

- Sandra Arhesa
- Zakwan Yumna
- Gafur Ammar Santoso
- Z. Arifin
- Marhadi
- Fajar Vidya Hartono
- Ruslan Abdul Gani
- Nur Indah Pangastuti

TEKNOLOGI DAN INOVASI DALAM OLAHRAGA RENANG



TEKNOLOGI DAN INOVASI DALAM OLAHRAGA RENANG

**Sandra Arhesa
Zakwan Yumna
Gafur Ammar Santoso
Z. Arifin
Marhadi
Fajar Vidya Hartono
Ruslan Abdul Gani
Nur Indah Pangastuti**



GET PRESS INDONESIA

TEKNOLOGI DAN INOVASI DALAM OLAHRAGA RENANG

Penulis :

Sandra Arhesa
Zakwan Yumna
Gafur Ammar Santoso
Z. Arifin
Marhadi
Fajar Vidya Hartono
Ruslan Abdul Gani
Nur Indah Pangastuti

ISBN : 978-634-255-634-4

Editor : Mila Sari., S.ST., M.Si

Penyunting : Tri Putri Wahyuni., S.Pd

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah
Kec. Koto Tangah Kota Padang Sumatera Barat
Website : www.getpress.co.id
Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Agustus 2026

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan
dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Teknologi Dan Inovasi Dalam Olahraga Renang ini.

Buku Ini Membahas : Evolusi Digital dalam Olahraga Renang: Sebuah Pengantar, Monitoring Fisiologis Real-Time dan Optimalisasi Pemulihan, Big Data dan Algoritma Personalisasi Program Latihan, Sistem Keamanan Cerdas dan Mitigasi Risiko di Air, Teknologi Inklusif dan Adaptif dalam Ekosistem Renang, Etika, Regulasi, dan Kesenjangan Teknologi, Transformasi Digital dalam Pedagogy dan Pembelajaran Renang, Laboratorium Renang Virtual: Simulasi dan *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, Juli 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB 1 EVOLUSI DIGITAL DALAM OLAHRAGA	
RENANG: SEBUAH PENGANTAR.....	1
1.1 Historiografi Teknis: Dari Stopkontak Manual ke Sensor Presisi	3
1.2 Arsitektur Kolam Pintar (<i>Smart Pool</i>) dan IoT	4
1.3 Big Data dan Analitik Biomekanika Digital	5
1.4 Paradigma Baru Kompetisi di Era Virtual.....	7
1.5 Penutup.....	9
DAFTAR PUSTAKA.....	11
BAB 2 MONITORING FISILOGIS REAL TIME DAN OPTIMALISASI PEMULIHAN	15
2.1 Makna Monitoring Fisiologis Real Time dalam Renang.....	16
2.2 Parameter Fisiologis Utama yang Perlu Dipantau.....	17
2.3 Monitoring Kelelahan dan Risiko Overtraining	19
2.4 Teknologi yang Mendukung Monitoring di Kolam Renang.....	20
2.5 Integrasi Data Real-Time dengan Keputusan Latihan.....	21
2.6 Optimalisasi Pemulihan dalam Olahraga Renang.....	23
2.7 Nutrisi dan Hidrasi dalam Pemulihan Renang	24
2.8 Strategi Recovery Aktif dan Pasif.....	25
2.9 Strategi Pemulihan yang Dapat Dipilih Pelatih Renang.....	25
2.10 Alur Implementasi Monitoring untuk Klub atau Sekolah Renang.....	27
2.11 Contoh Skenario Penerapan pada Sesi Latihan	28
2.12 Etika, Keamanan Data, dan Batasan Teknologi.....	29
2.13 Rekomendasi Praktis bagi Pelatih Renang.....	30
DAFTAR PUSTAKA.....	31

BAB 3 BIG DATA DAN ALGORITMA PERSONALISASI	
PROGRAM LATIHAN OLAHRAGA.....	33
3.1 Ekosistem Big Data dalam Keolahragaan Modern	35
3.1.1 Taksonomi dan Dimensi Pengumpulan Data	35
3.1.2 Sintesis Sistemik dan Tantangan Integrasi Data....	38
3.2 Fondasi Algoritmik: Arsitektur Analitik dalam Ilmu	
Olahraga	39
3.2.1 Algoritma <i>Machine Learning</i> (ML) dan	
Pemodelan Ansambel.....	39
3.2.2 Jaringan Saraf Mendalam (<i>Deep Learning</i>)	40
3.2.3 Kecerdasan Komputasi (<i>Computational</i>	
<i>Intelligence</i>)	40
3.3 Personalisasi Program Latihan Berbasis Algoritma.....	41
3.3.1 Pemodelan Distribusi Beban pada Olahraga	
Daya Tahan (<i>Endurance</i>).....	42
3.3.2 Algoritma Preskripsi pada Latihan Ketahanan	
dan Hipertrofi (<i>Resistance</i>)	43
3.4 Pemodelan Prediksi Cedera dan Manajemen	
Kesiapan Biologis Multidimensi	44
3.4.1 Umpan Balik Tertutup dalam Prediksi Cedera	
Mekanis	44
3.4.2 Analitik Restorasi Nokturnal dan Homeostasis	
Otonom.....	45
3.4.3 Intervensi Nutrisi Presisi Algoritmik	46
3.5 Persilangan Explainable AI (XAI) dalam Sintesis	
Kepelatihan	46
3.6 Lanskap Ekosistem Riset dan Implementasi AI	
Keolahragaan di Indonesia.....	47
3.7 Tantangan Metodologis, Demarkasi Bias Algoritmik,	
dan Etika Kedaulatan Data	48
3.7.1 Generalisasi Model dan Jebakan Bias	
Keterwakilan Demografis	48
3.7.2 Komodifikasi Metrik Biologis dan Etika Privasi	
Otonomi	49
3.8 Kesimpulan dan Arah Pengembangan Riset Masa	
Depan.....	50
DAFTAR PUSTAKA.....	53

BAB 4 SISTEM KEAMANAN CERDAS DAN MITIGASI

RISIKO DI AIR	59
4.1 Sistem Keamanan Cerdas.....	59
4.2 Mitigasi Risiko	60
4.3 Keselamatan di Lingkungan Air.....	61
4.4 Komponen Sistem Keamanan Cerdas.....	61
4.5 Teknologi Pendukung.....	62
4.6 Identifikasi Risiko di Lingkungan Air	63
4.7 Mitigasi Risiko di Air	64
4.8 Penerapan Sistem Keamanan	65
4.9 Tantangan dan Hambatan	66
4.10 Solusi dan Rekomendasi	67
4.11 Kesimpulan	68
DAFTAR PUSTAKA.....	69

BAB 5 TEKNOLOGI DAN ADAPTIF DALAM

EKOSISTEM RENANG	73
5.1 Konsep Ekosistem Renang Inklusif dan Adaptif.....	75
5.1.1 Pengertian Ekosistem Renang.....	75
5.1.2 Prinsip Inklusivitas dalam Olahraga.....	77
5.2 Prinsip Adaptivitas dalam Pembelajaran dan Pelatihan Renang.....	79
5.2.1 Adaptasi Kurikulum dan Program Latihan	79
5.2.2 Adaptasi Metode Pembelajaran.....	80
5.2.3 Adaptasi Peralatan.....	80
5.2.4 Adaptasi Lingkungan	81
5.3 Komponen Ekosistem Renang Inklusif dan Adaptif.....	81
5.3.1 Atlet atau Peserta Renang	82
5.3.2 Pelatih dan Guru Pendidikan Jasmani.....	82
5.3.3 Keluarga.....	82
5.3.4 Fasilitas dan Infrastruktur	82
5.3.5 Organisasi dan Komunitas.....	82
5.3.6 Teknologi	82
5.4 Peran Teknologi dalam Ekosistem Olahraga Modern	83
5.4.1 Meningkatkan Aksesibilitas.....	83
5.4.2 Mendukung Pembelajaran.....	84
5.4.3 Memantau Performa	84
5.4.4 Meningkatkan Keselamatan	84

5.4.5 Memfasilitasi Kolaborasi	84
5.5 Kesimpulan	84
DAFTAR PUSTAKA.....	86
BAB 6 ETIKA, REGULASI, DAN KESENJANGAN	
TEKNOLOGI.....	89
6.1 Etika Kompetisi: Integritas di Era Bantuan Teknologi.....	91
6.1.1 Definisi Moralitas dalam Penggunaan Inovasi Olahraga.....	91
6.1.2 Tantangan " <i>Technological Doping</i> " dan Batas Kemampuan Manusia.....	92
6.1.3 Akuntabilitas Atlet dalam Mengadopsi Teknologi Baru.....	92
6.2 Regulasi <i>World Aquatics</i> : Menjaga Integritas dan Keadilan kompetisi.....	93
6.2.1 Standarisasi Peralatan: Belajar dari Era Baju Renang Non-Tekstil.....	93
6.2.2 Kerangka Regulasi <i>World Aquatics</i> terhadap Inovasi Teknologi	95
6.2.3 Legalitas Sensor Biometrik dan Perangkat Pemantauan <i>Real-Time</i>	96
6.2.4 Protokol Pengawasan dan Penegakan Sanksi bagi Pelanggar	97
6.3 Kesenjangan Teknologi: " <i>The Digital Divide</i> " antar Negara.....	98
6.3.1 Ketimpangan Infrastruktur Pelatihan Renang Global	98
6.3.2 Monopoli Data Biometrik dan Keunggulan Kompetitif.....	100
6.3.3 Urgensi Transfer Teknologi demi Inklusivitas Olahraga.....	101
6.4 Dilema Data: Privasi dan Kepemilikan Biometrik Atlet.....	101
6.4.1 Kedaulatan Data dan Hak Kepemilikan Informasi Biometrik	101
6.4.2 Risiko Keamanan Siber dan Eksploitasi Data Sensitif	102

6.4.3 Komersialisasi Data Performa dalam Industri Olahraga.....	103
6.5 Inovasi Inklusif: Menjembatani Celah dengan Teknologi Terjangkau	104
6.5.1 Demokratisasi Analisis Performa melalui Perangkat Lunak Terbuka.....	104
6.5.2 Teknologi Adaptif bagi Perenang Disabilitas dengan Biaya Rendah	105
6.5.3 Kolaborasi Multistakeholder dalam Distribusi Inovasi Renang	105
6.6 Penutup.....	106
DAFTAR PUSTAKA.....	108
BAB 7 TRANSFORMASI DIGITAL DALAM PEDAGOGY DAN PEMBELAJARAN RENANG	111
7.1 Latar belakang transformasi digital dalam pendidikan jasmani	111
7.2 Tantangan pembelajaran renang konvensional (akses, keselamatan, keterbatasan waktu praktik)	114
7.3 Urgensi integrasi teknologi digital dalam pembelajaran akuatik	117
7.4 Tujuan dan ruang lingkup pembahasan.....	119
7.5 Konsep Dasar Transformasi Digital dalam Pendidikan.....	120
7.5.1 Definisi transformasi digital dalam pendidikan	120
7.5.2 Perbedaan digitalisasi, digitasi, dan transformasi digital	121
7.5.3 Karakteristik pembelajaran abad 21	122
7.5.4 Peran teknologi dalam perubahan paradigma belajar (<i>teacher-centered</i> → <i>student-centered</i>)	123
7.6 Pedagogy dalam Konteks Digital	125
7.6.1 Konsep digital pedagogy	125
7.6.2 Pendekatan pembelajaran berbasis teknologi:	126
7.6.3 Prinsip pedagogi modern:	127
7.7 Karakteristik Pembelajaran Renang	129
7.7.1 Hakikat pembelajaran renang dalam pendidikan jasmani.....	129
7.7.2 Tahapan keterampilan renang:.....	130

7.7.3 Tantangan pedagogis dalam pembelajaran renang:	132
7.8 Integrasi Transformasi Digital dalam Pembelajaran Renang.....	134
7.8.1 Model integrasi teknologi dalam pembelajaran renang:	134
7.8.2 Penggunaan platform digital:.....	136
7.8.3 Peran <i>wearable technology</i> dalam latihan renang.....	137
7.9 Dampak Transformasi Digital terhadap Pembelajaran Renang	137
7.9.1 Peningkatan keterampilan teknik.....	137
7.9.2 Peningkatan motivasi dan partisipasi	138
7.9.3 Penguatan kemandirian belajar.....	138
7.9.4 Efisiensi pembelajaran.....	139
7.9.5 Risiko dan keterbatasan (<i>over-reliance</i> pada teknologi)	139
DAFTAR PUSTAKA.....	140
BAB 8 LABORATORIUM RENANG VIRTUAL: SIMULASI DAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD).....	145
8.1 Hidrodinamika.....	146
8.1.1 Gaya-Gaya Mekanika.....	146
8.1.2 Interaksi Fluida-Tubuh.....	148
8.1.3 Rezim Aliran	149
8.2 Prinsip Dasar <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD) dalam Hidrodinamika Tubuh	150
8.3 Alur Kerja Simulasi Laboratorium Virtual	152
8.3.1 Tahap Pra-Pemrosesan (<i>Pre-processing</i>).....	152
8.3.2 Tahap Input Kinematika dan Kondisi Batas (<i>Solving</i>)	152
8.3.3 Tahap Analisis Data dan Visualisasi (<i>Post-processing</i>).....	154
8.4 Studi Kasus dan Aplikasi Praktis	155
8.4.1 Postur Tubuh: Hambatan Bentuk.....	156
8.4.2 Optimalisasi Fase Meluncur Start dan Pembalikan.....	156
8.4.3 Riset Kain dan Tekstur Baju Renang	157

8.4.4 Koreksi Kinematika: Lengan Gaya Bebas158

8.5 Kesimpulan159

DAFTAR PUSTAKA.....160

BIODATA PENULIS

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Parameter Monitoring Fisiologis Real-Time dalam Latihan Renang	17
Tabel 2.2. Matriks Keputusan Berdasarkan Monitoring Real-Time	22
Tabel 2.3. Contoh Protokol Pemulihan Setelah Sesi Renang Intensif	27
Tabel 3.1. Kategorisasi Dimensi Data dan Teknologi Sensor dalam Analitik Olahraga	36
Tabel 3.2. Perbandingan Paradigma Pelatihan Tradisional vs. Berbasis AI	41
Tabel 6.1. Perbandingan Manfaat dan Risiko Teknologi Renang.....	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 5.1. Pembelajaran Renang Inklusif	74
Gambar 5.2. Model kerja lingkungan pengembangan bakat atlet	76
Gambar 5.3. Intervensi Dini pada ABK.....	80
Gambar 5.4. Perkembangan kecerdasan buatan, <i>Internet of Things</i> (IoT), dan teknologi pintar yang berpotensi meningkatkan kualitas ekosistem renang inklusif di masa depan	83
Gambar 7.1. Tantangan pembelajaran renang konvensional	115
Gambar 7.2. Urgensi integrasi teknologi digital dalam pembelajaran akuatik.....	117
Gambar 7.3. Konsep Dasar Transformasi Digital dalam Pendidikan	124
Gambar 7.4. Pedagogy dalam Konteks Digital.....	125
Gambar 7.5. Karakteristik Pembelajaran Renang.....	129
Gambar 7.6. Integrasi Transformasi Digital dalam Pembelajaran Renang.....	134
Gambar 7.7. Dampak Transformasi Digital terhadap Pembelajaran Renang.....	137
Gambar 8.1. Gaya Hambat, Gaya Angkat, Gaya Dorong.....	148
Gambar 8.2. Aliran Laminar	150
Gambar 8.3. Aliran Turbulen.....	150

BAB 1

EVOLUSI DIGITAL DALAM OLAHRAGA RENANG: SEBUAH PENGANTAR

Perubahan besar telah terjadi pada olahraga renang, yaitu perubahan dari sebuah aktifitas fisik menjadi cabang ilmu pengetahuan yang sangat ditentukan oleh pengintegrasian teknologi digital. Awalnya, monitoring performa dilakukan dengan observasi pelatih dan catatan waktu secara manual yang memiliki keterbatasan dalam hal akurasi data. Tapi kebutuhan akan akurasi dalam kompetisi yang sangat eksklusif menjadi alasan adopsi teknologi sensor dan aplikasi software analisis yang lebih maju. Perkembangan ini menggambarkan dampak digitalisasi pada olahraga renang di mana teknologi digunakan untuk mengecilkan faktor kesalahan manusia. Peralihan ini membuka pintu baru untuk mempelajari potensi maksimal tubuh (Delhay *et al.*, 2022).

Implementasi teknologi digital dalam renang bukan lagi sekedar alat bantu, melainkan komponen utama dalam pembentukan metodologi kepelatihan modern. Analisis big data mampu mendeteksi parameter biomekanika yang memiliki dampak signifikan pada peningkatan kecepatan dan efisiensi energi peserta renang tersebut. Dengan adanya teknologi digital, trainer dapat mengevaluasi progres fisik dan teknis atlet renang tanpa dibatasi oleh jarak dan waktu. Teknologi digital telah menciptakan standar baru untuk objektivitas evaluasi, hal yang sebelumnya sulit dilakukan hanya dengan instruksi verbal biasa saja. Digitalisasi dapat menjadi penghubung teori dari ilmu olahraga ke dalam praktek renang (Johnson *et al.*, 2009).

Bersamaan dengan evolusi dari teknologi perangkat keras, penggunaan sensor sandang (*wearable sensors*) telah merubah proses pemilihan data kinetik secara real time. Sensor dapat mencatat data akselerasi dan sinkronisasi gerakan tubuh dengan

keakuratan hingga tingkat milidetik yang terjadi di bawah air. Data tersebut dikalkulasikan menggunakan algoritma pintar yang pada akhirnya memberikan umpan balik tentang kualitas proses pengetikan pada setiap fase kayuhan. Penemuan ini memungkinkan pesepakbola melakukan analisis teknis secara individual berdasarkan data kuantitatif yang muncul dari perangkat mobile mereka. Penyediaan sensor tersebut membuat setiap sesi latihan menjadi berakuntabilitas data (Morais *et al.*, 2022).

Sementara itu, selain fungsi yang dimiliki oleh teknologi digital di tingkat individu, proses digitalisasi tersebut juga membuat ekosistem persaingan renang menjadi lebih interaktif bagi penonton di seluruh dunia. Penggunaan grafik virtual dalam siaran langsung tersebut membantu penonton memiliki pengalaman menonton yang lebih edukatif berdasarkan informasi performa dalam bentuk perbandingan langsung yang ditampilkan melalui layar TV. Penonton mampu memahami ketidakmudahan dalam pertandingan tersebut berdasarkan kecepatan informasi dan posisi relatif para atlet dalam persaingan mereka dibandingkan dengan rekor dunia yang ditunjukkan melalui media digital tersebut (Glebova, Desbordes and Gecz, 2022).

Namun, pesatnya perkembangan teknologi digital ini juga menghadirkan tantangan baru terkait standarisasi dan aksesibilitas teknologi antar wilayah. Perbedaan kemampuan finansial dan infrastruktur seringkali menciptakan kesenjangan dalam pemanfaatan alat analisis digital. Diperlukan kolaborasi lintas sektoral untuk memastikan bahwa manfaat dari evolusi digital ini dapat dirasakan oleh semua tingkatan perenang, dari pemula hingga profesional (Cossich *et al.*, 2023). Penulisan bab ini bertujuan untuk memetakan perjalanan teknologi tersebut serta memberikan gambaran komprehensif mengenai masa depan olahraga renang. Dengan pemahaman yang tepat, teknologi akan tetap menjadi pelayan bagi pencapaian prestasi manusia yang lebih luhur.

1.1 Historiografi Teknis: Dari Stopkontak Manual ke Sensor Presisi

Transisi historiografi teknis dalam olahraga renang dimulai dari ketergantungan penuh pada observasi manusia dan penggunaan alat pengukur waktu manual. Pada era awal kompetisi, penggunaan *stopwatch* mekanik sering kali menimbulkan margin kesalahan yang signifikan akibat keterlambatan reaksi manusia dalam menekan tombol saat atlet menyentuh dinding kolam. Hal ini menciptakan urgensi untuk mengembangkan sistem yang lebih objektif guna memastikan keadilan dalam hasil kompetisi internasional yang sangat kompetitif (Mooney *et al.*, 2016). Seiring berkembangnya teknologi mikroelektronika, industri olahraga mulai memperkenalkan papan sentuh (*touchpads*) elektromekanis yang mampu mencatat waktu secara otomatis dengan presisi milidetik. Inovasi ini menandai pergeseran besar dari era analog ke digital, di mana data tidak lagi bergantung pada pandangan mata juri di pinggir kolam. Penggunaan sensor sentuh ini menjadi standar emas yang menghilangkan ambiguitas dalam penentuan pemenang pada akhir balapan, terutama pada nomor-nomor jarak pendek yang sangat ketat (Seifert *et al.*, 2014).

Memasuki dekade terakhir, perkembangan tidak hanya berhenti pada garis finis, tetapi meluas ke pemantauan teknis di sepanjang lintasan melalui integrasi kamera berkecepatan tinggi. Teknologi analisis video digital memungkinkan pelatih untuk memecah historiografi gerakan atlet secara detail, yang sebelumnya tidak mungkin dilakukan hanya dengan alat ukur manual. Penggunaan algoritma pelacakan visual ini memberikan dimensi baru dalam memahami bagaimana kecepatan puncak dicapai melalui koordinasi biomekanika yang efisien (Jürimäe *et al.*, 2007). Transformasi tersebut kini mencapai puncaknya dengan adopsi sensor inersia dan teknologi sandang (*wearables*) yang terintegrasi langsung dengan tubuh atlet atau pakaian renang. Sensor presisi ini mampu menangkap data akselerasi dan rotasi tubuh secara *real-time*, memberikan gambaran historiografi teknis yang jauh lebih mendalam daripada sekadar catatan waktu di papan skor. Teknologi ini memungkinkan identifikasi kelelahan atau penurunan teknik

secara instan melalui transmisi data nirkabel ke perangkat pelatih (Mooney *et al.*, 2016).

Sebagai penutup evolusi ini, masa depan historiografi teknis renang kini mengarah pada konvergensi antara sensor fisik dengan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*). Sistem sensor presisi masa kini tidak hanya mencatat apa yang terjadi, tetapi mulai mampu memprediksi performa berdasarkan tren data historis yang terkumpul dalam ekosistem digital. Digitalisasi total ini memastikan bahwa setiap gerakan di dalam air dapat dikuantifikasi secara akurat, menandai berakhirnya era spekulasi dalam analisis olahraga renang (Cossor, 2014).

1.2 Arsitektur Kolam Pintar (*Smart Pool*) dan IoT

Arsitektur kolam pintar merepresentasikan pergeseran fundamental dari fasilitas renang secara statis menjadi ekosistem digital yang responsif melalui integrasi *Internet of Things* (IoT). Fondasi utama dari arsitektur ini adalah jaringan sensor nirkabel yang ditempatkan secara strategis di seluruh area kolam untuk memantau variabel lingkungan secara *real-time*. Keberadaan infrastruktur digital ini memungkinkan pengelola fasilitas untuk menciptakan kondisi latihan yang optimal dan konsisten, yang menjadi prasyarat bagi pencapaian performa puncak atlet (Puente-Gil *et al.*, 2023). Komponen krusial dalam ekosistem ini adalah sistem pemantauan kualitas air otomatis yang terintegrasi dengan algoritma kendali cerdas. Sensor IoT modern kini mampu mendeteksi fluktuasi kadar pH, klorin, dan suhu air dengan tingkat presisi yang jauh lebih tinggi dibandingkan pengujian manual tradisional. Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor ini dikirimkan secara kontinu ke pusat kendali untuk melakukan penyesuaian kimiawi secara otomatis, sehingga memastikan keamanan dan kenyamanan atlet selama sesi latihan intensif (Alotaibi, 2020).

Selain manajemen lingkungan, arsitektur kolam pintar juga mencakup integrasi sistem *underwater positioning* yang berbasis pada sensor visi dan akustik. Teknologi ini memungkinkan pelacakan koordinat posisi atlet secara tiga dimensi saat berada di bawah permukaan air, yang memberikan data akurat mengenai efisiensi lintasan dan kecepatan aliran air. Integrasi konektivitas IoT dalam

kolam memungkinkan data posisi ini disinkronkan langsung dengan profil performa individu atlet di *database* pusat (Yang, Xu and Jia, 2022). Aliran data dari berbagai sensor tersebut kemudian dikelola melalui *edge computing* untuk meminimalisir latensi sebelum dikirimkan ke platform awan (*cloud*). Dalam arsitektur ini, data mentah dari sensor IoT diproses secara lokal di tepi kolam untuk memberikan umpan balik instan kepada pelatih melalui perangkat genggam atau jam tangan pintar. Kecepatan transmisi data ini sangat vital dalam olahraga renang, di mana penyesuaian teknik sekecil apa pun harus dilakukan segera setelah kesalahan terdeteksi (Tang, Long and Zhou, 2025).

Pada tingkat lanjut, arsitektur kolam pintar ini bermuara pada pengembangan *Digital Twin* atau kembaran digital dari fasilitas kolam itu sendiri. Dengan memanfaatkan data historis dan *real-time* dari seluruh sensor IoT, sistem dapat melakukan simulasi skenario latihan dan memprediksi kebutuhan pemeliharaan infrastruktur secara preventif. Transformasi kolam menjadi entitas digital yang utuh ini menandai era baru di mana teknologi tidak lagi sekadar pendukung, melainkan menjadi inti dari ekosistem prestasi olahraga renang (Diaz *et al.*, 2020).

1.3 Big Data dan Analitik Biomekanika Digital

Pengintegrasian big data ke dalam dunia olahraga renang dimulai dengan proses kumpulan data dengan jumlah yang banyak dari berbagai sensor kinetik dan kinematik sekaligus. Kumpulan data tersebut mencakup beberapa variabel mulai dari kecepatan sudut, gaya dorongan, sampai hambatan hidrodinamika yang dirasakan oleh perenang pada setiap tahapan gerakan mereka. Dengan menggunakan algoritma dari pembelajaran menggunakan mesin, akan terbentuklah pola yang mungkin sulit untuk dideteksi oleh mata pelatih secara manual. Analisis biomekanika digital tersebut telah membawa transformasi cara berlatih yang biasanya berdasarkan pada intuisi menjadi keputusan berlatih yang didasari oleh analisis data (Barbosa *et al.*, 2023).

Analisis data dalam proses ini bergantung pada sensor inersia (IMUs), yang dapat melacak gerakan dalam bentuk tiga dimensi. Data ini terdiri dari ribuan poin data per detik yang mencakup sinkronisasi

gerakan lengan dan tungkai saat melakukan gerakan kayuhan. Analisis biomekanika kemudian menggunakan data ini untuk menghitung indeks efisiensi propulsif yang penting untuk penyelamatan energi perenang. Dengan bantuan model matematika, data inersia diolah dan dianalisis dalam bentuk grafik yang mempermudah analisis distribusi energi yang dihasilkan oleh olahragawan di dalam air (Worsey *et al.*, 2021).

Analisis biomekanika digital saat ini juga memanfaatkan computer vision technology untuk melakukan pelacakan gerak sendi secara otomatis tanpa harus menempelkan tanda fisik di tubuh atlet. Dengan menggunakan algoritma kecerdasan buatan, data dari rekaman video yang diambil di bawah air dianalisis otomatis dengan presisi tinggi tentang angle of attack tangan dan posisi badan. Data visual ini akhirnya diproses dan dikonversi ke dalam bentuk koordinat digital yang menjelaskan variasi kecepatan intrasiklus dalam satu siklus putaran di kolam renang. Hubungan antara aerodynamic position tubuh dan penurunan hambatan air merupakan topik utama dalam proses optimasi melalui data digital tersebut (Alammari *et al.*, 2025). Kekuatan utama dari *big data* dalam biomekanika terletak pada kemampuannya untuk melakukan analisis komparatif antara performa saat ini dengan basis data performa elit dunia. Melalui teknik *data mining*, sistem dapat membandingkan lintasan tangan perenang dengan model ideal untuk menentukan efisiensi hidrodinamika yang paling optimal. Analitik ini membantu dalam memprediksi bagaimana modifikasi kecil pada teknik pernapasan dapat memengaruhi stabilitas posisi tubuh di permukaan air. Data historis yang terkumpul selama bertahun-tahun memberikan wawasan tentang tren perkembangan teknis atlet dari level junior hingga profesional. Integrasi data lintas subjek ini memperkaya pemahaman kolektif mengenai batas-batas kemampuan fisik manusia dalam medium air (Querido *et al.*, 2026).

Efektivitas penggunaan analitik biomekanika digital juga sangat ditentukan oleh kemampuan sistem dalam menyajikan umpan balik secara instan melalui dasbor interaktif. Data yang sangat kompleks disederhanakan menjadi indikator kinerja utama (*Key Performance Indicators*) yang dapat langsung diinterpretasikan oleh pelatih di pinggir kolam. Sinkronisasi antara data biomekanika dan

parameter fisiologis, seperti detak jantung, memberikan gambaran holistik mengenai beban kerja atlet. Hal ini memungkinkan penyesuaian intensitas latihan secara *real-time* untuk menghindari risiko cedera akibat kelelahan teknis yang terdeteksi oleh sensor. Dengan demikian, *big data* berperan sebagai jembatan antara efisiensi gerakan dan keberlanjutan performa atlet dalam jangka panjang (Morais *et al.*, 2022).

Terdapat perkembangan masa depan bagi analitik biomekanika yang akan lebih banyak menggunakan model prediktif dengan kecerdasan buatan yang dapat melakukan simulasi untuk mendapatkan hasil perlombaan berdasarkan data latihan tersebut. Model ini tidak hanya melakukan analisis atas apa yang telah terjadi namun juga menyarankan pembaruan teknik berlatih untuk mencapai waktu tertentu. Kombinasi data biomekanika digital dan simulasi virtual environment memungkinkan para atlet untuk melakukan latihan di berbagai skenario yang bisa dihadapi dalam kompetisi. Tingkat akurasi prediksi yang dapat diberikan dengan sistem big data akan menjadi titik beda dalam kompetisi tingkat dunia di cabang olahraga renang (Carvalho *et al.*, 2024).

1.4 Paradigma Baru Kompetisi di Era Virtual

Paradigma baru persaingan lomba renang telah mengalami revolusi besar dengan munculnya sistem kejuaraan virtual yang mengesampingkan batasan geografis tersebut. Dengan bantuan teknologi digital, para peserta dapat bersaing secara langsung di leaderboard dunia yang sama pada waktu yang bersamaan. Kejuaraan virtual ini telah memudahkan para pemain berbakat yang berada di tempat terpencil untuk mengikuti kejuaraan tanpa harus dipusingkan dengan masalah transportasi dan biaya. Integrasi data yang sangat akurat menjadi hal penting dalam mempertahankan integritas dan validitas persaingan tersebut. Ini merupakan fenomena baru yang menunjukkan adanya demokratisasi dalam persaingan olahraga (Shin and Kim, 2024).

Integritas kompetisi dalam era virtual berbasis pada sistem penjurian otomatis yang dijalankan dengan dukungan teknologi kecerdasan buatan (AI). Deep learning algorithms saat ini diterapkan dalam verifikasi teknik turn dan sentuhan finis yang dilakukan oleh

atlet berdasarkan pemantauan video beresolusi tinggi. Teknologi ini memungkinkan mendeteksi pelanggaran teknis dan memberikan laporan transparan kepada pelatih maupun penonton. Penerapan digital juries membantu mengurangi kesalahan subjektif dari pihak manusia dan menjamin integritas kompetisi secara efektif. Standardisasi teknologi menjadi dasar dalam menciptakan ecosystem kompetisi yang adil (Patil, Goudar and Hukkeri, 2026). Tidak hanya dari segi teknis pertandingan, paradigma baru ini juga mengubah bagaimana fans berinteraksi dengan proses pertandingan tersebut berkat konsep Immersive Media. Fan bisa menikmati siaran langsung dengan penambahan grafis interaktif, misalnya garis rekor dunia virtual yang bergerak pada permukaan air. Dengan bantuan teknologi Augmented Reality (AR), para penggemar bisa melihat data kinerja para atlet secara detail lewat perangkat selulernya saat berlomba. Ini membuat interaksi digital mendorong keterlibatan emosional dan juga nilai komersial dari acara olahraga renang tersebut (Pickman, 2023).

Konteks lain di mana konsep kompetisi virtual diterapkan adalah melalui penggunaan simulasi lingkungan dalam bentuk pertandingan atlet melawan bayangan (shadow) performa mereka. Platform ini akan menyediakan simulasi dari kondisi kolam tertentu, termasuk faktor hambatan aliran dan temperatur air. Ini semua dilakukan secara digital demi mendidik atlet dalam hal ketahanan mereka dalam situasi yang dipersiapkan sebelumnya. Para pelatih akan membuat strategi perlombaan berdasarkan analisis prediktif data dari calon lawan mereka. Kompetisi melawan bayangan tersebut akan membuat atlet menjadi mampu bertahan baik secara mental maupun taktis sebelum memulai lomba sungguhan (Gonjo and Olstad, 2021).

Keberlanjutan paradigma kompetisi virtual ini didukung oleh pengembangan platform *blockchain* untuk manajemen lisensi dan rekor atlet secara terdesentralisasi. Setiap catatan waktu dan prestasi yang diraih dalam kompetisi virtual disimpan dalam buku besar digital yang aman dan tidak dapat dimanipulasi. Hal ini memberikan perlindungan data yang kuat serta memudahkan verifikasi kualifikasi atlet untuk ajang internasional seperti Olimpiade. Sistem ini juga memungkinkan pemberian penghargaan berupa aset digital unik

bagi para pemenang sebagai bentuk apresiasi di era baru. Pengelolaan data berbasis *blockchain* menjamin bahwa historiografi prestasi atlet tetap terjaga dengan integritas tinggi di masa depan (Sami *et al.*, 2024).

Pada akhirnya, konvergensi antara dunia fisik dan virtual dalam kompetisi renang menciptakan standar baru bagi pengembangan atlet profesional di masa depan. Federasi olahraga kini mulai mengakui hasil kompetisi virtual sebagai bagian dari pemeringkatan resmi dalam ekosistem olahraga global. Tantangan selanjutnya adalah memastikan kesenjangan teknologi antarnegara tidak menjadi penghalang baru bagi partisipasi atlet dalam format digital ini. Kerja sama internasional dalam standarisasi infrastruktur kolam pintar menjadi syarat mutlak agar paradigma baru ini tetap berkelanjutan. Dengan demikian, era virtual tidak hanya mengubah cara kita bertanding, tetapi juga mendefinisikan ulang makna sportivitas di abad digital (ASOIF, 2019).

1.5 Penutup

Evolusi digital dalam olahraga renang telah mengubah wajah disiplin akuatik dari metode konvensional menuju ekosistem berbasis data yang sangat presisi. Seluruh aspek, mulai dari pencatatan waktu hingga analisis biomekanika, kini terintegrasi dalam jaringan teknologi cerdas yang meminimalisir subjektivitas manusia. Infrastruktur kolam pintar dan penggunaan sensor sandang memastikan bahwa setiap gerakan atlet dapat dikuantifikasi secara mendalam dan akurat. Transformasi ini bukan sekadar pembaruan alat, melainkan pergeseran paradigma dalam memandang potensi fisik manusia melalui lensa digital. Keberhasilan integrasi ini menjadi landasan bagi pencapaian prestasi yang lebih objektif dan terukur di masa depan.

Penerapan *Big Data* dan kecerdasan buatan memberikan peluang besar bagi pelatih untuk merancang program latihan yang sangat personal dan strategis. Data yang terkumpul secara *real-time* memungkinkan deteksi dini terhadap kesalahan teknis maupun risiko cedera akibat kelelahan fisik. Selain itu, munculnya kompetisi di era virtual telah memperluas jangkauan partisipasi atlet melampaui batasan geografis dan logistik tradisional. Pengalaman

penonton pun menjadi lebih interaktif dan edukatif melalui penyajian data visual yang mendalam selama perlombaan berlangsung. Sinergi antara teknologi dan manusia ini menciptakan nilai tambah yang signifikan bagi kemajuan industri olahraga akuatik global.

Meskipun kemajuan teknologi menawarkan banyak solusi, tantangan terkait standarisasi dan kesenjangan aksesibilitas tetap memerlukan perhatian serius dari berbagai pihak. Kolaborasi internasional sangat diperlukan agar inovasi digital dapat dirasakan manfaatnya oleh seluruh lapisan praktisi renang secara inklusif. Masa depan renang digital akan terus berkembang menuju penggunaan model prediktif dan simulasi virtual yang semakin mendekati realitas fisik. Pengelolaan data yang transparan dan aman menjadi kunci utama dalam menjaga integritas prestasi atlet di era informasi ini. Akhirnya, teknologi harus tetap diposisikan sebagai instrumen pendukung untuk mencapai kemanusiaan yang lebih unggul di dalam kolam.

DAFTAR PUSTAKA

- Alammari, B.J. *et al.* (2025) 'Validity of AI-Driven Markerless Motion Capture for Spatiotemporal Gait Analysis in Stroke Survivors', *Sensors*, 25, pp. 1–15. Available at: <https://doi.org/10.3390/s25175315>.
- Alotaibi, A. (2020) 'Automated and Intelligent System for Monitoring Swimming Pool Safety Based on the IoT and Transfer Learning', *Electronics*, 9, pp. 1–13. Available at: <https://doi.org/10.3390/electronics9122082>.
- ASOIF (2019) *FUTURE OF GLOBAL SPORT*. Switzerland: Association of Summer Olympic International Federations.
- Barbosa, T.M. *et al.* (2023) 'The role of the biomechanics analyst in swimming training and competition analysis', *Sports Biomechanics*, 22(12), pp. 1734–1751. Available at: <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1960417>.
- Carvalho, D.D. *et al.* (2024) 'Swimming Performance Interpreted through Explainable Artificial Intelligence (XAI)— Practical Tests and Training Variables Modelling', *Applied Sciences*, 14, pp. 1–15. Available at: <https://doi.org/10.3390/app14125218>.
- Cossich, V.R.A. *et al.* (2023) 'Technological Breakthroughs in Sport : Current Practice and Future Potential of Artificial Intelligence , Virtual Reality , Augmented Reality , and Modern Data Visualization in Performance Analysis', *Applied sciences*, 13, pp. 1–26. Available at: <https://doi.org/10.3390/app132312965>.
- Cossor, J. (2014) *The Use of Technology to Improve Swimming Performance Skill focus*. Loughborough University.
- Delhay, E. *et al.* (2022) 'Automatic Swimming Activity Recognition and Lap Time Assessment Based on a Single IMU : A Deep Learning Approach', *Sensors*, 22, pp. 1–19. Available at: <https://doi.org/10.3390/s22155786>.
- Diaz, R.G. *et al.* (2020) 'Digital Twin Coaching for Physical Activities: A Survey', *Sensors*, 20, pp. 1–21. Available at: <https://doi.org/10.3390/s20205936>.
- Glebova, E., Desbordes, M. and Geczi, G. (2022) 'Mass Diffusion of

- Modern Digital Technologies as the Main Driver of Change in Sports-Spectating Audiences', *Frontiers in Psychology*, 13(April), pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.805043>.
- Gonjo, T. and Olstad, B.H. (2021) 'Race analysis in competitive swimming: A narrative review', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1), pp. 1–16. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph18010069>.
- Johnson, M.B. *et al.* (2009) 'Analyses of Elite Swimming Performances and Their Respective Between-Gender Differences over Time Analyses of Elite Swimming Performances and Their Respective Between-Gender Differences over Time', *Journal of Quantitative Analysis in Sports*, 5(4), pp. 1–18. Available at: <https://doi.org/10.2202/1559-0410.1186>.
- Jürimäe, J. *et al.* (2007) 'Analysis of Swimming Performance From Physical , Physiological , and Biomechanical Parameters in Young Swimmers', *Pediatric Exercise Science*, 19(6), pp. 70–81. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1123/pes.19.1.70>.
- Mooney, R. *et al.* (2016) 'Inertial Sensor Technology for Elite Swimming Performance Analysis: A Systematic Review', *Sensors*, 16(18), pp. 1–55. Available at: <https://doi.org/10.3390/s16010018>.
- Morais, J.E. *et al.* (2022) 'Wearables in Swimming for Real-Time Feedback: A Systematic Review', *Sensors*, 22, pp. 1–14. Available at: <https://doi.org/10.3390/s22103677>.
- Patil, M., Goudar, R.H. and Hukkeri, G.S. (2026) 'AI for swimming recommendation systems exploring the current landscape and research opportunities', *Discover Applied Sciences*, 8, pp. 1–28. Available at: <https://doi.org/10.1007/s42452-025-08156-x>.
- Pickman, D.K. (2023) 'The Use of Virtual Reality and Augmented Reality in Enhancing the Sports Viewing Experience', *International Journal of Arts, Recreation and Sports*, 1(2), pp. 39–49. Available at: <https://doi.org/10.47941/ijars.1516>.
- Puente-Gil, Á. de I. *et al.* (2023) 'The Internet of Things for the Intelligent Management of the Heating of a Swimming Pool by

- Means of Smart Sensors', *Sensors*, 23, pp. 1–14. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s23052533>.
- Querido, A. *et al.* (2026) 'Some Biomechanical and Anthropometric Differences Between Elite Swimmers with Down Syndrome and Intellectual Disabilities', *Sports*, 14, pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.3390/sports14010028>.
- Sami, A. *et al.* (2024) 'Blockchain Use Cases in the Sports Industry : A Systematic Review', *International Journal of Networked and Distributed Computing*, 12(1), pp. 17–40. Available at: <https://doi.org/10.1007/s44227-024-00022-3>.
- Seifert, L. *et al.* (2014) 'Coordination Pattern Variability Provides Functional Adaptations to Constraints in Swimming Performance', *Springer International Publishing* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0210-x>.
- Shin, Y.C. and Kim, C. (2024) 'Pedagogical Competence Analysis Based on the TPACK Model: Focus on VR-Based Survival Swimming Instructors', *Education Sciences*, 14(5). Available at: <https://doi.org/10.3390/educsci14050460>.
- Tang, X., Long, B. and Zhou, L. (2025) 'Real-time monitoring and analysis of track and field athletes based on edge computing and deep reinforcement learning algorithm', *Alexandria Engineering Journal*, 114(October 2024), pp. 136–146. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.11.024>.
- Worsey, M.T.O. *et al.* (2021) 'Is machine learning and automatic classification of swimming data what unlocks the power of inertial measurement units in swimming?', *Journal of Sports Sciences*, 00(00), pp. 1–20. Available at: <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1918432>.
- Yang, H., Xu, Z. and Jia, B. (2022) 'An Underwater Positioning System for UUVs Based on LiDAR Camera and Intertial Measurement Unit', *Sensors*, 22, pp. 1–17. Available at: <https://doi.org/10.3390/s22145418>.

BAB 2

MONITORING FISIOLOGIS REAL TIME DAN OPTIMALISASI PEMULIHAN

Renang adalah cabang olahraga yang menuntut kerja tubuh secara menyeluruh karena perenang harus mengoordinasikan gerak lengan, tungkai, pernapasan, posisi tubuh, dan ritme saat bergerak di dalam air. Renang modern telah bergerak dari pendekatan yang hanya mengandalkan intuisi pelatih menuju pendekatan yang lebih terukur, sistematis, dan berbasis data. Pelatih tetap menjadi pusat pengambilan keputusan, tetapi keputusan tersebut semakin kuat apabila didukung informasi mengenai respons tubuh atlet.

Dalam konteks prestasi, keberhasilan renang tidak hanya ditentukan oleh penguasaan teknik gaya bebas, gaya dada, gaya punggung, dan gaya kupu-kupu, tetapi juga oleh kemampuan pelatih membaca respons fisiologis atlet selama latihan dan setelah latihan (Trianto, 2021; Setyawan et al., 2022).

Teknologi dan inovasi dalam renang semakin diperlukan karena proses latihan modern menuntut keputusan yang cepat, terukur, individual, dan aman bagi atlet. Menekankan bahwa pentingnya *sport science* dalam pembinaan prestasi, karena ilmu fisiologi berperan dalam membantu pelatih memahami bagaimana tubuh merespons beban latihan. (Sukendro & Rasyono, 2016).

Oleh karena itu, pemantauan fisiologis real-time dapat dipahami sebagai usaha mengamati kondisi tubuh atlet saat latihan berlangsung, segera setelah latihan selesai, dan selama fase pemulihan agar program latihan tidak hanya berat, tetapi juga tepat sasaran. Bab ini membahas tentang monitoring fisiologis *real-time* sebagai jembatan antara teknologi, fisiologi latihan, dan keputusan pemulihan dalam olahraga renang.

Istilah real-time dalam bab ini tidak hanya berarti data muncul seketika di layar, tetapi juga berarti data tersebut dapat dipakai untuk

mengubah keputusan latihan pada saat yang masih relevan. Pelatih dapat mengurangi volume set, memperpanjang interval istirahat, mengubah bentuk recovery, atau menghentikan latihan ketika indikator fisiologis menunjukkan risiko kelelahan berlebih.

Prinsip latihan yang sistematis, berulang, bertahap, dan meningkat tetap menjadi dasar kepelatihan, namun prinsip tersebut perlu dikontrol dengan evaluasi agar beban latihan tidak berubah menjadi stres yang merugikan. Dengan demikian, teknologi tidak menggantikan intuisi pelatih, tetapi memperkuat intuisi tersebut dengan bukti objektif, tren data, dan catatan respons individual atlet.

2.1 Makna Monitoring Fisiologis Real Time dalam Renang

Monitoring fisiologis adalah proses mengamati indikator tubuh yang menggambarkan bagaimana atlet menerima, menoleransi, dan memulihkan diri dari beban latihan. Indikator yang umum dipantau meliputi denyut jantung, denyut nadi pemulihan, variasi denyut jantung, *rating of perceived exertion* atau RPE, kadar laktat darah, saturasi oksigen, kualitas tidur, status hidrasi, suhu tubuh, dan keluhan nyeri otot.

Halson menjelaskan bahwa pemantauan beban latihan membantu praktisi memahami apakah atlet sedang beradaptasi secara positif atau justru bergerak menuju kelelahan, sakit, cedera, dan non-functional overreaching (Halson, 2014). Dalam olahraga renang, monitoring menjadi unik karena sebagian sesi berlangsung di air sehingga perangkat harus tahan air, aman, tidak mengganggu gerakan, dan tidak menciptakan risiko tersangkut.

Sensor yang nyaman di cabang lari belum tentu nyaman dipakai saat renang karena posisi tubuh horizontal, tekanan air, gerakan rotasi badan, dan kebutuhan *streamline* dapat memengaruhi pembacaan serta kenyamanan atlet. Karena itu, sistem monitoring renang sebaiknya menggabungkan data perangkat, observasi pelatih, catatan sesi, dan laporan subjektif atlet. Pemantauan beban atlet sebaiknya dilakukan dengan pendekatan multidisiplin, tanpa hanya bergantung pada satu metode pengukuran saja (Bourdon et al., 2017).

Prinsip tersebut relevan untuk renang karena denyut jantung, RPE, kualitas gerak, waktu tempuh, dan keluhan otot harus dibaca sebagai satu paket informasi. Sebagai contoh, dua atlet dapat menyelesaikan set 10 x 100 meter dengan waktu yang sama, tetapi atlet pertama memiliki denyut jantung yang cepat turun saat istirahat, sedangkan atlet kedua memiliki denyut jantung tinggi, napas berat, dan RPE meningkat tajam. Perbedaan respons itu menunjukkan bahwa performa stopwatch harus ditafsirkan bersama respons fisiologis agar pelatih tidak keliru menyamakan kemampuan adaptasi kedua atlet.

2.2 Parameter Fisiologis Utama yang Perlu Dipantau

Pemilihan parameter harus mengikuti tujuan latihan, usia dan level atlet, ketersediaan alat, serta kemampuan pelatih menafsirkan data. Parameter yang terlalu banyak dapat membingungkan bila tidak memiliki rencana interpretasi, sedangkan parameter yang terlalu sedikit dapat membuat pelatih kehilangan tanda awal kelelahan.

Tabel 2.1. Parameter Monitoring Fisiologis Real-Time dalam Latihan Renang

Parameter	Makna Praktis	Waktu Pemantauan	Catatan Penerapan
Denyut jantung	Gambaran respons kardiovaskular terhadap intensitas latihan.	Saat set, interval istirahat, dan cool down.	Gunakan perangkat tahan air; bandingkan dengan RPE.
Denyut nadi pemulihan	Kecepatan tubuh kembali ke kondisi lebih stabil setelah aktivitas berat.	Menit ke-1, ke-3, dan ke-5 setelah set utama.	Dapat dipakai untuk menilai kesiapan set berikutnya.
RPE/sRPE	Persepsi atlet terhadap beratnya latihan.	Akhir set atau 15-30 menit setelah sesi.	Praktis untuk tim dengan alat terbatas.

Parameter	Makna Praktis	Waktu Pemantauan	Catatan Penerapan
Laktat darah	Indikasi akumulasi produk metabolisme intensitas tinggi.	Setelah set intensif atau tes periodik.	Butuh alat dan prosedur higienis.
HRV	Gambaran regulasi saraf otonom dan kesiapan pemulihan.	Pagi hari atau sebelum latihan.	Lebih kuat bila dibaca sebagai tren mingguan.
Kualitas tidur	Indikator pemulihan sistemik.	Harian.	Gabungkan durasi, kualitas, dan rasa segar.
Keluhan otot/nyeri	Tanda beban mekanis dan risiko cedera.	Sebelum dan setelah latihan.	Harus ditindaklanjuti bila menetap.

Denyut jantung menjadi parameter yang paling mudah dipahami karena berkaitan langsung dengan respons kardiovaskular terhadap intensitas latihan. Saat beristirahat, atlet yang terlatih biasanya memiliki denyut jantung lebih rendah dibandingkan individu yang tidak terlatih. Hal ini disebabkan oleh adaptasi pada jantung dan sistem peredaran darah mereka. Walaupun demikian, denyut jantung tidak boleh dibaca secara kaku karena dipengaruhi suhu lingkungan, kecemasan, hidrasi, kualitas tidur, penyakit ringan, dan akumulasi kelelahan.

Dalam renang, denyut jantung dapat sedikit berbeda dari aktivitas darat karena posisi horizontal dan efek tekanan air memengaruhi sirkulasi perifer. Denyut nadi pemulihan penting karena menunjukkan seberapa cepat tubuh kembali stabil setelah latihan intensitas tinggi.

RPE atau *rating of perceived exertion* menggambarkan persepsi usaha atlet. RPE sederhana, murah, dan mudah diterapkan. Meskipun bersifat subjektif, RPE sangat berguna karena atlet merasakan langsung tekanan latihan. Session-RPE dapat digunakan untuk memperkirakan beban internal dengan mengalikan persepsi intensitas dengan durasi latihan. Session-

RPE merupakan metode praktis untuk menggambarkan beban internal karena menggabungkan persepsi intensitas atlet dengan durasi latihan (Halsen, 2014).

Laktat darah digunakan untuk memahami tekanan metabolik latihan. Dalam praktik renang, laktat sering diukur setelah set utama, misalnya setelah latihan threshold, lactate tolerance, atau simulasi race pace. Kadar laktat darah berguna untuk memetakan intensitas metabolik, terutama pada set anaerobik, tes ambang, atau evaluasi program periodisasi. Penelitian pada atlet renang Kota Palu menunjukkan bahwa *sport massage* dan istirahat aktif dapat memengaruhi penurunan kadar asam laktat dalam darah setelah aktivitas renang (Marhadi., Rahmah, A., Bakar, 2023). Namun, laktat tidak harus diukur setiap hari karena membutuhkan alat, prosedur pengambilan sampel, biaya, dan kompetensi interpretasi.

Untuk klub yang belum memiliki fasilitas laboratorium, RPE, denyut nadi pemulihan, waktu tempuh, dan catatan tidur dapat menjadi paket monitoring yang lebih murah tetapi tetap bermanfaat. Bahwa ukuran subjektif seperti kesejahteraan dan persepsi atlet memiliki nilai penting dalam memantau respons latihan (Saw et al., 2015). Temuan itu memperkuat posisi buku latihan harian atau aplikasi sederhana yang meminta atlet melaporkan tidur, rasa lelah, nyeri, mood, dan kesiapan latihan.

2.3 Monitoring Kelelahan dan Risiko Overtraining

Kelelahan adalah konsekuensi normal dari latihan. Tanpa kelelahan, tubuh tidak memperoleh stimulus adaptasi yang cukup. Namun, kelelahan menjadi masalah ketika tidak diimbangi pemulihan. Dalam renang, akumulasi kelelahan dapat muncul pada periode volume tinggi, training camp, jadwal sekolah yang padat, kompetisi beruntun, atau fase intensifikasi menjelang perlombaan utama. *Overtraining syndrome* merupakan respons maladaptif terhadap latihan berlebihan tanpa istirahat yang memadai dan dapat mengganggu banyak sistem tubuh.

Tanda risiko kelelahan berlebihan dapat dilihat dari performa, fisiologi, psikologi, dan perilaku. Dari sisi performa, atlet sulit mempertahankan pace, recovery antar set lebih lama,

dan kualitas teknik menurun. Dari sisi fisiologi, denyut jantung istirahat dapat meningkat, HRV menurun, tidur memburuk, dan rasa lelah bertahan lama. Dari sisi psikologis, atlet dapat kehilangan motivasi, mudah marah, sulit fokus, dan merasa latihan menjadi beban. Dari sisi perilaku, atlet mungkin mulai menghindari latihan atau tidak jujur saat mengisi wellness. Monitoring beban latihan bermanfaat untuk memahami hubungan antara stimulus latihan, respons internal, adaptasi, kelelahan, dan risiko non-functional overreaching (Halsen, 2014).

Pelatih perlu membedakan kelelahan fungsional dan kelelahan non-fungsional. Kelelahan fungsional direncanakan dalam program dan diikuti peningkatan performa setelah recovery. Kelelahan non-fungsional berlangsung lebih lama, tidak segera membaik dengan istirahat pendek, dan menurunkan performa. Monitoring harian membantu pelatih mengenali pergeseran dari kondisi normal menuju kondisi berisiko.

Pencegahan overtraining tidak berarti latihan harus selalu ringan. Pencegahan berarti latihan keras diberikan pada waktu yang tepat, dengan pemulihan yang cukup, dan berdasarkan respons aktual atlet. Program terbaik bukan program yang paling berat, tetapi program yang membuat atlet mampu beradaptasi secara konsisten

2.4 Teknologi yang Mendukung Monitoring di Kolam Renang

Teknologi monitoring renang dapat dibagi menjadi perangkat *wearable*, perangkat *poolside*, aplikasi pencatatan, kamera analisis, dan sistem manajemen data. *Wearable* adalah perangkat yang dikenakan pada tubuh atau pakaian untuk memantau parameter kesehatan seperti denyut jantung, oksigen darah, tekanan darah, atau aktivitas tubuh (Amri, 2025).

Dalam olahraga, perangkat *wearable* membantu pelatih mengubah latihan dari berbasis perkiraan menjadi berbasis bukti, terutama ketika data dikumpulkan secara konsisten. Teknologi *wearable* dalam dunia olahraga membahas bagaimana perangkat seperti monitor detak jantung dan pelacak fisiologis mampu

mendukung perencanaan latihan serta proses pemulihan atlet (Rahmat, A., Herdiana, D., Aminudin, 2025).

Studi monitoring detak jantung berbasis *Internet of Things* pada atlet lari juga menunjukkan bahwa data denyut jantung dapat dikirim secara *real-time* ke server untuk membantu pemantauan kondisi atlet saat latihan (Hidayat et al., 2019). Walaupun studi tersebut berasal dari cabang lari, prinsip arsitekturnya relevan untuk renang: sensor menangkap data, perangkat mengirim data, server menyimpan data, dan pelatih membaca dashboard.

Perbedaan utama pada renang adalah kebutuhan *waterproofing*, daya tahan baterai, stabilitas koneksi, dan posisi sensor agar tidak mengganggu gerak *streamline*. Perangkat *poolside* dapat berupa layar tablet, laptop pelatih, stopwatch digital, sistem *timing*, atau papan monitoring yang menampilkan tren denyut jantung, waktu set, jumlah repetisi, dan status pemulihan. Aplikasi pencatatan berfungsi sebagai buku latihan digital yang menggabungkan data objektif dan subjektif.

Perancangan antarmuka *wearable* untuk atlet perlu memperhatikan kemudahan pembacaan informasi, navigasi, dan hubungan antara data fisiologis dengan keputusan pelatih (Dewi, N, W, S, U., Pramatha, 2023). Dalam konteks kolam, tampilan dashboard sebaiknya sederhana: indikator hijau untuk siap, kuning untuk waspada, dan merah untuk perlu modifikasi latihan. Namun, warna dashboard tidak boleh menjadi satu-satunya dasar keputusan karena interpretasi tetap harus mempertimbangkan riwayat atlet, target sesi, cuaca, dan kondisi kesehatan.

Teknologi juga perlu disesuaikan dengan aturan keselamatan kolam, terutama bila perangkat memakai tali, strap dada, kabel pengisi daya, atau sensor yang dapat terlepas. Pelatih perlu membuat SOP: perangkat diperiksa sebelum masuk air, data disinkronkan setelah sesi, perangkat dibersihkan, dan semua kejadian tidak normal dicatat dalam log latihan.

2.5 Integrasi Data Real-Time dengan Keputusan Latihan

Data real-time hanya bernilai bila dihubungkan dengan keputusan latihan yang konkret. Pelatih perlu menentukan terlebih

dahulu tujuan sesi, parameter yang dipantau, ambang perhatian, serta tindakan jika data berada di luar target. Misalnya, tujuan sesi adalah daya tahan aerobik teknik, maka indikator utama bukan hanya kecepatan, tetapi juga kestabilan teknik, denyut jantung yang terkendali, dan RPE yang tidak melonjak.

Sebaliknya, bila tujuan sesi adalah toleransi laktat, peningkatan denyut jantung dan RPE tinggi mungkin diharapkan, tetapi tetap perlu diikuti protokol pemulihan yang sesuai. Dengan sudut pandang tersebut, monitoring real-time adalah bentuk evaluasi yang dipindahkan lebih dekat ke momen latihan, bukan hanya dilakukan setelah musim kompetisi selesai.

Model keputusan yang praktis dapat dimulai dari tiga pertanyaan: apakah atlet masih berada pada target intensitas, apakah teknik masih terjaga, dan apakah pemulihan antarset cukup cepat. Jika tiga jawaban tersebut positif, latihan dapat dilanjutkan sesuai rencana. Jika satu indikator mulai memburuk, pelatih dapat memberi modifikasi ringan seperti memperpanjang interval istirahat, mengurangi repetisi, atau menurunkan target pace. Jika dua atau tiga indikator memburuk bersamaan, pelatih perlu mempertimbangkan penghentian set utama, mengganti latihan dengan teknik ringan, atau memulai sesi recovery. Pendekatan ini membuat monitoring lebih manusiawi karena data tidak dipakai untuk memaksa atlet mengejar angka, tetapi untuk menjaga kualitas latihan dan keselamatan.

Tabel 2.2. Matriks Keputusan Berdasarkan Monitoring Real-Time

Situasi Data	Makna Sementara	Keputusan Pelatih	Catatan Keselamatan
HR sesuai target, RPE sesuai, teknik stabil	Adaptasi berjalan baik	Lanjutkan program	Tetap pantau hidrasi dan napas.
HR tinggi, RPE sedang, teknik stabil	Mungkin beban kardiovaskular naik	Tambah istirahat 30-60 detik	Cek suhu, hidrasi, dan kecemasan.
HR tinggi, RPE tinggi, teknik menurun	Kelelahan akut meningkat	Turunkan volume atau hentikan set utama	Jangan paksa mengejar pace.

Situasi Data	Makna Sementara	Keputusan Pelatih	Catatan Keselamatan
HR sulit turun setelah 5 menit	Pemulihan melambat	Masuk recovery aktif ringan atau pendinginan	Catat sebagai sinyal evaluasi besok.
Keluhan pusing, nyeri dada, atau sesak tidak normal	Risiko medis	Hentikan latihan dan lakukan penanganan	Ikuti SOP keselamatan dan rujukan.

2.6 Optimalisasi Pemulihan dalam Olahraga Renang

Pemulihan adalah proses mengembalikan kemampuan tubuh setelah menerima beban latihan. Menurut Kellmann menyatakan bahwa keseimbangan antara stres latihan, kompetisi, tuntutan kehidupan, dan pemulihan diperlukan untuk mempertahankan performa tinggi secara berkelanjutan (Kellmann et al., 2018).

Dalam renang, kebutuhan pemulihan muncul karena atlet sering menjalani volume tinggi, sesi pagi dan sore, latihan kekuatan di darat, serta ulangan teknik yang panjang. Pemulihan yang buruk dapat terlihat dari denyut nadi istirahat meningkat, tidur terganggu, mood menurun, nafsu makan berubah, keluhan nyeri menetap, teknik menurun, dan waktu tempuh tidak stabil. Fase pemulihan tidak boleh dipandang sebagai waktu kosong, melainkan sebagai bagian dari siklus adaptasi.

Latihan memberi stimulus, sedangkan pemulihan memberi kesempatan bagi tubuh untuk memperbaiki jaringan, mengisi kembali energi, menormalkan regulasi saraf, dan menyiapkan kemampuan latihan berikutnya. Dalam penelitian Indonesia, metode pemulihan aktif sering dibandingkan dengan pemulihan pasif untuk melihat perubahan denyut nadi setelah aktivitas olahraga. Menurut Darmawan menyimpulkan bahwa pemulihan aktif seperti jogging ringan, berenang perlahan, dan pijat olahraga secara konsisten lebih efektif daripada pemulihan pasif dalam mempercepat penurunan detak jantung setelah aktivitas intens (Darmawan et al., 2025).

Penelitian pada cabang pencak silat juga merekomendasikan pemulihan aktif sebagai metode yang lebih cocok untuk menurunkan denyut nadi pemulihan setelah latihan dan kompetisi (Syaefulloh, I.,

2022). Walaupun cabang olahraga berbeda, prinsip bahwa gerak ringan dapat membantu sirkulasi dan penurunan ketegangan memiliki relevansi untuk fase pendinginan renang. Namun, pemulihan aktif harus tetap ringan; bila intensitasnya terlalu tinggi, aktivitas yang seharusnya memulihkan justru menambah beban.

2.7 Nutrisi dan Hidrasi dalam Pemulihan Renang

Pemulihan latihan renang sangat dipengaruhi nutrisi. Setelah latihan, tubuh perlu mengganti cairan, mengisi kembali glikogen, memperbaiki jaringan otot, dan menormalkan sistem fisiologis. Pada atlet yang berlatih dua kali sehari, waktu antar sesi terbatas sehingga nutrisi pascalatihan menjadi sangat penting. Keterlambatan makan atau asupan energi yang kurang dapat membuat sesi berikutnya terasa lebih berat. Panduan nutrisi olahraga menekankan bahwa performa dan pemulihan dari aktivitas olahraga ditingkatkan oleh strategi nutrisi yang dipilih dengan tepat, termasuk pengaturan makanan, cairan, dan timing asupan (Thomas et al., 2016).

Karbohidrat penting untuk mengisi kembali glikogen otot. Latihan renang dengan volume tinggi dan intensitas sedang hingga berat menggunakan glikogen sebagai bahan bakar utama. Jika asupan karbohidrat terlalu rendah, atlet dapat mengalami penurunan energi, rasa berat saat berenang, dan kesulitan mempertahankan intensitas. Pemulihan glikogen menjadi tujuan penting setelah latihan, terutama ketika atlet harus menjalani sesi latihan atau kompetisi berikutnya dalam waktu dekat (Thomas et al., 2016).

Protein diperlukan untuk perbaikan jaringan dan adaptasi otot. Perenang membutuhkan daya tahan sekaligus power untuk start, turn, underwater phase, dan sprint. Karena itu, protein sebaiknya didistribusikan sepanjang hari, bukan hanya dikonsumsi setelah latihan. Pada atlet muda, pemenuhan protein juga perlu disesuaikan dengan kebutuhan pertumbuhan.

Hidrasi pada renang sering diabaikan karena atlet berada di air dan tidak merasa berkeringat. Padahal, perenang tetap kehilangan cairan melalui keringat dan respirasi. Kolam hangat, sesi panjang, dan intensitas tinggi dapat meningkatkan

kehilangan cairan. Atlet perlu minum sebelum latihan, saat jeda, dan setelah latihan. Sebagian besar atlet dapat menyelesaikan sesi latihan dengan defisit cairan, sehingga pemulihan euhidrasi memerlukan konsumsi cairan dan elektrolit secara terencana (Thomas et al., 2016).

2.8 Strategi Recovery Aktif dan Pasif

Recovery aktif adalah aktivitas ringan yang bertujuan membantu transisi tubuh dari kondisi latihan menuju pemulihan. Contohnya adalah jalan ringan, bersepeda santai, mobilitas dinamis, peregangan ringan, dan teknik pernapasan. Recovery aktif dapat membantu mengurangi rasa kaku, memperbaiki sirkulasi, dan menjaga kesiapan psikologis. Namun, intensitasnya harus benar-benar rendah; recovery aktif yang terlalu berat justru menambah beban.

Recovery pasif mencakup tidur, istirahat, relaksasi, massage, kompresi, cold-water immersion, dan metode lain yang tidak menuntut kerja fisik besar. Pemilihan metode harus mempertimbangkan jenis kelelahan. Setelah latihan yang banyak menimbulkan kerusakan otot, metode seperti cold-water immersion atau kompresi dapat dirasakan membantu sebagian atlet. Setelah kelelahan mental, relaksasi, pengurangan stimulus, dan tidur mungkin lebih penting. Setelah dehidrasi, fokus utama tentu penggantian cairan dan elektrolit.

Metode recovery tidak boleh diperlakukan sebagai ritual wajib yang sama untuk semua orang. Prinsip yang lebih tepat adalah memilih metode berdasarkan kebutuhan, bukti, preferensi, ketersediaan, dan respons individual. Atlet harus belajar mengenali tubuhnya sendiri. Jika suatu metode membuat atlet lebih rileks, tidur lebih baik, dan kembali latihan dengan kualitas tinggi, metode tersebut dapat dipertahankan. Namun, jika metode tertentu menimbulkan ketidaknyamanan, menyita waktu, atau tidak relevan dengan masalah utama, penggunaannya perlu ditinjau ulang.

2.9 Strategi Pemulihan yang Dapat Dipilih Pelatih Renang

Strategi pemulihan dalam renang dapat dikelompokkan menjadi pemulihan aktif, pendinginan teknik, hidrasi dan nutrisi, tidur,

mobilitas, sport massage, manajemen psikologis, dan pengaturan beban mingguan. Pemulihan aktif dapat berupa renang ringan 200-800 meter dengan intensitas sangat rendah, drill teknik bernapas, kicking ringan, atau berjalan di sekitar kolam.

Tujuan pemulihan aktif bukan meningkatkan kapasitas, melainkan membantu transisi tubuh dari fase kerja berat menuju keadaan lebih stabil. Penelitian Murtono, Kungku, dan Rifandy pada atlet renang menunjukkan bahwa perlakuan pemulihan dapat memengaruhi denyut nadi pemulihan setelah aktivitas renang (Murtono, T., Kungku, C., Rifandy, A, 2022).

Sport massage dapat dipakai sebagai bagian dari pemulihan terencana, terutama saat atlet mengalami ketegangan otot setelah volume latihan tinggi. Meski demikian, sport massage bukan solusi tunggal, efeknya perlu dibaca bersama tidur, hidrasi, beban latihan, dan respons subjektif atlet. Hidrasi penting karena latihan di kolam sering membuat atlet merasa tidak terlalu berkeringat, padahal kehilangan cairan tetap dapat terjadi.

Denyut nadi sebagai indikator yang dipengaruhi banyak faktor, termasuk aktivitas, kondisi tubuh, dan kebiasaan hidup, sehingga pemulihan tidak boleh hanya dinilai dari satu gejala (Samodra, Y, T, J., Sudrazat, 2021). Tidur menjadi fondasi pemulihan karena banyak proses hormonal, neurologis, dan perbaikan jaringan terjadi saat tidur. Bila data wearable menunjukkan durasi tidur pendek selama beberapa hari dan RPE meningkat, pelatih sebaiknya menurunkan beban intensif atau mengganti sesi dengan teknik rendah intensitas.

Manajemen psikologis juga penting karena tekanan kompetisi, target waktu, dan seleksi tim dapat membuat atlet merasa lelah secara mental meskipun parameter fisik terlihat cukup baik. Bahwa laporan subjektif atlet dapat menjadi indikator respons latihan yang kuat, sehingga pertanyaan sederhana tentang mood, stres, dan rasa siap perlu masuk dalam monitoring harian (Saw et al., 2015).

Tabel 2.3. Contoh Protokol Pemulihan Setelah Sesi Renang Intensif

Waktu	Kegiatan	Data yang Dicatat	Keputusan
0-5 menit	Keluar dari set utama, catat HR dan RPE	HR akhir set, RPE, keluhan	Tentukan perlu cool down biasa atau diperlambat.
5-15 menit	Renang ringan atau drill teknik	HR menit ke-5 dan respons napas	Jika HR tetap tinggi, turunkan intensitas total.
15-30 menit	Hidrasi, peregangan ringan, catat mood	Keluhan otot, mood, rasa lelah	Beri catatan recovery individu.
Malam hari	Tidur dan nutrisi	Durasi tidur, kualitas tidur	Evaluasi kesiapan sesi berikutnya.
Pagi berikutnya	Check-in singkat	HRV/HR istirahat, nyeri, rasa segar	Sesuaikan volume atau intensitas.

2.10 Alur Implementasi Monitoring untuk Klub atau Sekolah Renang

Implementasi monitoring sebaiknya dimulai dari sistem paling sederhana dan meningkat sesuai kesiapan sumber daya. Tahap pertama adalah *baseline*, yaitu mengumpulkan data awal setiap atlet selama dua sampai empat minggu tanpa terlalu banyak mengubah program latihan. Baseline dapat meliputi denyut jantung istirahat, denyut nadi pemulihan setelah set standar, RPE sesi, jumlah jam tidur, catatan nyeri, dan waktu tempuh pada jarak tertentu. Tanpa *baseline*, pelatih mudah salah menafsirkan angka karena setiap atlet memiliki pola fisiologis yang berbeda.

Tahap kedua adalah menentukan indikator prioritas. Klub pemula cukup menggunakan stopwatch, RPE, denyut nadi manual, dan buku latihan. Klub yang lebih maju dapat memakai *heart-rate monitor* tahan air, aplikasi pencatatan, dan tes laktat periodik.

Tahap ketiga adalah membuat SOP pengambilan data: siapa yang mencatat, kapan dicatat, bagaimana data disimpan, dan bagaimana

data dipakai untuk keputusan latihan. Data yang tidak memiliki SOP biasanya hilang, tidak konsisten, atau hanya menjadi angka tanpa keputusan.

Tahap keempat adalah rapat evaluasi singkat antara pelatih dan atlet. Evaluasi tidak harus panjang; lima menit setelah latihan cukup untuk menanyakan RPE, keluhan, kualitas tidur, dan rasa siap untuk sesi berikutnya.

Tahap kelima adalah integrasi data ke periodisasi latihan. Prinsip overload dan progressive increase of load perlu dipertahankan, tetapi peningkatan beban harus menyesuaikan respons individu atlet (Budiwanto, 2012). Dengan cara ini, teknologi membantu pelatih membedakan atlet yang siap menerima beban tambahan dari atlet yang membutuhkan recovery.

2.11 Contoh Skenario Penerapan pada Sesi Latihan

Misalnya sebuah kelompok atlet usia 15-17 tahun menjalani sesi utama 12 x 100 meter gaya bebas dengan target pace kompetisi dan interval istirahat 30 detik. Sebelum latihan, setiap atlet mengisi check-in singkat tentang tidur, rasa lelah, nyeri otot, dan mood. Saat pemanasan, pelatih memperhatikan bahwa dua atlet menunjukkan HR lebih tinggi dari biasanya dan melaporkan tidur kurang dari enam jam.

Ketika set utama berjalan sampai repetisi keenam, kedua atlet tersebut mulai kehilangan ritme napas dan waktu tempuh turun lebih dari dua detik dari target. Pada titik ini, data *real-time* memberi peringatan bahwa masalah bukan sekadar kurang disiplin mengejar pace, tetapi kemungkinan kombinasi kelelahan, tidur buruk, dan beban fisiologis tinggi. Pelatih dapat mengubah repetisi ketujuh sampai kedua belas menjadi teknik aerobik ringan, sementara atlet lain yang indikatornya stabil tetap menyelesaikan set utama.

Keputusan ini menunjukkan bahwa individualisasi tidak berarti memanjakan atlet, tetapi menjaga agar stimulus latihan sesuai dengan keadaan tubuh aktual. Pada akhir sesi, dua atlet tadi melakukan *cool down* lebih panjang, hidrasi, dan mendapatkan instruksi tidur lebih awal serta check-in pagi hari. Keesokan harinya, bila denyut jantung istirahat masih tinggi dan rasa lelah berat, pelatih dapat menurunkan intensitas atau memberi recovery tambahan.

Sebaliknya, bila indikator membaik, atlet dapat kembali ke program normal secara bertahap. Skenario seperti ini menjelaskan nilai monitoring: keputusan latihan dibuat cepat, tetapi tetap berdasar data, observasi, dan komunikasi.

2.12 Etika, Keamanan Data, dan Batasan Teknologi

Monitoring fisiologis mengumpulkan data pribadi yang berhubungan dengan kesehatan, sehingga pelatih perlu memperlakukan data tersebut secara etis. Data denyut jantung, tidur, keluhan nyeri, atau catatan menstruasi pada atlet putri tidak boleh disebarkan di luar kebutuhan pembinaan. Atlet dan orang tua perlu mengetahui data apa yang dikumpulkan, untuk apa data dipakai, siapa yang dapat mengakses, dan berapa lama data disimpan. Prinsip kerahasiaan ini penting agar teknologi tidak membuat atlet merasa diawasi secara berlebihan.

Pelatih juga harus menghindari penggunaan data untuk memperlakukan atlet, misalnya menampilkan peringkat tidur terburuk atau RPE tertinggi di depan tim. Data sebaiknya dipakai untuk dialog, bukan hukuman. Batasan teknologi juga harus dipahami. Sensor dapat salah membaca ketika strap longgar, posisi sensor bergeser, baterai lemah, koneksi terputus, atau algoritma perangkat tidak cocok dengan karakteristik aktivitas air. Karena itu, data real-time perlu diverifikasi dengan gejala fisik, observasi teknik, dan komunikasi langsung dengan atlet.

Menekankan perlunya intervensi pemulihan yang diturunkan dari pemantauan beban latihan dan kompetisi secara sistematis, bukan dari satu angka yang terisolasi (Kellmann et al., 2018). Artinya, jika dashboard menunjukkan atlet siap tetapi atlet melaporkan nyeri tajam di bahu, pelatih tetap harus mengutamakan keselamatan dan menurunkan risiko cedera. Teknologi terbaik dalam olahraga renang adalah teknologi yang memperkuat komunikasi antara pelatih dan atlet, bukan yang membuat pelatih berhenti mengamati manusia di balik angka.

2.13 Rekomendasi Praktis bagi Pelatih Renang

Berikut rekomendasi praktis agar monitoring fisiologis *real-time* dapat diterapkan secara bertahap di klub, sekolah, atau pusat latihan renang:

1. Gunakan prinsip sederhana: pilih tiga sampai lima indikator utama terlebih dahulu, misalnya waktu tempuh, HR, denyut nadi pemulihan, RPE, dan kualitas tidur.
2. Tentukan baseline individual sebelum membuat ambang keputusan, karena angka normal setiap atlet dapat berbeda.
3. Jangan memaksa semua atlet memakai perangkat mahal; monitoring manual yang konsisten lebih berguna daripada perangkat canggih yang jarang dipakai.
4. Pisahkan data untuk keputusan harian, evaluasi mingguan, dan evaluasi bulanan agar pelatih tidak reaktif terhadap fluktuasi kecil.
5. Buat SOP keselamatan bila atlet menunjukkan gejala tidak normal seperti pusing, sesak, nyeri dada, mual berat, atau denyut jantung tidak wajar.
6. Gabungkan data objektif dengan laporan subjektif karena atlet sering merasakan gejala kelelahan sebelum angka performa menurun.
7. Gunakan data untuk pendidikan atlet, misalnya menjelaskan hubungan tidur, hidrasi, pemulihan aktif, dan kualitas set utama.

Rekomendasi tersebut dapat dikembangkan menjadi sistem monitoring klub yang lebih lengkap. Pada tahap awal, klub dapat memakai lembar check-in harian dan catatan denyut nadi pemulihan. Pada tahap menengah, klub dapat menambah wearable tahan air dan dashboard sederhana. Pada tahap lanjut, klub dapat mengintegrasikan data fisiologis, video teknik, data kompetisi, dan program strength and conditioning.

Perkembangan bertahap seperti ini lebih realistis untuk konteks Indonesia karena kesiapan fasilitas, biaya, dan literasi teknologi setiap klub berbeda. Yang paling penting, data harus menghasilkan keputusan: mengubah intensitas, memperpanjang *recovery*, menunda tes maksimal, memperbaiki teknik, atau merujuk atlet ke tenaga kesehatan bila muncul tanda risiko.

DAFTAR PUSTAKA

- Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gastin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., Gabbett, T. J., Coutts, A. J., Burgess, D. J., Gregson, W., & Cable, N. T. (2017). *Monitoring Athlete Training Loads : Consensus Statement*. 161–170.
- Darmawan, S., Irsyad, M., Fauzia, S., & Setiawan, M. A. (2025). *Tinjauan Pustaka Sistematis: Dampak Active Recovery Terhadap Penurunan Denyut Nadi Pasca*. 6(1), 52–65.
- Dewi, N, W, S, U., Pramarta, C. (2023). *Perancangan Antar Muka Wearable Sistem Bagi Atlet*. 1, 811–818.
- Halsen, S. L. (2014). *Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes*. 44. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z>
- Hidayat, M. A., Sukaridhoto, S., Basuki, A., & Falah, F. (2019). *Monitoring Detak Jantung untuk Atlet Lari 100 Meter Berbasis Internet of Things*. 6(2), 85–92.
- Kellmann, M., Bertollo, M., Bosquet, L., Brink, M., Coutts, A. J., Duf, R., Erlacher, D., Halsen, S. L., Hecksteden, A., Heidari, J., Kallus, K. W., Meeusen, R., Robazza, C., Skorski, S., Venter, R., & Beckmann, J. (2018). *Recovery and Performance in Sport : Consensus Statement*. 240–245.
- Marhadi., Rahmah, A., Bakar, A. (2023). *Pengaruh Sport Massage, Istirahat Aktif Dan Pasif Terhadap Kecepatan Renang 50 Meter Gaya Crawl Dan Penurunan Kadar Asam Laktat Darah Pada Atlet Renang Kota Palu*. 94–102.
- Murtono, T., Kungku, C., Rifandy, A, A. (2022). *Pengaruh scrapping (kerokan) dan recovery pasif terhadap pemulihan denyut nadi atlet renang cakra swimming club*. 0383, 91–97.
- Rahmat, A., Herdiana, D., Aminudin, A. (2025). *Penerapan Teknologi Wearable Dalam Analisis Performa Atlet*. 9(1).
- Samodra, Y, T, J., Sudrazat, A. (2021). *Denyut Nadi Indikator Istirahat dalam Kegiatan Sehari-Hari*. 7(1), 150–159.
- Saw, A. E., Main, L. C., & Gastin, P. B. (2015). *Monitoring the athlete training response: subjective self-reported measures trump commonly used objective measures : a systematic review*. May 2014, 281–291. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094758>

- Syaefulloh, I., P. (2022). *Perbedaan Pengaruh Recovery Aktif Dan Pasif Terhadap Denyut Nadi Pemulihan Pada Atlet Pencak Silat Psht Rayon Gbi Surabaya*. 10(01), 145–152.
- Thomas, D. T., Burke, L. M., & Erdman, K. A. (2016). *Nutrition and Athletic Performance*. March.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000852>

BAB 3

BIG DATA DAN ALGORITMA

PERSONALISASI PROGRAM LATIHAN

OLAHRAGA

Evolusi keilmuan olahraga modern pada dekade terakhir telah mengalami transformasi yang fundamental, bergeser dari paradigma berbasis intuisi pelatih yang sarat dengan pendekatan empiris tradisional, menuju ekosistem saintifik yang digerakkan oleh komputasi data berskala masif. Dalam lanskap olahraga performa tinggi kontemporer, para atlet dan organisasi olahraga bersaing dalam lingkungan yang semakin kompetitif, di mana peningkatan performa sekecil apa pun—sebuah konsep yang secara luas diartikulasikan sebagai *marginal gains*—dapat menjadi faktor penentu yang memisahkan antara kemenangan dan kekalahan di level elit (Cossich et al., 2023; Baladaniya & Choudhary, 2025). Mengelola hubungan dosis-respons antara intervensi beban latihan dan efek peningkatan performa yang dihasilkan merupakan tantangan yang sangat kompleks, terutama karena sifat fisiologi manusia yang non-linear dan dibatasi oleh tingkat variabilitas biologis individu yang sangat tinggi (Van Eetvelde et al., 2021). Secara tradisional, pemodelan mekanistik sederhana dan kalibrasi program latihan sangat bergantung pada akumulasi pengalaman bertahun-tahun serta pengetahuan intuitif (*experiential knowledge*) dari pelatih dan ilmuwan olahraga (Cossich et al., 2023).

Sekalipun keahlian spesialis konvensional tersebut tetap menjadi komponen yang sangat diperlukan, pendekatan manual ini memiliki keterbatasan intrinsik yang signifikan. Pendekatan ini rentan terhadap bias subjektif, dibatasi oleh kapasitas kognitif manusia dalam memproses dan mensintesis kumpulan data

performa yang sangat besar dan multidimensi secara bersamaan, serta tidak efisien dalam menjaga konsistensi perlakuan lintas portofolio atlet yang berskala besar (Cossich et al., 2023). Fenomena ini terlihat jelas dari fakta bahwa sekitar 10-30% individu gagal mencapai adaptasi kebugaran kardiorespirasi yang bermakna ketika hanya mengikuti protokol latihan daya tahan yang digeneralisasi (Dandrieux et al., 2023a). Variabilitas biologis ini mencakup interaksi yang rumit antara kecenderungan genetik genotipe, profil fisiologis, latar belakang latihan kronis, dan paparan faktor lingkungan (Dandrieux et al., 2023a).

Sebagai respons terhadap tantangan multidimensional tersebut, integrasi *Big Data* dan Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence* atau AI) telah memicu disrupsi dan revolusi total dalam metodologi pelatihan atlet. Teknologi berbasis algoritma komputasi kini tidak lagi dipandang sebagai sekadar instrumen inovasi eksperimental bagi para pengadopsi awal (*early adopters*); teknologi ini telah bermutasi menjadi tulang punggung intelijen operasional di fasilitas kepelatihan dan organisasi medis olahraga di seluruh dunia (Baladaniya & Choudhary, 2025). Industri analitik olahraga bertenaga AI sendiri saat ini ditaksir memiliki valuasi melampaui USD 2,5 miliar dan terus mengalami eskalasi (Baladaniya & Choudhary, 2025). Melalui pemanfaatan algoritma *Machine Learning* (ML), *Deep Learning* (DL), *Computer Vision*, dan *Computational Intelligence* (CI), sistem kecerdasan preskriptif kini memiliki kemampuan memproses *input* data berdimensi tinggi yang diekstraksi dari perangkat sensor *wearable*, sistem pelacakan *Global Positioning System* (GPS), hingga sistem analisis video optik tiga dimensi (Naik et al., 2022).

Bab ini akan mengelaborasi secara komprehensif arsitektur teknis dan aplikasi praktis *Big Data* beserta algoritma kecerdasan buatan dalam mempersonalisasi program latihan olahraga. Kajian ini mencakup analisis mendalam mengenai ekosistem perangkat pengumpul data (IoT dan *wearables*), taksonomi model algoritma yang merekonstruksi data deret waktu fisiologis menjadi wawasan preskriptif, spesifikasi penerapannya pada olahraga daya tahan (*endurance*) dan latihan kekuatan (*resistance*), serta kemampuannya dalam memodelkan risiko cedera dan optimalisasi fase pemulihan

(Gunalp et al., 2025; Clauzel et al., 2023; Emig et al., 2022). Di samping mengeksplorasi utilitas dan kemanjuran klinis dari teknologi ini, bab ini secara kritis akan menelaah peta jalan adopsi dan implementasinya di Indonesia, serta mengeksplorasi dimensi etis, tantangan generalisasi model, bias algoritmik, dan privasi kedaulatan data yang menjadi isu sentral dalam wacana global keolahragaan kontemporer (Jud & Thalmann, 2024; Ayodeji & Abiodun, 2024).

3.1 Ekosistem Big Data dalam Keolahragaan Modern

Fondasi utama dari personalisasi program latihan yang digerakkan oleh algoritma komputasi bertumpu pada arsitektur data; spesifiknya pada ketersediaan data yang berkualitas tinggi, masif (*volume*), dihasilkan secara cepat (*velocity*), dan sangat beragam (*variety*). Ekosistem *Big Data* dalam olahraga dibangun di atas jaringan infrastruktur *Internet of Things* (IoT), jaringan sensor biomekanik beresolusi tinggi, perangkat komputasi *edge*, dan platform analitik berbasis komputasi awan (*cloud analytics*). Saat ini, sistem pemantauan untuk tim profesional modern secara inheren bergantung pada pelacak proksimal, *Inertial Measurement Units* (IMU), monitor aktivitas kardiovaskular, hingga instrumen pemantau fisiologi tidur (Karabiyik & Tugay, 2023). Perangkat *wearable* tingkat lanjut (*advanced wearable devices*) memfasilitasi akuisisi parameter biomekanik, metabolik, dan psikofisiologis secara *real-time*, non-invasif, dan berkelanjutan, yang berarti data dapat dihimpun di lingkungan alamiah atlet tanpa menginterupsi mekanika gerakan atau merusak rutinitas keseharian mereka (Demeco et al., 2024; Wang et al., 2024).

3.1.1 Taksonomi dan Dimensi Pengumpulan Data

Dalam praktiknya, data yang diekstraksi oleh infrastruktur analitik ini diklasifikasikan ke dalam beberapa domain berdimensi tinggi, yang secara agregat membangun proksi *digital twin* (kembaran digital) komprehensif dari status bio-fisik, psikologis, dan beban kerja atlet.

Tabel 3.1. Kategorisasi Dimensi Data dan Teknologi Sensor dalam Analitik Olahraga

Dimensi Data	Parameter dan Metrik Spesifik	Teknologi Akuisisi & Perangkat Sensor	Resolusi Sampling & Skala
Kardiovaskular & Fisiologis	Denyut jantung (HR), <i>Heart Rate Variability</i> (HRV), saturasi oksigen (SpO2), glukosa berkelanjutan, konsentrasi laktat, elektrolit (Na+, K+) dari keringat.	Monitor HR <i>chest-strap</i> (EKG portabel), tambalan epidermal (<i>epidermal patches</i>), sensor glukosa kontinu (CGM), sensor berbasis tekstil pintar.	Kontinu (1 Hz hingga 250 Hz) untuk analisis mikrosiklus (Dandrieux et al., 2023a; Guneralp et al., 2025; Demeco et al., 2024; Puce et al., 2025).
Kinematika & Biomekanik Otot	Sudut persendian, <i>Ground Reaction Force</i> (GRF), kadensi, frekuensi langkah, simetri gaya, panjang langkah, efisiensi muskuloskeletal.	<i>Inertial Measurement Units</i> (IMU) multi-aksial, sel beban (<i>load cells</i>), elektromiografi permukaan (sEMG), pelacakan optik 3D (misal: <i>Hawk-Eye</i>).	Berfrekuensi tinggi (1000 Hz) selama sesi aktif (Emig et al., 2022; Karabıyık & Tugay, 2023; Kittel et al., 2019; Medina-Ramírez et al., 2024).

Dimensi Data	Parameter dan Metrik Spesifik	Teknologi Akuisisi & Perangkat Sensor	Resolusi Sampling & Skala
Beban Eksternal & Internal	Total jarak, sprint intensitas tinggi, kecepatan, percepatan/deselerasi, <i>Rating of Perceived Exertion</i> (RPE), skor sRPE, Training Impulse (TRIMP).	Unit GPS mikro (10 Hz), sistem lokalisasi lokal (LPS), akselerometer triaksial, kuesioner kesejahteraan.	Agregasi per sesi, rekapitulasi harian/mingguan (Dandrieux et al., 2023a; Zouhal et al., 2021).
Status Pemulihan & Tidur	Arsitektur tidur (<i>Deep</i> , REM, <i>Light</i>), durasi total, efisiensi tidur, latensi tidur, tingkat stres, metrik keseimbangan beban kerja.	Aktigrafi berbasis pergelangan tangan, cincin pintar (<i>smart rings</i>), analisis R-R interval nokturnal.	Pemantauan nokturnal dan agregasi pasca-latihan (Guneralp et al., 2025; Zouhal et al., 2021; Kalén et al., 2019).
Konteks Lingkungan & Psikologi	Suhu inti/lingkungan, kelembaban, elevasi, indeks ketangguhan mental, tingkat komitmen, kecemasan kompetisi.	Sensor suhu terintegrasi, altimeter barometer, pemrosesan bahasa alami (NLP) pada log latihan subjektif.	Kontinu (lingkungan) dan episodik (psikologis) (Dandrieux et al., 2023a; Emig et al., 2022; Mascaret et al., 2022).

Kemajuan substansial dalam rekayasa material cerdas telah memicu transisi dari perangkat berbasis perangkat keras yang kaku

menjadi tambalan epidermal yang direkatkan ke kulit dan sensor berbasis kain fleksibel yang tertanam dalam seragam olahraga. Desain ini menawarkan kenyamanan sirkadian penuh, sangat esensial guna memastikan kepatuhan atlet dalam pelaporan observasional jangka panjang yang sering kali menjadi titik lemah dalam penelitian longitudinal (Demeco et al., 2024). Lebih jauh, teknologi pemantauan *in-vivo* memanfaatkan data berbasis *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) yang diolah menggunakan AI untuk mengkuantifikasi perubahan makroskopik pada arsitektur otot secara volumetrik dengan presisi sub-milimeter, mewujudkan kuantifikasi otot tiga dimensi secara instan (Kittel et al., 2019).

3.1.2 Sintesis Sistemik dan Tantangan Integrasi Data

Data dalam bentuk mentahnya (*raw data*) bersifat netral secara operasional; nilai prediktifnya hanya termanifestasi ketika digabungkan dan diproses secara kontekstual. Tantangan struktural yang membatasi industri olahraga saat ini bukan terletak pada bagaimana memperoleh data, melainkan pada kebingungan mengubah influks masif data yang kotor (*noisy*), tidak selaras secara temporal, dan sering memiliki nilai yang hilang (*missing values*) ini menjadi informasi operasional yang kohesif (Puce et al., 2025; Al-Majnoni et al., 2025).

Organisasi tingkat elit memanfaatkan infrastruktur *data lake* yang menggabungkan aliran perangkat yang disebutkan dalam Tabel 1 bersamaan dengan rekam jejak historis atletik (misalnya, *dataset* turnamen atau *Electronic Health Records* atlet) untuk dilatihkan ke dalam model *Machine Learning* (Zouhal et al., 2021; Rahimian & Toka, 2022). Di sinilah algoritma mulai berperan dengan melakukan prapemrosesan: menormalisasi fitur skala, mengotomatisasi penyandian kategoris, memfilter artefak sinyal dari sensor, dan menyelesaikan imputasi *dataset* (Zouhal et al., 2021). Sebagai representasi, dalam kondisi di mana data kualitatif langka, kerangka komputasi dapat memanipulasi *Generative Adversarial Networks* (GANs) untuk menghasilkan augmentasi data sintesis yang sadar privasi sehingga jaringan saraf tiruan tetap dapat mendeteksi pola tanpa terjebak dalam memori terbatas atau anomali minor (Zouhal et al., 2021; Baughman et al., 2024).

3.2 Fondasi Algoritmik: Arsitektur Analitik dalam Ilmu Olahraga

Pergeseran epistemologis paling monumental di bidang ilmu keolahragaan terjadi dengan ditinggalkannya statistik inferensial linier murni (seperti t-test standar atau regresi linier dasar) beralih kepada adopsi ekosistem *Machine Learning*, *Deep Learning*, dan kecerdasan komputasi tingkat lanjut (Tondut et al., 2023; Keskar et al., 2019). Tinjauan metodologis terbaru di berbagai pangkalan data unggulan mengungkap lebih dari 63 varian metode algoritmik independen yang saat ini dikerahkan dalam analitik performa daya tahan manusia (Emig et al., 2022). Ekosistem arsitektural ini memecah permasalahan non-linear dalam olahraga ke dalam kluster metode yang dibedakan oleh struktur matematisnya.

3.2.1 Algoritma *Machine Learning* (ML) dan Pemodelan Ansambel

Metode berbasis pembelajaran terarah (*supervised learning*) mendemonstrasikan keunggulan ketika menganalisis variabel multidimensi berbasis data matriks berskala besar. Dalam domain evaluasi risiko cedera klinis dan pemodelan adaptasi beban, model pohon keputusan yang diagregasi, seperti algoritma *Random Forest* (RF) dan *eXtreme Gradient Boosting* (XGBoost), konsisten mencatat skor performa validasi tertinggi (Zouhal et al., 2021; Martinez-Gramage et al., 2023). Algoritma RF, misalnya, telah digunakan untuk memprediksi probabilitas terjadinya cedera hamstring dan ruptur *Anterior Cruciate Ligament* (ACL) dengan metrik yang mengagumkan; sebuah tinjauan literatur membuktikan model RF pada subjek atlet divisi perguruan tinggi mencapai akurasi absolut 0,98 dan area di bawah kurva probabilitas (ROC-AUC) sebesar 0,97 (Zouhal et al., 2021; Tondut et al., 2023).

Di sisi lain, algoritma XGBoost beroperasi melalui metodologi *boosting* pohon sekuensial yang dioptimalkan oleh gradien; memodelkan kesalahan iteratif dari setiap keputusan matematis sebelumnya. Karena presisi fungsionalnya dalam menangani nilai anomali dan kelemahan data, klasifikator XGBoost secara ekstensif digunakan untuk melakukan stratifikasi tingkat risiko kesehatan pada skala populasi guna mempersonalisasi rekomendasi aktivitas fisik dengan sensitivitas yang sangat tinggi (Clauzel et al., 2023).

Regresi vektor pendukung (*Support Vector Machines/SVM*) juga rutin diimplementasikan dalam skema pengenalan aktivitas olahraga karena margin keputusannya yang kuat dalam ruang multivariat (Naik et al., 2022; Emig et al., 2022).

3.2.2 Jaringan Saraf Mendalam (*Deep Learning*)

Apabila algoritma ML difokuskan pada pengolahan indikator kuantitatif tabular, *Deep Learning* (DL)—khususnya arsitektur berlapis yang kompleks—dikerahkan untuk mengurai data masif tak terstruktur, seperti matriks piksel citra video rekaman pertandingan atau aliran berkesinambungan sinyal hertz beresolusi tinggi dari sensor. Secara umum, arsitektur DL yang paling signifikan mencakup:

1. ***Convolutional Neural Networks (CNN)***: Sebagai elemen pendorong komputasi visi (*computer vision*), CNN di desain untuk melokalisasi fitur spasial dari data biomekanik melalui serangkaian lapisan filter matematika. Dalam konteks keolahragaan, algoritma ini mampu melacak pusat massa atlet, ekstensi lutut, dan dinamika rotasi persendian secara tiga dimensi secara instan. Bukti berbasis literatur menyatakan bahwa teknik penilaian berbasis CNN mencapai tingkat kesepakatan hingga 94% jika dibandingkan dengan pelatih ahli bertaraf internasional, sekaligus menunjukkan limitasi akurasi spasial menyimpang tidak lebih dari 15 milimeter (Tondut et al., 2023).
2. ***Long Short-Term Memory (LSTM) Networks***: Sebagai varian *Recurrent Neural Networks* (RNN), LSTM dirancang spesifik untuk tidak melupakan dependensi informasi historis yang panjang pada matriks deret waktu. Hal ini menjadikannya sangat relevan dalam fisiologi olahraga; misalnya, efek fisiologis dari sesi sprint hari ini dipengaruhi oleh letihnya lari maraton seminggu yang lalu (Emig et al., 2022).

3.2.3 Kecerdasan Komputasi (*Computational Intelligence*)

Kategori ketiga dalam taksonomi AI adalah Kecerdasan Komputasi (CI). CI bergantung pada algoritma metaheuristik yang meniru evolusi biologis dan perilaku kolektif organisme untuk

memecahkan masalah pencarian optimalisasi global tanpa turunan kalkulus absolut. Implementasi khas CI dalam atletik daya tahan mencakup Algoritma Evolusioner (*Evolutionary Algorithms*) dan *Particle Swarm Optimization* (PSO) yang diinisiasi untuk mengkalkulasi skema laju distribusi tenaga (*pacing strategies*) selama perlombaan ketahanan (Emig et al., 2022). Algoritma ini secara iteratif menemukan rute keluaran daya paling optimal dengan mengevaluasi triliunan probabilitas komputasi ambang laktat individu dan tingkat pengerahan aerobik, yang berada di luar jangkauan heuristik manusia (Emig et al., 2022).

3.3 Personalisasi Program Latihan Berbasis Algoritma

Perangkat algoritmik bukan sekadar mendiagnosis keadaan; utilitas puncaknya tercapai tatkala algoritma menghasilkan intervensi yang preskriptif. Secara historis, pelatih menyusun rutinitas latihan makrosiklus menggunakan heuristik yang sangat kaku, merancang cetak biru yang jarang mengakomodasi penyimpangan mikro adaptasi sirkadian atlet. Rekayasa algoritma preskriptif secara dramatis mengubah hal ini dengan menjadikan resimen kepelatihan sangat reaktif dan dapat dikustomisasi hingga ke level sub-seluler.

Tabel 3.2. Perbandingan Paradigma Pelatihan Tradisional vs. Berbasis AI

Aspek Pelatihan	Paradigma Konvensional	Pendekatan Berbasis AI / Algoritma
Kuantifikasi Beban	Statis, estimasi visual, jarak/volume kasar.	Akurat, metrik biomekanik hertz-ke-hertz, fusi data internal/eksternal.

Resep Intensitas	Persentase repetisi maksimal (1RM) atau VO2 Max yang diuji secara periodik per bulan.	Fluktuasi otonom harian, penyesuaian intensitas absolut secara seketika (<i>real-time</i>).
Resolusi Adaptasi	Penyesuaian antar minggu / fase makrosiklus.	Adaptasi dari menit-ke-menit berdasarkan respons neurologis dan toleransi stres seketika.
Desain Program	Mengandalkan pengalaman empiris pelatih (intuisi heuristik dan <i>trial and error</i>).	Rekomendasi didorong oleh <i>Machine Learning</i> , pemodelan matematis lintasan kebugaran (Cossich et al., 2023; Van Eetvelde et al., 2021).

3.3.1 Pemodelan Distribusi Beban pada Olahraga Daya Tahan (*Endurance*)

Pada atletik kardiovaskular, dinamika intervensi didorong oleh hukum dosis dan respons. Menentukan seberapa lama dan intens seorang atlet pelari atau pesepeda harus berlatih adalah teka-teki non-linear klasik (Van Eetvelde et al., 2021). Untuk menjembatani hal ini, komputasi ML merumuskan prediksi output performa—dikenal sebagai model fungsi impuls respons—yang menghitung prediktabilitas waktu perlombaan berdasarkan metrik kumulatif.

Contoh definitifnya terlihat dalam penelitian yang membandingkan kemandirian Distribusi Intensitas Latihan Piramidal (*Pyramidal Training Intensity Distribution*/P-ML) berhadapan dengan model Distribusi Intensitas Terpolarisasi (*Polarized*/POL-ML) menggunakan pendekatan ML (Dandrieux et al., 2023a; Fister et al., 2020). Struktur arsitektur ML dari model tersebut mengekstraksi variabel fusi yang kompleks dari *session-Rating of Perceived Exertion* (sRPE × durasi) yang dipadukan dengan penghitungan *Training*

Impulse (TRIMP) berbasis detak jantung konstan. Pemodelan ini merumuskan performa dengan kalkulasi $P(t) = f(TL_i, w_i, \lambda)$, di mana probabilitas prediksi peningkatan performa pada waktu t sangat dikendalikan oleh faktor bobot spesifik intensitas (w_i) dan konstanta peluruhan (*decay factor*) yang mereduksi stimulus seiring waktu (λ).

Evaluasi fitur kepentingannya (*feature importance analysis*) mengungkapkan mekanisme kerja biologi yang secara prediktif fundamental. Model piramidal ML mengandalkan korelasi utamanya pada volume metrik latihan beban dan parameter kardiovaskular, yang menuntut pengembangan fondasi aerobik dasar dalam pola yang sistematis, sementara rezim olahraga terpolarisasi direkomendasikan algoritma untuk memaksimalkan adaptasi ekstrem secara fluktuatif. Rekomendasi ML menghasilkan program harian yang merampingkan *pacing* secara spesifik sesuai kondisi mikroseluler pengguna secara prediktif (Edwards & Hettinga, 2023).

3.3.2 Algoritma Preskripsi pada Latihan Ketahanan dan Hipertrofi (*Resistance*)

Di arena pengembangan biomekanika dan kekuatan rangka (*strength training*), program berbasis AI mendisrupsi metodologi periodisasi linier tradisional. Secara empiris, meresepkan resep statis dari nilai tes Repetisi Maksimal (misalnya, 3 set dari 80% 1RM) bersifat cacat karena mengabaikan osilasi kesiapan neuromuskuler sentral harian atlet; sebuah beban yang optimal di hari Senin mungkin terlalu menekan sistem persarafan secara degeneratif pada hari Kamis (Grgic et al., 2023; Sagi et al., 2024).

Kerangka kerja algoritmik mengintervensi menggunakan sistem *Velocity-Based Training* (VBT) digabungkan dengan pembelajaran mesin untuk menilai kelayakan beban secara *in-vivo*. Saat atlet mengeksekusi gerakan angkat beban, sistem transduser posisi linier dan sensor sel beban akan mentransmisikan data profil gaya-waktu ke platform AI yang mengukur tingkat pelambatan kecepatan angkatan dari repetisi pertama hingga repetisi terakhir

(*velocity loss*) (Medina-Ramírez et al., 2024). Ketika ambang batas regresi kurva kecepatan yang dipelajari mesin terdeteksi mengindikasikan dominasi kelelahan myofibril, AI secara instan merekomendasikan intervensi beban relatif secara mikro-regulasi.

Tinjauan metodologis menunjukkan bahwa delegasi kendali pada pengelompokan *AI load-management* tidak hanya terbukti menghasilkan perkembangan kekuatan yang identik secara klinis dengan pendekatan konvensional, tetapi yang paling penting, subjek dalam program yang dinavigasi oleh rekomendasi beban absolut termulasi ML mencatatkan penurunan penanda respons kardiopulmoner yang nyata dan pelaporan pengerahan tenaga subjektif yang secara statistik lebih inferior (Grgic et al., 2023). Ini berarti algoritma mampu mengekstrak keuntungan kinerja anabolik maksimum sambil mengurangi akumulasi patologi kelelahan tubuh. Pada spektrum pasien klinis, AI mengatur terapi gerak progresif yang dirancang secara halus untuk tidak melanggar limitasi persendian seraya meningkatkan kontrol vital, menunjukkan utilitas adaptasi patologis dari teknologi ini (Nambi et al., 2020; Zhao & Guo, 2022).

3.4 Pemodelan Prediksi Cedera dan Manajemen Kesiapan Biologis Multidimensi

Strategi optimalisasi dalam olahraga mutakhir mulai menganut prinsip dasar fisika: tanpa pemulihan anabolik, tekanan beban yang berpotensi menghasilkan perbaikan (*supercompensation*) justru mengarah pada *over-training syndrome* dan keruntuhan integritas biomekanik. Kecerdasan buatan menyelaraskan asimetri metrik kelelahan akut dengan strategi pemulihan restoratif berteknologi tinggi.

3.4.1 Umpan Balik Tertutup dalam Prediksi Cedera Mekanis

Manajemen cedera tidak lagi mengandalkan spekulasi medis setelah serat otot terputus. Menggunakan fusi agregat antara GPS pelacakan pemain beresolusi tinggi, sRPE, dan parameter fungsional, arsitektur kecerdasan mengekstraksi deviasi asimetris dalam pola lari dan rasio akumulasi beban akut-terhadap-kronis (*Acute:Chronic Workload Ratio*). Algoritma pengenalan pola, secara signifikan *Gradient Boosted Trees* (seperti XGBoost) yang dikawinkan dengan jaringan memori temporal (LSTM), telah mendemonstrasikan

signifikansi statistik dalam mereduksi epidemi cedera non-kontak secara eksponensial (Baladaniya & Choudhary, 2025; Rahimian & Toka, 2022).

Dalam sebuah pemodelan lingkungan berisiko tinggi yang mensurvei 210 atlet profesional, AI dalam mekanisme umpan balik tertutup (*closed-loop feedback mechanism*) berhasil membangun klasifikasi matriks diagnostik dengan area kurva probabilitas absolut (AUC) menembus skor 0,814; dan mampu mengidentifikasi probabilitas anomali muskuloskeletal tinggi pada 72% kasus terdaftar yang tak dapat terdeteksi indra manusia. Segera setelah keluaran AI memberikan peringatan dini, staf medis mendikte stratifikasi intervensi terapeutik pencegahan dan pengurangan beban bermain. Akibat langsungnya, keseluruhan tingkat frekuensi kerentanan cedera dilaporkan anjlok tajam dari 11,2% menjadi hanya 6,1% di akhir mikro-siklus, yang juga diejawantahkan secara paralel dalam peningkatan kepatuhan latihan di klub-klub pro global (Baladaniya & Choudhary, 2025; Rahimian & Toka, 2022).

3.4.2 Analitik Restorasi Nokturnal dan Homeostasis Otonom

Metode rekalisasi jaringan sentral pemulihan mengakar kuat pada neurobiologi tidur. Meskipun penting secara fundamental, pelacakan subjektif atas degradasi kognitif sirkadian akibat defisit arsitektur tidur atau kelelahan perjalanan udara terbukti cacat secara heuristik. Di masa transisi data ini, aktuasi algoritma memanfaatkan biometrik aktigrafi *smartwatch* pasif dan *ring* optik yang melakukan dekodeisasi fluktuasi *Heart Rate Variability* (HRV) saat tertidur secara nokturnal (Gunalp et al., 2025; Kalén et al., 2019; Rusmanto et al., 2023; Helander et al., 2020).

HRV berfungsi sebagai lensa cermin langsung menuju metrik kelistrikan saraf otonom; setiap penekanan skor HRV berkorespondensi mutlak secara klinis dengan kegagalan pemulihan dominan saraf simpatik, suatu biomarker tak terbantahkan untuk stres seluler akumulatif (Gunalp et al., 2025). Model peringatan dini AI dirancang untuk memformulasikan indeks kebugaran sistem saraf. Apabila regresi otonom ditandai negatif, *Machine Learning* tanpa campur tangan staf medis secara otomatis mengintervensi parameter kalender esok harinya—mentranslasikan rutinitas hari

tersebut menjadi intervensi sesi parasimpatik intensitas regeneratif, mengomunikasikan saran *napping* yang strategis, hingga memblokir partisipasi uji tanding—sebagai mekanisme protektif harian yang presisi (Gunalp et al., 2025; Kalén et al., 2019).

3.4.3 Intervensi Nutrisi Presisi Algoritmik

Integrasi hulu metodologis pemulihan menyentuh bidang farmakogenomik nutrisi. Arsitektur komputasi mutakhir merajut benang merah secara otomatis antara beban kinetik terkuantifikasi, kondisi patologi spesifik lingkungan, reaktivitas genetik, dan *Continuous Glucose Monitoring* (CGM) transdermal (Puce et al., 2025; Rothschild et al., 2024). Selama ajang lomba berkesinambungan berdurasi ekstra, AI melakukan pemantauan penipisan glikogen seketika dengan regresi linear berbasis waktu yang dimutakhirkan. Program akan meluncurkan notifikasi proaktif pada instrumen *heads-up display* mengenai jumlah absolut gramasi karbohidrat dan waktu suplementasi presisi termodulasi yang diwajibkan dikonsumsi oleh pengguna, guna menggagalkan kejatuhan kinetik fungsional sebelum ambang penurunannya terdaftar oleh otak secara fisiologis (Puce et al., 2025; Dandrieux et al., 2023b).

3.5 Persilangan Explainable AI (XAI) dalam Sintesis Kepelatihan

Paradoks paling krusial dari eskalasi fungsional di balik algoritma canggih, terutama model lapisan *Deep Learning* berlapis-lapis dan *Random Forest* bercabang, adalah opasitas penalaran teknis algoritmik yang sering dijuluki sebagai "sindrom kotak hitam" (*black-box problem*) (Ayodeji & Abiodun, 2024). Keputusan algoritmik untuk membatalkan partisipasi bintang elit menjelang turnamen mayor tanpa argumentasi kausalitas fungsional yang eksplisit dipastikan akan mengundang rejeksi agresif dari kubu manajemen dan atlet.

Inovasi rekayasa peranti lunak memperkenalkan protokol *Explainable Artificial Intelligence* (XAI) untuk membedah anatomi probabilitas keluaran. XAI mengadaptasi instrumen seperti pendekatan analitik eksplanatori aditif *Shapley Additive Explanations* (SHAP), yang memetakan transparansi parameter secara diskrit

untuk menjustifikasi setiap simpulan klinis dan merinci fitur mana yang mendorong skor persentase risiko ke ambang kritis. Misalnya, representasi SHAP tidak hanya memproyeksikan risiko ACL berkisar 85%, melainkan mendekonstruksi secara visual bahwa defisit tidur kronik berturut-turut yang dikalikan dengan beban akselerasi pendaratan melompat eksentrik pada kuartir ke-4 pertandingan masa lalu merupakan proporsi fundamental pemicunya.

3.6 Lanskap Ekosistem Riset dan Implementasi AI Keolahragaan di Indonesia

Adopsi global dan hegemoni kecerdasan buatan menyebar lintas demografi geografi dan telah menyulut disrupsi dalam konstelasi kurikulum dan ekosistem kepelatihan di negara-negara berkembang. Meninjau khusus perkembangan di Republik Indonesia, penetrasi awal pengintegrasian keilmuan algoritmik terekam melalui pemetaan bibliometrik komprehensif pada pangkalan data jurnal global unggulan terindeks Scopus (Jud & Thalmann, 2024). Data longitudinal memvalidasi lonjakan sentralitas tren riset yang menyoroti klaster studi mengenai interaksi antara *IoT Wearables*, *Machine Learning*, dan kecerdasan komputasional robotik (Jud & Thalmann, 2024; Adi & Fathoni, 2020).

Riset ini membongkar karakteristik interdisipliner dengan simpul riset keolahragaan tanah air yang dipelopori oleh akselerasi institusi pendidikan komprehensif nasional, terutama diakomodir oleh kontribusi massal dari universitas pencetak pendidik olahraga murni; meliputi dominasi institusi akademik kenamaan di Jawa Timur hingga DKI Jakarta. Studi-studi lokal menitikberatkan pada perumusan *Deep Learning* secara selaras dengan integrasi desain pedagogis dan kurikulum di bidang ranah Pendidikan Jasmani, Olahraga, dan Kesehatan (PJOK) tingkat sekolah guna mendukung pengklasifikasian gerakan fisik serta optimalisasi penugasan motorik (Bahri et al., 2024). Manifestasi empiris menunjukkan paparan sistem algoritma dalam konteks edukasi fisik telah menyuntikkan katalisator pendorong terhadap perombakan motivasi intrinsik dan konstruksi tingkat partisipasi aktif yang relevan di kalangan peserta didik; mendorong eskalasi literasi keolahragaan tidak hanya terhenti

pada teori anatomi, melainkan menumbuhkan gaya hidup kesehatan komprehensif (Solang et al., 2025; Hidayatulloh et al., 2025).

Sekalipun optimisme pedagogis mendominasi tren wacana akademik, realisasi infrastruktur digital berkeadilan dan penerapan analitik kelas elit tertinggal secara substansial akibat kesenjangan digital institusional. Dominasi riset nasional berorientasi obsesif semata pada pengukuran performa parametrik biomekanis, sementara membiarkan wilayah psikologis, pertimbangan sosial-demografis, serta kerentanan etis pemakaian peranti cerdas terabaikan parah (Hidayatulloh et al., 2025). Agar potensi sistem pembelajaran adaptif berpanduan AI yang adil dapat dieksekusi sempurna di Indonesia tanpa memperburuk dikotomi stratifikasi digital antarsekolah, rekomendasi advokasi di masa mendatang mendesak investasi pemangku kepentingan negara yang difokuskan pada penganggaran perangkat keras fundamental, adaptasi *database* pelatihan parameter model prediktif khusus populasi antropometri genetika orang Asia/lokal nusantara secara berkesinambungan (Hidayatulloh et al., 2025; Mubarak et al., 2025; Wang et al., 2025).

3.7 Tantangan Metodologis, Demarkasi Bias Algoritmik, dan Etika Kedaulatan Data

Janji futuristik *Big Data* yang berlandaskan optimasi tak terhingga tidak datang tanpa kompromi; implementasi algoritmik bersinggungan langsung dengan kerentanan etis yang tajam, problem metodologi teknis *overfitting*, dan pertanyaan mengenai yurisdiksi hak azasi eksploitasi korporasi biologis atlet. Pemetaan wacana analitik dari publikasi *review* komprehensif merumuskan beberapa klaster domain etika terpenting mengenai penetrasi AI yang agresif di sektor keolahragaan: problem representasi keadilan (*fairness*) dan bias komputasi, transparansi kognitif sistem, kerentanan kepemilikan komodifikasi privasi biologis, serta problem kejelasan akuntabilitas kewajiban yudisial (Tan & Chen, 2025).

3.8.1 Generalisasi Model dan Jebakan Bias Keterwakilan Demografis

Pertama, kerangka fungsional dari jaring saraf prediktif (*neural network*) dan model *Gradient Boosted* mewarisi probabilitas anomali kualitas *dataset* pengujian dan pembelajarannya. Mayoritas protokol

uji klinis yang diekstraksi ke dalam rekayasa riset dikonstruksikan eksklusif merujuk pada profil subjek atlet pria tingkat elit belaka; memarginalkan inklusi kumpulan variabilitas biometrik di kalangan populasi atlet pemuda wanita, gender spesifik, atlet paralimpiade, serta demografi geografis tertinggal lainnya (Ayodeji & Abiodun, 2024; Puce et al., 2025; Kalén et al., 2019; Sagi et al., 2024). Kondisi homogenisasi *input* data ini mentransformasikan rekomendasi klasifikasi silang populasi menjadi sangat irasional (*algorithmic bias*) (Qu et al., 2025).

Secara metodologis, krisis lainnya terangkum di dalam fenomena degradasi validitas ke dalam kurva *overfitting* dan malapraktik ketiadaan pengujian data di kehidupan nyata (*external real-world field validation*). Kebanyakan model *Machine Learning* yang dibina dalam parameter in-vitro stasioner disetel terlampau identik mengitari residu fitur kebetulan kecil (noise) data masa lalunya (Baughman et al., 2024; Martinez-Gramage et al., 2023). Akibat parahnya, ketiadaan prosedur protokol kompartemen pemecah matriks validasi antara subset data latih berbanding *dataset* uji murni secara metodis menurunkan kapasitas reproduktibilitas sistem secara drastis (Naik et al., 2022; Baughman et al., 2024; Martinez-Gramage et al., 2023; Tan & Chen, 2025; Fyntikakis et al., 2026). Dalam rangka mengkarantina kekacauan struktural ini, komunitas cendekiawan diwajibkan mengintegrasikan metode rekapitulasi evaluasi kualitatif ketat untuk menetapkan standardisasi pelaporan parameter demi mereduksi defisit akuntabilitas publik (Baughman et al., 2024; Edwards & Hettinga, 2023).

3.7.2 Komodifikasi Metrik Biologis dan Etika Privasi Otonomi

Di sisi spektrum bio-etika, kuantifikasi konstan data kehidupan proksimal selama 24 jam sehari melontarkan atlet profesional ke pusaran dilema sentral eksploitasi hak asasi privasi eksistensial. Ungkapan modern bahwa "Data adalah komoditas aset komersial selayaknya penambangan minyak era revolusi digital" telah beralih menjadi paradoks mengerikan di lantai bursa lelang olahraga kelas atas; pergeseran informasi komprehensif mengukur nilai triliunan dolar di sektor perjudian olahraga sintetis hingga sindikasi periklanan berlisensi komersial (Zhao & Shuang, 2025).

Para atlet—yang dituntut wajib mengenakan serangkaian metrik sensor rahasia medis hingga jejak genetika genom kardio mereka yang dipantau real-time oleh *dashboard* analisis—dipaksa menyetujui klausul penyerahan massal atas kedaulatan paten informasi biologis rahasianya kepada entitas struktur kepemilikan multinasional klub atau pengembang perusahaan peranti lunak yang berhak meretensi jejak rekam rekam medis digital mereka secara permanen (Zhao & Shuang, 2025; Zighan, 2024). Kesenjangan legislasi privasi meloloskan perusahaan menggunakan *data lake* prediktif internal berlisensi khusus untuk mencekal atau merevisi drastis bayaran kontrak seorang atlet manakala proyeksi algoritma menjustifikasi bahwa yang bersangkutan berpeluang mengidap keruntuhan cedera di masa depan (Zighan, 2024). Atas penyalahgunaan dan deviasi komodifikasi berlebih, konvensi badan forensik arbitrase sengketa internasional beserta kerangka tata kelola antisipatif kebijakan legislasi komprehensif semacam kepatuhan payung hukum pelindung rezim regulasi privasi perlindungan data global, perlu secara fundamental dan imperatif diinisiasi melintasi tatanan benua oleh pemegang regulasi korporat (Ayodeji & Abiodun, 2024; Zighan, 2024; Danquah-Amoah et al., 2026; Li, 2025).

3.8 Kesimpulan dan Arah Pengembangan Riset Masa Depan

Aplikasi terkoordinasi berskala agung dari arsitektur *Big Data* beserta perkakas kapabilitas fungsional komputasional Algoritma Kecerdasan Buatan telah secara definitif menorehkan demarkasi historis paling ambisius dalam historiografi evolusi pedagogis performa keilmuan dan biomekanik fungsional. Sintesis jaringan saraf *Machine Learning*, modul pelacakan presisi eksternal dari *Computer Vision*, sistem regresi prediktif metrik beban dalam skenario deret temporal historis, hingga analisis asimetri fisiologis *wearables* bio-sensor sirkadian, mutlak mentransendenasi tatanan kapasitas komprehensif staf medis teknis maupun manajerial kontemporer di dunia elit internasional.

Instrumen ekosistem pintar tidak lagi bermuara sebatas rekayasa validasi spekulatif retrospeksi masa lampau; kecerdasan

algoritma merestrukturisasi komputasi *noisy* data mentah kinetika, neurologi pemulihan, penanda patologis kelelahan, serta reaktivitas kardiopulmonal untuk diterjemahkan menjadi modul spesifikasi intervensi preskriptif absolut berwujud skema beban yang adaptif-reaktif merespons kondisi hertz-ke-hertz. Mulai dari menavigasi keseimbangan piramidal mikrosiklus fase persiapan adaptasi kompetitif bagi pelari jarak jauh, melayani algoritma resistensi *Velocity-Based Training* untuk memastikan ekuilibrium hipertrofi myofibril seefisien mungkin guna menghindari stres kortisol, menunda kelumpuhan fungsional glikogen ekstrem dengan sinkronisasi proaktif gizi glukosa sub-seluler miligram *realtime*, hingga kesanggupan *Artificial Intelligence* mengonstruksikan stratifikasi peringatan cedera anatomis berminggu-minggu lebih tangkas mendahului indikator peradangan patologis konvensional; segenap integrasi digital komputasional tersebut merepresentasikan esensi dari penemuan batas ekstrem *marginal gains* dan keberlanjutan performa superlatif eksistensi kebugaran manusia modern.

Dalam transisi perluasan implementasi fungsional di wilayah akademis negara berkembang semacam Indonesia, prioritas penutupan kesenjangan disparitas digital terkait konektivitas kelengkapan keras fundamental serta investasi penggodokan penataran masif kelayakan analitik kognisi bagi demografi populasi tenaga guru pelatih lokal merupakan variabel strategis yang sangat darurat (*imperative urgency*), guna mencegah jurang anomali teknis diskriminatif antar wilayah instansi operasional menjadi tidak tergantikan.

Akan tetapi, manifestasi ekspektasi percepatan penyingkapan kemampuan algoritma digital dalam mengekstraksi rahasia terpelik biologis tidaklah berarti nihil tanggung jawab struktural yang membebani kompas moralitas industri global. Kecenderungan reduksi akuntabilitas terhadap transparansi "kotak hitam" komputasional dapat merestrukturisasi alienasi otoritas pakar manusia. Penetrasi agresi tata kelola yurisdiksi persetujuan yang adil menyoal otonomi absolut kedaulatan paten genetika rekam anatomis pribadi dari cengkraman komersialisasi oligarki eksploitasi data menjadi diskursus parameter bio-etika asimetris sentral di

pengadilan legalisasi medik internasional yang mendesak perumusan instrumen kerangka hukum independen definitif.

Pada akhirnya, optimalisasi masa depan lintasan algoritma keolahragaan mensyaratkan hibridasi absolut kemitraan multi-spasial, kolaborasi kohesif konvergensi radikal inter-kultur yang merepresentasikan kognisi insinyur peranti kecerdasan saraf tiruan, kinesiologis biomekanik progresif, perancang yurisprudensi perlindungan bio-privasi sipil, hingga kepelatihan pedagogis organik empiris, dalam satu narasi sintesa ekosistem yang koheren. Melalui konvergensi kolektif harmonisasi teknologi analitik termodulasi rasio kemanusiaan, trajektori manifestasi kemampuan *Artificial Intelligence* dapat merengkuh puncak transendental pencapaian olahraga, mengaktualisasikan batas toleransi ekuilibrium tubuh kinetik atlet absolut secara preventif yang tak melanggar integritas martabat fungsional manusia universal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, S. and Fathoni, A.F., 2020. Blended learning analysis for sports schools in Indonesia. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 14(12).
- Al-Majnoni, M., et al., 2025. The evolution of intelligent data analysis in sports. *Journal of Sports Analytics*, 11(2), pp.45-60.
- Ayodeji, A. and Abiodun, O., 2024. Wearable technologies and the ethical implications of data mining in elite sport. *Computers & Law*, 30(4), pp.112-125.
- Bahri, S., Yuliarto, H., Irfan, and Satriawan, R., 2024. Bibliometrik Pendidikan Jasmani Teknologi Informasi. *Jurnal Ilmu Keolahragaan Undiksha*, 13(2).
- Baladaniya, J. and Choudhary, V., 2025. Optimizing decision-making and training processes for elite athletes using AI systems. *Artificial Intelligence in Sports*, 7(1), pp.88-105.
- Baughman, S., et al., 2024. Generative simulation systems and large language models in sports coaching. *Journal of Applied Machine Learning in Sports*, 5(3), pp.200-215.
- Clauzel, M., et al., 2023. Deep learning applications for technique analysis and classification in endurance running and cycling. *Biomechanics and Data Science*, 18(4), pp.310-328.
- Cossich, V., et al., 2023. Advanced analytics and immersive systems for performance enhancement and injury management in elite sport. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 6, pp.120-136.
- Dandrieux, S., et al., 2023a. Machine learning models for performance prediction and training evaluation: Precision and recall metrics. *International Journal of Computer Science in Sport*, 22(1), pp.15-32.
- Dandrieux, S., et al., 2023b. Handling class imbalances in training evaluation tasks using machine learning precision. *International Journal of Computer Science in Sport*, 22(2), pp.45-60.
- Danquah-Amoah, A., et al., 2026. Personalized Training Optimization for Sports Athletes Using a Hybrid Machine Learning and Rule-Based Expert System Approach. *International Journal of Physical Education, Fitness and Sports*, 15(1), pp.1-15.

- Demeco, A., et al., 2024. Real-time monitoring of physiological variables in sports using deep neural networks. *Journal of Biomedical Sensors*, 14(3), pp.250-267.
- Edwards, T. and Hettinga, F., 2023. Pacing strategy and optimization using computational intelligence in endurance events. *Sports Medicine Analytics*, 9(1), pp.50-68.
- Emig, T., et al., 2022. Performance prediction in marathon running using traditional machine learning models. *Journal of Endurance Sports Science*, 11(2), pp.85-102.
- Fister, I., et al., 2020. Performance prediction and computational intelligence for marathon pacing and route optimization. *Applied Soft Computing*, 88, p.106034.
- Fyntikakis, E., et al., 2026. Convergence of Artificial Intelligence and Wearables in Strength Training and Performance Monitoring: A Scoping Review. *Applied Sciences*.
- Grgic, J., et al., 2023. Applying machine learning for performance prediction in competitive cycling. *Journal of Sports Engineering and Technology*, 237(3), pp.215-228.
- Guneralp, E., et al., 2025. Predictive modelling for athlete recovery and fatigue using big data analytics. *Scopus Review of Sports Performance*, 15(1), pp.34-49.
- Helander, M., et al., 2020. Machine learning for fatigue and injury management in marathon training cycles. *European Journal of Sport Science*, 20(8), pp.1055-1065.
- Hidayatulloh, W., Mahardika, F. and Junaedi, D.I., 2025. Explainable AI SHAP LIME in Performance. *Journal of Information Systems*.
- Jud, A. and Thalmann, P., 2024. Ethical and regulatory constraints in AI-driven tactical and medical decision-making in sports. *Journal of Sports Ethics and Law*, 5(2), pp.140-158.
- Kalén, A., et al., 2019. The application of temporal models for individualized performance forecasts in elite sports. *Journal of Quantitative Analysis in Sports*, 15(4), pp.289-301.
- Karabıyık, H. and Tugay, N., 2023. Deep learning applications in biomechanical assessments and injury prevention. *Sports Biomechanics and Tech*, 12(1), pp.77-92.

- Keskar, S., et al., 2019. Application of deep learning to spatiotemporal data for tactical analysis in team sports. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 33(5), pp.1800-1815.
- Kittel, A., et al., 2019. Computer vision and machine learning for player tracking and kinematics analysis. *Sports Technology Review*, 8(3), pp.112-126.
- Li, J., 2025. Machine learning-based analysis of defensive strategies in basketball using player movement data. *Scientific Reports*, 15, p.13887.
- Martinez-Gramage, J., et al., 2023. Determining biomechanical inefficiencies and predicting injury risk using machine learning classifiers. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 33(4), pp.400-415.
- Mascaret, N., et al., 2022. Artificial intelligence and multimodal analytics to advance psychological health monitoring in sports. *Psychology of Sport and Exercise*, 60, p.102145.
- Medina-Ramírez, R., et al., 2024. Velocity-based strength and endurance training using big data optimization. *Strength and Conditioning Analytics*, 19(2), pp.210-225.
- Mubarak, et al., 2025. Athlete Self-Efficacy Scale Indonesian Version Using Bayesian Confirmatory Factor Analysis. *Journal of Educational, Health and Community Psychology*, 14(3).
- Naik, N., et al., 2022. Optical tracking systems and deep learning applications for automated technical assessment and tactical analysis. *Sports Engineering*, 25(1), p.18.
- Nambi, G., et al., 2020. Virtual reality and AI for perceptual-cognitive training and skill acquisition in sports. *Journal of Motor Behavior*, 52(6), pp.700-715.
- Puce, L., et al., 2025. Generative AI capabilities for automated tactical scenario generation and personalized training content in elite sports. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 20(1), pp.10-28.
- Qu, X., et al., 2025. Generative AI in Sports Management Education. *HCI*.
- Rahimian, S. and Toka, L., 2022. Applied AI systems deployed in high-stakes tactical environments: Algorithmic reliance and governance. *Artificial Intelligence in Society*, 4(3), pp.200-218.

- Rothschild, C., et al., 2024. Utilizing wearable-based data and machine learning to predict running performance outcomes. *Journal of Applied Physiology*, 136(2), pp.415-430.
- Rusmanto, R., et al., 2023. Virtual reality integration for skill acquisition in sports pedagogy. *Indonesian Journal of Sports Science*, 15(3), pp.205-218.
- Sagi, M., et al., 2024. Classification-based recommendation framework for cycling race team selection and pacing strategy. *Journal of Sports Analytics and Data*, 10(4), pp.330-345.
- Solang, E.W., et al., 2025. Machine learning prediction of running time. *Sinkron*, 10(1).
- Tan, J. and Chen, J., 2025. Generating context-specific sports training plans by combining generative adversarial networks. *PLOS ONE*.
- Tondut, J., et al., 2023. ML performance metrics: Global accuracy figures vs practical utility in elite sports contexts. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 27(1), pp.50-65.
- Van Eetvelde, H., et al., 2021. Predictive and prescriptive models processing high-dimensional multimodal data streams (Big Data) for performance interpretation. *Sports Medicine*, 51(8), pp.1601-1618.
- Wang, L., et al., 2024. Hybrid neural network architectures for processing heterogeneous physiological data in athletes. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 28(5), pp.1400-1412.
- Wang, P., et al., 2025. Integrating multimodal AI technologies for sports injury prediction. *Journal of Human Sport and Exercise*.
- Zhao, S. and Guo, X., 2022. Virtual reality and artificial intelligence integration for skill acquisition and tactical training. *Frontiers in Psychology*, 13, p.850420.
- Zhao, S. and Shuang, Z., 2025. Information Security in Sports: Trends and Protective Practice. *International Journal of Education and Humanities*, 4(4).
- Zighan, S., 2024. Navigating the Cyber Landscape. *ICCR*.

Zouhal, H., et al., 2021. ML-based injury prediction and its integration within the broader sport performance ecosystem. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 31(7), pp.1450-1465.

BAB 4

SISTEM KEAMANAN CERDAS DAN MITIGASI RISIKO DI AIR

Lingkungan perairan seperti kolam renang, sungai, dan laut memiliki potensi risiko yang tinggi terhadap keselamatan manusia (World Health Organization, 2014). Kecelakaan di air seperti tenggelam, terbawa arus, hingga kecelakaan transportasi air masih sering terjadi dan menimbulkan kerugian baik secara materi maupun korban jiwa. Seiring perkembangan teknologi, upaya peningkatan keselamatan tidak lagi hanya mengandalkan pengawasan manual, tetapi juga memanfaatkan sistem keamanan berbasis teknologi.

Sistem keamanan cerdas hadir sebagai solusi modern dengan memanfaatkan teknologi seperti sensor, kecerdasan buatan, dan jaringan komunikasi untuk mendeteksi serta memberikan peringatan dini terhadap potensi bahaya (Yukta, Rinku and Priyanka, 2022; Liu, 2023). Selain itu, mitigasi risiko juga menjadi bagian penting untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan dari kejadian berbahaya di lingkungan air.

4.1 Sistem Keamanan Cerdas

Sistem Keamanan Cerdas merupakan sistem pengamanan modern yang memanfaatkan teknologi seperti Kecerdasan Buatan, Internet of Things, dan Machine Learning untuk meningkatkan efektivitas dalam mendeteksi dan menangani potensi ancaman (Sabit, 2025). Sistem ini bekerja dengan mengumpulkan data dari berbagai sensor, kemudian menganalisisnya secara otomatis untuk menghasilkan respons yang cepat, akurat, dan efisien tanpa ketergantungan penuh pada manusia.

Dalam konteks lingkungan perairan, sistem keamanan cerdas dapat diterapkan untuk memantau kondisi air serta mendeteksi potensi bahaya seperti pencemaran, kenaikan permukaan air, atau aktivitas mencurigakan di area perairan (Kao *et al.*, 2024). Sensor yang terhubung dapat mengukur parameter seperti ketinggian air, kualitas air, hingga arus, kemudian sistem akan menganalisis data tersebut untuk memberikan peringatan dini jika terjadi kondisi yang tidak normal.

Dengan penerapan ini, sistem keamanan cerdas berperan penting dalam menjaga keselamatan dan keberlanjutan lingkungan air, seperti di sungai, waduk, atau wilayah pesisir. Selain meningkatkan kewaspadaan terhadap bencana seperti banjir, sistem ini juga membantu pengelolaan sumber daya air secara lebih optimal melalui pemantauan real-time dan pengambilan keputusan berbasis data.

4.2 Mitigasi Risiko

Mitigasi risiko merupakan serangkaian upaya yang dilakukan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya suatu ancaman serta meminimalkan dampak yang ditimbulkan (Setyadi and Kusumawati, 2016). Dalam konteks sistem keamanan, mitigasi risiko menjadi langkah penting untuk memastikan bahwa potensi gangguan, baik yang bersifat teknis maupun lingkungan, dapat diantisipasi sejak dini. Pendekatan ini melibatkan identifikasi risiko, analisis tingkat bahaya, serta penentuan strategi penanganan yang tepat.

Dalam penerapannya pada sistem keamanan cerdas berbasis air, mitigasi risiko dilakukan dengan memanfaatkan teknologi seperti Kecerdasan Buatan dan Internet of Things untuk memantau kondisi secara real-time. Misalnya, sensor dapat mendeteksi kenaikan debit air, perubahan kualitas air, atau potensi pencemaran. Data tersebut kemudian dianalisis untuk memberikan peringatan dini sehingga tindakan pencegahan, seperti pengendalian aliran air atau evakuasi, dapat dilakukan lebih cepat dan efektif.

Selain itu, mitigasi risiko juga mencakup penyusunan prosedur darurat, pemeliharaan sistem secara berkala, serta edukasi kepada masyarakat terkait potensi bahaya di lingkungan perairan (World Health Organization, 2022). Dengan adanya mitigasi yang

terencana dan terintegrasi, dampak dari risiko seperti banjir, kerusakan lingkungan, maupun gangguan keamanan dapat diminimalkan, sehingga tercipta sistem yang lebih aman, tangguh, dan berkelanjutan.

4.3 Keselamatan di Lingkungan Air

Keselamatan di lingkungan air merupakan upaya untuk melindungi manusia, ekosistem, dan infrastruktur dari berbagai potensi bahaya yang terjadi di area perairan, seperti banjir, pencemaran, maupun kecelakaan. Dalam hal ini, penerapan teknologi seperti Kecerdasan Buatan dan Internet of Things berperan penting dalam meningkatkan tingkat keselamatan melalui pemantauan kondisi air secara real-time dan sistem peringatan dini yang lebih akurat (MS *et al.*, 2018).

Keselamatan di lingkungan air memiliki keterkaitan erat dengan konsep mitigasi risiko, di mana setiap potensi bahaya yang telah diidentifikasi dapat ditangani melalui langkah-langkah pencegahan yang tepat (World Health Organization, 2017). Dengan adanya sistem keamanan cerdas, data dari sensor seperti ketinggian air, arus, dan kualitas air dapat dianalisis untuk mendeteksi kondisi berbahaya sejak dini. Hal ini memungkinkan tindakan cepat seperti evakuasi, pengendalian aliran air, atau penanggulangan pencemaran sebelum dampak yang lebih besar terjadi.

Dengan demikian, integrasi antara sistem keamanan cerdas dan mitigasi risiko menjadi fondasi utama dalam menciptakan keselamatan di lingkungan air. Pendekatan ini tidak hanya berfokus pada respons terhadap kejadian, tetapi juga pada pencegahan dan peningkatan kesiapsiagaan, sehingga mampu menciptakan lingkungan perairan yang lebih aman, terkendali, dan berkelanjutan.

4.4 Komponen Sistem Keamanan Cerdas

Sensor dan Perangkat Deteksi

Sistem keamanan cerdas merupakan sebuah ekosistem terpadu yang bekerja secara berkesinambungan melalui integrasi berbagai komponen teknologi mutakhir. Proses ini diawali dengan tahap pengumpulan data oleh sensor dan perangkat deteksi, seperti sensor Passive Infrared (PIR), yang

mampu mendeteksi pergerakan manusia berdasarkan perubahan radiasi inframerah (Setiawan and Irma Purnamasari, 2019). Selain itu, penggunaan kamera berbasis ESP32-CAM dalam sistem visual memungkinkan perekaman kondisi lingkungan dan pengiriman data secara real-time (Cakrayuda *et al.*, 2025), sementara sensor suhu seperti DHT11 atau MLX9014 digunakan untuk mendeteksi indikasi potensi bahaya (Margarini *et al.*, 2021).

Seluruh data mentah tersebut kemudian diteruskan ke unit pemrosesan data untuk dianalisis menggunakan algoritma kecerdasan buatan, sementara pusat data (*cloud*) berperan menyimpan informasi tersebut sebagai basis pembelajaran sistem agar semakin akurat dalam mengenali ancaman. Hasil analisis ini menjadi dasar bagi sistem pengambilan keputusan otomatis untuk melakukan tindakan preventif secara instan, seperti mengunci akses atau mengaktifkan alarm, yang secara simultan didukung oleh sistem komunikasi untuk mengirimkan peringatan kepada pengguna. Agar seluruh rangkaian proses ini dapat dipantau dengan mudah, antarmuka pengguna (UI) menyediakan kendali jarak jauh bagi pemilik sistem, sementara sistem keamanan jaringan (*cybersecurity*) bertugas membentengi seluruh lalu lintas data tersebut dari ancaman peretasan, memastikan ekosistem keamanan bekerja secara aman dan responsif.

4.5 Teknologi Pendukung

1. *Internet of Things* (IoT)

IoT memungkinkan perangkat saling terhubung dan bertukar data secara real-time sehingga memudahkan pemantauan kondisi air (Zulkifli *et al.*, 2022). Integrasi sensor nirkabel pada titik-titik strategis memungkinkan transmisi data parameter air, seperti suhu dan kejernihan, secara berkelanjutan ke pusat kontrol. Dengan adanya konektivitas ini, intervensi dapat dilakukan segera setelah sistem mendeteksi anomali tanpa harus menunggu pengecekan manual di lapangan.

2. Kecerdasan Buatan (AI)

AI digunakan untuk menganalisis pola dan mendeteksi potensi bahaya, seperti gerakan tidak normal di dalam air (He *et al.*, 2023). Melalui algoritma deep learning, sistem dapat membedakan antara aktivitas renang biasa dengan tanda-tanda seseorang yang sedang tenggelam. Kemampuan pemrosesan citra yang cepat memungkinkan AI untuk memberikan penilaian risiko yang akurat dalam hitungan detik, yang sangat krusial bagi keselamatan nyawa.

3. Drone

Drone digunakan untuk pemantauan area luas serta membantu dalam pencarian dan penyelamatan korban (Burke *et al.*, 2019). Penggunaan wahana udara tak berawak ini memberikan perspektif visual dari ketinggian yang tidak dapat dijangkau oleh pengawas di darat. Selain itu, drone modern dapat dilengkapi dengan kamera termal untuk mendeteksi suhu tubuh korban serta mampu menjatuhkan pelampung penyelamat secara presisi di lokasi darurat.

4. Sistem Peringatan Dini

Sistem ini memberikan peringatan kepada pengguna sebelum bahaya terjadi, seperti peringatan gelombang tinggi atau arus kuat (Muntasib *et al.*, 2018). Notifikasi peringatan dikirimkan melalui berbagai saluran komunikasi, mulai dari sirene di lokasi hingga pesan instan ke ponsel pintar pengunjung. Dengan memberikan informasi yang proaktif, sistem ini berperan vital dalam meminimalisir risiko kecelakaan dan meningkatkan kesadaran pengunjung terhadap kondisi lingkungan yang dinamis.

4.6 Identifikasi Risiko di Lingkungan Air

1. Risiko Alam

Faktor cuaca ekstrem yang tidak menentu sering kali memicu perubahan kondisi perairan secara mendadak, seperti munculnya arus rip (*rip current*) yang mampu menyeret perenang ke tengah laut (World Health Organization, 2014). Selain itu, kondisi geografis dasar air yang tidak rata atau adanya material hanyut pasca banjir juga memperbesar

risiko cedera fisik bagi individu yang beraktivitas di sekitarnya.

2. Risiko Manusia

Disebabkan oleh kelalaian, kurangnya kemampuan berenang, atau tidak menggunakan alat keselamatan (World Health Organization, 2014). Sering kali, rasa percaya diri yang berlebihan membuat seseorang mengabaikan rambu peringatan atau berenang di luar zona pengawasan penjaga pantai. Kurangnya edukasi mengenai teknik penyelamatan diri dasar juga menjadi faktor utama meningkatnya fatalitas kecelakaan air, di mana kepanikan saat menghadapi situasi darurat justru memperburuk kondisi korban (World Health Organization, 2017).

3. Risiko Teknis

Berkaitan dengan kerusakan alat, kegagalan sistem keamanan, atau kesalahan operasional (World Health Organization, 2014). Dalam konteks sistem pemantauan modern, risiko ini mencakup malfungsi pada sensor pendeteksi atau keterlambatan transmisi data yang menyebabkan sistem peringatan dini tidak bekerja tepat waktu. Selain itu, penggunaan peralatan keselamatan yang sudah kedaluwarsa atau tidak terkalibrasi dengan baik dapat memberikan rasa aman palsu yang justru membahayakan nyawa pengguna dalam situasi kritis (Melayu *et al.*, 2025).

4.7 Mitigasi Risiko di Air

1. Mitigasi Preventif

Upaya pencegahan seperti edukasi keselamatan, pemasangan rambu, dan penggunaan alat pelindung (World Health Organization, 2017). Langkah awal ini berfokus pada peningkatan kesadaran masyarakat agar mampu mengenali bahaya secara mandiri sebelum memasuki area perairan. Selain itu, penyediaan informasi visual melalui papan peringatan yang strategis dan kewajiban mengenakan pelampung standar merupakan lapisan keamanan mendasar yang efektif untuk menekan angka kecelakaan fatal (World Health Organization, 2022).

2. Mitigasi Struktural

Meliputi pembangunan infrastruktur seperti tanggul, sistem drainase, dan zona aman (Indrayani, 2025). Pendekatan ini mengandalkan modifikasi fisik lingkungan untuk mengurangi dampak langsung dari kekuatan alam, seperti menahan luapan air atau mengarahkan arus. Penentuan batas zona aman dengan pelampung pembatas atau pembangunan dermaga evakuasi juga memastikan bahwa infrastruktur pendukung tersedia untuk melindungi populasi di area yang berisiko tinggi.

3. Mitigasi Non-Struktural

Aspek ini menitikberatkan pada kesiapan sumber daya manusia dan tata kelola kebijakan dalam menghadapi situasi darurat (Indrayani, 2025). Dengan rutin mengadakan simulasi, para petugas dan pengunjung dapat memahami prosedur penyelamatan yang sistematis, sementara regulasi yang ketat memastikan bahwa standar keamanan dijalankan secara konsisten oleh seluruh pengelola kawasan wisata atau otoritas terkait.

4.8 Penerapan Sistem Keamanan

1. Kolam Renang

Menggunakan sensor dan kamera untuk mendeteksi kejadian tenggelam (Amer et al., 2025). Sistem pengawasan cerdas ini bekerja dengan menganalisis durasi seseorang berada di bawah permukaan air serta pola gerakan yang mengindikasikan kepanikan. Jika sistem mendeteksi adanya risiko fatal, alarm otomatis akan segera berbunyi untuk memberikan sinyal darurat kepada petugas penyelamat (*lifeguard*) agar dapat melakukan tindakan pertolongan pertama dengan segera.

2. Pantai

Menggunakan sistem deteksi arus dan drone untuk pengawasan. Pemanfaatan teknologi sensor bawah air dapat memantau pergerakan arus pecah (*rip current*) yang sering kali tidak kasat mata oleh pengunjung (Khan et al., 2025). Sementara itu, penggunaan drone patroli memungkinkan

pengawasan area pesisir yang luas secara efisien, memberikan instruksi suara melalui pengeras suara udara, serta mengirimkan bantuan pelampung ke titik lokasi korban yang sulit dijangkau dari daratan.

3. Transportasi Air

Menggunakan GPS dan sistem navigasi untuk mencegah kecelakaan. Integrasi teknologi pelacakan posisi secara real-time membantu nakhoda memantau jalur pelayaran agar tetap berada dalam zona aman dan menghindari area dangkal atau karang yang berbahaya (Setianugraha and Kurniadi, 2025). Selain itu, sistem navigasi modern juga dilengkapi dengan pendeteksi cuaca dan lalu lintas kapal lain, yang sangat krusial dalam mengurangi risiko tabrakan serta mempermudah operasi pencarian jika terjadi keadaan darurat di tengah laut.

4.9 Tantangan dan Hambatan

1. Biaya implementasi yang tinggi

Pengadaan teknologi keamanan modern memerlukan investasi awal yang cukup besar (Tedeschi *et al.*, 2018). Hal ini mencakup biaya pembelian perangkat keras seperti sensor canggih dan drone, serta biaya lisensi perangkat lunak berbasis kecerdasan buatan. Selain itu, diperlukan anggaran berkelanjutan untuk perawatan rutin dan pembaruan sistem agar teknologi tetap berfungsi optimal dalam menghadapi kondisi lingkungan yang korosif di wilayah perairan.

2. Keterbatasan sumber daya manusia

Teknologi yang canggih tidak dapat berjalan maksimal tanpa dukungan tenaga ahli yang kompeten. Saat ini, masih terdapat kesenjangan antara ketersediaan teknologi dengan jumlah operator yang memiliki keahlian teknis untuk mengoperasikan serta menganalisis data dari sistem keamanan pintar tersebut (Tabatabaee *et al.*, 2022). Dibutuhkan pelatihan khusus dan berkelanjutan bagi petugas lapangan agar mereka mampu merespons peringatan sistem dengan tindakan penyelamatan yang tepat dan cepat.

3. **Infrastruktur yang belum memadai** Kurangnya kesadaran masyarakat

Banyak wilayah perairan yang potensial, namun belum didukung oleh konektivitas jaringan yang stabil untuk transmisi data real-time (Jacob *et al.*, 2025). Kondisi ini diperparah oleh rendahnya kesadaran masyarakat mengenai pentingnya mematuhi prosedur keselamatan, di mana teknologi sering kali dianggap sebagai beban dan bukan perlindungan (Meor Ab. Rahim *et al.*, 2023; Luo *et al.*, 2024). Oleh karena itu, pembangunan infrastruktur fisik harus berjalan selaras dengan kampanye edukasi publik guna menciptakan budaya keselamatan air yang lebih baik.

4.10 Solusi dan Rekomendasi

1. **Pengembangan teknologi yang lebih terjangkau**

Dibutuhkan inovasi dalam proses produksi dan pemilihan komponen agar teknologi keamanan ini dapat diadopsi oleh lebih banyak kalangan. Penggunaan perangkat keras bersifat open-source atau pengembangan sensor lokal dapat menjadi alternatif untuk menekan biaya impor yang tinggi (Ryu, 2022). Dengan harga yang lebih kompetitif, sistem keamanan berbasis AI dan IoT ini tidak hanya terbatas pada sektor industri besar, tetapi juga bisa menjangkau pengelola wisata kecil maupun pemukiman di sekitar wilayah perairan.

2. **Peningkatan edukasi masyarakat**

Penerapan teknologi canggih harus dibarengi dengan pemahaman masyarakat mengenai pentingnya keselamatan di lingkungan air (Kao *et al.*, 2024). Program sosialisasi yang berkelanjutan dan pelatihan dasar penyelamatan diri perlu digalakkan agar masyarakat tidak hanya mengandalkan sistem otomatis, tetapi juga memiliki kesadaran preventif. Edukasi ini bertujuan untuk menciptakan sinergi antara kewaspadaan manusia dan akurasi teknologi, sehingga angka kecelakaan dapat ditekan secara signifikan.

3. **Kolaborasi antara pemerintah dan swasta**

Sinergi lintas sektor sangat diperlukan untuk mempercepat implementasi sistem keamanan yang komprehensif di

seluruh wilayah strategis (Parulian and Afifah, 2024). Pemerintah berperan dalam menyediakan regulasi dan dukungan pendanaan, sementara pihak swasta berkontribusi dalam menghadirkan inovasi teknologi serta efisiensi operasional. Melalui kemitraan ini, keterbatasan infrastruktur di daerah terpencil dapat diatasi lebih cepat melalui pembagian sumber daya dan tanggung jawab yang jelas.

4. Standarisasi sistem keamanan

Perlu adanya standar nasional atau internasional yang mengatur kualitas dan kinerja perangkat keamanan yang digunakan (Nishi *et al.*, 2024). Standarisasi ini mencakup protokol komunikasi data, tingkat akurasi sensor, hingga lapisan keamanan siber (cybersecurity) untuk mencegah kegagalan sistem saat situasi kritis. Dengan adanya standar yang baku, sistem keamanan pada aktivitas akuatik dan lingkungan perairan akan memiliki reliabilitas yang lebih terjamin serta memudahkan integrasi antarperangkat pemantauan, sensor keselamatan, dan sistem peringatan dini sehingga pengawasan dan penanganan keadaan darurat di area perairan dapat dilakukan secara lebih efektif dan terkoordinasi.

4.11 Kesimpulan

Sistem keamanan cerdas dan mitigasi risiko di air merupakan solusi penting dalam meningkatkan keselamatan di lingkungan perairan. Dengan memanfaatkan teknologi modern serta penerapan strategi mitigasi yang tepat, risiko kecelakaan dapat diminimalisir. Namun, keberhasilan implementasi sangat bergantung pada kesiapan teknologi, kebijakan, dan kesadaran masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Amer, D. A. *et al.* (2025) 'Intelligent eyes on water: YOLOv11-based real-time drowning detection system', *The Journal of Supercomputing*, 81(12), p. 1242. doi: 10.1007/s11227-025-07732-7.
- Burke, C. *et al.* (2019) 'Requirements and Limitations of Thermal Drones for Effective Search and Rescue in Marine and Coastal Areas', *Drones*, 3(4), p. 78. doi: 10.3390/drones3040078.
- Cakrayuda, L. *et al.* (2025) 'SICEMOT : SISTEM KEAMANAN CERDAS BERBASIS ESP32-CAM , SENSOR GERAK , DAN NOTIFIKASI', *JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan)*, 13(2).
- He, Q. *et al.* (2023) 'High accuracy intelligent real-time framework for detecting infant drowning based on deep learning', *Expert Systems with Applications*, 228, p. 120204. doi: 10.1016/j.eswa.2023.120204.
- Indrayani, et al (2025) *Manajemen Bencana Banjir : Dampak, Strategi dan Kesiapsiagaan*. Yayasan Kita Menulis.
- Jacob, M. *et al.* (2025) 'Review of IoT Sensors for Aquatic Biological Indicators', pp. 0–43. doi: 10.20944/preprints202505.2320.v1.
- Kao, W.-C. *et al.* (2024) 'Next-Generation swimming pool drowning prevention strategy integrating AI and IoT technologies', *Heliyon*, 10(18), p. e35484. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e35484.
- Khan, F. H. *et al.* (2025) 'RipScout: Realtime ML-Assisted Rip Current Detection and Automated Data Collection Using UAVs', *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 18(00), pp. 7742–7755. doi: 10.1109/JSTARS.2025.3543695.
- Liu, T. (2023) 'A video drowning detection device based on underwater computer', *IET image processing*, (January), pp. 1905–1918. doi: 10.1049/ipr2.12765.
- Luo, Shi *et al.* (2024) 'The influence of water safety knowledge on adolescents' drowning risk behaviors: a framework of risk-protect integrated and KAP theory.', *Frontiers in public health*, 12(May), p. 1354231. doi: 10.3389/fpubh.2024.1354231.

- Margarini, D. *et al.* (2021) 'Rancang Bangun Prototipe Keamanan Ruang Laboratorium dengan Pintu Otomatis Menggunakan Sensor Suhu MLX90614 Berbasis Arduino Atmega 2560', *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*, 2(4), pp. 69–77. doi: 10.23960/jemit.v2i4.76.
- Melayu, D. A. *et al.* (2025) 'Implementation of Life Safety Equipment Maintenance On the KMP. Athaya Ship', in *Proceedings of the International Conference of Inland Water and Ferries TranB. Priyono et al sport Polytechnic of Palembang on Law, Economic and Management (IWPOSPA-LEM 2024)*, *Advances in Economics, Business and Management Research*. Atlantis Press International BV, pp. 166–176. doi: 10.2991/978-94-6463-843-1_17.
- Meor Ab. Rahim, M. D. *et al.* (2023) 'Assessing Water Safety Attitude and Behavior towards Drowning Prevention among Adolescents in South Region, Malaysia', *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 13(6), pp. 1845–1853. doi: 10.6007/IJARBS/v13-i6/17293.
- MS, M. R. *et al.* (2018) 'An Early Drowning Detection System for Internet of Things (IoT) Applications', *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 16(4), p. 1870. doi: 10.12928/telkomnika.v16i4.9046.
- Muntasib, E. H. *et al.* (2018) 'Potensi Bahaya Bagi Keselamatan Pengunjung Di Kawasan Wisata Pantai Pangandaran Kabupaten Pangandaran Jawa Barat', *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 8(1), pp. 15–25. doi: 10.29244/jpsl.8.1.15-25.
- Nishi, H. *et al.* (2024) 'Security for IEEE P1451.1.6-based Sensor Networks for IoT Applications', in *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*. doi: 10.1109/IECON55916.2024.10905544.
- Parulian, J. C. and Afifah, N. (2024) 'Kemitraan Pemerintah dan Swasta (Public Private Partnership) Pada Pembangunan Drainase di Kecamatan Sunggal', *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4, pp. 7530–7540.
- Ryu, J. H. (2022) 'Prototyping a low-cost open-source autonomous

- unmanned surface vehicle for real-time water quality monitoring and visualization', *HardwareX*, 12, p. e00369. doi: 10.1016/j.ohx.2022.e00369.
- Sabit, H. (2025) 'Artificial Intelligence-Based Smart Security System Using Internet of Things for Smart Home Applications', *Electronics*, 14(3), p. 608. doi: 10.3390/electronics14030608.
- Setianugraha, H. F. and Kurniadi, Y. N. (2025) 'Pemetaan Rip Cureent di Pantai Barat Pangandaran Berdasarkan Observasi Lapangan Pada Musim Barat', in *Prosiding FTSP Series*, pp. 266–272.
- Setiawan, A. and Irma Purnamasari, A. (2019) 'Pengembangan Passive Infrared Sensor (PIR) HC-SR501 dengan Microcontrollers ESP32-CAM Berbasis Internet of Things (IoT) dan Smart Home sebagai Deteksi Gerak untuk Keamanan Perumahan', *Prosiding Seminar Nasional SISFOTEK (Sistem Informasi dan Teknologi Informasi)*, 3(1), pp. 148–154. Available at: <http://seminar.iaii.or.id/index.php/SISFOTEK/article/view/118>.
- Setyadi, G. and Kusumawati, Y. (2016) 'Mitigasi Risiko Aset Dan Komponen Teknologi Informasi berdasarkan Kerangka Kerja OCTAVE Dan FMEA pada Universitas Dian Nuswantoro', *Journal of Information System*, 1(1), pp. 1–10. Available at: <https://doaj.org/article/d3fd633530d540ad84c5dade33029238>.
- Tabatabaee, S. *et al.* (2022) 'Investigating the Barriers to Applying the Internet-of-Things-Based Technologies to Construction Site Safety Management', *International journal of environmental research and public health*, 19(2), p. 868. doi: 10.3390/ijerph19020868.
- Tedeschi, S. *et al.* (2018) 'A cost estimation approach for IoT modular architectures implementation in legacy systems', *Procedia Manufacturing*, 19, pp. 103–110. doi: 10.1016/j.promfg.2018.01.015.
- World Health Organization (2014) 'Global report on drowning: preventing a leading killer', *World Health Organisation*, p. 58. Available at:

http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/143893/1/9789241564786_eng.pdf?ua=1&ua=1%0Ahttp://www.who.int/violence_injury_prevention/global_report_drowning/en/.

World Health Organization (2017) *Preventing drowning: an implementation guide*, World Health Organization. Available at:

<http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/255196/1/9789241511933-eng.pdf?ua=1>.

World Health Organization (2022) *Preventing Drowning*.

Yukta, B., Rinku, B. and Priyanka, V. (2022) 'Drowning Detection System Using CNN', *International Journal Of Creative Research Thoughts - IJCRT*, 10(4), pp. 80–82.

Zulkifli, C. Z. *et al.* (2022) 'IoT-Based Water Monitoring Systems: A Systematic Review', *Water*, 14(22), p. 3621. doi: 10.3390/w14223621.

BAB 5

TEKNOLOGI DAN ADAPTIF DALAM EKOSISTEM RENANG

Olahraga merupakan bagian penting dari kehidupan manusia yang berkontribusi terhadap kesehatan fisik, mental, sosial, dan emosional. Selain berfungsi sebagai sarana peningkatan kebugaran, olahraga juga menjadi media pembentukan karakter, pengembangan keterampilan sosial, serta peningkatan kualitas hidup masyarakat. Dalam konteks pembangunan yang berkelanjutan, olahraga tidak hanya dipandang sebagai aktivitas kompetitif, tetapi juga sebagai instrumen untuk mewujudkan inklusi sosial dan kesetaraan kesempatan bagi seluruh warga negara (Craven, 2026).

Di antara berbagai cabang olahraga, renang memiliki karakteristik yang unik karena dapat diikuti oleh berbagai kelompok usia dan tingkat kemampuan. Sifat air yang mampu mengurangi beban tubuh menjadikan renang sebagai aktivitas yang relatif aman bagi anak-anak, lansia, maupun individu dengan keterbatasan fisik. Oleh karena itu, renang sering disebut sebagai olahraga sepanjang hayat (*lifelong sport*) yang memberikan manfaat kesehatan, rehabilitasi, rekreasi, dan prestasi secara bersamaan.

Namun demikian, akses terhadap pembelajaran dan partisipasi dalam olahraga renang belum sepenuhnya dinikmati oleh semua individu. Berbagai kelompok masyarakat, khususnya penyandang disabilitas, masih menghadapi hambatan berupa keterbatasan fasilitas, kurangnya alat bantu yang sesuai, minimnya sumber daya manusia yang kompeten, serta belum optimalnya penerapan teknologi yang mendukung aksesibilitas. Hambatan tersebut sering kali menyebabkan rendahnya tingkat partisipasi dan kesempatan untuk memperoleh manfaat olahraga secara setara (P. Diaz and F. Diaz, 2021; Fitri *et al.*, 2022).



Gambar 5.1. Pembelajaran Renang Inklusif
Sumber: Marhadi (2025)

Kesadaran global mengenai hak penyandang disabilitas untuk berpartisipasi dalam olahraga semakin meningkat sejak lahirnya United Nations melalui *Convention on the Rights of Persons with Disabilities* (CRPD). Pasal 30 konvensi tersebut menegaskan bahwa penyandang disabilitas memiliki hak untuk berpartisipasi dalam kegiatan olahraga, rekreasi, dan aktivitas fisik baik pada lingkungan olahraga umum maupun olahraga khusus disabilitas. Negara-negara yang meratifikasi konvensi tersebut didorong untuk menyediakan fasilitas, layanan, dan dukungan yang memungkinkan partisipasi secara penuh dan setara (Craven, 2026).

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi memberikan peluang besar untuk menjawab berbagai tantangan tersebut. Kemajuan teknologi olahraga telah menghasilkan berbagai inovasi yang mendukung pembelajaran, pelatihan, dan kompetisi renang. Penggunaan sensor gerak, perangkat wearable, analisis video berbasis kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*), sistem komunikasi visual dan getar, serta berbagai perangkat asistif telah mengubah cara atlet dan pelatih melakukan proses latihan. Teknologi tidak lagi berfungsi sekadar sebagai alat peningkatan performa, tetapi juga sebagai sarana untuk memperluas akses dan meningkatkan kualitas pengalaman olahraga bagi semua individu (Comunity, 2020).

Dalam konteks ini, muncul konsep teknologi inklusif dan adaptif, yaitu teknologi yang dirancang untuk memastikan setiap

individu dapat mengakses dan memanfaatkan layanan olahraga sesuai dengan kebutuhan dan karakteristiknya. Teknologi inklusif berupaya menciptakan desain yang dapat digunakan oleh sebanyak mungkin orang tanpa modifikasi khusus, sedangkan teknologi adaptif menyediakan penyesuaian tertentu untuk memenuhi kebutuhan individu atau kelompok tertentu. Kedua pendekatan tersebut menjadi fondasi penting dalam membangun lingkungan olahraga yang lebih ramah, aman, dan setara (Wolff and Hums, 2018).

Dalam ekosistem renang modern, teknologi inklusif dan adaptif tidak hanya berkaitan dengan alat bantu atau perangkat digital, tetapi juga mencakup desain fasilitas, sistem pembelajaran, metode komunikasi, manajemen data, hingga kebijakan yang mendukung partisipasi seluruh lapisan masyarakat. Oleh karena itu, pengembangan ekosistem renang yang inklusif memerlukan kolaborasi antara pelatih, guru pendidikan jasmani, pengelola fasilitas, organisasi olahraga, pemerintah, peneliti, dan industri teknologi.

Bab ini menjadi landasan awal untuk memahami hubungan antara teknologi, inklusivitas, dan adaptivitas dalam olahraga renang. Pembahasan selanjutnya akan menguraikan konsep ekosistem renang inklusif, prinsip-prinsip olahraga adaptif, serta berbagai bentuk inovasi teknologi yang dapat mendukung terciptanya lingkungan renang yang dapat diakses dan dinikmati oleh semua orang.

5.1 Konsep Ekosistem Renang Inklusif dan Adaptif

5.1.1 Pengertian Ekosistem Renang

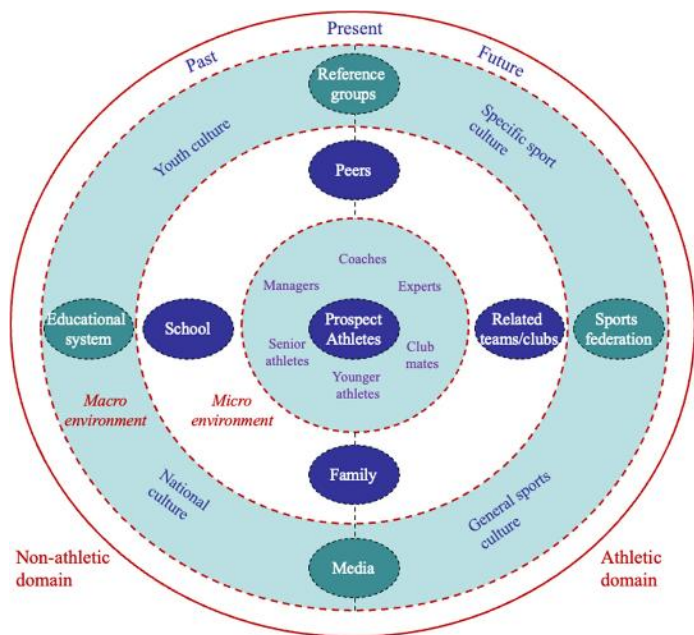
Konsep ekosistem pada awalnya berasal dari ilmu ekologi yang menjelaskan hubungan timbal balik antara organisme dengan lingkungan tempat mereka hidup. Seiring perkembangan ilmu pengetahuan, konsep tersebut diadopsi dalam berbagai bidang, termasuk pendidikan dan olahraga, untuk menjelaskan bagaimana berbagai komponen saling berinteraksi dan memengaruhi keberhasilan suatu sistem (Bronfenbrenner, 2009).

Dalam konteks olahraga, ekosistem dapat dipahami sebagai jaringan hubungan yang melibatkan individu, organisasi, lingkungan fisik, kebijakan, serta sumber daya yang secara bersama-sama

memengaruhi partisipasi dan perkembangan olahraga. Melalui pendekatan ini, keberhasilan seorang atlet tidak hanya ditentukan oleh kemampuan individu, tetapi juga oleh dukungan lingkungan yang mengelilinginya (Henriksen *et al.*, 2010).

Berdasarkan pemahaman tersebut, ekosistem renang dapat didefinisikan sebagai keseluruhan komponen yang terlibat dalam aktivitas pembelajaran, pelatihan, rekreasi, dan prestasi renang yang saling berinteraksi untuk mencapai tujuan bersama. Komponen tersebut meliputi atlet atau peserta renang, pelatih, guru pendidikan jasmani, keluarga, pengelola fasilitas, organisasi olahraga, pemerintah, komunitas, serta teknologi pendukung.

Dalam perspektif modern, ekosistem renang tidak lagi dipandang hanya sebagai hubungan antara pelatih dan atlet. Sebaliknya, ekosistem renang merupakan sistem yang kompleks dan dinamis yang mengintegrasikan aspek sosial, fisik, pedagogis, dan teknologi untuk mendukung partisipasi seluruh individu, termasuk penyandang disabilitas dan kelompok berkebutuhan khusus.



Gambar 5.2. Model kerja lingkungan pengembangan bakat atlet
Sumber: (Henriksen and Stambulova, 2023)

Pendekatan ekosistem menjadi semakin penting seiring meningkatnya perhatian terhadap inklusivitas dalam olahraga. Menurut *World Health Organization* (WHO), hambatan partisipasi penyandang disabilitas sering kali tidak berasal dari kondisi individu itu sendiri, melainkan dari lingkungan yang belum sepenuhnya aksesibel dan responsif terhadap kebutuhan mereka (World Health Organization, 2022). WHO juga melaporkan bahwa sekitar 16% populasi dunia hidup dengan berbagai bentuk disabilitas sehingga kebutuhan akan lingkungan olahraga yang inklusif menjadi semakin mendesak.

Oleh karena itu, pengembangan ekosistem renang saat ini tidak hanya berorientasi pada peningkatan performa olahraga, tetapi juga pada penciptaan lingkungan yang memungkinkan setiap individu memperoleh kesempatan yang setara untuk belajar, berlatih, dan berpartisipasi dalam aktivitas renang.

5.1.2 Prinsip Inklusivitas dalam Olahraga

Konsep inklusivitas berakar pada prinsip hak asasi manusia yang menegaskan bahwa setiap individu berhak memperoleh kesempatan yang sama dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk olahraga. Perserikatan Bangsa-Bangsa melalui *Convention on the Rights of Persons with Disabilities* (CRPD) menegaskan pentingnya aksesibilitas, kesetaraan kesempatan, partisipasi penuh, dan penghormatan terhadap keberagaman sebagai prinsip utama dalam pembangunan masyarakat inklusif (United Nations, 2006).

Dalam bidang olahraga, inklusivitas mengacu pada upaya menciptakan lingkungan yang memungkinkan seluruh individu berpartisipasi tanpa diskriminasi berdasarkan kondisi fisik, sensorik, intelektual, jenis kelamin, usia, maupun latar belakang sosial ekonomi (Block, 2016). Prinsip ini menempatkan keberagaman sebagai kekuatan yang harus dihargai dan difasilitasi.

Menurut (Winnick and Porretta, 2017) olahraga inklusif tidak berarti semua peserta menerima perlakuan yang sama, tetapi setiap individu memperoleh dukungan yang sesuai dengan kebutuhan sehingga memiliki peluang yang setara untuk berhasil. Dengan demikian, inklusivitas lebih menekankan pada kesetaraan (*equity*) daripada sekadar persamaan (*equality*).

Dalam konteks renang, prinsip inklusivitas dapat diwujudkan melalui beberapa aspek berikut:

1. Kesenjangan Akses (*Equal Access*)
Setiap individu harus memiliki kesempatan yang sama untuk mengakses fasilitas, program pembelajaran, pelatihan, dan kompetisi renang. Kesenjangan akses tidak berarti semua peserta diperlakukan secara identik, tetapi setiap orang memperoleh dukungan sesuai kebutuhannya.
2. Partisipasi Bermakna (*Meaningful Participation*)
Inklusivitas tidak hanya berorientasi pada kehadiran peserta dalam kegiatan olahraga, tetapi juga memastikan bahwa mereka dapat terlibat secara aktif dan memperoleh manfaat yang optimal dari kegiatan tersebut.
3. Penghargaan terhadap Keragaman (*Respect for Diversity*)
Peserta renang memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Perbedaan tersebut harus dipandang sebagai kekayaan yang memperkaya proses pembelajaran dan interaksi sosial.
4. Penghapusan Hambatan (*Barrier Removal*)
Hambatan fisik, sosial, komunikasi, maupun teknologi harus diminimalkan agar seluruh peserta dapat berpartisipasi secara optimal.

Dalam konteks renang, penerapan prinsip inklusivitas dapat berupa penyediaan jalur akses kursi roda menuju kolam, penggunaan media pembelajaran visual bagi peserta tunarungu, maupun penyediaan teknologi navigasi untuk perenang tunanetra.

(World Health Organization, 2022) menjelaskan bahwa hambatan lingkungan seperti fasilitas yang tidak aksesibel, kurangnya dukungan sosial, dan keterbatasan layanan pendukung merupakan faktor utama yang membatasi partisipasi penyandang disabilitas dalam berbagai aktivitas, termasuk olahraga. Oleh karena itu, pendekatan inklusif menekankan penghapusan hambatan-hambatan tersebut sebagai langkah strategis untuk meningkatkan partisipasi masyarakat.

5.2 Prinsip Adaptivitas dalam Pembelajaran dan Pelatihan Renang

Selain inklusif, ekosistem renang modern juga harus bersifat adaptif. Adaptivitas mengacu pada kemampuan sistem untuk menyesuaikan layanan, metode, dan lingkungan pembelajaran sesuai dengan kebutuhan individu (Hutzler and Sherrill, 2007). Prinsip ini didasarkan pada pemahaman bahwa setiap peserta memiliki kemampuan, pengalaman, karakteristik fisik, serta gaya belajar yang berbeda. Oleh karena itu, pendekatan pembelajaran yang seragam sering kali tidak mampu mengakomodasi kebutuhan seluruh peserta secara optimal (Sherrill, 2004).

Dalam konteks pendidikan jasmani adaptif, proses pembelajaran perlu dirancang secara fleksibel agar setiap peserta memperoleh kesempatan yang setara untuk mencapai tujuan pembelajaran sesuai potensinya (Block, 2016). Pada pembelajaran dan pelatihan renang, penyesuaian tersebut dapat dilakukan melalui beberapa aspek berikut.

5.2.1 Adaptasi Kurikulum dan Program Latihan

Target pembelajaran dapat dimodifikasi sesuai kemampuan peserta tanpa menghilangkan tujuan utama pembelajaran renang. Modifikasi dapat berupa penyesuaian tingkat kesulitan gerakan, durasi latihan, maupun indikator keberhasilan yang digunakan dalam evaluasi pembelajaran.

Sebagai contoh, peserta dengan cerebral palsy mungkin memerlukan waktu lebih lama untuk menguasai koordinasi gerakan renang dibandingkan peserta tanpa disabilitas. Oleh karena itu, pelatih perlu menyesuaikan progres latihan berdasarkan kemampuan individu daripada menggunakan standar yang sama untuk seluruh peserta.



Gambar 5.3. Intervensi Dini pada ABK
Sumber: NSW Government (2023)

5.2.2 Adaptasi Metode Pembelajaran

Pelatih dapat menggunakan kombinasi instruksi verbal, demonstrasi visual, sentuhan (tactile instruction), maupun teknologi interaktif untuk meningkatkan pemahaman peserta. Pendekatan multisensori terbukti membantu peserta dengan kebutuhan khusus memahami keterampilan gerak secara lebih efektif karena informasi dapat diterima melalui berbagai saluran sensorik (Lieberman and Houston-Wilson, 2018).

Misalnya, peserta tunarungu cenderung lebih mudah memahami instruksi melalui video demonstrasi, bahasa isyarat, dan isyarat visual dibandingkan instruksi verbal semata. Sementara itu, peserta tunanetra dapat memperoleh manfaat dari instruksi berbasis sentuhan dan deskripsi verbal yang terstruktur.

5.2.3 Adaptasi Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam pembelajaran renang dapat dimodifikasi untuk meningkatkan keamanan, kenyamanan, dan efektivitas latihan. Menurut (Winnick and Porretta, 2017), modifikasi alat merupakan salah satu strategi utama dalam olahraga adaptif karena memungkinkan peserta mengembangkan keterampilan motorik sesuai kapasitasnya. Contoh peralatan adaptif dalam pembelajaran renang meliputi:

1. Pelampung adaptif.
2. Sabuk renang khusus.
3. Alat bantu keseimbangan di air.

4. Sistem penanda lintasan bagi perenang tunanetra.
5. Perangkat komunikasi visual bagi peserta tunarungu.

Penggunaan alat bantu tersebut bertujuan untuk mengurangi hambatan yang dapat menghambat proses belajar peserta.

5.2.4 Adaptasi Lingkungan

Lingkungan kolam renang juga perlu dirancang agar aman dan mudah diakses oleh seluruh peserta. Prinsip ini sejalan dengan konsep Universal Design yang menekankan pentingnya menciptakan lingkungan yang dapat digunakan oleh semua orang tanpa memerlukan modifikasi tambahan (Story *et al.*, 1998). Adaptasi lingkungan dapat berupa:

1. Ramp atau jalur landai untuk pengguna kursi roda.
2. Lift kolam renang (pool lift).
3. Permukaan lantai anti selip.
4. Penunjuk arah taktil.
5. Ruang ganti yang aksesibel.

(World Health Organization, 2022) menegaskan bahwa aksesibilitas fasilitas olahraga merupakan salah satu faktor utama yang menentukan tingkat partisipasi penyandang disabilitas dalam aktivitas fisik dan olahraga. Melalui pendekatan adaptif, setiap peserta memperoleh kesempatan untuk belajar dan berkembang sesuai dengan potensi yang dimiliki sehingga tujuan pembelajaran renang dapat dicapai secara lebih efektif dan inklusif.

5.3 Komponen Ekosistem Renang Inklusif dan Adaptif

Ekosistem renang inklusif dan adaptif terdiri atas berbagai komponen yang saling berhubungan dan membentuk suatu sistem yang mendukung partisipasi serta perkembangan individu dalam olahraga renang. Pendekatan ini sejalan dengan teori ekologi perkembangan manusia yang dikemukakan oleh (Bronfenbrenner, 2009), yang menjelaskan bahwa perkembangan individu dipengaruhi oleh interaksi berbagai lingkungan yang saling terkait.

5.3.1 Atlet atau Peserta Renang

Atlet merupakan pusat dari seluruh proses pembelajaran dan pembinaan. Kebutuhan, karakteristik, kemampuan, dan tujuan peserta menjadi dasar dalam perancangan program renang yang efektif dan inklusif (Winnick and Porretta, 2017).

5.3.2 Pelatih dan Guru Pendidikan Jasmani

Pelatih berperan sebagai fasilitator yang menghubungkan kebutuhan peserta dengan strategi pembelajaran yang tepat. Kompetensi dalam pendidikan inklusif dan olahraga adaptif menjadi faktor penting dalam keberhasilan program renang inklusif (Block, 2016).

5.3.3 Keluarga

Keluarga berfungsi sebagai sumber dukungan emosional, motivasi, dan pendampingan selama proses pembelajaran maupun pembinaan. Dukungan keluarga terbukti berpengaruh terhadap keberlanjutan partisipasi olahraga pada anak dan remaja, termasuk peserta dengan disabilitas (King *et al.*, 2003).

5.3.4 Fasilitas dan Infrastruktur

Fasilitas yang aman, nyaman, dan aksesibel merupakan prasyarat utama dalam penyelenggaraan renang inklusif. Fasilitas yang tidak ramah disabilitas dapat menjadi hambatan utama bagi partisipasi olahraga (World Health Organization, 2022).

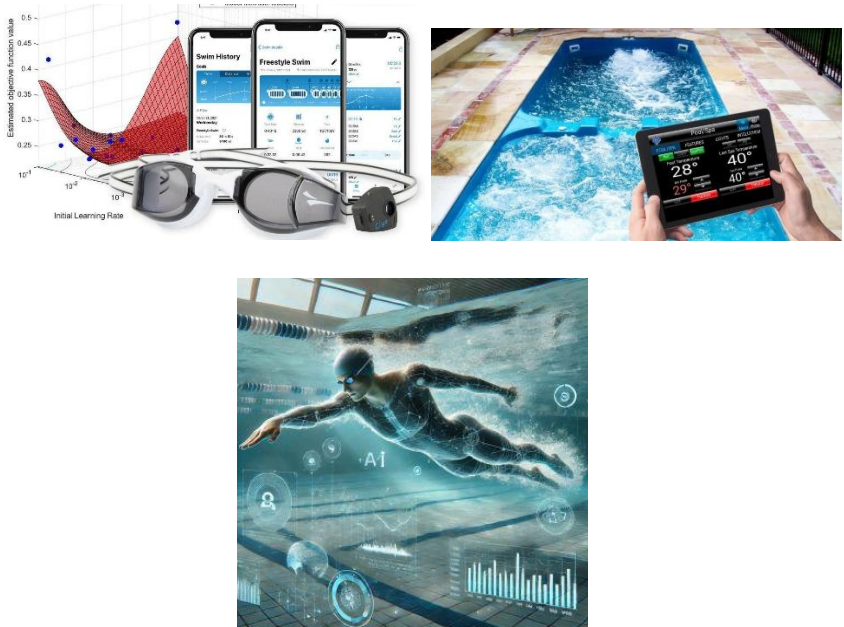
5.3.5 Organisasi dan Komunitas

Klub renang, sekolah, federasi olahraga, organisasi disabilitas, dan komunitas olahraga memiliki peran penting dalam menyediakan program yang inklusif dan berkelanjutan. Menurut (Henriksen *et al.*, 2010), lingkungan organisasi yang mendukung merupakan salah satu faktor kunci keberhasilan pengembangan atlet.

5.3.6 Teknologi

Teknologi berfungsi sebagai penghubung yang memperkuat interaksi seluruh komponen dalam ekosistem renang. Teknologi memungkinkan peningkatan aksesibilitas, komunikasi, pemantauan

performa, dan efektivitas pembelajaran sehingga mendukung terciptanya lingkungan renang yang lebih inklusif (Veiga *et al.*, 2022).



Gambar 5.4. Perkembangan kecerdasan buatan, *Internet of Things* (IoT), dan teknologi pintar yang berpotensi meningkatkan kualitas ekosistem renang inklusif di masa depan.

Sumber: Destination-aquatique (2025)

5.4 Peran Teknologi dalam Ekosistem Olahraga Modern

Perkembangan teknologi telah mengubah paradigma pembelajaran dan pembinaan olahraga dari pendekatan berbasis observasi subjektif menuju pendekatan berbasis data (*data-driven sport*) yang lebih objektif dan terukur (Veiga *et al.*, 2022). Dalam olahraga renang, teknologi memiliki beberapa fungsi utama, diantaranya:

5.4.1 Meningkatkan Aksesibilitas

Teknologi memungkinkan individu dengan berbagai kebutuhan untuk mengakses aktivitas renang secara lebih mudah dan aman. Contohnya adalah penggunaan pool lift, sistem navigasi

bagi tunanetra, dan perangkat komunikasi visual untuk peserta tunarungu (World Health Organization, 2022).

5.4.2 Mendukung Pembelajaran

Teknologi seperti analisis video, aplikasi pembelajaran digital, dan sistem umpan balik berbasis sensor memungkinkan peserta memperoleh koreksi teknik secara lebih cepat dan akurat (Maglischo, 2003; Veiga *et al.*, 2022).

5.4.3 Memantau Performa

Perangkat wearable technology mampu mengukur denyut jantung, jumlah kayuhan, panjang kayuhan, kecepatan renang, serta efisiensi gerakan secara real-time. Data tersebut membantu pelatih dalam merancang program latihan yang lebih individual dan berbasis bukti (Costa *et al.*, 2021).

5.4.4 Meningkatkan Keselamatan

Sensor digital dan sistem pemantauan berbasis kecerdasan buatan dapat membantu mendeteksi kondisi berisiko selama aktivitas di kolam renang sehingga meningkatkan aspek keselamatan peserta (Rad *et al.*, 2021).

5.4.5 Memfasilitasi Kolaborasi

Platform digital memungkinkan komunikasi yang lebih efektif antara pelatih, atlet, keluarga, tenaga medis, dan tenaga pendukung lainnya. Kolaborasi yang baik merupakan salah satu faktor penting dalam keberhasilan pembinaan olahraga jangka panjang (Henriksen *et al.*, 2010).

Melalui integrasi teknologi, ekosistem renang tidak hanya menjadi lebih efisien, tetapi juga lebih inklusif, adaptif, dan berorientasi pada kebutuhan individu.

5.5 Kesimpulan

Ekosistem renang inklusif dan adaptif merupakan suatu sistem yang terdiri atas berbagai komponen yang saling berinteraksi untuk mendukung partisipasi seluruh individu dalam olahraga renang. Prinsip inklusivitas menekankan kesetaraan akses dan penghargaan

terhadap keberagaman, sedangkan prinsip adaptivitas berfokus pada penyesuaian layanan, metode pembelajaran, lingkungan, dan teknologi sesuai kebutuhan peserta.

Dalam konteks olahraga modern, teknologi memainkan peran strategis sebagai enabler yang memperkuat aksesibilitas, pembelajaran, keselamatan, dan kolaborasi antarpemangku kepentingan. Oleh karena itu, pengembangan teknologi inklusif dan adaptif menjadi fondasi penting dalam membangun ekosistem renang yang berkelanjutan, berkeadilan, dan mampu mengakomodasi kebutuhan seluruh peserta tanpa terkecuali.

DAFTAR PUSTAKA

- Block, M.E. (2016) *A Teacher's Guide to Adapted Physical Education*. 4th edn. Baltimore, MD: Brookes Publishing.
- Bronfenbrenner, U. (2009) *The Ecology of Human Development: Experiments by Nature and Design*. Cambridge, MA and London: Harvard University Press. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.4159/9780674028845>.
- Comunity, S. (2020) *Access to assistive technology: A human rights approach to disability*, *sportanddev.org*. Available at: <https://www.sportanddev.org/latest/news/access-assistive-technology-human-rights-approach-disability/> (Accessed: 12 June 2026).
- Costa, J. *et al.* (2021) 'Framework for Intelligent Swimming Analytics with Wearable Sensors for Stroke Classification', *sensors Article*, 21(5162), pp. 1–17. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s21155162>.
- Craven, S.P. (2026) *Disability and Sports, Department of Economic and Social Affairs; Social Inclusion*. Available at: <https://social.desa.un.org/issues/disability/disability-issues/disability-and-sports/> (Accessed: 12 June 2026).
- Fitri, M. *et al.* (2022) 'Accessibility of Inclusive Sports Facilities for Training and Competition in Indonesia and Malaysia', *Sustainability (Switzerland)*, 14(21), pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.3390/su142114083>.
- Henriksen, K. *et al.* (2010) 'Successful talent development in track and field: Considering the role of environment', *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(2), pp. 122–32. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01187.x>.
- Henriksen, K. and Stambulova, N. (2023) 'The social environment of talent development in youth sport', *Frontiers in Sports and Active Living*, 5(1127151), pp. 1–7. Available at: <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1127151>.
- Hutzler, Y. and Sherrill, C. (2007) 'Defining Adapted Physical Activity: International Perspectives', *Adapted Physical Activity Quarterly*, 24(1), pp. 1–20. Available at:

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1123/apaq.24.1.1>.
- King, G. *et al.* (2003) 'A Conceptual Model of the Factors Affecting the Recreation and Leisure Participation of Children with Disabilities', *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics*, 23(1), pp. 63–90. Available at: https://doi.org/10.1080/J006v23n01_05.
- Lieberman, L.J. and Houston-Wilson, C. (2018) *Strategies for inclusion: physical education for everyone*. 3rd Editio. Champaign, Illinois (IL), USA: Human Kinetics.
- Maglischo, E.W. (2003) *Swimming fastest*. 1st edn. Champaign, Illinois, USA: Human Kinetics.
- P. Diaz, Hernando and F. Diaz, E. (2021) 'Special Swimming Activity, a Recommend Program for Persons with Disabilities (PWD)', *Journal of Advances in Sports and Physical Education*, 4(3), pp. 30–44. Available at: <https://doi.org/10.36348/jaspe.2021.v04i03.003>.
- Rad, M.H. *et al.* (2021) 'A Novel Macro-Micro Approach for Swimming Analysis in Main Swimming Techniques Using IMU Sensors', *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8(January), pp. 1–16. Available at: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.597738>.
- Sherrill, C. (2004) *Adapted Physical Activity, Recreation, and Sport: Crossdisciplinary and Lifespan*. 6th ed. New York: McGraw-Hill. Available at: <https://doi.org/10.1123/apaq.22.1.99>.
- Story, M.F. *et al.* (1998) *The Universal Design File: Designing for People of All Ages and Abilities*. Revised Ed. Raleigh, North Carolina (NC), USA: Center for Universal Design, North Carolina State University. Available at: <http://www.design.ncsu.edu>.
- United Nations (2006) *Convention on the Rights of Persons with Disabilities*. 1st edn, *Department of Economic and Social Affairs Disability*. 1st edn. New York: United Nations.: Department of Economic and Social Affairs Disability.
- Veiga, S. *et al.* (2022) 'Kinematic Analysis of the Underwater Undulatory Swimming Cycle: A Systematic and Synthetic Review', *International Journal of Environmental Research and Public Health Systematic*, 19(12196), pp. 1–26. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijerph191912196>.

- Winnick, J.P. and Porretta, D.L. (2017) *Adapted Physical Education and Sport*. 6th Editio. Champaign, Illinois, USA: Human Kinetics.
- Wolff, E.A. and Hums, M.A. (2018) 'Preface', *Sport in Society*, 21(1), pp. 1–3. Available at: <https://doi.org/10.1080/17430437.2016.1225911>.
- World Health Organization (2022) *Global report on health equity for persons with disabilities*. Geneva: World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240063600>?

BAB 6

ETIKA, REGULASI, DAN KESENJANGAN TEKNOLOGI

Implementasi teknologi modern dalam olahraga renang telah menghasilkan diskusi etika yang sangat dalam berkaitan dengan integritas olahraga manusia. Teknologi seperti alat *wearable* dan analisis berdasarkan AI sering disebut sebagai *technological doping* (doping teknis)', yang menyembunyikan batas antara keterampilan yang diberikan oleh alam dan bantuan teknis lainnya. Para pemangku berkepentingan harus mencoba memahami apakah performa olahraga ini disebabkan oleh dedikasi mereka untuk latihan atau karena teknologi baru. Sebagaimana dikemukakan oleh Loland (2018), teknologi seharusnya berfungsi untuk meningkatkan performa manusia tanpa mengeliminasi elemen ketidakpastian yang menjadi daya tarik utama kompetisi olahraga.

Keberadaan regulasi yang sangat ketat adalah salah satu cara penting yang dapat digunakan oleh organisasi internasional agar teknologi tidak melebihi batas yang masuk akal. Hal tersebut dikarenakan badan regulasi seperti *World Aquatics* selalu melakukan penyegaran terhadap standar peralatan mulai dari penentuan standar tekstil baju renang sampai legalitas penggunaan sensor biometrik pada kompetisi. Bila tanpa adanya regulasi, maka perlombaan berpotensi menjadi ajang perebutan kecanggihan laboratorium riset daripada kekuatan fisik atlet. Sejalan dengan hal tersebut, De Cremer and Kasparov (2022) menekankan bahwa regulasi olahraga harus adaptif terhadap perkembangan teknologi guna melindungi nilai-nilai tradisional atlet dari dominasi mekanisasi yang berlebihan.

Walaupun sudah adanya regulasi tersebut, kesenjangan teknologi tetap menjadi masalah sistemik yang membangkitkan

diskriminasi sembunyi-sembunyi dari satu negara ke negara lain. Para atlet dari negara maju bisa mengakses *smart pool* (kolam pintar) dan sistem umpan balik yang tidak dapat diakses oleh perenang dari negara berkembang. Dalam hal infrastruktur tersebut, ada ketidakseimbangan yang tidak proporsional yang mempengaruhi hasil kinerja berenang di tingkat internasional. Menurut analisis Haake (2009), ketimpangan akses terhadap teknologi olahraga memperlebar jarak prestasi antara negara maju dan negara berkembang, sehingga menciptakan hierarki kompetitif yang tidak sehat.

Tabel 6.1. Perbandingan Manfaat dan Risiko Teknologi Renang

Teknologi	Manfaat	Risiko
<i>Wearable Sensor</i>	Monitoring performa dan kesehatan	Pelanggaran privasi data
<i>AI Analytics</i>	Memprediksi performa dan optimalisasi latihan	Ketimpangan akses teknologi
<i>Smart Pool</i>	Umpan balik secara <i>real-time</i>	Biaya investasi tinggi
<i>Adaptive Technology</i>	Meningkatkan inklusivitas atlet disabilitas	Tantangan standarisasi dan regulasi

Kolaborasi dari etika, regulasi, dan teknologi secara merata adalah langkah jangka panjang agar masa depan olahraga renang tetap aman. Kolaborasi tersebut bertujuan menciptakan keseimbangan antara peningkatan prestasi olahraga dan pemanfaatan inovasi teknologi yang mendukung kesehatan, keselamatan, dan kualitas hidup atlet. Pendidikan tentang aspek keamanan, etika dan regulasi teknologi perlu bagi pelatih dan atlet dari seluruh dunia agar penggunaan teknologi dapat dilakukan secara tepat, aman dan bertanggung jawab. Masa depan olahraga renang tetap berorientasi pada manusia yang menjadi fokus kepada utama, sedangkan teknologi berfungsi sebagai instrumen pendukung dalam pencapaian prestasi dan berkelanjutan. Magdalinski (2009)

berpendapat bahwa kunci keberlanjutan olahraga di era digital adalah menciptakan keseimbangan antara progresivitas inovasi dan pemerataan akses bagi seluruh komunitas olahraga global.

6.1 Etika Kompetisi: Integritas di Era Bantuan Teknologi

6.1.1 Definisi Moralitas dalam Penggunaan Inovasi Olahraga

Diskusi tentang etika dalam kompetisi umumnya berfokus pada batasan penggunaan teknologi yang dapat mempengaruhi prestasi atlet. Tantangan utama terletak pada pemanfaatan teknologi sebagai alat pendukung dan penggunaannya sebagai sumber keunggulan kompetitif yang tidak proporsional. Hal ini dapat menggeser prinsip dasar olahraga yang menekankan kemampuan, usaha, dan dedikasi individu.

Integritas olahraga renang sangat tergantung pada persetujuan bersama tentang jenis dan batasan teknologi apa yang dapat digunakan sebagai bantuan. Tanpa kerangka etika dan prinsip moral yang jelas, kompetisi bisa jadi hanya ajang pameran teknologi dibandingkan kemampuan dan usaha atlet. Menurut pandangan Hecht (2002), etika dalam olahraga menuntut agar teknologi hanya berfungsi sebagai pelengkap kemampuan atlet dan bukan sebagai faktor penentu utama kemenangan.

Implementasi inovasi dalam olahraga renang harus mengutamakan prinsip dari keadilan (*fairness*) dan kesetaraan kesempatan kepada semua peserta yang berkompetisi. Ketika suatu teknologi atau perangkat memiliki efek mekanis yang tidak proporsional berpotensi menimbulkan pertanyaan mengenai keadilan kompetitif dan integritas hasil kompetisi. Atlet dan pelatih harus memiliki tanggung jawab moral yang kuat dalam arti mereka tidak mengambil jalan pintas melalui teknologi yang masih diperdebatkan dari aspek etika dan regulasi. Ini merupakan hal yang sangat krusial untuk mempertahankan reputasi olahraga renang di mata masyarakat umum. Sebagaimana dijelaskan oleh Gleaves and Lehrbach (2016), integritas kompetisi akan tetap terjaga apabila penggunaan teknologi tidak menghilangkan elemen tantangan fisik yang menjadi inti dari setiap cabang olahraga.

6.1.2 Tantangan "*Technological Doping*" dan Batas Kemampuan Manusia

Konsep *technological doping* atau doping teknologi telah menjadi isu penting atau masalah baru dalam olahraga modern saat ini yang melampaui batas-batas tradisional dalam aturan peralatan olahraga. Hal ini karena adanya kemungkinan peningkatan efektivitas kinerja berkat inovasi seperti pakaian berenang yang menggunakan material hidrodinamik canggih. Ini juga menyebabkan keprihatinan terhadap apakah hasil dari kompetisi benar-benar menggambarkan kondisi fisik yang sebenarnya dari atlet tersebut.

Dalam konteks ini, regulasi yang jelas diperlukan untuk memastikan bahwa teknologi tetap berfungsi sebagai pendukung performa tanpa mengurangi peran utama kemampuan manusia dalam pencapaian prestasi olahraga. Camporesi dan McNamee (2018) menegaskan bahwa teknologi harus dikelola secara ketat agar tidak menggantikan peran biologi manusia sebagai aktor utama dalam pencapaian prestasi olahraga.

Saat ini seiring dengan perkembangan teknologi yang pesat, dibutuhkan mekanisme pengawasan dan regulasi yang konstan dari otoritas olahraga agar tidak ada ketidakadilan yang sistematis dalam olahraga. Tanpa pembatasan yang jelas, inovasi teknologi berpotensi berkembang menjadi ajang persaingan antarprodusen peralatan olahraga untuk menciptakan keunggulan performa yang semakin besar. Pada situasi ini maka keberhasilan atlet khususnya perenang-perenang dapat menjadi sangat bergantung pada ketersediaan dan akses terhadap teknologi tertentu, sehingga menggeser fokus kompetisi dari pengukuran kemampuan manusia menuju dominasi keunggulan teknologi. Menurut penelitian Miah (2017), tantangan terbesar bagi integritas olahraga modern adalah menetapkan garis demarkasi yang jelas antara peningkatan performa yang etis dan intervensi teknologi yang merusak.

6.1.3 Akuntabilitas Atlet dalam Mengadopsi Teknologi Baru

Para atlet profesional sekarang berada dalam situasi di mana mereka mengalami tuntutan yang semakin besar untuk menerapkan berbagai inovasi teknologi baru agar bisa mengoptimalkan efisiensi gerakan paling efektif serta peningkatan performa. Namun,

penggunaan teknologi tertentu harus didasarkan pada pengetahuan mendalam tentang konsekuensi etis serta dampak penerapan teknologi tersebut terhadap integritas kompetisi. Oleh karena itu, atlet memiliki tanggung jawab moral untuk memastikan bahwa penggunaan teknologi tetap berada dalam koridor sportivitas dan keadilan kompetitif. Teknologi seharusnya dimanfaatkan untuk mendukung pemantauan kesehatan, analisis teknik, dan optimalisasi latihan, bukan untuk memperoleh keunggulan yang bertentangan dengan prinsip-prinsip fair play. Loland (2009) berargumen bahwa tanggung jawab etis atlet mencakup penolakan terhadap inovasi yang secara inheren merusak kesetaraan dalam peluang berkompetisi.

Selain tanggung jawab individual, kerjasama yang dibangun antara atlet, pelatih dengan institusi penelitian perlu dilandasi pada kode etik yang jelas, transparan, dan dapat di pertanggungjawabkan. Informasi yang transparan tentang penggunaan jenis teknologi tertentu dalam latihan setiap hari bisa membantu membentuk suasana persaingan yang lebih baik. Penyebaran informasi tentang efektivitas teknologi tambahan tertentu bisa dijadikan sebagai sarana literasi teknologi dikalangan untuk komunitas olahraga. Hal ini memperkecil kesenjangan akses yang dihadapi oleh atlet dari lingkungan dengan sumber daya terbatas. Sesuai dengan studi yang dilakukan oleh Petersen et al. (2024), kejujuran dalam penggunaan teknologi sangat krusial untuk mempertahankan status olahraga sebagai manifestasi dari kesempurnaan karakter dan fisik manusia.

6.2 Regulasi *World Aquatics*: Menjaga Integritas dan Keadilan kompetisi

6.2.1 Standarisasi Peralatan: Belajar dari Era Baju Renang Non-Tekstil

Spesifikasi pakaian renang menjadi prioritas utama *World Aquatics* untuk menjaga agar teknologi bahan tidak mendominasi. Kebijakan yang sangat ketat untuk menjamin bahwa tingkat daya apung (*buoyancy*), dan efek kompresi yang dihasilkan oleh pakaian renang dalam batasan yang normal. Dalam sejarah, penggunaan poliuretan pada masa lalu telah berkontribusi pada pecahnya sejumlah rekor dunia dalam waktu yang relatif singkat. Oleh karena

itu, setiap peralatan yang digunakan oleh atlet kompetisi resmi wajib melalui proses evaluasi dan sertifikasi sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan oleh *World Aquatics*. Sejalan dengan hal tersebut, Agussalim dan Clara (2025) menjelaskan bahwa standarisasi material bertujuan untuk mengembalikan fokus kompetisi pada kemampuan biomekanik dan daya tahan fisik perenang.

Ketentuan mengenai desain pakaian renang juga mencakup batasan pada area tubuh yang dapat ditutupi oleh pakaian tersebut. Larangan terhadap baju renang *full-body* bagi pria merupakan salah satu langkah drastis untuk menjaga sportivitas di kolam renang. Ketentuan mengenai desain baju renang juga mencakup batasan pada area tubuh yang boleh ditutupi oleh pakaian tersebut. Larangan terhadap baju renang *full-body* bagi pria merupakan salah satu langkah drastis untuk menjaga sportivitas di kolam renang. Federasi berusaha keras agar inovasi tekstil tidak menjadi penentu tunggal dalam perolehan medali emas di ajang besar. Pengawasan ini dilakukan secara berkala melalui pemeriksaan mendadak di ruang kontrol sebelum atlet memasuki area lomba. Menurut analisis Araújo et al. (2021), pembatasan teknis pada pakaian renang sangat penting untuk memelihara integritas historis dari pencapaian rekor dunia dalam olahraga akuatik.

Salah satu contoh paling nyata mengenai pentingnya regulasi teknologi dalam olahraga renang adalah kontroversi penggunaan baju renang berbahan poliuretan pada periode 2008–2009. Kehadiran teknologi tersebut menyebabkan rekor dunia berhasil dipecahkan dalam waktu relatif singkat, sehingga memunculkan dugaan bahwa peningkatan performa atlet tidak lagi semata-mata berasal dari kemampuan fisik dan kualitas latihan. Menanggapi hal tersebut, saat itu FINA sekarang *World Aquatics* menetapkan larangan penggunaan baju renang berbahan poliuretan penuh mulai tahun 2010 dan mewajibkan penggunaan bahan tekstil yang memenuhi standar tertentu. Kebijakan ini menjadi contoh penting bagaimana regulasi berfungsi menjaga integritas kompetisi sekaligus mencegah terjadinya fenomena *technological doping* dalam olahraga renang.

6.2.2 Kerangka Regulasi *World Aquatics* terhadap Inovasi Teknologi

Perkembangan teknologi dalam olahraga renang telah menghadirkan berbagai peluang untuk meningkatkan kualitas pembinaan, keselamatan atlet, dan efektivitas evaluasi performa. Namun demikian, kemajuan tersebut juga memunculkan tantangan baru terkait keadilan kompetitif dan integritas olahraga. Untuk mengantisipasi berbagai dampak tersebut, *World Aquatics* terus melakukan penyempurnaan regulasi yang mengatur penggunaan teknologi dalam olahraga akuatik. Regulasi ini dirancang agar inovasi dapat dimanfaatkan secara optimal tanpa menggeser esensi olahraga yang berlandaskan kemampuan, keterampilan, dan usaha atlet.

Dalam penyelenggaraan kompetisi internasional, *World Aquatics* menetapkan *World Aquatics Competition Regulations* yang mengatur standar perlombaan, spesifikasi peralatan, serta prosedur pengawasan teknis selama pertandingan berlangsung. Melalui regulasi tersebut, setiap peserta diwajibkan menggunakan perlengkapan yang telah memenuhi standar yang ditetapkan sehingga seluruh atlet memperoleh kesempatan yang setara untuk menunjukkan performa terbaiknya. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa hasil kompetisi lebih merefleksikan kemampuan atlet dibandingkan keuntungan yang diperoleh dari penggunaan teknologi tertentu.

Salah satu mekanisme pengawasan yang diterapkan *World Aquatics* adalah melalui *World Aquatics Swimwear Approval Program*, yaitu sistem persetujuan terhadap pakaian renang yang digunakan dalam kompetisi resmi. Setiap produk harus melalui proses pengujian untuk memastikan bahwa karakteristik material, tingkat daya apung, elastisitas, dan desainnya tidak memberikan keuntungan performa yang berlebihan. Kebijakan ini berkembang sebagai respons terhadap pengalaman masa lalu ketika penggunaan material tertentu pada pakaian renang terbukti mampu meningkatkan performa secara signifikan dan menimbulkan perdebatan mengenai keadilan kompetisi. Oleh karena itu, pengendalian terhadap inovasi tekstil menjadi bagian penting dalam menjaga keseimbangan antara kemajuan teknologi dan sportivitas olahraga.

Selain pakaian renang, *World Aquatics* juga menerapkan *Equipment Approval Procedures* berbagai perangkat dan teknologi baru yang dikembangkan untuk mendukung performa atlet. Setiap inovasi yang berpotensi digunakan dalam lingkungan kompetisi harus melalui proses evaluasi yang mempertimbangkan aspek keselamatan, manfaat teknis, serta dampaknya terhadap kesetaraan kompetitif. Penilaian tersebut umumnya dilakukan melalui kajian ilmiah dan pengujian teknis sebelum suatu perangkat dapat diizinkan untuk digunakan pada ajang resmi. Melalui mekanisme ini, teknologi tetap memperoleh ruang untuk berkembang, tetapi penggunaannya tetap berada dalam batas-batas yang dapat diterima oleh komunitas olahraga internasional.

Transformasi digital dalam olahraga juga mendorong meningkatnya penggunaan perangkat wearable, sensor biometrik, serta sistem analisis berbasis kecerdasan buatan. Kehadiran teknologi tersebut menghasilkan data dalam jumlah besar yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kualitas latihan dan pemantauan kondisi atlet. Namun, pengumpulan dan pemanfaatan data tersebut harus memperhatikan prinsip transparansi, keamanan informasi, dan perlindungan hak privasi atlet. Pengelolaan data yang bertanggung jawab menjadi bagian penting dari tata kelola olahraga modern karena informasi biometrik atlet memiliki nilai strategis, baik dari aspek performa maupun kepentingan komersial.

De Cremer dan Kasparov (2022) menekankan bahwa inovasi teknologi perlu diimbangi dengan pertimbangan etika dan tata kelola yang memadai agar manfaat yang dihasilkan tidak mengabaikan nilai-nilai dasar yang ingin dipertahankan oleh suatu organisasi atau masyarakat. Dalam konteks olahraga renang, keseimbangan tersebut menjadi dasar bagi *World Aquatics* dalam merumuskan kebijakan yang mampu mengakomodasi kemajuan teknologi sekaligus menjaga keadilan kompetitif bagi seluruh atlet.

6.2.3 Legalitas Sensor Biometrik dan Perangkat Pemantauan *Real-Time*

Konektivitas atau integrasi perangkat elektronik pada sesi latihan maupun pertandingan memerlukan penegakan peraturan yang lebih responsif dari regulator dunia. Peraturan tentang saat dan

di mana pemakaian sensor biometrik dapat dilakukan oleh atlet telah ditentukan oleh *World Aquatics*.

Sensor biometrik memberikan manfaat yang signifikan dalam pemantauan respons fisiologis, beban latihan, dan kesiapan performa atlet. Namun, dalam konteks kompetisi resmi, penggunaan perangkat tersebut dibatasi untuk mencegah terjadinya keunggulan kompetitif yang berasal dari akses informasi secara langsung selama pertandingan. Kebijakan ini mencerminkan upaya regulator untuk menjaga keseimbangan antara pemanfaatan inovasi teknologi dan prinsip keadilan dalam olahraga renang

Sebagai contoh, berbagai tim nasional renang di negara maju memanfaatkan sensor denyut jantung, *heart rate variability (HRV)*, dan perangkat pemantauan beban latihan untuk mengoptimalkan program latihan atlet. Namun, data yang diperoleh melalui perangkat tersebut umumnya hanya digunakan pada fase latihan dan evaluasi performa, bukan sebagai sarana pemberian umpan balik langsung selama kompetisi berlangsung. Sebagaimana ditegaskan oleh De Cremer and Kasparov (2022), regulasi teknologi harus mampu menyeimbangkan manfaat pemantauan kesehatan dengan risiko manipulasi performa yang tidak adil.

Penggunaan data yang terkait dengan transparansi dari alat canggih tersebut juga merupakan pertimbangan penting dalam rancangan regulasi baru. Federasi internasional perlu memastikan bahwa akses terhadap informasi yang diperoleh melalui teknologi tidak menimbulkan ketidaksetaraan kompetitif di antara peserta. Regulasi tentang transfer data nirkabel juga tidak dibenarkan selama acara perlombaan berlangsung sebagai langkah pencegahan agar para perenang tidak menggunakan strategi taktis dalam bertanding. Menurut Miah (2017), pengawasan terhadap perangkat *wearable* dalam olahraga profesional bertujuan untuk melindungi nilai otentisitas dari performa atlet di bawah tekanan kompetitif.

6.2.4 Protokol Pengawasan dan Penegakan Sanksi bagi Pelanggar

Ketepatan regulasi dari *World Aquatics* akan menjadi hal yang sangat menentukan melalui mekanisme monitoring yang dilakukan oleh hakim juri serta delegasi teknik an ofisial kompetisi yang

bertugas memastikan seluruh atlet mematuhi standar peralatan dan ketentuan yang berlaku. Setiap kali atlet atau tim melakukan pelanggaran dari standar peralatan, ada potensi besar bisa didiskualifikasi secara segera atas kelakuannya. Pada tahapan inspeksi, proses tersebut melibatkan beberapa tahapan mulai dari registrasi peralatan sampai waktu sebelum melakukan start. Sesuai dengan studi dari Hecht (2002), penegakan aturan yang konsisten adalah fondasi utama dalam menjaga kepercayaan global terhadap hasil pertandingan olahraga internasional.

Pada dasarnya, tidak hanya pemeriksaan fisik saja, tetapi *World Aquatics* juga melakukan penyegaran di bidang prosedur hukum dalam menyelesaikan perselisihan tentang masalah-masalah yang berkaitan dengan teknologi inovatif. Kolaborasi dengan laboratorium independen dilakukan sebagai langkah penentuan dampak mekanis dari semua alat baru yang dikembangkan oleh produsennya. Hal tersebut berarti bahwa setiap perubahan dalam kebijakan ditujukan sesuai dengan data saintifik yang objektif dan valid. Anderson et al. (2018) menyatakan bahwa tata kelola organisasi olahraga yang transparan sangat krusial untuk menghadapi tantangan etika yang dibawa oleh kemajuan teknologi digital.

6.3 Kesenjangan Teknologi: "*The Digital Divide*" antar Negara

6.3.1 Ketimpangan Infrastruktur Pelatihan Renang Global

Ketimpangan infrastruktur teknologi olahraga merupakan salah satu tantangan utama dalam mewujudkan kesetaraan kompetitif pada olahraga renang modern. Akses ke fasilitas pelatihan canggih, seperti sistem analisis video bawah air, sensor biomekanika, perangkat pemantauan fisiologis, dan *platform* analitik berbasis kecerdasan buatan masih terbatas pada negara-negara maju. Dengan teknologi tersebut, peserta bisa memperbaiki efisiensi gerakan mereka dengan data biomekanik secara *real-time*. Di sisi lain, atlet dari negara-negara berkembang umumnya hanya memiliki akses ke fasilitas biasa tanpa adanya alat pengukur kemampuan mereka secara digital. Kondisi ini menciptakan ketimpangan kompetitif bahkan sebelum kompetisi dimulai. Sebagaimana dijelaskan oleh Haake (2009), ketimpangan infrastruktur teknologi olahraga

merupakan hambatan utama bagi terciptanya keadilan prestasi di tingkat Olimpiade.

Negara yang memiliki budget penelitian yang tinggi dapat memanfaatkan kecerdasan buatan dalam meningkatkan pelatihan harian para atlet mereka. Penyediaan laboratorium olahraga menjadi modal bagi federasi untuk menciptakan simulasi kompetisi yang hampir mirip dengan kondisi di lapangan. Ini bertolak belakang dengan negara berkembang yang masih menggunakan pelatihan tradisional dan juga observasi. Sehingga, potensi genetika dari para atlet berbakat tersebut menjadi terabaikan akibat minimnya peralatan yang digunakan. Menurut analisis dari De Cremer and Kasparov (2022), kesenjangan sumber daya teknologi telah memperlebar jarak antara dominasi negara elit dan negara berkembang dalam olahraga renang.

Pemanfaatan teknologi canggih saat ini dalam pembinaan renang dapat dilihat pada Tim Nasional Renang Australia yang menggunakan berbagai perangkat *wearable* untuk memantau denyut jantung, beban latihan, kualitas pemulihan, dan kesiapan fisiologis atlet secara real-time. Data yang diperoleh digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan pelatihan berbasis bukti serta mengurangi risiko cedera. Teknologi ini digunakan menjelang Olimpiade Paris, tim Australia juga memanfaatkan teknologi *virtual reality* untuk melatih pergantian estafet secara lebih presisi. Meskipun memberikan keuntungan dalam peningkatan performa, melalui penggunaan teknologi ini menunjukkan adanya kesenjangan akses antara negara maju dan negara berkembang dalam olahraga renang modern.

Ketimpangan infrastruktur teknologi olahraga dapat dilihat pada United States Olympic & Paralympic Training Center (USOPC) di Colorado Springs yang dilengkapi laboratorium ilmu olahraga dan sistem analisis biomekanika untuk mendukung pembinaan atlet elit. Melalui pemanfaatan analisis gerak, pengujian fisiologis, dan evaluasi performa berbasis data, atlet memperoleh umpan balik yang sangat rinci mengenai efisiensi teknik dan kesiapan fisiknya. Sementara itu, banyak negara berkembang masih menghadapi keterbatasan fasilitas serupa sehingga proses evaluasi teknik lebih banyak mengandalkan observasi konvensional. Perbedaan akses terhadap

teknologi ini menunjukkan bahwa keunggulan kompetitif dalam olahraga modern tidak hanya ditentukan oleh bakat dan latihan, tetapi juga oleh kapasitas suatu negara dalam menyediakan dukungan ilmu pengetahuan dan teknologi olahraga.

6.3.2 Monopoli Data Biometrik dan Keunggulan Kompetitif

Penguasaan teknologi sensor *wearable* dan sistem analitik data olahraga telah menjadi sumber keunggulan kompetitif dalam olahraga modern. Negara yang memiliki sumber daya finansial dan teknologi yang memadai memperoleh keunggulan dalam pengelolaan data olahraga. Data biometrik dapat digunakan untuk memantau respons fisiologis atlet secara berkelanjutan. Melalui pendekatan berbasis data (*data-driven approach*), pelatih dapat memprediksi kebutuhan pemulihan, mengoptimalkan periodisasi latihan, serta menentukan waktu pencapaian performa puncak secara lebih akurat.

Tanpa informasi seperti itu, upaya kepelatihan dilakukan dengan mengandalkan intuisi dan eksperimen empiris. Informasi ini menjadi penyebab ketidakseimbangan dalam hal persiapan fisik dan mental atlet antar negara maju yang memiliki kapasitas teknologi tinggi dan negara dengan sumber daya yang lebih terbatas dalam bertanding. Miah (2017) menegaskan bahwa transformasi digital dalam olahraga telah menciptakan hierarki baru berdasarkan kemampuan sebuah negara dalam mengelola data atlet.

Tingginya biaya akses terhadap perangkat lunak analitik, sistem pemantauan performa, dan teknologi olahraga berlisensi dapat memperdalam kesenjangan kapasitas pembinaan antarnegara. Fenomena "*drainage of talent*" akan terjadi dimana atlet atau coach terbaik akan berpindah ke negara lain yang memiliki fasilitas teknologi yang lebih baik, dengan demikian negara-negara yang memiliki kapasitas teknologi dan sumber daya finansial yang kuat akan semakin memperkuat keunggulan kompetitifnya di tingkat internasional. Sesuai dengan studi yang dilakukan oleh Canini and Tjørndal (2025), eksklusivitas akses terhadap inovasi teknologi olahraga dapat mengancam keberagaman representasi pemenang di kancah internasional.

6.3.3 Urgensi Transfer Teknologi demi Inklusivitas Olahraga

Untuk menekan jarak pemisah kesenjangan teknologi dalam olahraga renang memerlukan kerja sama internasional yang berkelanjutan melalui mekanisme transfer teknologi. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah penyediaan bantuan peralatan dan fasilitas teknologi kepada federasi olahraga yang memiliki keterbatasan sumber daya. Solusi lainnya bisa menggunakan aplikasi yang dibuat menggunakan *smartphone* yang biayanya lebih rendah untuk menganalisa gerakan dasar sendiri. Hal ini untuk mencegah pengetahuan ilmu olahraga tetap hanya dimiliki oleh beberapa negara yang kuat secara ekonomi saja. Magdalinski (2009) berargumen bahwa pemerataan akses terhadap teknologi dasar adalah kunci untuk mempertahankan relevansi global dan sportivitas dalam olahraga modern.

Bersamaan dengan peningkatan perlengkapan, penting juga untuk memberi pelatihan kepada instruktur tentang literasi teknologi. Pengetahuan tentang bagaimana membaca data-data dasar akan menunjang pelatihan meskipun menggunakan peralatan yang terbatas. Organisasi internasional harus memastikan bahwa pada regulasi masa mendatang teknologi yang digunakan adalah terbuka untuk semua. Jika tidak ada tindakan yang dilakukan, maka nafas sportivitas yang membuat negara-negara itu bergabung akan selalu terganggu karena dominasi teknokrasi. Menurut penelitian Gazaei et al. (2024), demokratisasi teknologi olahraga diperlukan untuk memastikan bahwa talenta atletik tetap menjadi faktor penentu utama kemenangan di masa depan.

6.4 Dilema Data: Privasi dan Kepemilikan Biometrik Atlet

6.4.1 Kedaulatan Data dan Hak Kepemilikan Informasi Biometrik

Pengambilan data biometrik peserta renang dengan menggunakan teknologi sensor memunculkan pertanyaan yang fundamental tentang hak kepemilikan informasi tersebut. Detak jantung dan kadar laktat sampai pola pemulihan sering diklaim oleh tim atau organisasi yang finansialisasi penelitian tersebut sebagai harta mereka. Meski demikian, secara etika peserta haruslah

memiliki otonomi terhadap informasi biometrik yang berdasarkan diri mereka sendiri. Tanpa adanya kontrak, bahaya penggunaan data secara komersial tanpa persetujuan peserta menjadi sangat besar. Sebagaimana dijelaskan oleh Osborne (2017), perlindungan hukum yang kuat diperlukan untuk memastikan bahwa atlet tetap memiliki kendali atas identitas digital dan privasi biologis mereka.

Ketidakpastian terhadap kepemilikan data bisa menjadi sumber masalah hukum bagi atlet profesional dan pemilik data. Banyak atlet yang bahkan tidak menyadari bahwa data tentang prestasi olahraganya bisa dijual dan dibeli oleh perusahaan analisis lain. Ini bisa menimbulkan potensi kerugian bagi posisi tawar atlet selama proses negosiasi kontrak di masa mendatang jika data negatifnya tersebar. Karena itu, penting bagi atlet agar memiliki pengetahuan yang jelas tentang protokol data sejak awal proses latihan. Menurut analisis dari West (2019), kedaulatan data biometrik merupakan isu krusial dalam olahraga modern yang memerlukan regulasi perlindungan data pribadi yang lebih komprehensif dan spesifik.

6.4.2 Risiko Keamanan Siber dan Eksploitasi Data Sensitif

Pembahasan tentang penyimpanan data performa atlet di sistem komputasi *cloud* menunjukkan bahwa ada kerentanan baru yang dapat ditemukan peretas dan menyebabkan serangan siber merugikan. Hacking terhadap database biometrik bisa menjadi cara bagi pelaku untuk mendapatkan data medis yang sangat privat atau merubah profil performa dari atlet tertentu tersebut. Apabila data biometrik jatuh ke pihak yang tidak semestinya, maka karir atlet tersebut bisa disabotase atau bahkan didesak. Miah (2017) menegaskan bahwa integritas olahraga digital sangat bergantung pada kemampuan organisasi dalam melindungi ekosistem data mereka dari ancaman peretasan eksternal.

Penggunaan data secara internal oleh management juga merupakan dilema etika lainnya selain masalah ancaman dari luar. Data biometrik yang selayaknya digunakan untuk kesehatan malah digunakan untuk mendapatkan informasi tentang kebiasaan pribadi mereka saat tidak sedang berlatih. *Overmonitoring* bisa menimbulkan stres psikologis dan menurunkan keseimbangan hidup personal mereka. Batasan pengawasan harus diterapkan

dalam bentuk regulasi agar hak asasi mereka tidak dilanggar. Sesuai dengan studi yang dilakukan oleh Osborne (2017), pengawasan berbasis data dalam olahraga harus dibatasi oleh prinsip kebutuhan dan proporsionalitas demi menjaga privasi individu.

6.4.3 Komersialisasi Data Performa dalam Industri Olahraga

Komersialisasi data performa atlet merupakan salah satu konsekuensi dari transformasi digital dalam industri olahraga modern. Data biometrik yang diperoleh melalui sensor dan perangkat pemantauan real-time memiliki nilai ekonomi yang tinggi karena dapat dimanfaatkan oleh media, penyedia layanan analitik, serta industri taruhan olahraga. Informasi fisiologis seperti detak jantung, tingkat stres, dan indikator kelelahan berpotensi meningkatkan kualitas penyajian pertandingan dan memperkaya pengalaman penonton. Publikasi data biometrik selama kompetisi dapat meningkatkan tingkat eksposur terhadap kondisi fisiologis atlet yang sebelumnya bersifat privat. Selain itu, terdapat kekhawatiran bahwa data tersebut dapat dimanfaatkan oleh pihak tertentu untuk memperoleh keunggulan informasi dalam analisis hasil pertandingan dan prediksi performa atlet. Kondisi ini menimbulkan pertanyaan mengenai batasan penggunaan data biometrik dalam industri olahraga serta perlunya regulasi yang mampu menjaga keseimbangan antara kepentingan komersial, hak privasi atlet, dan integritas kompetisi. Magdalinski (2009) berpendapat bahwa penggunaan data biometrik untuk kepentingan hiburan harus dilakukan dengan sangat hati-hati agar tidak mengorbankan martabat dan kerahasiaan medis atlet.

Regulasi global terhadap perpindahan data biometrik antar negara menjadi penting saat ini dalam era digital. Federasi olahraga internasional perlu menetapkan standar etika dan tata kelola data yang mengatur pengumpulan, penggunaan, penyimpanan, serta distribusi data biometrik secara transparan dan bertanggung jawab. Tanpa regulasi tersebut, data hasil performa para atlet bisa saja digunakan sebagai commodity saja tanpa mempertimbangkan sisi manusiawi dari subyek tersebut.

Dalam konteks ini, literasi hak digital menjadi aspek penting yang perlu dimiliki atlet agar mampu memahami risiko, manfaat, dan

implikasi penggunaan data pribadinya, dengan demikian perlindungan hak digital atlet tidak hanya menjadi isu privasi, tetapi juga bagian dari upaya menjaga integritas, keadilan, dan keberlanjutan olahraga di era transformasi digital. Menurut penelitian Canini and Tjønndal (2025), keseimbangan antara inovasi bisnis berbasis data dan hak privasi atlet adalah tantangan terbesar bagi tata kelola olahraga di masa depan.

6.5 Inovasi Inklusif: Menjembatani Celah dengan Teknologi Terjangkau

6.5.1 Demokratisasi Analisis Performa melalui Perangkat Lunak Terbuka

Upaya inklusif dalam inovasi olahraga renang juga beralih ke teknologi dengan biaya yang lebih rendah, yaitu inovasi yang berdasarkan aplikasi ponsel pintar. Ini merupakan sebuah teknologi yang memungkinkan pelatih di area jauh melakukan analisis biomekanik sederhana tanpa perlu menggunakan kamera berkecepatan tinggi yang memiliki harga yang sangat mahal. Melalui teknologi tersebut, analisis efisiensi kayuhan perenang bisa dilakukan dengan lebih efisien melalui sensor yang ada dalam ponsel mereka. Sejalan dengan hal tersebut, Gazaei et al. (2024) menjelaskan bahwa digitalisasi yang terjangkau membuka peluang bagi atlet dari berbagai latar belakang ekonomi untuk mendapatkan umpan balik teknis yang berkualitas.

Kesuksesan penggunaan kecerdasan buatan berbasis *open-source* juga menjadi kunci yang menentukan dalam menutup jarak keterampilan di level *grass root*. Penggunaan algoritma deteksi pose yang mudah untuk didapatkan dapat membantu klub renang lokal dalam mendeteksi kelainan tata gerakan sejak dini. Informasi yang didapatkan tersebut bisa digunakan untuk membuat program latihan yang spesifik bagi tiap individu. Ini menjadi penanda bahwa bakat baru akan muncul dari daerah-daerah yang tidak pernah terdeteksi oleh sistem pencarian bakat secara nasional. Menurut analisis Canini and Tjønndal (2025), demokratisasi teknologi melalui perangkat lunak terbuka merupakan langkah krusial dalam menciptakan ekosistem olahraga yang lebih inklusif dan merata bagi seluruh masyarakat.

6.5.2 Teknologi Adaptif bagi Perenang Disabilitas dengan Biaya Rendah

Pembuatan peralatan bantu renang untuk atlet disabilitas kini semakin berkembang yang digunakan adalah bahan lokal, murah, namun memiliki fungsi. Inovasi tersebut melibatkan pembuatan protesis renang dengan memanfaatkan teknologi cetak 3D untuk dapat mengurangi biaya produksi. Melalui inovasi ini, akses penyandang disabilitas dalam melakukan aktivitas renang di negara berkembang menjadi semakin mudah. Kunci dari pengembangan ini adalah bagaimana meningkatkan independensi dan kepercayaan diri mereka saat berada di dalam air. Magdalinski (2009) menegaskan bahwa teknologi inklusif harus dipandang sebagai jembatan yang menghubungkan keterbatasan fisik dengan potensi prestasi yang tidak terbatas.

Bersamaan dengan alat fisik tersebut, ada sistem petunjuk audio berbasis sensor ultrasonik yang lebih ekonomis dan telah digunakan untuk membantu atlet penyandang disabilitas visual berenang di kolam. Alat ini akan mengeluarkan sinyal berupa getaran atau suara jika atlet mendekati tepi kolam agar tidak mengalami cedera dan menjadi aman. Implementasi teknologi seperti ini sudah cukup efektif untuk menaikkan efisiensi dari proses latihan mereka tanpa harus merencanakan pembangunan infrastruktur yang sangat kompleks pada kolam renang. Menurut studi dari Haake (2009), integrasi teknologi adaptif yang hemat biaya merupakan bentuk nyata dari penerapan nilai-nilai kemanusiaan dalam industri olahraga modern.

6.5.3 Kolaborasi Multistakeholder dalam Distribusi Inovasi Renang

Pemerataan akses terhadap teknologi terjangkau memerlukan kerja sama yang solid antara pemerintah, akademisi, dan sektor swasta. Program hibah teknologi dari organisasi internasional sangat diperlukan untuk mendistribusikan alat pemantauan performa ke wilayah-wilayah tertinggal. Selain pengadaan alat, pelatihan mengenai cara mengoperasikan teknologi digital bagi para pelatih lokal juga menjadi prioritas yang mendesak. Sinergi ini bertujuan untuk menciptakan keberlanjutan program pelatihan berbasis sains

di tingkat komunitas yang paling dasar. De Cremer and Kasparov (2022) berpendapat bahwa kolaborasi global dalam transfer teknologi merupakan solusi paling efektif untuk mengatasi diskriminasi prestasi akibat faktor ekonomi.

Publikasi hasil penelitian mengenai efektivitas teknologi murah harus terus didorong guna memberikan panduan praktis bagi masyarakat luas. Pengetahuan yang bersifat terbuka memungkinkan para inovator lokal untuk mengembangkan solusi mandiri yang sesuai dengan konteks budaya dan geografis masing-masing. Di masa depan, prestasi renang diharapkan tidak lagi ditentukan oleh besarnya anggaran teknologi sebuah negara, melainkan oleh kecerdasan dalam memanfaatkan sumber daya. Prinsip inklusivitas harus menjadi landasan utama dalam setiap kebijakan pengembangan olahraga akuatik di tingkat nasional maupun internasional. Sesuai dengan penelitian Miah (2017), masa depan olahraga yang sehat bergantung pada kemampuan kita dalam mendistribusikan manfaat kemajuan teknologi secara adil dan merata.

6.6 Penutup

Implementasi teknologi canggih dalam olahraga renang modern telah menciptakan persimpangan krusial antara kemajuan inovasi dan pemeliharaan nilai-nilai etika kompetisi. Di satu sisi, perangkat pintar dan analisis data menawarkan peluang besar untuk mengoptimalkan potensi fisik manusia, namun di sisi lain, fenomena "*technological doping*" berisiko mengaburkan batasan antara bakat alami dan bantuan eksternal. Oleh karena itu, integritas olahraga renang sangat bergantung pada refleksi moral para atlet dan pelatih dalam menjaga sportivitas, sehingga teknologi tetap diposisikan sebagai pendukung fungsional alih-alih penentu tunggal sebuah kemenangan.

Peran regulasi yang adaptif dan tegas merupakan instrumen utama dalam menjaga keadilan kompetitif dalam olahraga renang. Melalui standarisasi peralatan yang ketat serta pengawasan terhadap penggunaan data biometrik, badan pengatur internasional berupaya memastikan bahwa hasil kompetisi tetap ditentukan oleh kemampuan, keterampilan, dan kualitas persiapan atlet, bukan

semata-mata oleh keunggulan teknologi yang digunakan. Protokol pengawasan yang konsisten dan transparan sangat diperlukan untuk memastikan bahwa inovasi digital tidak mengurangi esensi kompetisi olahraga dan prinsip inklusivitas, melainkan justru memperkuat integritas, sportivitas, dan kesetaraan kesempatan melalui penerapan aturan yang berlaku bagi seluruh peserta.

Meskipun tantangan kesenjangan infrastruktur dan isu privasi data masih membayangi, masa depan olahraga renang terletak pada demokratisasi teknologi pada hakikatnya harus diarahkan untuk memperkuat, bukan menggantikan, peran manusia dalam olahraga. Melalui sinergi antara pemangku kepentingan, didukung oleh mekanisme transfer teknologi yang efektif, menjadi prasyarat penting dalam membangun ekosistem olahraga yang inovatif, inklusif, dan berkeadilan.

Pada akhirnya, keberlanjutan olahraga akuatik di era digital menuntut keseimbangan antara kemajuan ilmu pengetahuan, pemanfaatan teknologi yang bertanggung jawab, dan perlindungan hak-hak dasar atlet sehingga olahraga renang dapat terus mempertahankan integritasnya sebagai arena yang menempatkan kemampuan, ketekunan, dan dedikasi manusia sebagai faktor utama dalam pencapaian prestasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agussalim, W. S. dan Clara, T. R. (2025) 'Analisis Biomekanika Gerakan Atlet Renang untuk Optimalisasi Latihan', *Journal of New Trends in Sciences*, 3(1), pp. 35–45.
- Anderson, J., Parrish, R. and García, B. (eds) (2018) *Research handbook on EU sports law and policy*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- Araújo, D., Couceiro, M., Seifert, L., Sarmento, H. and Davids, K. (2021) *Artificial intelligence in sport performance analysis*. London: Routledge.
- Camporesi, S. and McNamee, M.J. (2018) *Bioethics, Genetics and Sport*. London: Routledge.
- Canini, D. and Tjønndal, A. (2025) 'The impact of culture on sport innovations', in *Handbook on Sport and Culture*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, pp. 64–76.
- De Cremer, D. and Kasparov, G. (2022) 'The ethics of technology innovation: a double-edged sword?', *AI and Ethics*, 2(3), pp. 533–537
- Gleaves, J. and Lehrbach, T. (2016) 'Beyond fairness: The ethics of assistive technologies in sport', *Journal of the Philosophy of Sport*, 43(3), pp.311-326.
- Haake, S. J. (2009) 'The impact of technology on sporting performance in Olympic sports', *Journal of Sports Sciences*, 27(13), pp. 1421–1431.
- Hecht, A. N. (2002) 'Legal and ethical aspects of sports-related concussions: the Merrill Hoge story', *Seton Hall Journal of Sport Law*, 12, p. 17.
- Loland, S. (2009) 'The ethics of performance-enhancing technology in sport', *Journal of the Philosophy of Sport*, 36(2), pp. 152–161.
- Loland, S. (2018) *The Ethics of Sport: Essential Readings*. Oxford: Oxford University Press.
- Magdalinski, T. (2009) *Sport, technology and the body: the nature of performance*. London: Routledge.
- Miah, A. (2017) *Sport 2.0: Digital Transformation, Computer Games, and the Science of Every Day*. Cambridge: MIT Press.

- Osborne, B. (2017) 'Legal and ethical implications of athletes' biometric data collection in professional sport', *Marquette Sports Law Review*, 28, p. 37.
- Petersen, T. S., Holmen, S. J. and Ryberg, J. (2024) 'Ideal fairness in sport is impossible', *The American Journal of Bioethics*, 24(11), pp. 48–49.
- West, S. M. (2019) 'Data capitalism: Redefining the logics of surveillance and privacy', *Business & Society*, 58(1), pp. 20–41.

BAB 7

TRANSFORMASI DIGITAL DALAM PEDAGOGY DAN PEMBELAJARAN RENANG

7.1 Latar belakang transformasi digital dalam pendidikan jasmani

Perkembangan teknologi digital pada era revolusi industri 4.0 telah membawa perubahan signifikan dalam berbagai bidang kehidupan, termasuk sektor pendidikan (Yusuf, 2022). Transformasi digital tidak hanya mengubah cara manusia berkomunikasi dan mengakses informasi, tetapi juga mengubah paradigma pembelajaran di berbagai disiplin ilmu (Latar, 2024). Dalam konteks pendidikan jasmani, khususnya pembelajaran renang, pemanfaatan teknologi digital menjadi kebutuhan yang mendesak untuk meningkatkan kualitas proses pembelajaran. Integrasi teknologi dalam pembelajaran renang memungkinkan terjadinya inovasi metode pengajaran yang lebih interaktif, efektif, dan sesuai dengan karakteristik peserta didik masa kini yang akrab dengan perangkat digital (Weldani, 2026).

Pembelajaran renang sebagai bagian penting dari pendidikan jasmani memiliki karakteristik yang unik karena menggabungkan aspek teori, praktik motorik, keselamatan, serta penguasaan teknik dasar di lingkungan air (Weldani, 2024). Selama ini, proses pembelajaran renang masih banyak dilakukan dengan pendekatan konvensional melalui demonstrasi langsung oleh instruktur, penjelasan verbal, dan praktik berulang di kolam renang (Rostati & Gufran, 2025). Meskipun metode tersebut memiliki efektivitas tertentu, terdapat berbagai keterbatasan seperti kurangnya visualisasi detail gerakan, keterbatasan waktu evaluasi individual, dan kesulitan peserta didik dalam memahami teknik secara menyeluruh.

Permasalahan lain yang sering ditemukan dalam pembelajaran renang adalah rendahnya kepercayaan diri peserta didik, terutama bagi pemula yang memiliki ketakutan terhadap air. Kondisi ini seringkali menghambat proses pembelajaran karena peserta didik membutuhkan pendekatan yang lebih personal dan adaptif(DHARMA et al., 2025). Dalam situasi seperti ini, transformasi digital dapat menjadi solusi melalui penyediaan media pembelajaran berbasis video tutorial, simulasi interaktif, animasi gerakan renang, hingga penggunaan aplikasi pembelajaran yang memungkinkan peserta didik memahami konsep dan teknik dasar sebelum praktik langsung di kolam.

Transformasi digital dalam pedagogi menekankan perubahan mendasar pada strategi pembelajaran, dari yang berpusat pada pengajar menjadi berpusat pada peserta didik. Pendekatan ini mendorong penggunaan teknologi sebagai alat untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih fleksibel, kolaboratif, dan personal(Weldani, 2023). Dalam pembelajaran renang, transformasi ini dapat diwujudkan melalui penggunaan platform pembelajaran daring, augmented reality, video motion analysis, dan perangkat wearable yang mampu merekam performa gerakan peserta didik secara *real-time*. Dengan demikian, proses evaluasi dapat dilakukan secara lebih objektif dan terukur(Tangkudung et al., 2025).

Penggunaan teknologi digital dalam pembelajaran renang juga memberikan peluang besar dalam meningkatkan efektivitas umpan balik(Yulianto et al., 2025). Selama ini, umpan balik dalam latihan renang umumnya diberikan secara verbal sesaat setelah praktik dilakukan. Namun, dengan bantuan teknologi seperti perekaman video bawah air dan software analisis gerak, peserta didik dapat melihat secara langsung kesalahan teknik yang dilakukan. Visualisasi ini memberikan pemahaman yang lebih konkret dibandingkan penjelasan verbal semata, sehingga mempercepat proses koreksi gerakan dan peningkatan keterampilan(Setiawi et al., 2025).

Selain itu, transformasi digital mampu menjawab tantangan keterbatasan akses pembelajaran renang di beberapa lembaga pendidikan yang belum memiliki fasilitas kolam renang memadai. Melalui media digital, materi dasar seperti pengenalan teknik,

keselamatan air, koordinasi gerakan, dan teori renang dapat dipelajari secara mandiri sebelum praktik lapangan dilaksanakan(Akbar & Mulyaningsih, 2025). Model blended learning ini memungkinkan pembelajaran menjadi lebih efisien karena waktu praktik dapat difokuskan pada penguasaan keterampilan motorik yang membutuhkan pengalaman langsung.

Di sisi lain, implementasi transformasi digital dalam pembelajaran renang masih menghadapi sejumlah tantangan. Tidak semua pendidik memiliki kompetensi digital yang memadai untuk merancang dan memanfaatkan teknologi pembelajaran secara optimal. Selain itu, ketersediaan infrastruktur seperti perangkat digital, akses internet, serta software pendukung juga menjadi faktor penting yang memengaruhi keberhasilan integrasi teknologi(Masykuri et al., 2025). Oleh karena itu, diperlukan upaya peningkatan literasi digital bagi tenaga pendidik agar transformasi pedagogi dapat berjalan secara efektif.

Transformasi digital juga menuntut adanya perubahan kurikulum dan desain pembelajaran yang adaptif terhadap perkembangan teknologi. Dalam konteks pembelajaran renang, kurikulum perlu mengintegrasikan penggunaan media digital sebagai bagian dari strategi pembelajaran, bukan sekadar pelengkap(Elisyah & May, 2026). Hal ini mencakup pengembangan modul interaktif, sistem evaluasi berbasis digital, serta pendekatan pembelajaran yang memadukan teori digital dengan praktik langsung secara seimbang.

Lebih jauh lagi, penerapan transformasi digital dalam pembelajaran renang sejalan dengan kebutuhan generasi saat ini yang memiliki gaya belajar visual, interaktif, dan berbasis teknologi. Peserta didik cenderung lebih tertarik pada pembelajaran yang melibatkan multimedia, gamifikasi, dan simulasi digital dibandingkan metode ceramah tradisional. Dengan memanfaatkan teknologi secara tepat, pembelajaran renang dapat menjadi lebih menarik, meningkatkan motivasi belajar, serta menciptakan pengalaman pembelajaran yang lebih bermakna.

Berdasarkan uraian tersebut, transformasi digital dalam pedagogi dan pembelajaran renang merupakan suatu kebutuhan strategis untuk meningkatkan kualitas pendidikan jasmani di era

digital. Integrasi teknologi tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu pembelajaran, tetapi juga sebagai katalisator perubahan paradigma pendidikan yang lebih inovatif, adaptif, dan berorientasi pada kebutuhan peserta didik. Oleh karena itu, kajian mengenai transformasi digital dalam pembelajaran renang perlu dilakukan secara mendalam guna menghasilkan model pembelajaran yang efektif, efisien, dan relevan dengan tuntutan perkembangan zaman.

7.2 Tantangan pembelajaran renang konvensional (akses, keselamatan, keterbatasan waktu praktik)

Pembelajaran renang secara konvensional hingga saat ini masih menjadi metode utama yang diterapkan di banyak lembaga pendidikan, klub olahraga, maupun pelatihan dasar. Model pembelajaran ini umumnya dilakukan melalui tatap muka langsung antara instruktur dan peserta didik di kolam renang (Aidillah et al., 2026), dengan pendekatan demonstrasi gerakan, penjelasan verbal, dan praktik berulang. Meskipun metode ini memiliki nilai efektif dalam membangun keterampilan motorik secara langsung, pelaksanaannya menghadapi berbagai tantangan yang dapat menghambat tercapainya tujuan pembelajaran secara optimal. Tantangan tersebut terutama berkaitan dengan akses terhadap fasilitas, aspek keselamatan peserta didik, dan keterbatasan waktu praktik.

Salah satu tantangan utama dalam pembelajaran renang konvensional adalah keterbatasan akses terhadap fasilitas kolam renang yang memadai (Habibie et al., 2025). Tidak semua sekolah, perguruan tinggi, atau lembaga pelatihan memiliki sarana kolam renang sendiri. Kondisi ini menyebabkan kegiatan pembelajaran renang sering kali harus dilaksanakan di fasilitas umum atau tempat sewa yang membutuhkan biaya tambahan. Keterbatasan fasilitas ini tidak hanya berdampak pada frekuensi pembelajaran yang menjadi berkurang, tetapi juga memengaruhi kualitas proses belajar karena peserta didik tidak dapat berlatih secara rutin dan berkesinambungan.

Permasalahan akses juga muncul dalam aspek geografis dan sosial ekonomi. Di wilayah tertentu, terutama daerah pedesaan atau terpencil, fasilitas kolam renang sangat sulit ditemukan. Akibatnya,

peserta didik di daerah tersebut memiliki kesempatan yang lebih kecil untuk memperoleh pembelajaran renang secara optimal dibandingkan mereka yang berada di wilayah perkotaan. Selain itu, biaya transportasi, tiket masuk kolam renang, dan perlengkapan renang sering menjadi hambatan bagi peserta didik dari keluarga dengan keterbatasan ekonomi, sehingga menciptakan kesenjangan akses terhadap pembelajaran keterampilan dasar ini.

Aspek keselamatan merupakan tantangan besar lainnya dalam pembelajaran renang konvensional. Renang merupakan aktivitas fisik yang dilakukan di lingkungan air, sehingga memiliki risiko kecelakaan yang cukup tinggi apabila tidak diawasi dengan baik (Mardesia et al., 2024). Peserta didik pemula, terutama yang belum memiliki pengalaman di air, sering kali mengalami rasa takut, panik, atau kehilangan kontrol saat praktik berlangsung. Kondisi ini dapat berpotensi menimbulkan insiden seperti tenggelam, cedera otot, atau benturan dengan peserta lain apabila pengawasan instruktur tidak maksimal.



Gambar 7.1. Tantangan pembelajaran renang konvensional

Tantangan keselamatan semakin kompleks ketika rasio antara instruktur dan peserta didik tidak seimbang. Dalam banyak kasus,

satu instruktur harus menangani sejumlah besar peserta didik sekaligus, sehingga perhatian terhadap perkembangan dan keselamatan individu menjadi terbatas (Jamal et al., 2026). Situasi ini menyulitkan instruktur untuk memberikan pendampingan intensif kepada peserta didik yang membutuhkan perhatian khusus, seperti mereka yang mengalami aquaphobia atau kesulitan menguasai teknik dasar. Akibatnya, proses pembelajaran menjadi kurang efektif dan risiko kecelakaan meningkat.

Selain akses dan keselamatan, keterbatasan waktu praktik juga menjadi hambatan signifikan dalam pembelajaran renang konvensional. Pembelajaran renang umumnya dijadwalkan dalam durasi terbatas, misalnya satu hingga dua jam per pertemuan, dengan frekuensi yang tidak terlalu sering. Waktu tersebut sering kali belum cukup untuk memberikan penjelasan teori, demonstrasi teknik, latihan praktik, evaluasi, serta umpan balik individual secara menyeluruh. Akibatnya, peserta didik sering kali belum mencapai penguasaan teknik yang optimal sebelum sesi pembelajaran berakhir.

Keterbatasan waktu praktik juga diperparah oleh faktor administratif dan teknis, seperti waktu persiapan sebelum masuk kolam, pemanasan, pergantian pakaian, hingga penyesuaian kondisi kolam. Hal-hal tersebut secara tidak langsung mengurangi durasi efektif latihan di air. Padahal, penguasaan keterampilan renang sangat membutuhkan latihan berulang dan konsisten agar koordinasi gerak tubuh dapat berkembang dengan baik. Jika waktu latihan efektif terlalu sedikit, proses adaptasi motorik peserta didik menjadi lebih lambat.

Berdasarkan berbagai tantangan tersebut, dapat dipahami bahwa pembelajaran renang konvensional memiliki keterbatasan yang cukup kompleks dalam menjawab kebutuhan pembelajaran masa kini. Permasalahan akses, keselamatan, dan keterbatasan waktu praktik menuntut adanya inovasi dalam pendekatan pembelajaran agar proses transfer keterampilan dapat berlangsung lebih efektif dan inklusif. Oleh karena itu, diperlukan strategi baru yang mampu melengkapi pembelajaran konvensional, salah satunya melalui integrasi teknologi digital, sehingga pembelajaran renang

dapat menjadi lebih aman, efisien, dan dapat diakses oleh lebih banyak peserta didik.

7.3 Urgensi integrasi teknologi digital dalam pembelajaran akuatik



Gambar 7.2. Urgensi integrasi teknologi digital dalam pembelajaran akuatik

Integrasi teknologi digital dalam pembelajaran akuatik menjadi kebutuhan yang semakin mendesak seiring berkembangnya tuntutan pendidikan di era digital(Aryana et al., 2025). Pembelajaran akuatik tidak lagi cukup mengandalkan metode konvensional yang berpusat pada demonstrasi langsung dan latihan berulang di kolam renang. Perubahan karakteristik peserta didik yang semakin akrab dengan teknologi menuntut adanya inovasi dalam proses pembelajaran agar lebih relevan, menarik, dan efektif. Teknologi digital mampu menghadirkan pengalaman belajar yang lebih interaktif melalui visualisasi gerakan, simulasi teknik, serta akses materi pembelajaran yang dapat dipelajari kapan saja dan di mana saja(Syam et al., 2026).

Urgensi integrasi teknologi digital juga berkaitan erat dengan upaya meningkatkan efektivitas pemahaman teknik dasar

akuatik(Sampurno & Ridwan, 2025). Banyak peserta didik mengalami kesulitan memahami koordinasi gerakan tubuh, pernapasan, dan ritme dalam aktivitas akuatik hanya melalui penjelasan verbal dari instruktur. Dengan bantuan media digital seperti video tutorial, animasi tiga dimensi, motion analysis, dan simulasi virtual, peserta didik dapat memperoleh gambaran yang lebih jelas mengenai teknik gerakan yang benar. Visualisasi yang detail memungkinkan peserta didik memahami konsep secara bertahap sebelum mempraktikkannya secara langsung di air, sehingga proses pembelajaran menjadi lebih efisien(Ismaniaty & Lindra, 2025).

Dari aspek keselamatan, integrasi teknologi digital memiliki peran penting dalam meminimalkan risiko kecelakaan selama pembelajaran akuatik. Pembelajaran di lingkungan air memiliki tingkat risiko yang relatif tinggi, terutama bagi pemula yang belum memiliki adaptasi terhadap air. Melalui teknologi seperti simulasi keselamatan, modul pembelajaran interaktif, dan video edukasi tentang prosedur penyelamatan diri, peserta didik dapat dibekali pemahaman yang memadai sebelum memasuki kolam(Hertanto, 2026). Selain itu, penggunaan perangkat digital seperti sensor gerak dan alat pemantau aktivitas dapat membantu instruktur melakukan pengawasan secara lebih akurat terhadap kondisi peserta didik selama latihan berlangsung.

Urgensi lainnya terletak pada kemampuan teknologi digital dalam mengatasi keterbatasan akses dan waktu praktik yang sering menjadi kendala dalam pembelajaran akuatik. Tidak semua lembaga pendidikan memiliki fasilitas kolam renang yang memadai atau jadwal praktik yang cukup intensif. Dengan memanfaatkan platform pembelajaran digital, peserta didik dapat mempelajari teori dasar, prinsip gerakan, dan analisis teknik secara mandiri sebelum sesi praktik berlangsung. Model pembelajaran blended learning ini memungkinkan waktu praktik di kolam difokuskan pada penerapan keterampilan secara langsung, sehingga proses pembelajaran menjadi lebih optimal dan terstruktur.

Lebih jauh, integrasi teknologi digital dalam pembelajaran akuatik merupakan langkah strategis untuk menciptakan sistem pembelajaran yang adaptif terhadap perkembangan zaman.

Teknologi tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu, tetapi juga sebagai sarana transformasi pedagogi menuju pembelajaran yang berpusat pada peserta didik. Dengan dukungan teknologi, instruktur dapat memberikan umpan balik yang lebih personal, melakukan evaluasi berbasis data, serta merancang pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan individual peserta didik. Oleh karena itu, integrasi teknologi digital dalam pembelajaran akuatik menjadi sangat urgen untuk meningkatkan kualitas, efektivitas, dan daya saing pendidikan jasmani di era modern.

7.4 Tujuan dan ruang lingkup pembahasan

Tujuan utama pembahasan mengenai transformasi digital dalam pembelajaran akuatik adalah untuk mengkaji secara mendalam pentingnya penerapan teknologi digital dalam meningkatkan kualitas proses pembelajaran renang dan aktivitas akuatik lainnya (Wijaya et al., 2026). Pembahasan ini bertujuan untuk memberikan pemahaman mengenai bagaimana teknologi digital dapat menjadi solusi atas berbagai kendala yang selama ini dihadapi dalam pembelajaran konvensional, seperti keterbatasan akses fasilitas, aspek keselamatan, efektivitas penyampaian materi, serta keterbatasan waktu praktik. Selain itu, pembahasan ini juga diarahkan untuk menunjukkan bahwa integrasi teknologi bukan sekadar tren modernisasi pendidikan, melainkan kebutuhan strategis dalam menciptakan sistem pembelajaran yang lebih inovatif dan adaptif.

Secara khusus, pembahasan ini bertujuan mengidentifikasi berbagai bentuk teknologi digital yang relevan untuk diterapkan dalam pembelajaran akuatik. Teknologi tersebut mencakup media pembelajaran interaktif, video tutorial, simulasi virtual, motion analysis, perangkat wearable, platform pembelajaran daring, hingga sistem evaluasi berbasis data digital (Mulyono, 2026). Dengan memahami berbagai perangkat dan media tersebut, pendidik dapat memilih serta mengembangkan strategi pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik peserta didik dan kebutuhan pembelajaran akuatik.

Tujuan lainnya adalah menganalisis dampak integrasi teknologi digital terhadap peningkatan hasil belajar peserta didik. Hal

ini meliputi peningkatan pemahaman teknik dasar renang, penguatan motivasi belajar, peningkatan keselamatan selama proses praktik, serta efisiensi penggunaan waktu pembelajaran. Pembahasan ini juga bertujuan mengevaluasi bagaimana teknologi dapat mendukung terciptanya pembelajaran yang lebih personal melalui pemberian umpan balik yang cepat, objektif, dan terukur sesuai kemampuan masing-masing peserta didik.

Ruang lingkup pembahasan difokuskan pada aspek pedagogi digital dalam konteks pembelajaran akuatik, khususnya pembelajaran renang dasar di lingkungan pendidikan formal maupun nonformal. Pembahasan mencakup analisis terhadap tantangan pembelajaran konvensional, urgensi transformasi digital, implementasi teknologi dalam proses pembelajaran, serta strategi integrasi teknologi dalam kegiatan teori maupun praktik. Fokus ini bertujuan agar pembahasan tetap terarah pada pengembangan model pembelajaran yang aplikatif dan relevan.

Selain itu, ruang lingkup pembahasan juga mencakup analisis terhadap tantangan implementasi teknologi digital, seperti kesiapan tenaga pendidik, ketersediaan infrastruktur, literasi digital peserta didik, dan dukungan institusi pendidikan. Dengan demikian, pembahasan ini tidak hanya menyoroti manfaat teknologi digital dalam pembelajaran akuatik, tetapi juga memberikan gambaran komprehensif mengenai langkah-langkah yang perlu dipersiapkan agar transformasi digital dapat diterapkan secara efektif, berkelanjutan, dan memberikan dampak nyata terhadap peningkatan kualitas pembelajaran akuatik.

7.5 Konsep Dasar Transformasi Digital dalam Pendidikan

7.5.1 Definisi transformasi digital dalam pendidikan

Transformasi digital dalam pendidikan merupakan proses perubahan mendasar dalam sistem pembelajaran melalui pemanfaatan teknologi digital untuk meningkatkan efektivitas, efisiensi, dan kualitas pendidikan. Transformasi ini tidak hanya sebatas penggunaan perangkat teknologi seperti komputer, proyektor, atau internet dalam kegiatan belajar mengajar, tetapi mencakup perubahan paradigma dalam merancang, melaksanakan,

dan mengevaluasi proses pembelajaran. Dalam konteks ini, teknologi menjadi bagian integral dari strategi pedagogi untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih inovatif dan adaptif. Secara konseptual, transformasi digital menuntut perubahan pada seluruh ekosistem pendidikan, mulai dari kurikulum, metode pembelajaran, kompetensi pendidik, hingga sistem evaluasi pembelajaran. Pendidikan yang sebelumnya berorientasi pada penyampaian informasi secara satu arah berkembang menjadi sistem yang memungkinkan interaksi multidirectional antara pendidik, peserta didik, dan sumber belajar digital. Hal ini menciptakan lingkungan belajar yang lebih fleksibel dan mendorong kemandirian peserta didik dalam membangun pengetahuan.

Transformasi digital juga dapat dipahami sebagai upaya menyesuaikan sistem pendidikan dengan perkembangan zaman dan kebutuhan generasi digital native (Adiputri, 2023). Peserta didik masa kini tumbuh di tengah kemajuan teknologi yang memengaruhi cara mereka memperoleh, mengolah, dan menggunakan informasi. Oleh karena itu, pendidikan dituntut untuk mampu menyediakan pembelajaran yang relevan dengan karakteristik tersebut melalui integrasi media digital, platform pembelajaran daring, simulasi interaktif, dan teknologi berbasis data. Dalam implementasinya, transformasi digital bukan sekadar adopsi teknologi baru, melainkan perubahan budaya belajar secara menyeluruh. Keberhasilannya sangat bergantung pada kesiapan sumber daya manusia, infrastruktur teknologi, serta dukungan kebijakan institusi. Dengan transformasi digital, pendidikan diharapkan mampu menghasilkan peserta didik yang tidak hanya menguasai materi akademik, tetapi juga memiliki literasi digital, kreativitas, kemampuan berpikir kritis, dan kesiapan menghadapi tantangan abad ke-21.

7.5.2 Perbedaan digitalisasi, digitasi, dan transformasi digital

Digitasi merupakan proses mengubah informasi atau data dari bentuk analog menjadi format digital. Contohnya adalah mengubah dokumen cetak menjadi file PDF, merekam materi pembelajaran dalam bentuk video, atau menyimpan arsip sekolah secara elektronik. Digitasi bersifat teknis dan berfokus pada konversi data

agar dapat diakses melalui perangkat digital(Wijayanto et al., n.d.). Dalam pendidikan, digitasi menjadi langkah awal menuju pemanfaatan teknologi, tetapi belum secara langsung mengubah cara pembelajaran berlangsung. Digitalisasi adalah tahap lanjutan setelah digitasi, yaitu penggunaan teknologi digital untuk meningkatkan atau menyederhanakan proses yang sudah ada. Dalam konteks pendidikan, digitalisasi dapat berupa penggunaan *Learning Management System* (LMS), aplikasi absensi online, ujian berbasis komputer, atau penyampaian materi melalui platform virtual. Digitalisasi membantu meningkatkan efisiensi administrasi dan operasional pembelajaran, namun umumnya masih mempertahankan struktur pembelajaran konvensional.

Sementara itu, transformasi digital merupakan perubahan yang lebih mendalam dibandingkan digitasi dan digitalisasi. Transformasi digital tidak hanya memanfaatkan teknologi untuk mendukung proses yang ada, tetapi mengubah secara fundamental model, strategi, dan budaya pembelajaran. Contohnya adalah penerapan pembelajaran adaptif berbasis data, penggunaan kecerdasan buatan dalam evaluasi pembelajaran, atau pengembangan model *blended learning* yang menempatkan peserta didik sebagai pusat pembelajaran. Dengan demikian, perbedaan utama ketiganya terletak pada cakupan perubahan yang dihasilkan. Digitasi berfokus pada konversi data, digitalisasi pada efisiensi proses, sedangkan transformasi digital berorientasi pada inovasi sistemik. Dalam pendidikan, ketiga konsep ini saling berkaitan dan biasanya berlangsung secara bertahap. Namun, untuk menciptakan pembelajaran yang benar-benar relevan dengan perkembangan zaman, transformasi digital menjadi tujuan utama yang perlu diwujudkan.

7.5.3 Karakteristik pembelajaran abad 21

Pembelajaran abad ke-21 ditandai oleh perubahan orientasi pendidikan yang menekankan pengembangan kompetensi peserta didik secara holistik. Pembelajaran tidak lagi hanya berfokus pada penguasaan pengetahuan akademik, tetapi juga pada pengembangan keterampilan berpikir kritis, kreativitas, komunikasi, dan kolaborasi. Empat kompetensi ini dikenal sebagai 4C (*Critical Thinking*,

Creativity, Communication, Collaboration) yang menjadi fondasi utama dalam menghadapi tantangan global yang kompleks dan dinamis. Karakteristik lain dari pembelajaran abad ke-21 adalah integrasi teknologi sebagai bagian penting dalam proses belajar. Teknologi digunakan bukan hanya sebagai alat bantu, tetapi sebagai media untuk membangun pengalaman belajar yang interaktif, personal, dan kontekstual. Penggunaan platform digital, simulasi virtual, multimedia interaktif, dan analisis data pembelajaran memungkinkan peserta didik memperoleh akses belajar yang lebih luas dan sesuai dengan kebutuhan individu mereka (Hasibuan et al., 2024).

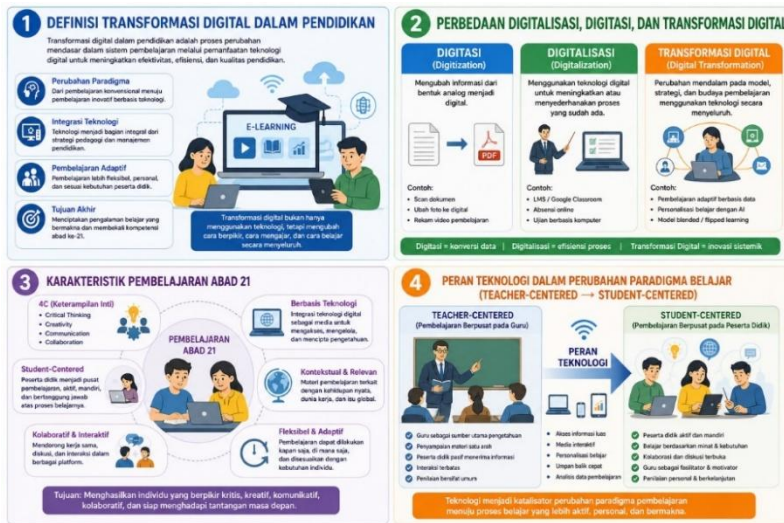
Pembelajaran abad ke-21 juga menempatkan peserta didik sebagai subjek aktif dalam proses pembelajaran. Peserta didik didorong untuk mengeksplorasi pengetahuan, memecahkan masalah, melakukan refleksi, serta membangun pemahaman secara mandiri. Peran pendidik bergeser dari penyampai informasi menjadi fasilitator yang membimbing, mengarahkan, dan menciptakan lingkungan belajar yang kondusif bagi pengembangan potensi peserta didik. Selain itu, pembelajaran abad ke-21 memiliki karakter yang fleksibel, adaptif, dan berbasis kehidupan nyata. Materi pembelajaran dirancang agar relevan dengan konteks dunia kerja, perkembangan sosial, dan kebutuhan masyarakat modern. Dengan pendekatan ini, peserta didik tidak hanya dibekali pengetahuan teoritis, tetapi juga kemampuan untuk beradaptasi, berinovasi, dan mengambil keputusan secara efektif dalam kehidupan nyata.

7.5.4 Peran teknologi dalam perubahan paradigma belajar (*teacher-centered* → *student-centered*)

Teknologi memiliki peran strategis dalam mendorong perubahan paradigma pembelajaran dari *teacher-centered* menuju *student-centered learning*. Pada paradigma *teacher-centered*, proses pembelajaran berpusat pada pendidik sebagai sumber utama pengetahuan. Peserta didik cenderung bersifat pasif dan menerima informasi secara satu arah. Model ini seringkali membatasi kreativitas serta partisipasi aktif peserta didik dalam membangun pemahamannya sendiri. Melalui integrasi teknologi digital, pembelajaran dapat bergeser menjadi *student-centered*, yaitu

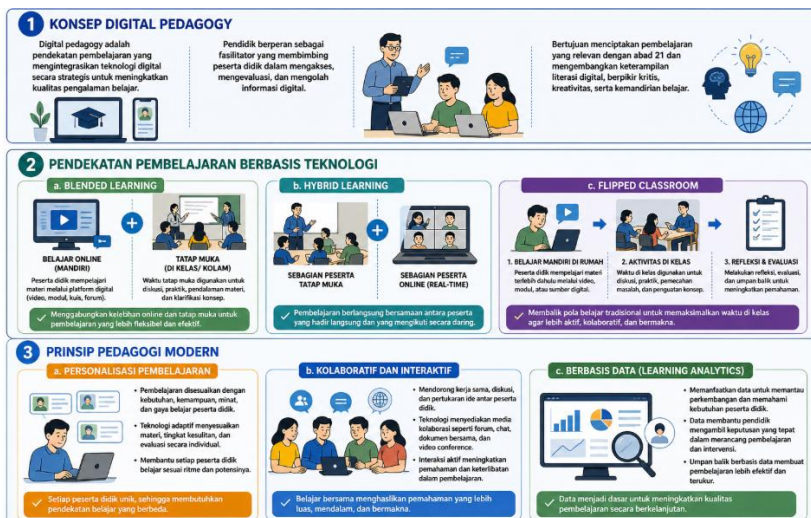
pembelajaran yang menempatkan peserta didik sebagai pusat aktivitas belajar. Teknologi memungkinkan peserta didik mengakses berbagai sumber belajar secara mandiri melalui internet, video pembelajaran, *e-book*, simulasi interaktif, dan platform pembelajaran *daring*. Dengan demikian, peserta didik memiliki kesempatan lebih besar untuk mengeksplorasi materi sesuai kecepatan dan gaya belajar masing-masing.

Teknologi juga mendukung personalisasi pembelajaran melalui sistem yang mampu menyesuaikan materi, evaluasi, dan umpan balik berdasarkan kebutuhan individu peserta didik. Misalnya, penggunaan aplikasi pembelajaran adaptif dapat membantu peserta didik mempelajari materi secara bertahap sesuai tingkat penguasaan mereka. Hal ini menciptakan pengalaman belajar yang lebih efektif dan mendorong kemandirian dalam proses pembelajaran. Dalam paradigma *student-centered*, peran pendidik berubah menjadi fasilitator, motivator, dan pembimbing. Teknologi membantu pendidik memantau perkembangan peserta didik secara real-time, memberikan umpan balik yang cepat, dan merancang strategi pembelajaran yang lebih interaktif. Dengan dukungan teknologi, proses pembelajaran menjadi lebih kolaboratif, partisipatif, dan berorientasi pada pengembangan potensi peserta didik secara maksimal.



Gambar 7.3. Konsep Dasar Transformasi Digital dalam Pendidikan

7.6 Pedagogy dalam Konteks Digital



Gambar 7.4. Pedagogy dalam Konteks Digital

7.6.1 Konsep digital pedagogy

Digital pedagogy merupakan pendekatan pembelajaran yang mengintegrasikan teknologi digital secara strategis dalam proses pendidikan untuk meningkatkan kualitas pengalaman belajar peserta didik (Kumullah et al., 2023). Konsep ini tidak sekadar menggunakan perangkat digital sebagai alat bantu pembelajaran, melainkan menempatkan teknologi sebagai bagian integral dari desain pembelajaran. Dalam digital pedagogy, teknologi digunakan untuk menciptakan interaksi belajar yang lebih dinamis, fleksibel, dan berpusat pada peserta didik. Konsep digital pedagogy menekankan perubahan cara pandang terhadap proses belajar mengajar. Jika pada pembelajaran tradisional pendidik berperan sebagai sumber utama informasi, maka dalam konteks digital pendidik berfungsi sebagai fasilitator yang membimbing peserta didik dalam mengakses, mengevaluasi, dan mengolah berbagai sumber informasi digital. Peserta didik didorong untuk aktif membangun pengetahuan melalui eksplorasi, kolaborasi, dan pemecahan masalah berbasis teknologi. Penerapan digital pedagogy bertujuan menciptakan pembelajaran yang relevan dengan

kebutuhan abad ke-21. Melalui pendekatan ini, peserta didik tidak hanya memperoleh pengetahuan akademik, tetapi juga keterampilan literasi digital, kemampuan berpikir kritis, kreativitas, dan kemandirian belajar. Oleh karena itu, digital pedagogy menjadi fondasi penting dalam transformasi pendidikan modern yang adaptif terhadap perkembangan teknologi.

7.6.2 Pendekatan pembelajaran berbasis teknologi:

1. *Blended learning*

Blended learning merupakan model pembelajaran yang menggabungkan pembelajaran tatap muka secara langsung dengan pembelajaran berbasis teknologi digital. Pendekatan ini memadukan kelebihan interaksi langsung antara pendidik dan peserta didik dengan fleksibilitas akses materi secara daring. Dalam praktiknya, peserta didik dapat mempelajari teori melalui platform digital sebelum mengikuti sesi praktik atau diskusi di kelas. Pendekatan *blended learning* memberikan keleluasaan kepada peserta didik untuk belajar sesuai ritme dan kebutuhan masing-masing. Materi pembelajaran dapat diakses kapan saja melalui video, modul digital, kuis interaktif, atau forum diskusi daring. Dengan demikian, waktu tatap muka dapat difokuskan untuk pendalaman materi, praktik, serta klarifikasi konsep yang belum dipahami. Dalam konteks pembelajaran renang atau akuatik, *blended learning* sangat efektif karena teori dasar seperti teknik gerakan, keselamatan air, dan analisis kesalahan gerak dapat dipelajari secara mandiri sebelum praktik di kolam. Hal ini membuat sesi praktik menjadi lebih efisien karena peserta didik telah memiliki pemahaman awal yang cukup.

2. *Hybrid learning*

Hybrid learning adalah model pembelajaran yang memungkinkan peserta didik mengikuti pembelajaran secara bersamaan melalui dua moda, yaitu tatap muka langsung dan daring secara real-time. Dalam model ini, sebagian peserta didik hadir secara fisik di ruang pembelajaran, sementara peserta

lainnya mengikuti melalui platform virtual seperti *video conference*. Pendekatan *hybrid learning* memberikan fleksibilitas tinggi dalam kondisi tertentu, misalnya ketika terdapat keterbatasan fasilitas, jarak geografis, atau situasi darurat yang membatasi kehadiran fisik. Model ini memungkinkan pembelajaran tetap berlangsung tanpa mengurangi akses peserta didik terhadap materi dan interaksi dengan pendidik. Dalam pembelajaran akuatik, *hybrid learning* dapat dimanfaatkan untuk penyampaian teori, analisis video teknik renang, serta diskusi evaluasi performa. Peserta didik yang tidak dapat hadir langsung tetap dapat mengikuti pembelajaran secara virtual, sehingga proses pembelajaran menjadi lebih inklusif dan adaptif.

3. *Flipped classroom*

Flipped classroom adalah model pembelajaran yang membalik pola pembelajaran tradisional. Pada pendekatan ini, peserta didik mempelajari materi terlebih dahulu secara mandiri melalui media digital sebelum mengikuti pembelajaran tatap muka. Waktu di kelas kemudian digunakan untuk diskusi, praktik, pemecahan masalah, dan penguatan konsep. Pendekatan ini mendorong peserta didik menjadi lebih aktif dan bertanggung jawab terhadap proses belajarnya sendiri. Dengan mempelajari materi sebelumnya, peserta didik datang ke kelas dengan kesiapan untuk berdiskusi dan mengaplikasikan pengetahuan yang telah dipelajari. Dalam pembelajaran renang, *flipped classroom* sangat relevan karena peserta didik dapat mempelajari teknik dasar melalui video tutorial atau simulasi digital sebelum praktik di kolam. Dengan demikian, sesi praktik dapat difokuskan pada penerapan keterampilan dan koreksi gerakan secara langsung.

7.6.3 Prinsip pedagogi modern:

1. Personalisasi pembelajaran

Personalisasi pembelajaran adalah pendekatan yang menyesuaikan proses belajar berdasarkan kebutuhan, kemampuan, minat, dan gaya belajar masing-masing peserta

didik. Dalam pedagogi modern, setiap peserta didik dipandang sebagai individu unik yang membutuhkan strategi pembelajaran berbeda. Teknologi digital memungkinkan personalisasi dilakukan secara lebih efektif melalui platform adaptif yang dapat menyesuaikan materi, tingkat kesulitan, serta evaluasi berdasarkan capaian peserta didik. Sistem ini membantu peserta didik belajar sesuai ritme mereka tanpa tekanan untuk mengikuti kecepatan belajar yang seragam. Dalam pembelajaran akuatik, personalisasi sangat penting karena kemampuan adaptasi terhadap air dan penguasaan teknik setiap peserta didik berbeda-beda. Teknologi memungkinkan instruktur memberikan umpan balik individual yang lebih spesifik untuk mendukung perkembangan optimal.

2. Kolaboratif dan interaktif

Prinsip kolaboratif dan interaktif menekankan pentingnya keterlibatan aktif peserta didik dalam proses pembelajaran melalui kerja sama, diskusi, dan interaksi bermakna. Pembelajaran tidak lagi bersifat individual dan pasif, tetapi mendorong pertukaran ide antar peserta didik. Teknologi digital menyediakan berbagai media yang mendukung kolaborasi seperti forum diskusi daring, aplikasi kerja kelompok, ruang virtual meeting, dan platform berbagi dokumen. Melalui media tersebut, peserta didik dapat belajar bersama tanpa dibatasi ruang dan waktu. Dalam pembelajaran renang, prinsip kolaboratif dapat diwujudkan melalui analisis video bersama, diskusi teknik, evaluasi kelompok, serta refleksi pembelajaran. Interaksi ini membantu peserta didik memahami kesalahan dan memperbaiki teknik secara kolektif.

3. Berbasis data (*learning analytics*)

Learning analytics merupakan pendekatan pembelajaran yang memanfaatkan data untuk memahami, memantau, dan meningkatkan proses belajar peserta didik. Data yang dikumpulkan dapat berupa hasil evaluasi, tingkat partisipasi, waktu belajar, hingga perkembangan performa peserta didik.

Melalui analisis data, pendidik dapat mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan peserta didik secara lebih objektif. Informasi ini membantu dalam merancang intervensi pembelajaran yang tepat sasaran serta memberikan umpan balik yang lebih akurat. Dalam pembelajaran akuatik, *learning analytics* dapat diterapkan melalui analisis rekaman gerakan, sensor performa, atau aplikasi monitoring latihan. Data tersebut memungkinkan instruktur mengevaluasi perkembangan teknik renang peserta didik secara terukur sehingga pembelajaran menjadi lebih efektif, terarah, dan berbasis bukti.

7.7 Karakteristik Pembelajaran Renang

7.7.1 Hakikat pembelajaran renang dalam pendidikan jasmani



Gambar 7.5. Karakteristik Pembelajaran Renang

Pembelajaran renang dalam pendidikan jasmani merupakan proses pembelajaran yang bertujuan mengembangkan keterampilan gerak dasar di air, meningkatkan kebugaran jasmani, serta membentuk kemampuan adaptasi peserta didik terhadap lingkungan akuatik. Renang bukan sekadar aktivitas olahraga, tetapi juga keterampilan hidup yang penting karena berkaitan langsung dengan aspek keselamatan diri di lingkungan air (odi, 2024). Oleh karena itu, pembelajaran renang memiliki posisi strategis dalam kurikulum pendidikan jasmani. Hakikat pembelajaran renang terletak pada pengembangan kemampuan motorik, koordinasi tubuh, kontrol pernapasan, dan kepercayaan diri peserta didik. Dalam prosesnya, peserta didik belajar menyesuaikan tubuh terhadap tekanan air, memahami keseimbangan tubuh, serta mengembangkan koordinasi gerak tangan, kaki, dan pernapasan (Wibowo & Syafrida, 2023). Pembelajaran ini menuntut proses bertahap yang sistematis agar peserta didik mampu menguasai keterampilan secara optimal. Selain aspek fisik, pembelajaran renang juga memiliki nilai edukatif dalam membentuk karakter seperti disiplin, keberanian, ketekunan, dan kemampuan mengatasi rasa takut. Peserta didik dilatih untuk menghadapi tantangan secara bertahap serta membangun rasa percaya diri melalui pencapaian keterampilan. Dengan demikian, pembelajaran renang menjadi bagian integral dari pendidikan jasmani yang mendukung perkembangan peserta didik secara menyeluruh.

7.7.2 Tahapan keterampilan renang:

1. *Water orientation* (Orientasi Air)

Water orientation merupakan tahap awal dalam pembelajaran renang yang bertujuan mengenalkan peserta didik pada lingkungan air. Pada tahap ini, peserta didik dilatih untuk beradaptasi dengan air melalui aktivitas sederhana seperti masuk ke kolam, merasakan suhu air, membasahi wajah, dan bermain di air dangkal. Tujuan utamanya adalah membangun rasa nyaman dan mengurangi kecemasan terhadap air. Tahap orientasi air sangat penting karena menjadi fondasi bagi pembelajaran keterampilan berikutnya. Peserta didik yang belum mampu beradaptasi

dengan air akan kesulitan melanjutkan ke tahap yang lebih kompleks. Oleh sebab itu, pendidik harus menciptakan suasana pembelajaran yang aman, menyenangkan, dan bebas tekanan. Pendekatan yang digunakan pada tahap ini biasanya bersifat bermain sambil belajar. Aktivitas seperti menyiram wajah, berjalan di kolam, atau mengambil benda di air membantu peserta didik membangun kepercayaan diri. Keberhasilan orientasi air akan menentukan kesiapan peserta didik dalam mempelajari teknik dasar renang.

2. *Floating* (Mengapung)

Floating adalah kemampuan menjaga tubuh tetap terapung di permukaan air tanpa tenggelam. Keterampilan ini menjadi dasar penting dalam pembelajaran renang karena mengajarkan peserta didik prinsip keseimbangan tubuh di air. Mengapung melatih peserta didik memahami hubungan antara posisi tubuh dan daya apung air. Pada tahap ini, peserta didik dilatih mengatur posisi tubuh agar tetap rileks dan sejajar dengan permukaan air. Banyak pemula mengalami kesulitan karena tubuh cenderung tegang sehingga sulit mengapung secara alami. Oleh karena itu, instruktur perlu membimbing peserta didik agar mampu melepaskan ketegangan dan percaya pada daya dukung air. Penguasaan *floating* meningkatkan rasa aman peserta didik saat berada di air. Ketika peserta didik mampu mengapung dengan baik, mereka akan lebih percaya diri untuk mempelajari teknik renang lainnya. Keterampilan ini juga sangat penting sebagai bagian dari keselamatan diri di lingkungan akuatik.

3. *Breathing* (Bernafas)

Breathing merupakan keterampilan mengatur pernapasan saat berada di air. Dalam renang, teknik bernapas sangat penting karena berhubungan langsung dengan efisiensi gerakan dan kemampuan bertahan di air. Peserta didik harus belajar kapan menghirup udara dan kapan mengeluarkannya secara terkontrol. Latihan pernapasan biasanya dimulai dengan

membiasakan peserta didik meniup gelembung di dalam air. Aktivitas ini membantu mereka memahami cara mengeluarkan udara secara perlahan melalui mulut atau hidung. Setelah itu, latihan dikembangkan menjadi koordinasi antara mengangkat kepala untuk mengambil napas dan memasukkan wajah kembali ke air. Kesulitan umum pada tahap ini adalah rasa takut memasukkan wajah ke air atau menahan napas terlalu lama. Oleh karena itu, latihan harus dilakukan secara bertahap dan berulang. Penguasaan breathing akan mendukung koordinasi gerakan renang serta membantu peserta didik berenang dengan lebih efisien.

4. *Gliding* (Meluncur)

Gliding adalah keterampilan meluncurkan tubuh di permukaan air dengan posisi streamline setelah melakukan tolakan dari dinding kolam. Tahap ini bertujuan melatih keseimbangan tubuh, arah gerakan, dan efisiensi posisi tubuh di air. Pada tahap gliding, peserta didik belajar mempertahankan tubuh tetap lurus dengan tangan rapat di depan kepala. Posisi ini membantu mengurangi hambatan air sehingga tubuh dapat meluncur lebih jauh. Gliding juga melatih koordinasi tubuh sebelum peserta didik mempelajari gerakan tangan dan kaki. Keterampilan meluncur sangat penting karena menjadi dasar untuk mengembangkan teknik renang lengkap. Dengan menguasai gliding, peserta didik akan lebih mudah memahami konsep streamline dan efisiensi gerakan dalam renang. Tahap ini menjadi jembatan menuju pembelajaran gaya renang secara utuh.

7.7.3 Tantangan pedagogis dalam pembelajaran renang:

1. Faktor psikologis (*fear of water*)

Fear of water atau rasa takut terhadap air merupakan tantangan psikologis yang sering dialami peserta didik pemula. Ketakutan ini dapat muncul karena pengalaman traumatis, kurangnya paparan terhadap lingkungan air, atau persepsi negatif tentang risiko tenggelam. Rasa takut menyebabkan peserta didik menjadi tegang, sulit mengikuti instruksi, dan enggan mencoba

keterampilan baru. Kondisi ini menghambat proses pembelajaran karena peserta didik tidak mampu rileks saat berada di air, padahal relaksasi sangat penting dalam renang. Untuk mengatasi hal ini, pendidik perlu menerapkan pendekatan yang empatik dan bertahap. Membangun kepercayaan diri melalui aktivitas sederhana, dukungan verbal, serta suasana belajar yang aman dapat membantu peserta didik mengatasi rasa takut secara perlahan.

2. Keselamatan

Keselamatan merupakan aspek utama dalam pembelajaran renang karena aktivitas dilakukan di lingkungan yang memiliki risiko tinggi. Risiko seperti tenggelam, kelelahan, cedera, atau kepanikan harus diantisipasi secara serius oleh instruktur. Pendidik harus memastikan seluruh prosedur keselamatan diterapkan, mulai dari pengecekan kondisi kolam, penggunaan alat bantu, hingga pengawasan aktif selama pembelajaran berlangsung. Setiap peserta didik perlu memahami aturan keselamatan sebelum praktik dilakukan. Aspek keselamatan juga mencakup kesiapan instruktur dalam memberikan pertolongan pertama apabila terjadi keadaan darurat. Dengan sistem pengawasan yang baik, proses pembelajaran dapat berlangsung lebih aman dan peserta didik merasa lebih percaya diri dalam belajar.

3. Rasio instruktur-mahasiswa

Rasio instruktur-mahasiswa merupakan tantangan pedagogis yang memengaruhi efektivitas pembelajaran renang. Idealnya, jumlah peserta didik yang ditangani seorang instruktur harus seimbang agar pengawasan dan pendampingan dapat dilakukan secara optimal. Jika jumlah peserta terlalu banyak, instruktur akan kesulitan memberikan perhatian individual. Hal ini dapat menghambat proses koreksi teknik, mengurangi kualitas umpan balik, dan meningkatkan risiko keselamatan. Rasio yang seimbang memungkinkan instruktur memberikan bimbingan personal sesuai kebutuhan masing-masing peserta didik. Dengan demikian, pembelajaran menjadi lebih efektif, aman, dan

mampu mengakomodasi perbedaan kemampuan antar peserta didik.

7.8 Integrasi Transformasi Digital dalam Pembelajaran Renang

7.8.1 Model integrasi teknologi dalam pembelajaran renang:

1. Video-based learning (analisis teknik)



Gambar 7.6. Integrasi Transformasi Digital dalam Pembelajaran Renang

Video-based learning merupakan model pembelajaran yang memanfaatkan media video sebagai sarana utama untuk menyampaikan materi teknik renang(Yolanda & Mulyani, 2024). Melalui video, peserta didik dapat melihat demonstrasi gerakan secara jelas, rinci, dan berulang sesuai kebutuhan. Visualisasi gerakan yang detail membantu peserta didik memahami tahapan teknik renang secara lebih konkret dibandingkan penjelasan verbal semata. Dalam pembelajaran renang, video dapat digunakan untuk menampilkan teknik dasar seperti gerakan kaki, koordinasi tangan, pernapasan, hingga posisi tubuh yang ideal di dalam air. Peserta didik dapat mempelajari materi sebelum praktik di kolam sehingga memiliki gambaran awal tentang keterampilan yang akan dilatih. Hal ini meningkatkan kesiapan belajar dan mempercepat proses adaptasi saat praktik langsung. Selain sebagai media penyampaian materi,

video juga efektif untuk evaluasi teknik. Rekaman gerakan peserta didik dapat dibandingkan dengan model gerakan yang benar sehingga kesalahan teknik dapat diidentifikasi secara lebih objektif. Dengan demikian, video-based learning mendukung pembelajaran yang lebih efektif dan terarah.

2. Motion analysis & biomekanika digital

Motion analysis adalah teknologi yang digunakan untuk menganalisis gerakan tubuh secara detail melalui perekaman digital dan perangkat lunak analisis gerak. Dalam pembelajaran renang, teknologi ini membantu mengidentifikasi aspek teknis seperti sudut gerakan, efisiensi kayuhan, posisi tubuh, dan koordinasi gerakan. Biomekanika digital memungkinkan instruktur melakukan evaluasi teknik secara ilmiah dan terukur. Misalnya, melalui analisis video bawah air, instruktur dapat melihat kesalahan kecil pada posisi tangan atau kaki yang sulit diamati secara langsung. Data ini kemudian digunakan untuk memberikan umpan balik yang lebih akurat kepada peserta didik. Penggunaan motion analysis memberikan keuntungan besar dalam mempercepat peningkatan keterampilan. Peserta didik dapat memahami kesalahan teknik melalui visualisasi nyata dan segera melakukan koreksi. Dengan pendekatan berbasis data ini, proses pembelajaran renang menjadi lebih presisi dan profesional.

3. *Virtual coaching*

Virtual coaching adalah model pembelajaran yang memanfaatkan teknologi digital untuk memberikan bimbingan, arahan, dan evaluasi teknik secara daring atau melalui aplikasi interaktif. Sistem ini memungkinkan peserta didik menerima panduan latihan tanpa harus selalu berada di bawah pengawasan langsung instruktur. Dalam pembelajaran renang, virtual coaching dapat berupa aplikasi yang menyediakan tutorial, evaluasi gerakan berbasis video, jadwal latihan, hingga umpan balik otomatis berdasarkan performa peserta didik. Teknologi ini memungkinkan pembelajaran berlangsung lebih

fleksibel dan dapat diakses kapan saja. Keunggulan virtual coaching terletak pada kemampuannya mendukung latihan mandiri. Peserta didik dapat terus berlatih dan memantau perkembangan mereka secara berkelanjutan. Namun, implementasinya tetap memerlukan supervisi instruktur agar pembelajaran tetap sesuai prinsip teknik dan keselamatan.

7.8.2 Penggunaan platform digital:

1. LMS (*Learning Management System*)

Learning Management System (LMS) adalah platform digital yang digunakan untuk mengelola, mendistribusikan, dan mengevaluasi proses pembelajaran secara terstruktur. Dalam pembelajaran renang, LMS berfungsi sebagai pusat penyimpanan materi teori, video teknik, kuis evaluasi, dan forum diskusi. Penggunaan LMS memungkinkan peserta didik mengakses materi pembelajaran secara mandiri sebelum maupun setelah praktik. Instruktur dapat mengunggah video demonstrasi, modul keselamatan air, hingga tugas refleksi pembelajaran untuk memperkuat pemahaman peserta didik. Selain itu, LMS memudahkan monitoring perkembangan peserta didik. Data aktivitas belajar seperti frekuensi akses materi, hasil evaluasi, dan tingkat partisipasi dapat dianalisis untuk merancang intervensi pembelajaran yang lebih tepat sasaran.

2. Aplikasi pembelajaran olahraga

Aplikasi pembelajaran olahraga adalah platform berbasis perangkat mobile yang dirancang untuk mendukung pembelajaran keterampilan fisik, termasuk renang. Aplikasi ini biasanya menyediakan tutorial interaktif, simulasi teknik, evaluasi performa, dan program latihan terstruktur. Dalam pembelajaran renang, aplikasi ini membantu peserta didik memahami teknik dasar melalui visualisasi animasi atau video interaktif. Beberapa aplikasi bahkan menyediakan fitur analisis gerak sederhana yang memungkinkan peserta didik mengevaluasi performa mereka sendiri. Kelebihan utama aplikasi pembelajaran olahraga adalah aksesibilitasnya yang tinggi. Peserta didik dapat belajar kapan saja melalui

smartphone atau tablet. Hal ini mendorong pembelajaran mandiri dan memperluas kesempatan belajar di luar sesi praktik formal.

7.8.3 Peran *wearable technology* dalam latihan renang

Wearable technology adalah perangkat digital yang dapat dikenakan tubuh untuk memantau aktivitas fisik secara real-time. Dalam renang, perangkat ini meliputi smartwatch, sensor gerak, heart rate monitor, dan pelacak performa renang. Perangkat wearable mampu merekam berbagai data penting seperti jumlah kayuhan, kecepatan renang, jarak tempuh, denyut jantung, hingga efisiensi gerakan. Data tersebut memberikan informasi objektif tentang performa peserta didik selama latihan. Dalam pembelajaran renang, *wearable technology* membantu instruktur memberikan evaluasi berbasis data. Peserta didik juga dapat memantau perkembangan mereka secara mandiri sehingga meningkatkan motivasi untuk terus memperbaiki performa.

7.9 Dampak Transformasi Digital terhadap Pembelajaran Renang

7.9.1 Peningkatan keterampilan teknik



Gambar 7.7. Dampak Transformasi Digital terhadap Pembelajaran Renang

Transformasi digital memberikan kontribusi besar terhadap peningkatan keterampilan teknik renang melalui visualisasi yang lebih jelas dan analisis yang lebih akurat. Peserta didik dapat memahami detail gerakan melalui video, simulasi, dan motion analysis. Teknologi memungkinkan koreksi teknik dilakukan secara objektif berdasarkan data nyata, bukan sekadar observasi subjektif instruktur. Hal ini mempercepat proses perbaikan gerakan dan meningkatkan efisiensi belajar. Dengan dukungan digital, peserta didik mampu menguasai teknik renang secara lebih cepat dan tepat. Pembelajaran menjadi lebih terarah karena kesalahan dapat segera terdeteksi dan diperbaiki.

7.9.2 Peningkatan motivasi dan partisipasi

Penggunaan teknologi digital membuat pembelajaran renang menjadi lebih menarik dan interaktif. Media visual, aplikasi, dan gamifikasi menciptakan pengalaman belajar yang lebih menyenangkan bagi peserta didik. Peserta didik cenderung lebih termotivasi ketika dapat melihat perkembangan mereka secara nyata melalui data atau pencapaian digital. Umpan balik instan juga meningkatkan rasa percaya diri dan keterlibatan aktif dalam latihan. Motivasi yang tinggi berdampak langsung pada peningkatan partisipasi peserta didik dalam pembelajaran. Mereka menjadi lebih antusias mengikuti latihan dan terdorong untuk belajar secara mandiri.

7.9.3 Penguatan kemandirian belajar

Transformasi digital mendorong peserta didik untuk belajar secara mandiri melalui akses materi yang fleksibel. Mereka dapat mempelajari teknik renang kapan saja tanpa harus menunggu sesi tatap muka. Ketersediaan video tutorial, aplikasi pembelajaran, dan platform digital memungkinkan peserta didik mengatur ritme belajar sesuai kebutuhan mereka. Hal ini membentuk tanggung jawab terhadap proses belajar pribadi. Kemandirian belajar sangat penting dalam penguasaan keterampilan renang karena latihan membutuhkan pengulangan konsisten. Teknologi membantu peserta didik tetap terhubung dengan proses belajar meskipun di luar jadwal praktik formal.

7.9.4 Efisiensi pembelajaran

Transformasi digital meningkatkan efisiensi pembelajaran dengan memindahkan sebagian materi teori ke platform digital. Waktu praktik di kolam dapat difokuskan pada penerapan keterampilan dan koreksi teknik. Instruktur juga lebih mudah melakukan evaluasi melalui data digital dan rekaman video. Hal ini menghemat waktu observasi serta mempercepat proses pemberian umpan balik. Efisiensi ini memungkinkan proses pembelajaran berlangsung lebih optimal. Peserta didik mendapatkan pengalaman belajar yang lebih terstruktur dan produktif.

7.9.5 Risiko dan keterbatasan (*over-reliance* pada teknologi)

Meskipun memiliki banyak manfaat, transformasi digital juga menghadirkan risiko apabila penggunaannya berlebihan. Ketergantungan pada teknologi dapat mengurangi interaksi langsung antara instruktur dan peserta didik. Dalam pembelajaran renang, praktik langsung tetap menjadi komponen utama yang tidak dapat digantikan teknologi. Penguasaan keterampilan motorik memerlukan pengalaman fisik nyata di air. Selain itu, keterbatasan akses perangkat, biaya teknologi, dan kompetensi digital pendidik dapat menjadi hambatan implementasi. Oleh karena itu, teknologi harus digunakan sebagai pelengkap, bukan pengganti pembelajaran praktik secara langsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiputri, R. D. (2023). *Sistem Pendidikan Finlandia: Belajar Cara Mengajar*. books.google.com.
<https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=81HAEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=transformasi+digital+dalam+pedagogi+dan+pembelajaran+renang&ots=W5cKeCJCdB&sig=ymcWqgzCRvaJIYO6HiitJ72qMCK>
- Aidillah, M., Rahmatulloh, I., & Luthfi, M. A. (2026). Edukasi Renang dengan Pendekatan Permainan Air untuk Memperkuat Kepercayaan Diri Anak Kelas III di SDN Pamulang Tengah. *Jurnal Harmoni Abdi*
<https://journal.harpro.id/juham/article/view/51>
- Akbar, A. K., & Mulyaningsih, E. (2025). Transformasi Gaya Hidup Aktif di Era Digital: Analisis Literatur pada Pendidikan Jasmani Sekolah. *Ekspose: Jurnal Penelitian Hukum*
<https://www.jurnal.iain-bone.ac.id/index.php/ekspose/article/view/10315>
- Aryana, S., Wulandari, M. A., & Muyassaroh, I. (2025). *Model Pembelajaran JEMPITA (Joyful, Experiential, Meaningful, Personalized, Integrated Technology, and Sustainability-Oriented) Berlandaskan Teori Deep* books.google.com.
<https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=ul-LEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=transformasi+digital+dalam+pedagogi+dan+pembelajaran+renang&ots=bOYIDtlqI6&sig=mmCGogX8qot4wib7hQwd397jtQA>
- Dharma, I., Santosa, M. H., & ... (2025). ... Pedagogy, Educational Transformation In The Digital Era: Systematic Literature Review: Cyber Pedagogy, Transformasi Pendidikan di Era
Santhet (Jurnal
<https://ejournal.unibabwi.ac.id/index.php/santhet/article/view/6169>
- Elisyah, V., & May, K. (2026). *INOVASI PEMBELAJARAN PENDIDIKAN JASMANI DAN OLAHRAGA DI ERA MODERN*. books.google.com.
<https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=jAPUEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA44&dq=transformasi+digital+dalam+pedagogi+dan+pembelajaran+renang&ots=IDJFoXPEUl&sig=Xusu9c3ki6lliIVZUp2r2ZfCVQg>

- Habibie, M., Arifin, R., & Setiadi, B. (2025). Integrasi Trello Sebagai Forum Diskusi Digital Untuk Pengembangan Profesionalisme Guru Pjok Melalui Lesson Study Dan Project *Devote: Jurnal* <https://ejournal.nusantaraglobal.ac.id/index.php/devote/article/view/4933>
- Hasibuan, S., Kasih, I., Daulay, D. E., & ... (2024). Development of flip book-based learning media for sports physiology in physical education students at university. *AL-ISHLAH* <http://www.journal.staihubbulwathan.id/index.php/alishlah/article/view/4053>
- Hertanto, S. T. Y. (2026). *Pendidikan Abad 21: Kolaborasi, Kreativitas dan Teknologi*. books.google.com. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=N_nFEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=transformasi+digital+dalam+pedagogiy+dan+pembelajaran+renang&ots=T1J0MwKJ5-&sig=A4HBI6oT_EuahVVN5sGnRKgPMhE
- Ismanati, C., & Lindra, A. T. (2025). *Sistem Pembelajaran Modern: Integrasi Teknologi, Model Inovatif, dan Kompetensi Global*. books.google.com. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=fSaNEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=transformasi+digital+dalam+pedagogiy+dan+pembelajaran+renang&ots=KXSihgOgV4&sig=53oz-Dn83_EBPztbEH2oPCPKX4
- Jamal, M. A. A., Qinthara, M. D., & ... (2026). Peningkatan Kepercayaan Diri dan Penguasaan Teknik Dasar Renang melalui Program Pelatihan Renang bagi Siswa SMA 123 Kabupaten Tangerang. *Jurnal Harmoni Abdi* <https://journal.harpro.id/juham/article/view/50>
- Kumullah, R., Fauziah, P. Y., Wibawa, L., & ... (2023). Transformasi positif: Implementasi pendidikan karakter berbasis budaya di SD Muhammadiyah Sapean. *DIKDAS MATAPPA* <https://journal.matappa.ac.id/index.php/dikdas/article/view/3303>
- Latar, I. M. (2024). Pemanfaatan media audio visual dalam pembelajaran kebugaran jasmani pada siswa sekolah dasar. In ... *pemanfaatan media pembelajaran pendidikan jasmani* researchgate.net. https://www.researchgate.net/profile/Eka-Novita-Sari/publication/378151612_Pemanfaatan_Limbah_Bekas_Sebagai_Media_Ajar_Menarik_Pada_Pembelajaran_di_Sekolah_Dasa

r/links/65ca961e34bbff5ba70c2035/Pemanfaatan-Limbah-Bekas-Sebagai-Media-Ajar-Menarik-Pada-Pembelajaran-di-Sekolah-Dasar.pdf#page=40

- Mardesia, P., Edmizal, E., Mardela, R., & ... (2024). Pengembangan E-Modul Pada Mata Kuliah Renang Dasar Berbasis Digital. In *Sporta* sportasaintika.ppj.unp.ac.id. <http://sportasaintika.ppj.unp.ac.id/index.php/sporta/article/download/405/174>
- Masykuri, N. M., Sa'adah, N. L., & ... (2025). Literature Review: Transformasi Pembelajaran Pendidikan Jasmani Melalui Teknologi Interaktif Berbasis Virtual Coaching. *TEPI: Jurnal Teknologi* <https://ejournal.itmnganjuk.ac.id/index.php/tepi/article/view/21>
- Mulyono, N. (2026). *Desain Pembelajaran Mendalam (Deep Learning) Di Sekolah Dasar: Integrasi Teori, Paradigma Kurikulum Merdeka, dan Praktik Kelas*. books.google.com. <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=J9HCEQAAQB-AJ&oi=fnd&pg=PA107&dq=transformasi+digital+dalam+pedagogi+dan+pembelajaran+renang&ots=SPWdfv-ZLx&sig=VwdecEzutT1HvHq8i6uRkU46R7g>
- odi, M. M. (2024). Kerangka Desain Pembelajaran Game untuk Peningkatan Keterampilan Sosial di Pendidikan Jasmani. *Jurnal Penelitian Tindakan Kelas*. <https://journal.assyfa.com/index.php/jptk/article/view/248>
- Rostati, R., & Gufran, G. (2025). Pengembangan Media Pembelajaran Interaktif Berbasis Virtual Simulation Untuk Pembelajaran Renang Gaya Bebas. *Pior: Jurnal Pendidikan Olahraga*. <https://jurnal.habi.ac.id/index.php/Pior/article/view/736>
- Sampurno, M. W. B., & Ridwan, M. (2025). Transformasi Pembelajaran PJOK: Peran Media Interaktif Terhadap Motivasi Peserta Didik. *Jurnal Keolahragaan*. <https://jurnal.unigal.ac.id/JKP/article/view/21866>
- Setiawi, A. P., Harahap, M. F., Surimeirian, M. A., Hrp, N. K., & ... (2025). *Normalisasi Olahraga Dan Aktivitas Fisik Di Era Digital: Tantangan Menuju Indonesia Emas 2045*. researchgate.net. https://www.researchgate.net/profile/Adi-Wijayanto-2/publication/397174624_Normalisasi_Olahraga_dan_Aktivitas_Fisik_di_Era_Digital_Tantangan_Menuju_Indonesia_Emas_2045

5/links/6906a2e89708d52f2da46b53/Normalisasi-Olahraga-dan-Aktivitas-Fisik-di-Era-Digital-Tantangan-Menuju-Indonesia-Emas-2045.pdf

- Syam, A. F., Rahayu, S. P., Tohamba, C. P. P., Ismiyati, N., & ... (2026). *Dialektika Literasi Multidisiplin: Rekonstruksi Pedagogi dan Inovasi Pembelajaran Masa Depan*. books.google.com. <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=cCnSEQAAQB-AJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=transformasi+digital+dalam+pedagog+y+dan+pembelajaran+renang&ots=zvjufR2zFR&sig=DrFIHQ7tHQzaxkm66MrlN7Hxug>
- Tangkudung, J., Puspitorini, W., Prabowo, E., & ... (2025). *E-Learning dan Big Data dalam Pendidikan Jasmani dan Olahraga*. books.google.com. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=7ec9EQAAQB-AJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=transformasi+digital+dalam+pedagog+y+dan+pembelajaran+renang&ots=dP_9F9EFnX&sig=aC8v6Pe1YhVQxcrD0fP_p3F6MCQ
- Weldani, F. (2023). *Evolusi Renang & Olahraga Air: Pendekatan Sains, Teknologi, dan Psikologi*. books.google.com. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=yy_TEQAAQB-AJ&oi=fnd&pg=PA8&dq=transformasi+digital+dalam+pedagog+y+dan+pembelajaran+renang&ots=THISUpnchn&sig=Vnd4Q7Dhzbqyh9SjTpITAmY6oWU
- Weldani, F. (2024). *CYBER-SWIM: Transformasi Digital dalam Pedagogi Olahraga Air*. books.google.com. <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=hjHTEQAAQB-AJ&oi=fnd&pg=PA8&dq=transformasi+digital+dalam+pedagog+y+dan+pembelajaran+renang&ots=NXT3PnPdnu&sig=Aiel2ETWtQywIoNCY2p21nThCZM>
- Weldani, F. (2026). ... Keterampilan Dasar Olahraga Berbasis AI: Sebuah SLR Mengenai Keterbaruan Metodologi Pembelajaran Renang dan Futsal dalam Bingkai Keberlanjutan SDGs. *Journal of Physical Education and Sports Pedagogy*. <https://journal.assyfa.com/index.php/jpesp/article/view/959>
- Wibowo, N. O., & Syafrida, N. F. (2023). ... digital orang tua siswa sekolah dasar (studi deskriptif kualitatif pada orang tua siswa sekolah dasar di Kota Surabaya dalam mengontrol penggunaan smartphone). *JIIP-Jurnal Ilmiah Ilmu* <http://jiip.stkipyapisdompou.ac.id/jiip/index.php/JIIP/article/vi>

ew/2363

- Wijaya, P. B., Judijanto, L., & Sepriano, S. (2026). *Dasar-Dasar Pendidikan Jasmani*. books.google.com.
https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=-uutEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=transformasi+digital+dalam+pedagogy+dan+pembelajaran+renang&ots=OJSHs_9Dvn&sig=KBvPm6UfTCG5cw7qgnDtntnHZLg
- Wijayanto, A., Or, S., Kom, S., Heryati, A. D. Y., Siyono, M. P. I., & ... (n.d.). STRATEGI SUPPORT SYSTEM DALAM MEMBANGUN PONDASI. In *researchgate.net*. https://www.researchgate.net/profile/Adi-Wijayanto-2/publication/397186516_Strategi_Support_System_dalam_Membangun_Pondasi_Indonesia_Emas_2045/links/6907f232a2b691617b68f005/Strategi-Support-System-dalam-Membangun-Pondasi-Indonesia-Emas-2045.pdf
- Yolanda, V. P., & Mulyani, M. P. (2024). Penerapan Pembelajaran Berbasis Project Oriented Problem Based Learning di Satuan Pendidikan Kerja Sama. *Jurnal Penelitian Pendidikan Guru* <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jurnal-penelitian-pgsd/article/view/65146>
- Yulianto, E., Bayua, A. T., & Chan, A. A. S. (2025). Perkembangan Komunikasi Pendidikan Olahraga di Era Transformasi Digital. *Athena: Physical Education* <https://athena.id-sre.org/index.php/apesj/article/view/44>
- Yusuf, A. (2022). *Penguatan pendidikan karakter: mengembangkan kepribadian utama entitas individualiteit perspektif pendidikan holistik dan merdeka belajar*. repository.uinsa.ac.id. [http://repository.uinsa.ac.id/3223/1/Arbaiyah_Penguatan Pendidikan Karakter.pdf](http://repository.uinsa.ac.id/3223/1/Arbaiyah_Penguatan_Pendidikan_Karakter.pdf)

BAB 8

LABORATORIUM RENANG VIRTUAL: SIMULASI DAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

Renang prestasi tertuju pada pencapaian kecepatan yang tidak hanya sekadar bertumpu pada peningkatan kapasitas kardiovaskular atau kekuatan otot atlet. Fokus utama yang tidak kalah pentingnya ada pada aspek hidrodinamika tubuh, di mana seorang perenang dapat meminimalkan hambatan air dan memaksimalkan daya dorongnya (Arfaoui and Polidori, 2015). Efektifitas dan efisiensi teknik renang pada media fluida sangat penting untuk dipahami secara mendalam melalui pendekatan mekanika gerak.

Analisis biomekanika memiliki peran penting pada peningkatan performa atlet. Pengamatan evaluasi teknik atlet secara langsung dengan mata telanjang (*naked eye*) dari tepi kolam dirasa kurang terperinci. Metode kualitatif ini sangat subjektif dan terbatas oleh kecepatan visual dan pemahaman manusia. Sejalan dengan perkembangan teknologi, penggunaan video bawah air (*underwater videography*) mulai dilakukan untuk menganalisis sudut kayuhan secara lebih objektif melalui perlambatan gerakan (*slow-motion*). Namun, cara ini belum mampu menganalisa secara keseluruhan mekanika gerak dan pengaruh laju atlet renang seperti gaya hambat (*drag force*), gaya angkat, serta turbulensi.

Keterbatasan media rekam tersebut, menciptakan paradigma baru bernama Laboratorium Renang Virtual. Pendekatan mutakhir ini mengintegrasikan ilmu biomekanika olahraga dengan komputasi modern. Laboratorium renang virtual tidak lagi membutuhkan kolam luas atau sensor rumit yang ditempelkan pada tubuh atlet yang dapat mengganggu keaslian gerakannya (Ferryanto,

Mahyuddin and Nakashima, 2022). Pada laboratorium renang visual, tubuh atlet dan lingkungan air dipindahkan ke dalam ruang digital yang presisi.

Secara rinci setiap jengkal gerakan perenang ditranslasikan menjadi data kuantitatif yang sangat akurat. Simulasi computer akan memvisualisasikan dengan jelas interaksi yang tidak dapat dilihat dengan mata salah satunya seperti hubungan antara kulit perenang dengan molekul air (Scurati, R., Gatta, G., Michielon, G., & Cortesi, 2019). Intervensi teknologi ini menjadi sebuah kebutuhan mendasar dalam pengoptimalan performa atlet renang. Disaat persaingan global semakin ketat dan kemampuan fisik manusia sudah mendekati batas biologisnya, pengembangan teknologi melalui laboratorium virtual menjadi kunci utama peningkatan batas kecepatan baru yang mustahil dicapai dengan metode kepelatihan tradisional.

8.1 Hidrodinamika

Pemahaman mengenai mekanika fluida merupakan fondasi utama dalam operasional Laboratorium Renang Visual. Pergerakan mekanika perenang tidak hanya bergantung pada otot, tetapi juga dipengaruhi oleh hukum hidrodinamika. Dorongan perenang dipengaruhi oleh pola aliran tetap dan tidak tetap yang merupakan jumlah dari gaya propulsi, gaya angkat, dan gaya hambat. Percepatan dan kecepatan yang terjadi bergantung pada gaya-gaya mekanika utama, interaksi tubuh dengan air, dan pola aliran fluida di sekitar perenang. Penejelasan mengenai hukum hidrodinamika menurut Barbosa (Mullen, 2018) adalah sebagai berikut:

8.1.1 Gaya-Gaya Mekanika

Aktivitas renang secara mekanis dikendalikan oleh interaksi tiga gaya utama yang saling memengaruhi vektor kecepatan perenang, antara lain sebagai berikut:

1. Gaya Hambat (Drag)

Gaya hambat (F_d) adalah gaya hidrodinamika yang bekerja sejajar namun berlawanan arah dengan vektor gerak laju perenang. Perhitungan gaya ini didapatkan dari perkalian antara densitas air koefisien hambat, luas area proyeksi

frontal tubuh dan kecepatan relatif perenang terhadap air. Gaya hambat dibagi menjadi tiga komponen utama: (1) Hambatan Bentuk, terjadi akibat perbedaan tekanan antara bagian depan tubuh bertekanan tinggi dan bagian belakang tubuh bertekanan rendah, contoh morfologi tubuh manusia (Wang and Kabala, 2022). (2) Hambatan Gesek Kulit, ditimbulkan oleh gaya viskos atau tegangan geser pada lapisan batas (*boundary layer*) tepat di permukaan kulit atau pakaian renang yang digunakan atlet (Bixler and Riewald, 2002). (3) Hambatan Gelombang, yang mendominasi perenang saat bergerak di permukaan air.

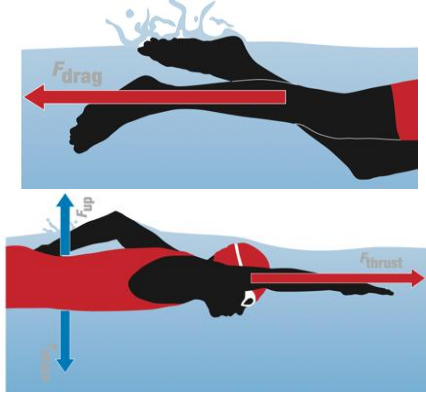
2. Gaya Angkat (Lift)

Gaya angkat (F_t) adalah komponen gaya hidrodinamika yang bekerja tegak lurus terhadap arah aliran fluida bebas. Gaya ini timbul akibat perbedaan distribusi tekanan di kedua sisi tubuh terutama telapak tangan dan lengan bawah. Berdasarkan hukum Bernoulli dan efek sirkulasi, ketika tangan bergerak memotong air dengan sudut serang (*angle of attack*) perbedaan kecepatan aliran di atas dan di bawah permukaan tangan menciptakan gradien kecepatan yang menghasilkan gaya angkat (Mullen, 2018). Gaya angkat ini dimanfaatkan oleh perenang untuk mempertahankan posisi tubuh tetap sejajar dengan permukaan air guna meminimalkan luas proyeksi frontal.

3. Gaya Dorong (Propulsion)

Gaya dorong adalah gaya bersih (*net force*) berarah maju yang dihasilkan oleh kayuhan lengan (*arm stroke*) dan gerakan tungkai (*leg kick*). Berdasarkan mekanika fluida mekanisme pembentukan gaya dorong dalam renang dibedakan menjadi (1) Teori Hambatan Berbasis Propulsi, di mana tangan bertindak sebagai dayung yang mendorong massa air langsung ke belakang, sehingga menghasilkan gaya reaksi ke depan sesuai Hukum Newton III (setiap aksi akan ada reaksi yang sama besar tetapi berlawanan arah). (2) Teori Gaya Angkat Berbasis Propulsi, gerakan tangan yang membentuk pola tertentu seperti *sculling* berfungsi layaknya baling-baling. Komponen horizontal dari gaya angkat (lift) yang dihasilkan

oleh gerakan tangan inil akan mendorong tubuh melaju ke depan secara efisien.



Gambar 8.1. Gaya Hambat, Gaya Angkat, Gaya Dorong
(Sumber Swimming Science)

8.1.2 Interaksi Fluida-Tubuh

Interaksi antara tubuh perenang dan air sangat dipengaruhi oleh sifat fisik air sebagai fluida Newtonian. Air memiliki densitas dan viskositas yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan udara sehingga hambatan gerak pada air lebih besar. Dua sifat fluida yang paling berpengaruh terhadap pergerakan perenang adalah densitas dan viskositas. Kedua sifat ini menentukan besarnya energi yang diperlukan untuk bergerak serta efisiensi teknik renang yang digunakan.

1. Densitas Fluida (ρ)

Air murni memiliki densitas nominal sebesar 997 kg/m^3 pada suhu 25°C , yang berarti hampir 800 kali lipat lebih rapat daripada udara. Sifat padat ini memberikan dampak positif maupun negatif. Dampak positif sesuai dengan hukum Archimedes berupa gaya apung, di mana densitas air yang tinggi menghasilkan gaya apung statis (*buoyant force*) untuk menopang sebagian besar berat badan manusia. Hal ini memudahkan perenang mempertahankan posisi *streamline*. Sedangkan dampak negatifnya berupa inersia massa air yang memiliki densitas tinggi. Di mana perenang harus mengeluarkan energi sangat besar untuk menembus massa air

yang dilaluinya. Setiap Percepatan tubuh membutuhkan energi mekanis yang besar untuk melawan inersia massa air.

2. Viskositas Dinamik (μ)

Viskositas adalah ukuran kekentalan fluida yang menunjukkan seberapa besar fluida menahan pergerakan. Adanya viskositas menyebabkan *no-slip condition*, yaitu fluida yang bersentuhan langsung dengan tubuh perenang akan “menempel” dan bergerak sangat lambat (hampir nol) sehingga membentuk lapisan tipis di sekitar tubuh (*boundary layer*). Hal ini menyebabkan sebagian energi perenang hilang karena gesekan dengan fluida, yang dikenal sebagai hambatan gesek (*skin friction drag*).

8.1.3 Rezim Aliran

Rezim aliran adalah pola gerakan fluida yang dipengaruhi oleh kecepatan, viskositas, dan bentuk aliran. Pada tubuh perenang, jenis aliran ditentukan oleh bilangan Reynolds (Re), yaitu ukuran yang melibatkan kerapatan air, kecepatan, ukuran tubuh, dan sifat fluida. Tingginya nilai Re menandakan aliran fluida di sekitar perenang cenderung didominasi gaya inersia dan bergerak menuju aliran turbulen.

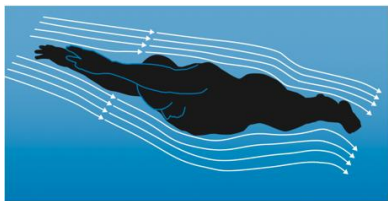
1. Aliran Laminer

Aliran dikatakan laminar ketika lapisan fluida teratur, tersusun rapi, dan sejajar dengan tubuh perenang. Dalam simulasi renang, aliran ini hanya terjadi di bagian depan tubuh seperti ujung jari dan kepala saat pertama menyentuh air. Hambatan geseknya kecil, namun mudah terganggu dan rentan terpisah dari permukaan tubuh.

b. Aliran Turbulen

Aliran turbulen bersifat tidak teratur, dengan gerakan acak, penuh fluktuasi kecepatan dan disertai banyak pusaran. Terjadi di bagian tubuh seperti lengan, bahu, dan kaki. Hambatannya lebih besar, tetapi aliran ini bisa menempel lebih lama pada tubuh sehingga lebih stabil mengikuti bentuk tubuh perenang. Melalui laboratorium visual CFD, pelatih dapat merekayasa orientasi tubuh atlet agar transisi laminar-

turbulen terjadi pada titik anatomi yang paling menguntungkan secara hidrodinamika.



Gambar 8.2. Aliran Laminar
(Sumber Swimming Science)



Gambar 8.3. Aliran Turbulen
(Sumber Swimming Science)

8.2 Prinsip Dasar *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dalam Hidrodinamika Tubuh

Teknologi inti yang menjadi penggerak dalam laboratorium renang virtual adalah *Computational Fluid Dynamics* (CFD) atau Dinamika Fluida Komputasi. CFD adalah cabang mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma komputer untuk menganalisis dan menyelesaikan masalah yang melibatkan aliran fluida dalam hal ini air kolam renang (Mehulkumar, 2025). CFD memecahkan persamaan kompleks dalam memprediksi perilaku fluida, tekanan, dan kecepatan di sekitar tubuh perenang yang sulit diukur secara eksperimental, sehingga memungkinkan proses pemisualisasi bagaimana fluida baik itu udara atau air di sekitar tubuh perenang serta mengukur parameter kunci seperti gaya hambat dan gaya dorong (Marinho *et al.*, 2009). Penelitian awal mengenai CFD yang secara khusus mencoba mengatasi dinamika fluida pada perenang dilakukan oleh Bixler & Schloder (B Bixler, 1996).

Pada biomekanika renang itu sendiri, CFD bertindak sebagai "mikroskop digital" yang membedah hukum-hukum fisika ketika tubuh manusia bergerak/membelah air. Perhitungan matematika utama yang digunakan dalam CFD adalah Persamaan Navier-Stokes (*Navier-Stokes Equations*) (Joel H. Ferziger, Milovan Perić, 2019). Persamaan ini merupakan seperangkat rumus kalkulus kompleks yang menerapkan Hukum Kedua Newton tentang gerak pada benda cair. Persamaan ini memperhitungkan berbagai variabel fluida

secara simultan, mulai dari kekekalan massa, momentum, hingga tekanan (Rozanova-pierrat, 2006). Karena persamaan ini sangat rumit dan mustahil diselesaikan secara manual untuk bentuk tubuh manusia yang tidak beraturan, komputer presisi tinggi digunakan untuk memecah persamaan tersebut menjadi miliaran kalkulasi numerik sederhana.

Simulasi renang sangat menantang untuk di teliti lebih lanjut karena keunikan dari karakteristik media air itu sendiri. Jika dibandingkan dengan olahraga dengan fluida udara seperti lari, berenang menghadapi kendala fisik yang jauh lebih besar. Di mana densitas air 800 kali lipat lebih rapat dan viskositas air yang jauh lebih kental daripada udara menjadikan setiap kesalahan kecil dalam posisi tubuh perenang akan menghasilkan gaya hambat (*drag*) yang berlipat ganda dibandingkan kesalahan serupa di darat. Selain itu, perenang juga bergerak di antara batas dua medium air dan udara, sehingga memicu terbentuknya hambatan gelombang permukaan (*wave drag*) yang sangat dinamis dan menyerap banyak energi atlet.

Kompleksitas aliran pada renang semakin meningkat karena adanya fenomena Interaksi Fluida-Struktur (*Fluid-Structure Interaction* atau FSI), yaitu interaksi antara gerakan tubuh perenang dan aliran air di sekitarnya. Pada renang, FSI menjelaskan bagaimana gerakan tubuh manusia atau organisme akuatik (biomimetika) berinteraksi dengan air untuk menghasilkan gaya dorong (*thrust*), mengurangi hambatan (*drag*), dan memanfaatkan pusaran air (*vortex*) guna meningkatkan efisiensi gerakan (Tanaka *et al.*, 2025). Berbeda dengan kapal atau benda kaku lainnya, tubuh perenang bersifat fleksibel dan terus berubah bentuk selama bergerak. Gerakan tangan, rotasi panggul, dan tendangan kaki menyebabkan perubahan pola aliran air, sementara tekanan air yang terbentuk akan memberikan gaya balik pada tubuh perenang. Interaksi dua arah inilah yang menjadikan analisis hidrodinamika renang sangat kompleks. Untuk mempelajari fenomena tersebut, perangkat lunak ANSYS Fluent dapat digunakan untuk mensimulasikan dan memvisualisasikan pola aliran, distribusi tekanan, pembentukan pusaran, serta gaya-gaya hidrodinamika yang bekerja pada tubuh perenang. Melalui simulasi CFD, peneliti dapat menganalisis bagaimana air merespons setiap perubahan posisi dan gerakan

tubuh sehingga diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai efisiensi teknik renang (Wang and Kabala, 2022).

8.3 Alur Kerja Simulasi Laboratorium Virtual

Mengubah perenang nyata menjadi model digital yang dapat disimulasikan oleh komputer memerlukan proses yang sistematis. Di dalam laboratorium virtual, alur kerja CFD dibagi menjadi tiga tahapan utama yang linear dan saling bergantung: *pre-processing* (pra-pemrosesan), *solving* (penyelesaian komputasi), dan *post-processing* (pasca-pemrosesan).

8.3.1 Tahap Pra-Pemrosesan (*Pre-processing*)

Tahap awal ini berfokus pada persiapan geometri tubuh perenang dan lingkungan air sebelum dihitung oleh computer (SATO and HINO, 2010). Tahap ini terdiri dari dua langkah krusial:

1. Digitalisasi Tubuh (*Geometry Generation*): Tubuh atlet dipindai menggunakan pemindai laser 3D (3D Body Scanner) berakurasi tinggi untuk menghasilkan model digital 3D yang merepresentasikan antropometri (bentuk dan ukuran tubuh) atlet secara akurat. Tentukan postur tubuh yang ingin diuji, misal posisi meluncur atau gerakan lengan *push* dan *pull*, atur posisinya untuk pemindaian 3D.
2. Pembuatan Kisi-Kisi (*Meshing/Diskritisasi*): Ruang air di sekitar perenang dibagi menjadi jutaan elemen volume kecil (*grid* komputasi) berbentuk kubus atau tetrahedron yang disebut *mesh*. Semakin dekat posisi *mesh* dengan permukaan kulit perenang, ukurannya akan dibuat semakin mikro untuk menangkap fenomena aliran air secara presisi. Kumpulan jutaan *mesh* inilah yang membentuk "domain fluida". Tahap ini merupakan langkah krusial dalam CFD di mana komputer akan menghitung parameter seperti kecepatan, tekanan, dan perpindahan.

8.3.2 Tahap Input Kinematika dan Kondisi Batas (*Solving*)

Tahap *solving* merupakan inti dari simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD), yaitu proses ketika perangkat lunak CFD seperti ANSYS Fluent menyelesaikan persamaan kontinuitas dan

momentum (Navier–Stokes) pada seluruh elemen mesh yang telah dibuat. Setelah geometri, mesh, data kinematika, dan kondisi batas dimasukkan ke dalam sistem, simulasi dapat dijalankan untuk memprediksi perilaku aliran air di sekitar tubuh perenang.

Proses perhitungan dalam CFD dilakukan secara berulang (*iteratif*) karena variabel tekanan dan kecepatan aliran saling memengaruhi sehingga tidak dapat diselesaikan secara langsung dalam satu langkah. Oleh karena itu, ANSYS Fluent menggunakan algoritma *pressure-velocity coupling* untuk memperoleh keseimbangan antara tekanan dan kecepatan hingga tercapai solusi yang stabil dan konvergen. Algoritma yang umum digunakan adalah SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations) dan PISO (Pressure-Implicit with Splitting of Operators) (Serra and Semiao, 2021). Metode SIMPLE umumnya digunakan pada simulasi aliran yang relatif stabil (*steady-state*), sedangkan metode PISO lebih sesuai untuk simulasi aliran yang berubah terhadap waktu (*transient flow*), seperti gerakan kayuhan tangan dan tendangan kaki dalam renang (Komen *et al.*, 2021). Tahap solving meliputi beberapa proses utama sebagai berikut:

1. Penentuan Kondisi Batas (*Boundary Conditions*): Pada tahap ini, parameter fisik yang merepresentasikan kondisi nyata dimasukkan ke dalam model simulasi. Parameter tersebut meliputi kecepatan aliran air, sifat fluida, dan gaya gravitasi. Sebagai contoh, kecepatan aliran dapat diatur sebesar 1,8 m/s untuk merepresentasikan kecepatan renang atlet elite. Selain itu, nilai densitas dan viskositas air juga ditentukan agar karakteristik fluida yang digunakan sesuai dengan kondisi sebenarnya
2. Input Kinematika Gerak: Data kinematika hasil analisis gerak atlet diintegrasikan ke dalam model tiga dimensi. Data tersebut dapat berupa sudut gerakan lengan, frekuensi tendangan kaki, rotasi panggul, serta perubahan posisi tubuh selama satu siklus renang. Integrasi data kinematika memungkinkan simulasi menggambarkan interaksi antara gerakan tubuh dan aliran air secara lebih realistis.
3. Proses Kalkulasi (*Solving*): Setelah seluruh parameter dimasukkan, sistem komputasi menjalankan perhitungan

numerik untuk menyelesaikan persamaan Navier–Stokes pada setiap elemen mesh. Perhitungan dilakukan secara iteratif hingga nilai kesalahan numerik (*residual*) mencapai batas toleransi yang ditentukan dan parameter utama, seperti gaya hambat (*drag force*), menunjukkan nilai yang stabil. Pada simulasi renang dengan model tubuh dinamis, proses ini dapat memerlukan waktu beberapa jam hingga beberapa hari, tergantung pada kompleksitas geometri, jumlah elemen mesh, dan sumber daya komputasi yang tersedia.

8.3.3 Tahap Analisis Data dan Visualisasi (*Post-processing*)

Tahap post-processing merupakan tahap akhir dalam simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD), yaitu proses mengubah data numerik hasil perhitungan menjadi informasi visual yang mudah dipahami dan diinterpretasikan. Pada tahap ini, perangkat lunak seperti ANSYS Fluent menyajikan hasil simulasi dalam bentuk grafik, kontur warna, garis aliran, dan visualisasi tiga dimensi sehingga peneliti dapat menganalisis karakteristik hidrodinamika tubuh perenang secara lebih mendalam. Proses ini membuat berbagai parameter seperti distribusi tekanan, pola aliran, pembentukan pusaran air (*vortex*), dan gaya hambat (*drag force*) dapat diamati secara visual untuk mendukung evaluasi teknik renang dan peningkatan performa atlet (Sato and Hino, 2013).

1. Peta Kontur Tekanan (*Pressure Contour Plots*):

Peta kontur tekanan merupakan visualisasi berbasis warna yang menggambarkan distribusi tekanan air pada permukaan tubuh perenang. Warna dengan nilai tinggi (umumnya merah atau oranye) menunjukkan daerah yang mengalami tekanan besar akibat tumbukan langsung dengan aliran air, sedangkan warna dengan nilai rendah (umumnya biru) menunjukkan daerah dengan tekanan yang lebih kecil. Analisis distribusi tekanan sangat penting dalam kajian hidrodinamika renang karena dapat digunakan untuk mengidentifikasi bagian tubuh yang menghasilkan gaya dorong (*thrust*) maupun bagian yang mengalami hambatan (*drag*) terbesar. Informasi ini membantu pelatih dan peneliti

dalam mengevaluasi posisi tubuh, teknik kayuhan, serta efisiensi gerakan selama berenang.

2. Visualisasi Garis Aliran (*Streamlines dan Vortex*):

Visualisasi streamlines digunakan untuk menunjukkan arah dan pola pergerakan aliran air di sekitar tubuh perenang. Garis-garis aliran ini menggambarkan lintasan yang diikuti partikel air saat melewati berbagai bagian tubuh, seperti kepala, bahu, lengan, badan, dan tungkai.

Melalui visualisasi ini, peneliti dapat mengidentifikasi terjadinya pemisahan aliran (*flow separation*), yaitu kondisi ketika aliran air tidak lagi mengikuti kontur tubuh dan mulai terlepas dari permukaan. Fenomena tersebut umumnya meningkatkan hambatan hidrodinamika sehingga dapat menurunkan efisiensi gerakan renang. Selain itu, visualisasi juga dapat memperlihatkan pembentukan pusaran air (*vortex*) di belakang tubuh atau anggota gerak perenang. Pusaran yang terbentuk secara berlebihan dapat meningkatkan hambatan, sedangkan pengelolaan pusaran yang tepat dapat dimanfaatkan untuk membantu menghasilkan gaya dorong yang lebih efektif (Sato&Hino, (2010).

Dengan memanfaatkan hasil post-processing, pelatih dan ilmuwan olahraga dapat mengevaluasi teknik renang secara objektif, mengidentifikasi sumber hambatan terbesar, serta merancang strategi perbaikan gerakan untuk meningkatkan efisiensi dan performa atlet.

8.4 Studi Kasus dan Aplikasi Praktis

Simulasi CFD dimanfaatkan oleh peneliti dan pelatih untuk mengidentifikasi sumber hambatan, mengevaluasi efisiensi teknik renang, serta merancang strategi perbaikan gerakan yang dapat meningkatkan performa atlet. Selain itu, CFD juga banyak dimanfaatkan dalam pengembangan perlengkapan renang yang lebih hidrodinamis. Berikut beberapa contoh studi kasus mengenai bagaimana teori *Computational Fluid Dynamics* (CFD) diaplikasikan secara nyata di lapangan.

8.4.1 Postur Tubuh: Hambatan Bentuk.

Saat tubuh manusia bergerak di dalam air akan menghasilkan hambatan yang disebut hambatan bentuk (*form drag*). Hambatan ini muncul akibat bentuk tubuh yang menghalangi aliran air. Dicontohkan seperti posisi kepala terhadap tubuh. Simulasi CFD menunjukkan bahwa ketika perenang terlalu mengangkat kepala atau mendongakkan leher, luas permukaan tubuh yang berhadapan langsung dengan aliran air menjadi lebih besar. Kondisi ini menyebabkan peningkatan tekanan pada bagian depan kepala dan memicu terbentuknya turbulensi yang lebih besar di belakang tubuh, terutama pada area punggung bawah (Cortesi and Gatta, 2015). CFD memvisualisasi distribusi tekanan air yang mengalami tekanan tinggi dan memiliki hambatan besar. Hasil analisis dapat digunakan pelatih mengarahkan atlet untuk mempertahankan posisi kepala yang sejajar dengan tulang belakang. Posisi ini mengurangi hambatan bentuk dan meningkatkan efisiensi gerak. Hasilnya perenang dapat menjaga efektivitas dan efisiensi gerak tekniknya.

Kasus kedua adalah ketika atlet melakukan body rolling pada gaya punggung dan gaya bebas. Gerak rotasi berfungsi untuk menjaga keseimbangan tubuh, efektivitas kayuhan lengan dan meningkatkan efisiensi gerakan. CFD menganalisis pengaruh gerak rotasi tubuh terhadap pola aliran air dan besarnya gaya hambat. Simulasi CFD menunjukkan rotasi tubuh yang terlalu kecil akan mengurangi efektivitas kayuhan dan rotasi yang berlebihan akan mengganggu posisi streamline tubuh. Hal ini akan meningkatkan hambatan dan mengurangi kecepatan renang. Analisis CFD membantu pelatih menentukan rentang rotasi tubuh yang efisien untuk atlet sehingga didapatkan teknik gerak dengan hambatan minimal dan gaya dorong optimal.

8.4.2 Optimalisasi Fase Meluncur Start dan Pembalikan.

Fase meluncur (*streamline gliding*) merupakan periode ketika perenang bergerak tanpa melakukan gerakan kayuhan dan tendangan setelah start maupun pembalikan (*turn*). Kecepatan perenang pada fase ini biasanya mencapai nilai tertinggi, bahkan bisa melebihi kecepatan saat berenang aktif. Posisi tubuh yang hidrodinamis sangat penting untuk

meminimalkan hambatan air dan mempertahankan kecepatan selama mungkin. Hal yang perlu diperhatikan pada posisi ini adalah konfigurasi lengan dan tangan. Melalui analisis CFD berbagai variasi posisi diuji secara virtual untuk mendapatkan hasil hambatan terkecil. Posisi kedua lengan lurus di atas kepala dan kedua tangan saling menempel terkunci akan membentuk profil tubuh yang lebih hidrodinamis (Scurati, R., Gatta, G., Michielon, G., & Cortesi, 2019). Posisi tersebut memungkinkan aliran air mengalir lebih mulus sehingga mengurangi terbentuknya daerah bertekanan tinggi dan turbulensi.

CFD dapat juga menganalisis penurunan kecepatan yang terjadi selama meluncur. Semakin lama kecepatan meluncur akan berkurang akibat pengaruh gaya hambat air. Simulasi CFD mengamati bagaimana perubahan kecil posisi tubuh memengaruhi laju penurunan kecepatan meluncur. Hasil analisis menunjukkan ketidaksempurnaan posisi tubuh, seperti jari-jari tangan yang sedikit terbuka, posisi kepala yang kurang sejajar, atau pergelangan kaki yang tidak berada dalam posisi plantar flexion (punggung kaki sejajar dengan betis), dapat menyebabkan terbentuknya pusaran air di belakang tubuh lebih awal. Pusaran ini meningkatkan hilangnya energi aliran dan memperbesar hambatan hidrodinamika sehingga kecepatan meluncur menurun.

Terjadinya penurunan kecepatan harus dilanjutkan dengan gerakan tungkai (*dolphin kick*) di dalam air. Gerakan tungkai yang dilakukan terlalu cepat berakibat pemanfaatan kecepatan tinggi luncuran tidak maksimal. Sebaliknya, gerakan tungkai yang terlambat mengakibatkan kecepatan tubuh sudah terlanjur menurun akibat hambatan air. Hasil analisis perubahan kecepatan meluncur membantu pelatih menentukan waktu transisi yang paling efektif, sehingga atlet dapat mempertahankan kecepatan yang tinggi setelah start maupun pembalikan.

8.4.3 Riset Kain dan Tekstur Baju Renang

Performa perenang juga dipengaruhi oleh material dan tekstur baju renang yang berinteraksi langsung dengan air.

Hambatan gesek (*skin friction drag*) yang terjadi pada permukaan baju dapat memengaruhi kecepatan dan efisiensi gerakan perenang (Shuyang Li, Fuwang Zhao, 2024). CFD menganalisis bagaimana tekstur dan struktur permukaan kain memengaruhi pola aliran air di sekitar tubuh. Beberapa desain tekstur yang terinspirasi dari struktur kulit hiu (*riblets*) terbukti mampu mengurangi turbulensi dan hambatan gesek sehingga aliran air menjadi lebih teratur (Manshahia, Das and Alagirusamy, 2016). Akibatnya, energi yang dikeluarkan atlet dapat digunakan lebih efektif untuk menghasilkan gaya dorong. Hasil simulasi CFD juga membantu pengembangan baju renang berperforma tinggi (High-Tech Swimsuit Fabric) dengan karakteristik hidrodinamika yang lebih baik, sehingga dapat mendukung peningkatan efisiensi dan performa atlet saat berenang. Riset CFD melahirkan teknologi baju renang legendaris seri Speedo LZR Racer dan Arena Powerskin, di mana dapat memangkas hambatan total hingga 4%.

8.4.4 Koreksi Kinematika: Lengan Gaya Bebas

Gaya dorong utama pada renang gaya bebas (*freestyle*) berasal dari gerakan kayuhan lengan (*arm stroke*). Fase ini terbagi menjadi *catch* ketika lengan menangkap air, *pull* ketika lengan menarik air, dan *push* ketika lengan mendorong air kebelakang. CFD dapat digunakan untuk menganalisis keakuratan efisiensi antara interaksi lengan dengan aliran air. Salah satu kesalahan teknik yang sering ditemukan pada perenang adalah *dropped elbow* atau siku turun terlalu rendah ketika *catch*. Simulasi CFD menunjukkan posisi ini menyebabkan aliran air lebih mudah terlepas dari permukaan lengan dan membentuk vortex yang meningkatkan hambatan. Kondisi ini membuat lengan kurang efektif dalam mendorong air sehingga gaya dorong yang dihasilkan menjadi lebih kecil dan sebagian energi perenang terbuang untuk mengatasi hambatan air. teknik *High Elbow Catch* dengan mempertahankan posisi siku tinggi dapat menangkap lebih banyak air (Bixler and Riewald, 2002). Simulasi CFD menunjukkan bahwa teknik ini menghasilkan gaya dorong yang lebih besar dan efisien kayuhan. HEC

direkomendasikan untuk membantu meningkatkan kecepatan dan performa renang.

8.5 Kesimpulan

Implementasi Laboratorium Renang Virtual berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan instrumen wajib evaluasi dan pengoptimalan performa biomekanika atlet. CFD memiliki kemampuan menampilkan hidrodinamika yang rumit. Teknologi ini mengubah cara pelatih mengevaluasi mekanika gerak yang sebelumnya hanya berdasarkan intuisi menjadi keputusan akurat berdasarkan data angka. Analisis yang didapatkan mengenai pengurangan gaya hambat pada pola aliran air di sekitar tubuh perenang merupakan inti dari cara meningkatkan efisiensi gerakan dan prestasi atlet. Kedepannya pendekatan penelitian akan mengintegrasikan sistem Real-Time CFD Feedback. Di mana penggunaan kamera pintar di tepi kolam akan merekam gerakan atlet secara langsung, kemudian data diproses langsung oleh AI untuk memetakan turbulensi dan menciptakan instruksi koreksi gerakan otomatis. Konsep penerapan ini yaitu pada kacamata renang pintar yang akan memberikan arahan langsung kepada atlet ketika berenang.

DAFTAR PUSTAKA

- Arfaoui, A. and Polidori, G. (2015) "Computational Fluid Dynamics Method for the Analysis of the Hydrodynamic Performance in Swimming," *Mass Transfer - Advancement in Process Modelling* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.5772/61176>.
- B Bixler, M.S. (1996) "Computational fluid dynamics: an analytical tool for the 21st century swimmingscientist," *Journal of swimming research* [Preprint], (first CFD swimming).
- Bixler, B. and Riewald, S. (2002) "Analysis of a swimmer's hand and arm in steady flow conditions using computational fluid dynamics," *Journal of Biomechanics*, 35(5), pp. 713–717. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(01\)00246-9](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(01)00246-9).
- Cortesi, M. and Gatta, G. (2015) "Effect of the swimmer's head position on passive drag," *Journal of Human Kinetics*, 49(1), pp. 37–45. Available at: <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0106>.
- Ferryanto, F., Mahyuddin, A.I. and Nakashima, M. (2022) "Markerless Optical Motion Capture System for Asymmetrical Swimming Stroke," *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 54(5). Available at: <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2022.54.5.3>.
- Joel H. Ferziger, Milovan Perić, R.L.S. (2019) *Computational Methods for Fluid Dynamics*. 4th ed, Springer Cham. 4th ed. Springer Cham. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-99693-6>.
- Komen, E.M.J. *et al.* (2021) "A symmetry-preserving second-order time-accurate PISO-based method," *Computers & Fluids*, 225, p. 104979. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.COMPFLUID.2021.104979>.
- Manshahia, M., Das, A. and Alagirusamy, R. (2016) "Smart coatings for sportswear," *Active Coatings for Smart Textiles*, pp. 355–374. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100263-6.00015-0>.
- Marinho, D.A. *et al.* (2009) "Hydrodynamic drag during gliding in swimming," *Journal of Applied Biomechanics*, 25(3), pp. 253–

257. Available at: <https://doi.org/10.1123/JAB.25.3.253>.
- Mehulkumar (2025) *Computational Fluid Dynamic in Swimming, Fflow Thermo Lan*.
- Mullen, J. (2018) *Swimming Science*. first. Edited by G. Mullen. The University of Chicago Press.
- Rozanova-pierrat, A. (2006) "Mathematical analysis of equation," 12(1), pp. 13–25.
- Sato, Y. and Hino, T. (2013) "A computational fluid dynamics analysis of hydrodynamic force acting on a swimmer's hand in a swimming competition," *Journal of Sports Science and Medicine*, 12(4), pp. 679–689.
- SATO, Y. and HINO, T. (2010) "CFD simulation of flows around a swimmer in a prone glide position," *Suiei Suichu Undo Kagaku*, 13(1), pp. 1–9. Available at: <https://doi.org/10.2479/swex.13.1>.
- Scurati, R., Gatta, G., Michielon, G., & Cortesi, M. (2019) "NoTechniques and considerations for monitoring swimmers' passive drag," *Journal of Sports Sciences*, Volume 37,(Issue 10), pp. 1168–1180. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1547099>.
- Serra, N. and Semiao, V. (2021) "ESIMPLE, a new pressure–velocity coupling algorithm for built-environment CFD simulations," *Building and Environment*, 204, p. 108170. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2021.108170>.
- Shuyang Li, Fuwang Zhao, and L.L. (2024) "A review of noteworthy progress and opportunities in swimsuit design," *Sage Journal*, 94(21–22), p. A review of noteworthy progress and opportunities. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/00405175241245123>.
- Tanaka, T. *et al.* (2025) "Vortex structure and fluid force changed by altering whole-body kinematic parameters during underwater undulatory swimming," *Sports Biomechanics*, 24(11), pp. 3159–3172. Available at: <https://doi.org/10.1080/14763141.2023.2233466>.
- Wang, A.X.G. and Kabala, Z.J. (2022) "Body Morphology and Drag in

Swimming: CFD Analysis of the Effects of Differences in Male and Female Body Types," *Fluids*, 7(10), pp. 1–20. Available at: <https://doi.org/10.3390/fluids7100332>.

BIODATA PENULIS



Dr. Sandra Arhesa, S.Si., M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan Jasmani
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Majalengka

Penulis lahir di Tasikmalaya tanggal 19 November 1988. Ia menyelesaikan studi Sarjana Sains (2012), Magister Pendidikan (2015), dan Doktor Pendidikan Olahraga (2025) di Universitas Pendidikan Indonesia. Bidang keahliannya meliputi kepelatihan olahraga, ilmu keolahragaan, dan kesehatan olahraga. Beliau telah menghasilkan banyak karya tulis, termasuk 18 buku (seperti Buku Jago Renang untuk Pemula, Anatomi Olahraga, Kepelatihan Sepak Bola, Anatomi Fisiologi Dasar, Bebas di Lautan: Rahasia *Open Water Swimming* dan *Freediving*, dan Menjelajah Lautan, Merajut Tradisi: Suku Bajo dan Olahraga Air dalam Harmoni Lingkungan, Metodologi Latihan Olahraga Pendakian Gunung, dan Cabang Olahraga), artikel media massa Nasional, serta artikel penelitian terakreditasi Nasional dan Internasional. Arhesa juga aktif di kepengurusan olahraga, sebagai Owner dan Ketua Umum Arhesa Swimming Club, Owner Arhesa Aquatic Club, Sekretaris Umum Akuatik Indonesia Kabupaten Bandung (2017-2021), Bidang Litbang Akuatik Indonesia Kabupaten Bandung (2025-sekarang), Ketua Yayasan Arhesa Pratami, Pengprov Bidang Pemasalan dan Pembudayaan Olahraga FMSI Jawa Barat (2024-sekarang), dan Ketua Umum FPMSI Kabupaten Bandung (2025-sekarang). Beliau dapat dihubungi melalui email: arhesa.reza@gmail.com / 081214408424

BIODATA PENULIS



Dr. Z. Arifin, S.Si., M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan Jasmani
Fakultas Pendidikan Islam dan Keguruan
Universitas Garut

Z. Arifin, lahir di Lebak pada 5 Agustus 1990. Penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Jasmani, Fakultas Pendidikan Islam dan Keguruan (FPIK), Universitas Garut. Penulis menempuh seluruh jenjang pendidikan tingginya di Universitas Pendidikan Indonesia (UPI) Bandung, meliputi Sarjana (S1) Ilmu Keolahragaan, Magister (S2) Pendidikan Olahraga, hingga menyelesaikan gelar Doktor (S3) pada bidang Pendidikan Olahraga. Fokus keilmuan penulis berkaitan erat dengan Sport Coaching dan Akuatik, khususnya Cabang Olahraga Renang.

BIODATA PENULIS



Marhadi, S.Si., M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan Jasmani, Kesehatan dan Rekreasi
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Tadulako

Penulis lahir di Tegal tanggal 29 Agustus 1984. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Jasmani, Kesehatan dan Rekreasi, Universitas Tadulako. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Semarang dan melanjutkan S2 di kampus yang sama pada Jurusan Pendidikan Olahraga. Penulis menekuni bidang Renang baik pembelajaran, kepalatihan dan perwasitan. Sekarang Penulis sedang menyelesaikan studi Doktoralnya di Universitas Negeri Jakarta Jurusan Pendidikan Jasmani.

BIODATA PENULIS



Dr. Fajar Vidya Hartono, S.Pd., M.Pd.

Dosen Fakultas Ilmu Keolahragaan & Kesehatan,
Universitas Negeri Jakarta

Dr. Fajar Vidya Hartono, S.Pd., M.Pd. lahir di Brebes, Jawa Tengah, pada 27 November 1984. Pendidikan dasar dan menengah diselesaikan di Jawa Tengah, kemudian melanjutkan pendidikan Sarjana (S1) pada Program Studi Pendidikan Jasmani, Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Jakarta. Selanjutnya memperoleh gelar Magister Pendidikan Olahraga (S2) dari Program Pascasarjana Universitas Negeri Jakarta dan menyelesaikan Program Doktor (S3) Pendidikan Jasmani di Universitas Negeri Jakarta.

Selain aktif sebagai akademisi, penulis memiliki pengalaman luas sebagai pelatih, wasit, dan *technical official* cabang olahraga renang pada tingkat nasional maupun internasional. Beberapa pengalaman penting yang pernah dijalani antara lain sebagai Pelatih Renang DKI Jakarta, Pelatih Tim Renang Indonesia pada *ASEAN University Games*, Pelatih Indonesia pada *Special Olympics World Games 2015* dan *2019*, *International Technical Official (ITO) Swimming*, serta *Competition Manager* Para Swimming pada Asian Para Games 2018.

Penulis juga aktif dalam organisasi olahraga nasional, termasuk di Pengurus Besar Akuatik Indonesia (PB Akuatik

Indonesia), serta berkontribusi dalam pengembangan olahraga disabilitas melalui berbagai organisasi dan komunitas. Salah satu inisiatif yang dikembangkan adalah pendirian Jakarta Paraswim sebagai wadah pembinaan dan pengembangan olahraga renang bagi penyandang disabilitas.

Bidang kepakaran dan minat penelitiannya meliputi olahraga disabilitas, *sport science*, teknologi olahraga, serta pembinaan prestasi renang. Berbagai hasil penelitian dan pemikirannya telah dipublikasikan dalam jurnal nasional maupun internasional serta dituangkan dalam sejumlah buku ilmiah di bidang keolahragaan. Salah satu fokus penelitiannya adalah pengembangan teknologi adaptif untuk mendukung aktivitas olahraga dan peningkatan prestasi atlet penyandang disabilitas.

Beberapa penghargaan yang pernah diterima antara lain Mahasiswa Berprestasi Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Jakarta, Wisudawan Terbaik Program Studi Pendidikan Jasmani Universitas Negeri Jakarta, Pelatih Berprestasi Kementerian Pemuda dan Olahraga Republik Indonesia, Kolaborator Pembangunan dan Pelayanan Publik Provinsi DKI Jakarta, serta Dosen Terbaik Bidang Riset Inovatif Universitas Negeri Jakarta.

Melalui kegiatan pendidikan, penelitian, pengabdian kepada masyarakat, dan pembinaan olahraga prestasi, penulis terus berkomitmen untuk mengembangkan ilmu keolahragaan, khususnya dalam bidang olahraga disabilitas, teknologi olahraga, dan peningkatan prestasi atlet melalui pendekatan ilmiah yang inovatif dan berkelanjutan.

BIODATA PENULIS



Dr. Nur Indah Pangastuti, S.Pd., M.Or.

Dosen Program Studi Pendidikan Kepelatihan Olahraga
Fakultas Ilmu Keolahragaan dan Kesehatan
Universitas Negeri Yogyakarta

Penulis lahir di Jakarta tanggal 22 April 1983. Penulis merupakan dosen tetap pada Departemen Pendidikan Kepelatihan Olahraga, Fakultas Ilmu Keolahragaan dan Kesehatan, Universitas Negeri Yogyakarta. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Kepelatihan Olahraga, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Negeri Sebelas Maret (UNS) pada tahun 2005. Kemudian melanjutkan Pendidikan S2 pada Jurusan Ilmu Keolahragaan Pascasarjana UNS dan lulus pada tahun 2008. Program doktor Prodi Ilmu Keolahragaan UNY diselesaikan pada tahun 2025. Fokus bidang ilmu penulis pada kepelatihan renang dengan pengajaran pada kepelatihan renang serta kepelatihan adaptif. Minat penelitian pada olahraga adaptif, sport science kepelatihan renang, serta psikologi dan sosiologi olahraga.