun dapat menyebabkan pembengkakan progresif, gangguan pembekuan darah, kelumpuhan otot pernapasan, atau gagal ginjal akut (Warrell, 2010, h.47–64). Secara umum, manifestasi klinis yang muncul adalah kombinasi antara efek lokal (nyeri, bengkak, nekrosis) dan efek sistemik (neurotoksik, hemotoksik, nefrotoksik, atau kardiotoxik) (Hardy et al., 2014, h.2–3).

2.3.7.2 Tingkat Bahaya

Derajat bahaya akibat envenomasi sangat bervariasi, mulai dari keluhan ringan hingga kondisi yang mengancam jiwa. Perbedaan

tingkat keparahan dipengaruhi oleh jenis racun, jumlah yang masuk, serta respons tubuh korban. Oleh karena itu, klasifikasi tingkat bahaya penting untuk memahami risiko klinis dan menentukan langkah penanganan yang tepat (Warrell, 2010; Herzig, 2021). Tingkat bahaya envenomasi dapat dibagi menjadi:

1. Ringan: berupa nyeri, iritasi, atau reaksi alergi lokal yang dapat sembuh tanpa komplikasi serius.
2. Sedang: menimbulkan gejala sistemik seperti mual, muntah, kelemahan otot, atau gangguan pembekuan darah.
3. Fatal: menyebabkan henti napas, henti jantung, atau kerusakan organ vital yang berujung pada kematian jika tidak segera ditangani. Misalnya, gigitan krait dan taipan menghasilkan kelumpuhan otot pernapasan yang fatal tanpa ventilasi mekanik (Warrell, 2010, h. 95). Berdasarkan data global, envenomasi ular saja dapat menyebabkan ratusan ribu kematian per tahun, sehingga WHO menetakannya sebagai *neglected tropical disease* (Herzig, 2021, h. 7). Di beberapa wilayah pantai Indonesia timur, sengatan ubur-ubur juga sering dilaporkan, misalnya di perairan Papua, meskipun data angka kasus masih terbatas (Guideline ANZCOR, 2025, h. 2)

2.3.7.3 Data Kasus di Indonesia

Indonesia termasuk wilayah dengan angka kejadian gigitan ular yang tinggi, terutama di daerah pedesaan dengan pekerja tani dan nelayan sebagai kelompok berisiko. WHO menegaskan bahwa di Asia Tenggara, termasuk Indonesia, kasus gigitan ular merupakan masalah kesehatan serius, namun banyak yang tidak tercatat secara resmi (Warrell, 2010, h.7).

2.3.8 Pencegahan dan Penanganan Awal

Upaya pencegahan dan penanganan dini memiliki peran penting dalam menurunkan angka kesakitan maupun kematian akibat envenomasi.

Pencegahan terutama berfokus pada edukasi masyarakat mengenai cara menghindari kontak dengan hewan berbisa, sedangkan penanganan awal ditujukan untuk memperlambat penyebaran racun dan menjaga fungsi vital hingga korban mendapat perawatan medis. Prinsip-prinsip dasar ini telah banyak ditekankan dalam pedoman klinis internasional (Warrell, 2010).

2.3.8.1 Edukasi Masyarakat dan Anak

Upaya pencegahan sangat bergantung pada edukasi. Masyarakat perlu diajarkan untuk tidak menyentuh hewan berwarna mencolok, menghindari area habitat ular dan hewan laut beracun, serta selalu menggunakan alas kaki dan penerangan di malam hari. Edukasi komunitas mengenai habitat ular, musim aktif, serta cara menghindarinya merupakan strategi yang efektif (Warrell, 2010, h. 5–7)

2.3.8.2 Pertolongan Pertama

Pertolongan pertama pada kasus envenomasi harus dilakukan dengan hati-hati agar tidak memperburuk kondisi korban. Pada gigitan ular, langkah utama adalah melakukan imobilisasi pada anggota tubuh yang terkena dengan menggunakan *pressure immobilisation bandage*, menjaga korban tetap tenang, serta segera membawanya ke fasilitas medis untuk mendapatkan penanganan lebih lanjut (Warrell, 2010, h. 61–63). Untuk kasus sengatan ikan batu, pari, maupun beberapa jenis ubur-ubur, daerah yang tersengat sebaiknya segera direndam dalam air panas dengan suhu sekitar 45°C selama kurang lebih 20 menit, karena panas terbukti dapat membantu mengurangi rasa nyeri dan menetralkan sebagian toksin (Guideline ANZCOR, 2025, h. 2–4). Sedangkan pada sengatan ubur-ubur kotak, penanganan awal yang disarankan adalah menyiram area sengatan dengan cuka guna menonaktifkan nematosista yang masih menempel pada kulit, kemudian korban harus segera dievakuasi ke fasilitas kesehatan untuk mendapatkan terapi medis lanjutan (Guideline ANZCOR, 2025, h. 6).

2.3.8.3 Peran Medis

Penanganan medis merupakan faktor paling penting dalam menurunkan angka kesakitan dan kematian akibat envenomasi. Terapi spesifik yang terbukti paling efektif adalah pemberian antivenom, yaitu serum imunoglobulin yang bekerja secara langsung menetralkan racun dalam tubuh. Antivenom telah digunakan secara luas untuk menangani kasus gigitan ular, sengatan ubur-ubur kotak, ikan batu, dan beberapa hewan berbisa lain, dan hingga saat ini masih menjadi satu-satunya terapi definitif pada envenomasi berat (Herzig, 2021, h. 3). Namun, keberhasilan terapi tidak hanya bergantung pada ketersediaan antivenom, melainkan juga pada dukungan perawatan medis lainnya. Di rumah sakit, pasien sering memerlukan tindakan suportif, seperti ventilasi mekanik pada korban yang mengalami kelumpuhan otot pernapasan, terapi cairan intravena untuk menjaga stabilitas hemodinamik, perawatan luka yang tepat untuk mencegah infeksi sekunder, serta hemodialisis pada kasus gagal ginjal akut akibat racun nefrotoksik. Kombinasi antara pemberian antivenom dan perawatan suportif inilah yang menentukan prognosis pasien dan berperan besar dalam mencegah kematian akibat gigitan atau sengatan hewan beracun (Warrell, 2010, h. 93–111).

2.4 Perkembangan Kognitif Anak

Perkembangan kognitif anak berkaitan dengan proses bagaimana anak memperoleh pengetahuan, memahami lingkungan, serta mengembangkan kemampuan berpikir dan memecahkan masalah. Pemahaman terhadap tahapan perkembangan kognitif menjadi landasan penting dalam perancangan media pembelajaran, karena setiap tahap memiliki karakteristik dan kebutuhan belajar yang berbeda. Dalam konteks ini, teori perkembangan kognitif yang dikemukakan oleh Jean Piaget dan dijelaskan lebih lanjut oleh Santrock digunakan sebagai dasar untuk memahami karakteristik kognitif anak.

2.4.1 Tahap Sensorimotor

Tahap sensorimotor berlangsung pada usia 0–2 tahun, di mana anak memahami dunia melalui aktivitas sensorik dan motorik, seperti

melihat, menyentuh, dan menggerakkan objek. Pada tahap ini, proses belajar terjadi melalui pengalaman langsung dan respons terhadap rangsangan fisik. Anak belum mampu berpikir simbolik dan masih sangat bergantung pada interaksi fisik dengan lingkungannya (Santrock, 2019).

Meskipun tahap sensorimotor tidak menjadi fokus utama dalam perancangan media pembelajaran untuk anak usia sekolah dasar, konsep dasar dari tahap ini tetap relevan sebagai fondasi perkembangan kognitif. Prinsip eksplorasi melalui interaksi langsung menjadi acuan awal bahwa anak belajar lebih efektif ketika dilibatkan secara aktif dalam proses belajar.

2.4.2 Tahap Praoperasional

Tahap praoperasional berlangsung pada usia sekitar 2–7 tahun. Pada tahap ini, anak mulai mengembangkan kemampuan berpikir simbolik, ditandai dengan penggunaan bahasa, gambar, dan imajinasi. Anak mampu merepresentasikan objek melalui simbol visual, namun masih menunjukkan keterbatasan dalam berpikir logis dan memahami sudut pandang orang lain. Pemikiran anak pada tahap ini cenderung egosentris dan intuitif (Piaget dalam Santrock, 2019).

Karakteristik tahap praoperasional menunjukkan bahwa anak sangat terbantu oleh media pembelajaran yang menonjolkan visualisasi, ilustrasi, warna, dan bentuk yang menarik. Media berbasis kartu dengan ilustrasi visual memungkinkan anak mengenali objek melalui simbol gambar, sedangkan teknologi Augmented Reality dapat memperkaya representasi visual tersebut dengan menampilkan objek tiga dimensi yang lebih nyata. Hal ini membantu anak menghubungkan simbol visual dengan bentuk asli objek yang dipelajari.

2.4.3 Tahap Operasional Konkret

Tahap operasional konkret berlangsung pada usia sekitar 7–11 tahun, di mana anak mulai mampu berpikir logis terhadap objek dan peristiwa yang bersifat konkret. Anak dapat memahami hubungan sebab-akibat, mengelompokkan objek berdasarkan karakteristik tertentu, serta

melakukan operasi mental sederhana selama objek yang dipelajari dapat diamati secara langsung atau divisualisasikan secara nyata (Santrock, 2019).

Pada tahap ini, anak membutuhkan media pembelajaran yang tidak hanya bersifat simbolik, tetapi juga memberikan pengalaman belajar yang konkret dan kontekstual. Media kartu Augmented Reality *Racun & Bisa* dirancang untuk memenuhi kebutuhan tersebut dengan mengombinasikan kartu fisik sebagai objek konkret dan visualisasi hewan dalam bentuk model tiga dimensi sebagai representasi yang lebih realistis. Interaksi AR memungkinkan anak mengamati bentuk, warna, dan karakteristik hewan secara lebih mendalam, sehingga mendukung proses berpikir logis dan pemahaman konsep.

2.4.4 Keterbatasan Beban Baca Anak

Kemampuan membaca anak usia 5–9 tahun masih berada pada tahap perkembangan awal, baik dari segi kelancaran membaca maupun kapasitas pemrosesan informasi. Menurut Santrock (2019), anak pada usia sekolah dasar awal memiliki keterbatasan dalam memori kerja (*working memory*), sehingga tidak mampu memproses informasi verbal dalam jumlah besar secara bersamaan. Penyajian teks yang terlalu panjang berpotensi meningkatkan beban kognitif dan menyebabkan anak kehilangan fokus terhadap inti materi yang disampaikan.

Sejalan dengan hal tersebut, Mayer (2009) melalui *Cognitive Theory of Multimedia Learning* menjelaskan bahwa manusia, termasuk anak-anak, memiliki kapasitas terbatas dalam memproses informasi visual dan verbal. Ketika informasi disajikan dalam bentuk teks yang panjang dan kompleks, beban kognitif yang tidak relevan (*extraneous cognitive load*) akan meningkat dan menghambat proses pembelajaran. Oleh karena itu, penyajian informasi dalam bentuk teks singkat yang dipadukan dengan visual dinilai lebih efektif dalam membantu anak memahami dan mengingat materi.

Beberapa studi literasi anak merekomendasikan penggunaan teks dalam kisaran 20–40 kata per unit baca, terutama ketika disertai visual pendukung, untuk membantu anak memusatkan perhatian pada satu gagasan utama dan mengurangi beban kognitif. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip *segmenting* dan *coherence* dalam teori pembelajaran multimedia. Pendekatan ini memungkinkan anak untuk memusatkan perhatian pada satu konsep tanpa terganggu oleh informasi tambahan yang berlebihan. Media pembelajaran berbentuk kartu secara struktural mendukung prinsip tersebut karena setiap kartu dapat difokuskan pada satu topik atau objek pembelajaran dengan jumlah teks yang terbatas. (Santrock, 2019; Mayer, 2009).

2.4.5 Gaya Visual dalam Media Edukasi Anak

Gaya visual dalam media edukasi anak berfungsi sebagai sarana representasi pengetahuan yang berperan langsung dalam proses persepsi, pemahaman, dan pembentukan konsep. Dalam konteks pembelajaran anak usia sekolah dasar awal, visual tidak hanya berfungsi sebagai elemen estetis, tetapi juga sebagai alat kognitif yang membantu anak memproses informasi secara lebih efektif. Oleh karena itu, pemilihan gaya visual harus didasarkan pada teori perkembangan kognitif dan teori pembelajaran visual, bukan semata-mata preferensi perancang.

Menurut Santrock (2019), anak usia 5–9 tahun berada pada transisi tahap praoperasional menuju operasional konkret, di mana proses berpikir anak masih sangat bergantung pada representasi visual yang konkret dan mudah dikenali. Pada tahap ini, anak belum sepenuhnya mampu memahami simbol atau abstraksi yang terlalu jauh dari bentuk nyata. Visual yang terlalu stilistik atau simbolik berpotensi menimbulkan miskonsepsi, khususnya dalam pembelajaran sains yang menuntut akurasi bentuk dan karakteristik objek.

Piaget menekankan bahwa anak pada tahap operasional konkret belajar paling efektif melalui objek yang dapat diamati, dibandingkan dengan representasi abstrak. Dalam konteks visual, hal ini berarti bahwa

ilustrasi edukatif perlu mempertahankan kesesuaian bentuk dasar, proporsi, dan ciri utama objek agar anak dapat membangun hubungan yang tepat antara visual dan konsep yang dipelajari (Santrock, 2019).

Di sisi lain, teori *Dual Coding* yang dikemukakan oleh Paivio menyatakan bahwa informasi akan lebih mudah dipahami dan diingat ketika disajikan melalui dua saluran sekaligus, yaitu verbal dan visual. Namun, efektivitas visual sangat bergantung pada kejelasan dan relevansinya terhadap informasi yang disampaikan. Visual yang terlalu kompleks atau detail dapat meningkatkan beban kognitif dan menghambat proses pembelajaran.

Mayer (2009) melalui *Cognitive Theory of Multimedia Learning* menegaskan bahwa pembelajaran akan lebih efektif ketika visual disajikan secara sederhana, relevan, dan selaras dengan teks. Prinsip *coherence* dan *signaling* dalam teori Mayer menekankan pentingnya menghilangkan elemen visual yang tidak relevan serta menonjolkan bagian penting dari objek. Hal ini mengarah pada kebutuhan gaya visual yang tidak sepenuhnya realistis, tetapi juga tidak terlalu disederhanakan.

Berdasarkan teori-teori tersebut, gaya visual semi-realis atau *stylized realism* dipandang sebagai pendekatan yang paling sesuai untuk media edukasi anak usia 5–9 tahun. Gaya ini mempertahankan karakteristik utama objek nyata seperti bentuk dasar, proporsi, dan warna dominan namun tetap mengalami penyederhanaan visual agar mudah diproses oleh anak. Pendekatan semi-realis memungkinkan keseimbangan antara akurasi informasi dan keterbacaan visual.

Dalam pembelajaran sains, khususnya pengenalan hewan beracun dan berbisa, akurasi visual memiliki peran penting untuk mencegah kesalahan pemahaman. Visual yang terlalu kartunal berisiko menghilangkan ciri penting hewan, sedangkan visual yang terlalu realistis dapat menimbulkan rasa takut atau kurang menarik bagi anak. Oleh karena itu, gaya semi-realis berfungsi sebagai strategi visual edukatif yang

mampu menjaga ketepatan representasi sekaligus menciptakan pengalaman belajar yang ramah dan menarik.

Dengan demikian, pemilihan gaya visual dalam media edukasi anak harus berlandaskan teori perkembangan kognitif dan pembelajaran visual. Gaya semi-realis tidak hanya dipilih karena pertimbangan estetika, tetapi karena memiliki dasar teoretis yang kuat dalam mendukung proses pemahaman, retensi informasi, dan pengalaman belajar yang sesuai dengan karakteristik anak usia sekolah dasar awal.

Berdasarkan kajian teori perkembangan kognitif anak, dapat disimpulkan bahwa anak usia 5–9 tahun berada pada transisi tahap praoperasional menuju operasional konkret, di mana proses berpikir masih sangat bergantung pada representasi visual yang konkret, jelas, dan mudah dikenali. Anak pada usia ini memiliki keterbatasan dalam pemrosesan informasi verbal dan memori kerja, sehingga pembelajaran yang efektif perlu disajikan melalui media yang mampu mengurangi beban kognitif, menyajikan informasi secara terstruktur, serta mendukung eksplorasi visual dan interaksi langsung. Teori Piaget, Santrock, Vygotsky, serta Mayer menunjukkan bahwa penggunaan visual yang relevan, sederhana, dan terfokus dapat membantu anak membangun pemahaman konsep secara lebih bermakna dan bertahap.

Selain itu, kajian mengenai gaya visual dalam media edukasi anak menegaskan bahwa pemilihan gaya visual harus mempertimbangkan keseimbangan antara akurasi representasi dan keterbacaan visual. Gaya visual semi-realis dipandang sebagai pendekatan yang paling sesuai karena mampu mempertahankan karakteristik utama objek nyata sekaligus menyederhanakan bentuk agar mudah dipahami dan menarik bagi anak. Pendekatan ini selaras dengan kebutuhan kognitif anak usia sekolah dasar awal serta prinsip pembelajaran visual, di mana visual berfungsi sebagai alat bantu kognitif, bukan sekadar elemen estetis. Dengan demikian, pemahaman terhadap teori perkembangan kognitif anak dan gaya visual media edukasi menjadi landasan penting dalam perancangan media pembelajaran yang efektif, edukatif, dan sesuai dengan karakteristik pengguna sasaran.

2.5 Penelitian yang Relevan

Kajian terhadap penelitian terdahulu yang relevan dilakukan sebagai acuan sekaligus perbandingan, sehingga dapat memperkuat dasar pengembangan perancangan yang disusun oleh peneliti. Adapun penelitian-penelitian yang memiliki keterkaitan dengan topik ini dipaparkan sebagai berikut:

Tabel 2.2 Penelitian yang Relevan

No.	Judul Penelitian	Penulis	Hasil Penelitian	Kebaruan
1.	Pengembangan Multimedia Interaktif Hewan Berbisa dengan Metode <i>Multimedia Development Life Cycle</i>	Dasril Aldo, Miftahul Ilmi, Hariselmi (2023)	a) Hasil validasi ahli media sebesar 81,36% (kategori sangat layak). b) Hasil validasi ahli materi sebesar 83,41% (kategori sangat layak). c) Uji coba respon siswa memperoleh skor 85,23% (sangat baik).	a) Fokus pada konten spesifik hewan berbisa (ular, kalajengking, laba-laba, dsb). b) Menggunakan metode MDLC dalam pengembangan multimedia. c) Memberikan pengalaman belajar interaktif berbasis komputer yang jarang dieksplor dalam topik hewan berbisa.
2.	Penggunaan Metode <i>Virtual Field Trip</i> Berbantuan <i>Augmented Reality</i> terhadap Kemampuan Literasi Biodiversitas Siswa	Rina Oktaviana, Bambang Supriatno, Riandi (2022)	a) Nilai rata-rata siswa meningkat dari 59,3 (<i>pra-test</i>) menjadi 82,6 (<i>post-test</i>). b) Perhitungan <i>N-Gain</i> sebesar 0,62 (kategori sedang–tinggi). c) Siswa lebih antusias dan mudah mengidentifikasi keanekaragaman hayati, termasuk hewan berbahaya.	a) Mengintegrasikan <i>Virtual Field Trip</i> + AR sehingga pembelajaran biodiversitas lebih aman tanpa risiko kontak dengan hewan beracun. b) Terbukti meningkatkan literasi biodiversitas siswa secara signifikan. c) Memberikan pengalaman belajar

				kontekstual meskipun dilakukan di dalam kelas.
3.	Aplikasi Pembelajaran Hewan Reptil Berbasis <i>Augmented Reality</i>	T. Pratama, Y. Rahmanto, A.D. Putra (2022)	a) Validasi media oleh ahli sebesar 85% (kategori sangat layak). b) Respon siswa mencapai 88% (sangat baik). c) AR membantu siswa memahami ciri reptil, termasuk jenis yang berbisa.	a) Menampilkan objek 3D reptil menggunakan AR untuk meningkatkan visualisasi. b) Fokus pada reptil, kelompok hewan yang banyak mengandung spesies berbisa (ular). c) Menggunakan AR mobile yang praktis dan mudah diakses siswa.

Penelitian relevan yang dijabarkan merupakan penelitian-penelitian terdahulu yang membahas seputar media edukasi berbasis Augmented Reality serta pembelajaran mengenai hewan beracun dan berbisa. Penelitian relevan pertama dilakukan oleh Dasril Aldo, Miftahul Ilmi, dan Hariselmi (2023) yang mengembangkan Multimedia Interaktif Hewan Berbisa menggunakan metode *Multimedia Development Life Cycle (MDLC)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produk yang dikembangkan memperoleh skor validasi ahli media sebesar 81,36% dengan kategori “sangat layak”, validasi ahli materi sebesar 83,41% dengan kategori “sangat layak”, serta uji coba respon siswa sebesar 85,23% dengan kategori “sangat baik”.

Hal ini menunjukkan bahwa multimedia interaktif efektif dalam menyampaikan materi tentang hewan berbisa. Kebaruan penelitian ini terletak pada fokusnya yang secara spesifik mengangkat konten hewan berbisa serta penggunaan MDLC dalam perancangan media, namun masih terbatas pada platform berbasis komputer sehingga belum sepenuhnya menyesuaikan dengan kebiasaan siswa yang lebih familiar dengan perangkat *mobile*.

Penelitian relevan kedua dilakukan oleh Rina Oktaviana, Bambang Supriatno, dan Riandi (2022) mengenai Penggunaan Metode Virtual Field Trip

berbantuan *Augmented Reality* terhadap Kemampuan Literasi Biodiversitas Siswa. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan kemampuan literasi biodiversitas siswa dari skor rata-rata 59,3 (*pra-test*) menjadi 82,6 (*post-test*), dengan perolehan *N-Gain* sebesar 0,62 (kategori sedang–tinggi). Penerapan AR terbukti mampu memberikan pengalaman belajar kontekstual seolah-olah siswa melakukan kegiatan lapangan, namun dengan risiko yang lebih minim terutama ketika berhubungan dengan hewan berbahaya atau beracun. Kebaruan penelitian ini terdapat pada integrasi metode *Virtual Field Trip* yang memungkinkan proses pembelajaran biodiversitas berlangsung lebih sesuai dengan kebutuhan siswa.

Penelitian relevan ketiga dilakukan oleh T. Pratama, Y. Rahmanto, dan A.D. Putra (2022) yang mengembangkan Aplikasi Pembelajaran Hewan Reptil Berbasis *Augmented Reality*. Penelitian ini memperoleh hasil validasi media dari ahli sebesar 85% (kategori sangat layak), dengan respon siswa sebesar 88% (sangat baik). Hasil tersebut membuktikan bahwa penggunaan AR dalam pembelajaran reptil mampu membantu siswa memahami ciri-ciri hewan secara lebih mendalam, termasuk spesies berbisa seperti ular. Kebaruan penelitian ini terdapat pada AR untuk menampilkan objek 3D reptil secara nyata melalui perangkat *mobile*, sehingga pembelajaran menjadi lebih menarik, mudah diakses, dan meningkatkan visualisasi siswa terhadap objek yang biasanya sulit diamati secara langsung.

Berdasarkan ketiga penelitian relevan tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan media berbasis AR maupun multimedia interaktif terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman siswa terkait biodiversitas. Namun demikian, masih ditemukan keterbatasan seperti keterikatan pada perangkat, kurangnya fokus pada aspek penanganan bahaya secara praktis, serta perlunya integrasi dengan perangkat *mobile* yang lebih dekat dengan keseharian siswa. Hal ini membuka ruang kebaruan bagi penelitian yang mengembangkan media edukasi berbasis AR dengan konten hewan beracun dan berbisa yang tidak hanya menekankan pada pengenalan, tetapi juga aspek keselamatan dan penanganan awal, sehingga media yang dihasilkan dapat lebih sesuai dengan kebutuhan target pengguna sekaligus memberikan nilai tambah dalam proses pembelajaran.