Kemendikdasmen

#PENDIDIKAN BERMUTU UNTUK SEMUA

KEMENDIKDASMEN RAMAH

2026

KAJIAN LABOLATORIUM KOMPUTER

Bagi Satuan Pendidikan terdampak Bencana Jenjang SMP







KEMENTERIAN PENDIDIKAN DASAR DAN MENENGAH.
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN ANAK USIA DINI, PENDIDIKAN DASAR, PENDIDIKAN NONFORMAL DAN INFORMAL
2026

Kemendikdasmen

#PENDIDIKAN BERMUTU UNTUK SEMUA

KEMENDIKDASMEN RAMAH

2026

KAJIAN LABOLATORIUM KOMPUTER

Bagi Satuan Pendidikan terdampak Bencana Jenjang SMP









Kata Sambutan

Gogot Suharwoto, S.Pd., M.Ed., Ph.D.

Direktur Jenderal Pendidikan Anak Usia Dini, Pendidikan Dasar, dan Pendidikan Nonformal dan Informal

"Lebih dari sebuah fasilitas teknologi, laboratorium komputer membuka kesempatan bagi murid untuk mengembangkan literasi digital, berpikir komputasional, memecahkan masalah, dan menghasilkan karya"

Bencana dapat mengubah banyak hal dalam waktu yang sangat singkat. Ruang belajar rusak, perangkat tidak lagi dapat digunakan, jaringan terputus, dan kegiatan yang sebelumnya berlangsung setiap hari harus berhenti. Namun di tengah situasi seperti itu, pendidikan tidak boleh kehilangan arah. Anak-anak tetap memiliki hak untuk belajar, bertumbuh, dan memperoleh kesempatan yang sama untuk menyiapkan masa depannya.

Pemulihan pendidikan karena itu tidak cukup dimaknai sebagai mengembalikan apa yang hilang. Kita perlu membangun kembali dengan lebih cermat, lebih tangguh, dan lebih siap menghadapi berbagai kemungkinan di masa depan. Dalam konteks laboratorium komputer, pemulihan harus memperhatikan keterpaduan antara perangkat, ruang, kelistrikan, jaringan, keamanan, sumber daya manusia, serta tata kelola agar fasilitas yang tersedia benar-benar dapat digunakan untuk pembelajaran.

Kajian Analisis Kebutuhan Perangkat Laboratorium Komputer untuk Satuan Pendidikan SMP Terdampak Bencana disusun sebagai dasar bagi pengambilan keputusan yang lebih berbasis kebutuhan. Setiap sekolah memiliki tingkat kerusakan, kesiapan infrastruktur, dan kebutuhan yang berbeda. Karena itu, proses pemulihan perlu dilakukan secara terukur dan adaptif agar sumber daya yang kita hadirkan tepat sasaran serta memberikan manfaat yang berkelanjutan.

Lebih dari sebuah fasilitas teknologi, laboratorium komputer membuka kesempatan bagi murid untuk mengembangkan literasi digital, berpikir komputasional, memecahkan masalah, menghasilkan karya, mengakses pengetahuan, dan mengikuti berbagai bentuk pembelajaran serta asesmen berbasis teknologi. Kesempatan seperti inilah yang harus kembali kita hadirkan secepat mungkin setelah bencana, terutama bagi anak-anak yang pada saat bersamaan sedang berusaha membangun kembali kehidupan mereka.

Saya berharap kajian ini memperkuat kerja bersama pemerintah pusat, pemerintah daerah, satuan pendidikan, dan seluruh pemangku kepentingan dalam membangun layanan pendidikan yang semakin tangguh. Kita mungkin tidak dapat menghindarkan setiap sekolah dari datangnya bencana, tetapi kita dapat mempersiapkan sistem pendidikan yang mampu bertahan, pulih, dan kembali melayani anak-anak dengan lebih baik.

Sebab membesarkan pendidikan Indonesia juga berarti memastikan bahwa ketika keadaan paling sulit datang, kesempatan seorang anak untuk belajar dan bermimpi tidak ikut hilang.

Jakarta, Juli 2026
Direktur Jenderal Pendidikan Anak Usia Dini, Pendidikan Dasar, dan Pendidikan Nonformal dan Informal

Gogot Suharwoto, S.Pd., M.Ed., Ph.D.

Kata Pengantar



Direktur Sekolah Menengah Pertama
Dr. Maulani Mega Hapsari, S.IP., M.A

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas tersusunnya Kajian Analisis Kebutuhan Perangkat Laboratorium Komputer untuk Satuan Pendidikan SMP Terdampak Bencana sebagai salah satu upaya mendukung pemulihan dan keberlanjutan layanan pendidikan pada satuan pendidikan yang terdampak bencana.silitas.

Bencana dapat menyebabkan kerusakan tidak hanya pada perangkat komputer, tetapi juga pada ruang laboratorium, instalasi kelistrikan, jaringan, furnitur, serta fasilitas pendukung lainnya. Kondisi tersebut memerlukan upaya pemulihan yang terencana agar fasilitas teknologi dapat kembali digunakan secara aman, efektif, dan sesuai dengan kebutuhan pembelajaran.

Laboratorium komputer memiliki peran penting dalam mendukung pembelajaran Informatika, penguatan literasi dan kompetensi digital, pembelajaran berbasis teknologi pada berbagai mata pelajaran, serta pelaksanaan asesmen berbasis komputer. Oleh karena itu, pemenuhan kebutuhannya perlu memperhatikan tidak hanya jumlah dan spesifikasi perangkat, tetapi juga kesiapan infrastruktur, keamanan, aksesibilitas, tata kelola, dan keberlanjutan pemanfaatannya.

Kajian ini menyajikan analisis mengenai kebutuhan laboratorium komputer bagi SMP terdampak bencana, termasuk karakteristik perangkat, infrastruktur pendukung, kebutuhan pembelajaran, serta aspek pengelolaan dan pemeliharaan. Diharapkan kajian ini dapat menjadi bahan pertimbangan bagi pemerintah daerah, satuan pendidikan, dan pemangku kepentingan dalam merencanakan pemulihan serta penyediaan laboratorium komputer yang tepat sasaran, efektif, dan sesuai dengan kondisi satuan pendidikan.

Kami menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan kajian ini. Semoga kajian ini memberikan manfaat dalam mendukung terwujudnya layanan pendidikan yang aman, inklusif, adaptif, dan berkelanjutan serta memperluas kesempatan peserta didik untuk memperoleh akses terhadap pembelajaran berbasis teknologi.

Jakarta, Juli 2026
Direktur Sekolah Menengah Pertama,

Dr. Maulani Mega Hapsari, S.IP., M.A

Tim Penyusun

01 Pengarah

1. Dr. Maulani Mega Hapsari, S.IP., M.A. : Direktur Sekolah Menengah Pertama
2. Cepy Lukman Rusdiana, S.Kom., M.Si. : Kasubdit Sarana Prasarana dan Tata Kelola
3. Roelly Herdyanto, S.E., M.Si. : Kasubbag Tata Usaha
4. Hendro Sucipto, S.Kom. : PPK Digitalisasi

02 Penyusun

1. Taufik Sugih Hendayana, S.Kom.
2. Bambang Subeno, S.T., M.Kom.
3. Yustiandi, M.Pd.
4. Muhammad Ali, S.Kom.
5. Sari Narulita, S.Pd., M.T.
6. Dela Chaerani, S.Kom., M.Kom., M.Si
7. Iman Budiman, S.Kom.
8. Satria Ade Putra, S.Kom.
9. Siti Zaenab Sanusi, S.Pd.
10. Ahmad Sidik, S.Fil.I.
11. Wahyu Atmadi, S.Sos.
12. Solehkun Kodir, S.Pd., M.T.

03 Penata Letak

Muchlis Chaeran Sobirin

Daftar Isi

	Kata Sambutan	i
	Kata Pengantar	iii
	Daftar Isi	v
	Daftar Gambar	vi
	Daftar Tabel	vii
01	**Pendahuluan**	
	1.1 Latar Belakang	2
	1.2 Landasan Hukum	3
	1.3 Maksud dan Tujuan	5
	1.4 Ruang Lingkup	5
02	**Peranan Peralatan Pembelajaran PJOK**	
	2.1 Pengertian, Peran, Fungsi, Jenis dan Klasifikasi	9
	2.2 Dinamika terhadap Tuntutan Kurikulum dan Teknologi	13
	2.3 Ciri-Ciri Peralatan Berkualitas	15
03	**Pengelolaan Peralatan Pembelajaran PJOK**	
	3.1 Perencanaan dan Identifikasi Kebutuhan	21
	3.2 Standarisasi dan Paket Alat	30
	3.3 Klasifikasi dan Pengelolaan Operasional	38
	3.4 Logistik, Penyimpanan, dan Pemeliharaan	41
	3.5 Peningkatan Kapasitas Guru (Capacity Building)	47
04	**Supervisi, Monitoring, dan Evaluasi**	
	4.1 Perencanaan dan Identifikasi Kebutuhan	51
	4.2 Standarisasi dan Paket Alat	52
05	**Penutup**	53
	Daftar Pustaka	55

Daftar Gambar

Gambar 1 Kerucut Pengalaman Dale Dale (1969:180) [5] 13

Daftar Tabel

Tabel 1.1	Gambaran Risiko dan Dampak Bencana terhadap Sektor Pendidikan	25
Tabel 1.2	Satuan Pendidikan Terdampak Bencana di Sumatera Berdasarkan Jenjang	26 27
Tabel 2.1	Komponen Ekosistem Laboratorium Komputer SMP 20	29
Tabel 2.2	Karakteristik Kebutuhan Laboratorium Komputer SMP Pascabencana	30
Tabel 2.3	Perkembangan Generasi Processor Intel® Core™ i3 (Relevan per 2026)	35 37
Tabel 2.4	Perkembangan Generasi Processor Intel® Core™ i5 (Relevan per 2026)	39
Tabel 2.5	Perkembangan Generasi Processor AMD Ryzen™ 5 (Relevan per 2026)	39
Tabel 2.6	Daftar kompatibilitas RAM untuk prosesor kelas Laboratorium TIK	41
Tabel 2.7	Perbandingan Teknologi Penyimpanan (Relevan per 2026)	42
Tabel 2.8	Komparasi Standar Monitor Laboratorium TIK (Relevan per 2026)	46
Tabel 2.9	Ringkasan Periferal dan Konektivitas	
Tabel 3.1	Perbandingan CPU Berdasarkan 4 Core / 8 Thread	
Tabel 3.2	Perbedaan Jenis RAM	
Tabel 3.3	Perbandingan HDD dan SSD	
Tabel 3.4	Kecepatan Baca Sequential Umum	
Tabel 3.5	Perbandingan Teknologi Panel Layar	
Tabel 3.6	Kategori Kamera Laptop/PC	
Tabel 3.7	Aspek Kamera Laptop/PC yang Perlu Diperhatikan	
Tabel 3.8	Rumusan Spesifikasi Kamera Laptop/PC	
Tabel 3.9	Aspek Audio Laptop/PC Pembelajaran	
Tabel 3.10	Rumusan Spesifikasi Audio Laptop/PC Pembelajaran	
Tabel 3.11	Rekomendasi Konektivitas Laptop/PC/PC Pembelajaran	

01

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Indonesia merupakan wilayah geografis dengan tingkat kerentanan tinggi terhadap berbagai jenis bencana alam yang berdampak sistemik pada keberlangsungan layanan pendidikan. Ketika bencana terjadi, laboratorium komputer sebagai ekosistem TIK yang kompleks menjadi komponen yang paling rentan mengalami kerusakan total. Kerentanan ini tidak hanya disebabkan oleh kerusakan fisik perangkat, tetapi juga oleh rusaknya ketergantungan terhadap infrastruktur pendukung, seperti listrik, jaringan lokal, dan stabilitas ruang yang sering kali tidak dapat pulih seketika. Oleh karena itu, diperlukan suatu model pemulihan yang tidak sekadar bersifat penggantian perangkat, melainkan pemulihan fungsi ekosistem laboratorium secara utuh agar dapat kembali beroperasi dalam kondisi lingkungan yang sesuai harapan.

Kerentanan sektor pendidikan terhadap bencana bersifat luas dan sistemik. Data Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah menunjukkan bahwa 126.679 satuan pendidikan atau 46,5% dari sekitar 272 ribu satuan pendidikan di Indonesia berada pada wilayah dengan risiko bencana sedang dan tinggi (Puslapdik Kemendikdasmen, 2026). Sementara itu, Badan Nasional Penanggulangan Bencana mencatat 3.472 kejadian bencana sepanjang tahun 2024 yang mengakibatkan 8.136.271 orang menderita dan mengungsi serta merusak 612 fasilitas pendidikan (BNPB, 2025). Berdasarkan data tersebut, terhambatnya layanan pendidikan akibat bencana bukanlah suatu peristiwa yang terjadi secara acak atau sesekali saja. Sebaliknya, hal ini adalah ancaman yang terus berulang, sehingga menuntut adanya persiapan yang matang untuk memulihkan fasilitas yang terdampak.

Tabel 1.1 Gambaran Risiko dan Dampak Bencana terhadap Sektor Pendidikan

Indikator	Nilai	Periode/Keterangan	Sumber
Satuan pendidikan pada wilayah berisiko bencana sedang dan tinggi	126.679 satuan pendidikan (46,5%)	Data nasional yang disampaikan pada PRB 2025	Puslapdik Kemendikdasmen (2026)
Jumlah kejadian bencana	3.472 kejadian	Januari-Desember 2024	BNPB (2025)
Penduduk menderita dan mengungsi	8.136.271 orang	Dampak bencana tahun 2024	BNPB (2025)
Fasilitas pendidikan rusak	612 unit	Dampak bencana tahun 2024	BNPB (2025)

Kejadian banjir dan tanah longsor yang melanda wilayah Sumatera pada akhir tahun 2025 dapat menjadi salah satu contoh ilustrasi empiris mengenai dampak bencana terhadap jenjang SMP. Tercatat sebanyak 566 satuan pendidikan jenjang SMP mengalami kerusakan fasilitas, yang berdampak langsung pada terhentinya akses pembelajaran bagi 238.305 murid. Kasus ini merupakan representasi empiris dari pola gangguan yang dapat terjadi di wilayah manapun di Indonesia.

Data tersebut menegaskan bahwa gangguan layanan pendidikan pada jenjang SMP pascabencana membutuhkan intervensi teknis yang terukur, terkoordinasi, dan berbasis pada kondisi lapangan yang spesifik di setiap satuan pendidikan. Kondisi serupa merupakan pola risiko yang akan dihadapi oleh satuan pendidikan di berbagai wilayah Indonesia dengan karakteristik geografis yang berbeda dan wilayah-wilayah yang rentan bencana.

Dalam kerangka pemulihan layanan pendidikan pascabencana tersebut, laboratorium komputer memiliki peran sentral sebagai sistem pendukung pembelajaran yang kompleks. Keberadaan laboratorium komputer memiliki fungsi strategis dalam mendukung pembelajaran Informatika, pelaksanaan asesmen berbasis komputer, penguatan literasi digital, pengembangan kemampuan berpikir komputasional, dan akses terhadap sumber belajar digital. Literasi digital tidak hanya berkaitan dengan kemampuan mengoperasikan perangkat, tetapi juga mencakup kemampuan mengakses, mengevaluasi, menggunakan, dan menciptakan informasi secara kritis, bertanggung jawab, dan aman (Govender, 2025). Integrasi teknologi dalam pendidikan juga memerlukan keselarasan antara infrastruktur teknis, kebutuhan kurikulum, dan pendekatan pedagogis yang digunakan pendidik (Audrin & Bertrand, 2022; González-Pérez & Ramírez-Montoya, 2022) Oleh karena itu, upaya rehabilitasi infrastruktur laboratorium pascabencana harus diarahkan pada penguatan keberfungsian ekosistem pembelajaran secara integral, bukan sekadar penggantian komponen fisik secara parsial.

Pemulihan fungsi layanan pendidikan pascabencana memerlukan perencanaan yang sistematis dan terintegrasi. Keberhasilan penyediaan peralatan laboratorium perlu diiringi dengan kesiapan prasarana pendukung, seperti instalasi kelistrikan, jaringan, dan keamanan ruang, sehingga tidak terjadi diskoneksi antara spesifikasi yang dibutuhkan dengan kapasitas lingkungan fisik di lokasi terdampak. Dengan memastikan keselarasan antara perangkat dan lingkungan pendukung, standarisasi teknis yang dikategorikan berdasarkan skala satuan pendidikan dan derajat kerusakan fasilitas menjadi penting, agar setiap infrastruktur yang dibangun dapat segera beroperasi secara optimal dan adaptif terhadap kondisi lingkungan spesifik di lokasi terdampak.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, kajian ini disusun sebagai dasar teknis dan strategis dalam perencanaan kebutuhan laboratorium komputer bagi SMP yang terdampak bencana. Hasil kajian ini diharapkan mampu memberikan kerangka kerja yang sistematis bagi pengambil kebijakan dan satuan pendidikan dalam memetakan kebutuhan, mengidentifikasi prioritas rehabilitasi infrastruktur, serta merumuskan standar pemulihan yang efektif, adaptif terhadap kondisi lapangan, dan berkelanjutan dalam mendukung proses pembelajaran.

1.2 TUJUAN KAJIAN

Kajian ini bertujuan untuk menyusun landasan analisis mengenai kebutuhan infrastruktur laboratorium komputer pada satuan pendidikan jenjang SMP yang terdampak bencana. Secara khusus, tujuan kajian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis kebutuhan infrastruktur laboratorium komputer pada SMP terdampak bencana untuk menjamin keberlangsungan layanan pembelajaran, asesmen digital, serta pengembangan literasi digital bagi peserta didik.

2. Mengidentifikasi kebutuhan teknis dan pedagogis dalam pemulihan layanan laboratorium, baik untuk kegiatan pembelajaran individu, kelompok, maupun kolaboratif pasca-bencana.

3. Mengkaji parameter teknis laboratorium komputer yang adaptif terhadap kondisi pasca-bencana, meliputi spesifikasi perangkat, performa perangkat, kapasitas memori, jenis dan kapasitas penyimpanan, ukuran layar, konektivitas, port, kamera, audio, keamanan, dan kemudahan pengelolaan.

4. Mengidentifikasi faktor pendukung yang diperlukan agar laboratorium komputer dapat dimanfaatkan secara optimal, termasuk jaringan internet, listrik, sistem penyimpanan, mekanisme peminjaman, pemeliharaan, keamanan perangkat, dan dukungan teknis.

5. Menyusun rekomendasi standar spesifikasi teknis minimal bagi SMP terdampak bencana yang bersifat netral, tidak mengarah pada merek tertentu, serta berbasis pada kebutuhan pembelajaran.

6. Memberikan masukan arah kebijakan rehabilitasi infrastruktur laboratorium komputer yang efektif, efisien, akuntabel, dan berkelanjutan dalam mendukung ekosistem pembelajaran digital.

1.3 RUANG LINGKUP

Ruang lingkup kajian ini meliputi:

1. Analisis Spesifikasi Teknis:

   Standar spesifikasi perangkat meliputi perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) yang bersifat adaptif dan dapat disesuaikan dengan kondisi lingkungan sekolah pasca-bencana.

2 Kesiapan Infrastruktur Ekosistem/Penunjang:

Standar pendukung laboratorium meliputi kelistrikan, jaringan, dan tata ruang laboratorium yang aman.

3 Manajemen, Tata Kelola, dan Keberlanjutan:

Skema pemeliharaan, manajemen aset, dan prosedur operasional bagi sekolah dengan kondisi khusus.

1.4 MANFAAT KAJIAN

Kajian ini diharapkan memberikan manfaat bagi berbagai pemangku kepentingan dalam merumuskan, merencanakan, dan memanfaatkan Laboratorium Komputer pada satuan pendidikan jenjang SMP yang terdampak bencana.

1 Bagi Pemerintah Pusat dan Pemerintah Daerah

Kajian ini menjadi rujukan strategis dalam merumuskan kebijakan rehabilitasi infrastruktur teknologi pendidikan yang berbasis pada pemetaan kebutuhan. Hasil kajian diharapkan dapat membantu dalam mempertimbagkan pengambilan kebijakan dalam menentukan prioritas rehabilitasi dengan mempertimbangkan skala kerusakan, urgensi fungsionalitas, integrasi prasarana penunjang, serta keberlanjutan pemanfaatan perangkat di masa depan. Kajian ini juga menjadi instrumen untuk mengarahkan alokasi sumber daya agar tepat sasaran, efektif, dan memiliki daya ungkit tinggi terhadap mutu pembelajaran pasca-bencana.

2 Bagi Satuan Pendidikan

Bagi satuan pendidikan, kajian ini berfungsi sebagai panduan teknis dalam memetakan kebutuhan infrastruktur laboratorium. Sekolah dapat menggunakan hasil kajian ini untuk menilai kesiapan ruang, mengidentifikasi infrastruktur (seperti daya listrik atau jaringan), serta merancang strategi pemulihan yang berfokus pada keberfungsian sistem. Selain itu, kajian ini membantu sekolah dalam membangun tata kelola laboratorium yang lebih efektif, termasuk prosedur pemeliharaan, manajemen aset, dan protokol keamanan perangkat untuk meminimalisasi risiko kerusakan di masa mendatang.

3 Bagi Guru dan Tenaga Kependidikan

Kajian ini memberikan gambaran komprehensif mengenai integrasi TIK ke dalam pedagogi yang aktif, kolaboratif, dan kontekstual. Dengan pemahaman mengenai peran laboratorium sebagai ekosistem pembelajaran, pendidik dapat lebih optimal dalam memanfaatkan perangkat digital untuk menyediakan sumber belajar yang beragam, menyelenggarakan asesmen berbasis digital, serta memfasilitasi pembelajaran yang adaptif. Selain itu, kajian ini menjadi dasar pengembangan kapasitas tenaga pendidik dalam pengelolaan kelas berbasis teknologi dan pemeliharaan perangkat dasar untuk menjamin kelancaran aktivitas belajar-mengajar.

4 Bagi Peserta Didik

Bagi peserta didik, pemulihan laboratorium komputer yang terencana dengan baik menjamin terpenuhinya hak akses terhadap sumber belajar digital, pengembangan literasi teknologi, serta peluang untuk berkolaborasi dan berkarya. Infrastruktur yang dirancang dengan prinsip resiliensi memastikan bahwa proses pembelajaran, termasuk pelaksanaan asesmen digital, tetap berjalan secara berkelanjutan. Hal ini secara langsung mendukung kesiapan peserta didik dalam menghadapi tuntutan kompetensi abad ke-21.

1.5 SASARAN PRIORITAS PEMULIHAN

Intervensi pemulihan infrastruktur laboratorium komputer diprioritaskan bagi satuan pendidikan jenjang SMP yang mengalami gangguan operasional akibat bencana alam dan memiliki kebutuhan mendesak untuk memulihkan fungsi layanan pembelajaran serta asesmen digital. Penentuan satuan pendidikan sasaran didasarkan pada kriteria objektif yang meliputi:

1 Tingkat Kerusakan Infrastruktur:

Satuan pendidikan yang mengalami kerusakan sarana dan prasarana (ruang, kelistrikan, jaringan, atau perangkat komputasi) akibat bencana, dengan prioritas diberikan kepada sekolah yang mengalami gangguan fungsi laboratorium secara signifikan.

2 Urgensi Keberlangsungan Layanan:

Satuan pendidikan yang membutuhkan pemulihan fungsi laboratorium segera guna menjamin keberlangsungan kegiatan pembelajaran Informatika dan pelaksanaan asesmen digital (ANBK) bagi peserta didik.

3 Kesiapan Ekosistem:

Satuan pendidikan yang memiliki kesiapan infrastruktur pendukung sehingga intervensi rehabilitasi dapat memberikan dampak fungsional yang optimal dan berkelanjutan. Serta mempertimbangkan aspek aksesibilitas, keamanan, rencana pemeliharaan jangka panjang.



Kondisi Lab Komputer

DI BALIK SETIAP LAYAR KOMPUTER

ada ide besar yang siap diwujudkan

02

KAJIAN TEORITIS DAN KEBIJAKAN

2.1 LANDASAN REGULASI SARANA DAN PRASARANA PENDIDIKAN

Penyediaan laboratorium komputer bagi satuan pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) yang terdampak bencana merupakan bagian dari upaya pemerintah untuk menjamin keberlangsungan layanan pendidikan, memenuhi kebutuhan sarana pembelajaran, dan memulihkan fungsi pendidikan secara efektif. Oleh karena itu, pemenuhan laboratorium komputer tidak hanya dipahami sebagai pengadaan perangkat, tetapi sebagai penyediaan ekosistem sarana dan prasarana yang memungkinkan proses pembelajaran dapat kembali berlangsung secara aman, layak, dan berkelanjutan. Pendekatan ini juga sejalan dengan arah kajian yang menempatkan laboratorium komputer sebagai fasilitas yang terdiri atas perangkat komputasi, jaringan, kelistrikan, perangkat lunak, ruang, keamanan, serta sistem pengelolaan dan pemeliharaan.

Secara normatif, penyelenggaraan pendidikan mengacu pada Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional, yang menegaskan bahwa setiap satuan pendidikan perlu menyediakan sarana dan prasarana yang sesuai dengan kebutuhan pendidikan peserta didik. Ketentuan tersebut diperkuat melalui Peraturan Pemerintah Nomor 57 Tahun 2021 tentang Standar Nasional Pendidikan sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Pemerintah Nomor 4 Tahun 2022. Regulasi tersebut menempatkan standar sarana dan prasarana sebagai salah satu komponen penting dalam menjamin mutu penyelenggaraan pendidikan (Pemerintah Republik Indonesia, 2003, 2021, 2022).

Pengaturan yang lebih spesifik mengenai sarana dan prasarana pendidikan terdapat dalam Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 22 Tahun 2023 tentang Standar Sarana dan Prasarana pada Pendidikan Anak Usia Dini, Jenjang Pendidikan Dasar, dan Jenjang Pendidikan Menengah. Regulasi tersebut menekankan bahwa penyediaan sarana dan prasarana perlu mempertimbangkan fungsi pembelajaran, karakteristik peserta didik, keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan aksesibilitas (Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia, 2023). Dalam konteks laboratorium komputer, ketentuan tersebut memberikan dasar bahwa pemenuhan perangkat TIK harus disertai kesiapan ruang, kelistrikan, jaringan, keamanan, dan fasilitas pendukung lainnya agar dapat digunakan sesuai dengan fungsi pembelajaran.

Khusus untuk satuan pendidikan terdampak bencana, kebijakan pemenuhan sarana pendidikan perlu memperhatikan Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Nomor 33 Tahun 2019 tentang Penyelenggaraan Program Satuan Pendidikan Aman Bencana. Regulasi tersebut menekankan perlindungan warga satuan pendidikan serta keberlangsungan layanan pendidikan dalam situasi darurat dan pascabencana (Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia, 2019).

Dengan demikian, pemulihan laboratorium komputer tidak cukup dilakukan berdasarkan jumlah perangkat yang rusak atau hilang, tetapi perlu mempertimbangkan tingkat kerusakan fasilitas, kondisi ruang, kesiapan kelistrikan dan jaringan, kebutuhan pembelajaran, serta risiko terjadinya kerusakan kembali.

Berdasarkan kerangka regulasi tersebut, penyediaan laboratorium komputer bagi SMP terdampak bencana perlu dilaksanakan berdasarkan prinsip tepat sasaran, efektif, efisien, transparan, akuntabel, aman, dan berkelanjutan. Penetapan kebutuhan hendaknya menggunakan kondisi aktual satuan pendidikan sebagai dasar pengambilan keputusan sehingga bentuk bantuan dapat berbeda sesuai tingkat kerusakan dan kesiapan masing-masing sekolah. Sekolah yang masih memiliki ruang, listrik, dan jaringan yang berfungsi dapat membutuhkan penggantian perangkat, sedangkan sekolah dengan kerusakan prasarana yang lebih berat memerlukan pemulihan infrastruktur terlebih dahulu atau secara terpadu dengan penyediaan perangkat. Pendekatan tersebut mendukung tujuan kajian dalam menghasilkan rekomendasi kebutuhan laboratorium komputer yang berbasis fungsi pembelajaran dan tidak semata-mata berorientasi pada jumlah aset.

2.1.1 PENGERTIAN LABORATORIUM KOMPUTER

Laboratorium komputer dalam kajian ini didefinisikan sebagai ruang atau fasilitas pembelajaran yang dilengkapi dengan perangkat komputasi, perangkat lunak, jaringan, kelistrikan, furniture, dan sarana pendukung lainnya yang digunakan secara terencana untuk kegiatan pembelajaran, pengembangan kompetensi digital, pengolahan informasi, praktik Informatika, serta pelaksanaan asesmen berbasis komputer.

Pengertian tersebut sejalan dengan ketentuan standar sarana dan prasarana pendidikan yang menempatkan sarana sebagai segala sesuatu yang dapat digunakan untuk mendukung proses pembelajaran dan prasarana sebagai fasilitas dasar yang diperlukan untuk menjalankan fungsi satuan pendidikan. Ketentuan teknis sarana dan prasarana juga menegaskan pentingnya kesesuaian antara kapasitas ruang, fungsi pembelajaran, keamanan, kesehatan, aksesibilitas, dan kebutuhan pengguna (Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan [BSKAP], 2023; Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi [Kemendikbudristek], 2023a).

Laboratorium komputer memberikan lingkungan belajar yang memungkinkan peserta didik berinteraksi secara langsung dengan teknologi melalui kegiatan praktik, eksplorasi, simulasi, pemecahan masalah, pengolahan data, dan produksi karya digital. Namun, keberadaan perangkat komputer belum dengan sendirinya menunjukkan bahwa suatu laboratorium telah berfungsi. Laboratorium dinyatakan berfungsi apabila perangkat dapat dioperasikan secara aman, terhubung dengan sistem kelistrikan dan jaringan yang memadai, menggunakan perangkat lunak yang sesuai, serta didukung oleh pengelolaan dan pemeliharaan yang berkelanjutan.

2.1.2 FUNGSI LABORATORIUM KOMPUTER PADA JENJANG SMP

Laboratorium komputer pada jenjang SMP berfungsi sebagai sarana pembelajaran yang memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk mengembangkan pengetahuan, keterampilan, dan sikap dalam menggunakan teknologi secara tepat, kritis, aman, kreatif, dan bertanggung jawab. Pemanfaatannya harus diarahkan pada pencapaian tujuan pendidikan dan kebutuhan perkembangan peserta didik, bukan hanya pada kemampuan teknis mengoperasikan perangkat.

Pemerataan tersebut harus diwujudkan melalui pengaturan jadwal yang adil, antarmuka dan perangkat yang mudah digunakan, dukungan bagi peserta didik dengan tingkat kompetensi digital yang berbeda, serta penyediaan akomodasi yang layak bagi peserta didik penyandang disabilitas. Kebijakan nasional mengenai akomodasi yang layak mengharuskan penyediaan dukungan sarana, prasarana, dan layanan pendidikan yang memperhatikan kebutuhan peserta didik penyandang disabilitas (Kemendikbudristek, 2023b).

Berdasarkan uraian tersebut, laboratorium komputer SMP diarahkan untuk menjalankan enam fungsi utama, yaitu:

1. Mendukung pembelajaran Informatika dan berpikir komputasional;
2. Memperkuat literasi dan kompetensi digital peserta didik;
3. Mendukung pembelajaran berbasis teknologi pada berbagai mata pelajaran;
4. Memfasilitasi asesmen berbasis komputer;
5. Mendukung pemulihan dan keberlangsungan layanan pendidikan pascabencana; dan
6. Memperluas pemerataan serta inklusivitas akses terhadap teknologi pembelajaran.

2.1.3 KOMPONEN EKOSISTEM LABORATORIUM KOMPUTER

Laboratorium komputer merupakan ekosistem yang terdiri atas komponen fisik, teknis, pedagogis, dan manajerial. Setiap komponen saling bergantung sehingga kerusakan atau ketidaksiapan salah satu komponen dapat menurunkan keberfungsian laboratorium secara keseluruhan. Standar nasional sarana dan prasarana serta petunjuk teknis turunannya menegaskan bahwa fasilitas pendidikan harus memenuhi persyaratan fungsi, kapasitas, keselamatan, kesehatan, kenyamanan, aksesibilitas, dan kualitas sesuai dengan kebutuhan satuan pendidikan (BSKAP, 2023; Kemendikbudristek, 2023a).

Tabel 2.1 Komponen Ekosistem Laboratorium Komputer SMP

No.	Komponen	Unsur Utama	Fungsi
1	Ruang dan lingkungan	Struktur ruang, ventilasi, pencahayaan, tata letak, dan jalur evakuasi	Menjamin keamanan dan kelayakan lingkungan pembelajaran
2	Perangkat keras	Komputer, monitor, perangkat input, audio, jaringan, dan penyimpanan	Menjalankan kegiatan pembelajaran dan asesmen

3	Perangkat lunak	Sistem operasi, aplikasi pembelajaran, produktivitas, pengelolaan, dan keamanan	Mendukung fungsi pedagogis dan operasional
4	Kelistrikan	Daya, instalasi	Menjamin pengoperasian perangkat secara aman dan stabil
5	Jaringan dan konektivitas	LAN, Wi-Fi, internet, serta sistem lokal atau luring	Mendukung komunikasi data dan akses sumber belajar
6	Furnitur dan aksesibilitas	Meja, kursi, penyimpanan, ruang gerak, dan perangkat bantu	Menjamin kenyamanan, kesehatan, dan inklusivitas
7	Keamanan	Pengamanan ruang, perangkat, akun, jaringan, dan data	Melindungi pengguna, aset, dan informasi

8	Sumber daya manusia		

2.2 LANDASAN TEORITIS PEMANFAATAN LABORATORIUM KOMPUTER MELALUI TAM DAN TPACK

Laboratorium komputer pada satuan pendidikan jenjang Sekolah Menengah Pertama (SMP) merupakan salah satu bentuk sarana pembelajaran berbasis teknologi yang berfungsi untuk mendukung proses pembelajaran, pengembangan kompetensi digital, pengolahan informasi, praktik Informatika, serta pelaksanaan asesmen berbasis komputer.

Dalam konteks penyelenggaraan pendidikan, laboratorium komputer tidak hanya dipahami sebagai ruang yang dilengkapi perangkat komputer, tetapi sebagai suatu ekosistem pembelajaran digital yang terdiri atas perangkat keras, perangkat lunak, jaringan dan konektivitas, sistem kelistrikan, ruang dan furnitur, sistem keamanan, sumber daya manusia, serta mekanisme pengelolaan dan pemeliharaan. Keterpaduan antar komponen tersebut menentukan tingkat keberfungsian laboratorium dalam mendukung proses pendidikan secara efektif, aman, dan berkelanjutan.

Pada jenjang SMP, laboratorium komputer memiliki fungsi strategis dalam mendukung pencapaian kompetensi peserta didik pada berbagai aktivitas pembelajaran. Pemanfaatannya mencakup pembelajaran Informatika dan berpikir komputasional, penguatan literasi serta kompetensi digital, pembelajaran berbasis teknologi pada berbagai mata pelajaran, pelaksanaan asesmen berbasis komputer, pengolahan data dan informasi, simulasi, pemecahan masalah, kegiatan pemrograman, serta produksi karya digital. .

Dalam konteks satuan pendidikan yang terdampak bencana, fungsi laboratorium komputer juga berkaitan dengan pemulihan dan keberlangsungan layanan pendidikan, khususnya ketika sarana teknologi menjadi bagian penting dalam penyelenggaraan pembelajaran dan asesmen

Pemanfaatan laboratorium komputer yang efektif tidak semata-mata ditentukan oleh tingkat ketersediaan perangkat, tetapi juga oleh kesesuaian teknologi dengan kebutuhan pembelajaran, kesiapan pengguna, dan kapasitas satuan pendidikan dalam mengelola fasilitas tersebut. Perspektif *Technology Acceptance Model* (TAM) menjelaskan bahwa penerimaan dan pemanfaatan teknologi dipengaruhi oleh persepsi pengguna terhadap manfaat teknologi (*perceived usefulness*) dan kemudahan penggunaannya (*perceived ease of use*) (Altan et al., 2024). Dalam konteks pendidikan, kedua aspek tersebut relevan untuk memastikan bahwa perangkat yang disediakan tidak hanya tersedia secara fisik, tetapi juga dapat dimanfaatkan secara efektif oleh guru dan peserta didik dalam mendukung kegiatan pembelajaran (Khong et al., 2022).

Selain aspek penerimaan teknologi, efektivitas pemanfaatan laboratorium komputer juga dipengaruhi oleh kemampuan pendidik dalam mengintegrasikan teknologi dengan strategi pedagogis dan substansi pembelajaran.

Kerangka Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) menekankan pentingnya keterpaduan pengetahuan teknologi, pedagogi, dan materi pembelajaran dalam proses integrasi TIK. Penguasaan ketiga komponen tersebut memungkinkan guru memanfaatkan fasilitas digital secara lebih kontekstual sesuai dengan tujuan pembelajaran, karakteristik mata pelajaran, dan kebutuhan peserta didik (Dinçer, 2024). Dengan demikian, ketersediaan sarana TIK perlu diikuti oleh kesiapan pedagogis agar investasi teknologi dapat memberikan kontribusi yang nyata terhadap kualitas pembelajaran.

Dalam kajian kebutuhan laboratorium komputer, TAM dan TPACK tidak ditempatkan sebagai dasar penentuan spesifikasi teknis perangkat, tetapi sebagai kerangka konseptual untuk menilai kebermanfaatan dan kesiapan pemanfaatan teknologi. Implikasi dari pendekatan tersebut adalah bahwa analisis kebutuhan perlu mempertimbangkan keterkaitan antara kesiapan fasilitas, kesiapan pengguna, serta kesesuaian teknologi dengan kebutuhan kurikulum dan pembelajaran. Pendekatan ini menjadi relevan bagi satuan pendidikan terdampak bencana karena setiap sekolah memiliki tingkat kesiapan yang berbeda, baik dari aspek kondisi infrastruktur, kompetensi guru, kapasitas pengelolaan, maupun akses terhadap jaringan dan layanan pendukung.

Keberfungsian laboratorium komputer juga perlu memperhatikan prinsip aksesibilitas, ergonomi, keselamatan, dan inklusivitas. Aksesibilitas berkaitan dengan kemampuan seluruh peserta didik untuk memperoleh kesempatan yang proporsional dalam memanfaatkan fasilitas, termasuk peserta didik dengan kebutuhan khusus maupun peserta didik dengan tingkat kompetensi digital yang berbeda. Ekosistem pembelajaran digital yang efektif tidak hanya ditentukan oleh kepemilikan perangkat, tetapi juga oleh kualitas akses, dukungan penggunaan, dan keterpaduan komponen dalam lingkungan pembelajaran (Nguyen et al., 2023).

Dari aspek ergonomi dan keselamatan, perancangan laboratorium komputer perlu memperhatikan tata ruang, desain meja dan kursi, posisi layar dan perangkat input, pencahayaan, ventilasi, sistem kelistrikan, serta ruang gerak pengguna. Kesesuaian antara karakteristik fisik fasilitas dan kebutuhan pengguna berpengaruh terhadap kenyamanan, keamanan, serta efektivitas aktivitas pembelajaran. Penelitian mengenai desain fasilitas laboratorium komputer menunjukkan bahwa ketidaksesuaian antara fasilitas kerja dan karakteristik antropometrik pengguna dapat meningkatkan ketidaknyamanan serta risiko gangguan muskuloskeletal (Saha et al., 2024). Oleh karena itu, aspek ergonomi dan keselamatan merupakan bagian integral dari analisis kebutuhan laboratorium dan tidak seharusnya diposisikan sebagai komponen tambahan setelah pengadaan perangkat.

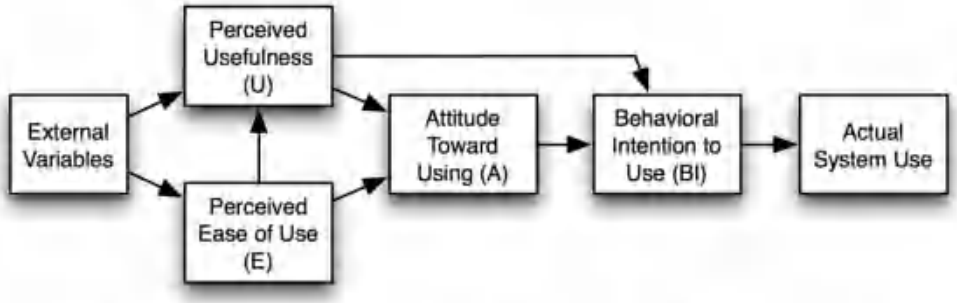
Dalam konteks pascabencana, pemulihan laboratorium komputer perlu berorientasi pada pemulihan fungsi secara menyeluruh. Kerusakan yang terjadi akibat bencana tidak selalu terbatas pada perangkat komputer, tetapi dapat mencakup ruang, jaringan, kelistrikan, sistem keamanan, furniture, dan perangkat pendukung lainnya. Dengan demikian, suatu laboratorium belum dapat dinyatakan pulih hanya berdasarkan tersedianya kembali perangkat komputer. Keberfungsian laboratorium perlu dinilai berdasarkan kemampuan keseluruhan ekosistem untuk mendukung proses pembelajaran secara aman, efektif, dan berkelanjutan. Pendekatan tersebut memberikan dasar bahwa analisis kebutuhan bagi SMP terdampak bencana harus mempertimbangkan kondisi aktual sarana dan prasarana, tingkat kerusakan, kebutuhan pembelajaran, kesiapan infrastruktur, serta kapasitas pengelolaan pada setiap satuan pendidikan.

Berdasarkan uraian tersebut, laboratorium komputer SMP dapat diposisikan sebagai ekosistem sarana pembelajaran digital yang mengintegrasikan aspek teknologi, pedagogi, aksesibilitas, keselamatan, dan tata kelola. Perspektif ini menjadi dasar penting dalam perumusan kebutuhan laboratorium komputer pada satuan pendidikan terdampak bencana sehingga kebijakan pemenuhan sarana tidak hanya berorientasi pada kuantitas perangkat, tetapi terutama pada keberfungsian, efektivitas pemanfaatan, pemerataan akses, dan keberlanjutan layanan pendidikan.

2.2.1 TECHNOLOGY ACCEPTANCE MODEL (TAM) DALAM PEMANFAATAN LABORATORIUM KOMPUTER

Pemanfaatan laboratorium komputer pada satuan pendidikan tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan perangkat dan kesiapan infrastruktur, tetapi juga oleh sejauh mana teknologi tersebut dapat diterima dan digunakan oleh warga sekolah. Dalam konteks ini, Technology Acceptance Model (TAM) relevan digunakan sebagai landasan konseptual untuk menjelaskan penerimaan teknologi oleh guru dan peserta didik. TAM

Menempatkan persepsi kebermanfaatan (perceived usefulness) dan persepsi kemudahan penggunaan (perceived ease of use) sebagai aspek utama yang memengaruhi penerimaan dan kecenderungan pengguna untuk memanfaatkan teknologi secara berkelanjutan (Altan et al., 2024). Kerangka tersebut juga telah ditempatkan dalam draft kajian sebagai dasar untuk menilai apakah fasilitas laboratorium komputer yang tersedia benar-benar dapat dimanfaatkan oleh pengguna, bukan hanya tersedia secara fisik.



Gambar Technology Acceptance Model Framework

Persepsi kebermanfaatan mengacu pada keyakinan pengguna bahwa penggunaan teknologi memberikan manfaat nyata bagi pelaksanaan tugas atau aktivitas yang dilakukan. Dalam konteks laboratorium komputer SMP, kebermanfaatan dapat tercermin dari kemampuan fasilitas untuk mendukung pembelajaran Informatika, pengolahan data dan informasi, eksplorasi sumber belajar digital, penyelesaian tugas, kegiatan proyek, produksi karya digital, serta pelaksanaan asesmen berbasis komputer. Dengan demikian, perangkat yang secara teknis memiliki spesifikasi tinggi belum tentu memiliki nilai kebermanfaatan yang optimal apabila tidak sesuai dengan kebutuhan pembelajaran atau tidak dapat digunakan secara efektif dalam aktivitas pendidikan.

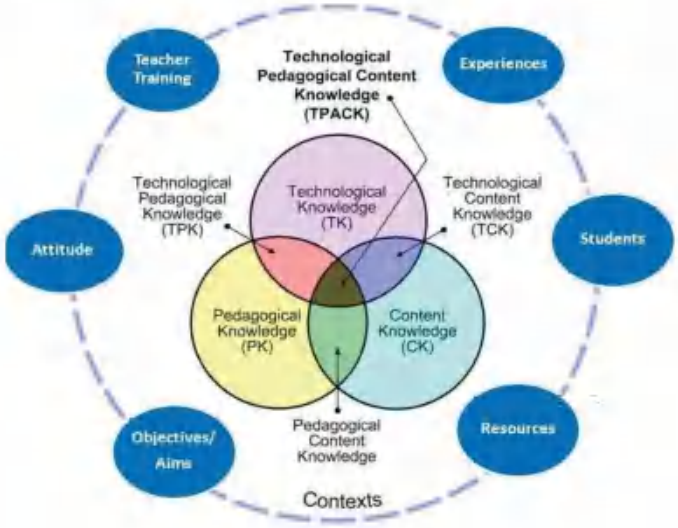
Sementara itu, persepsi kemudahan penggunaan berkaitan dengan tingkat kemudahan yang dirasakan pengguna ketika mengoperasikan teknologi. Pada laboratorium komputer, dimensi tersebut tidak hanya berkaitan dengan antarmuka perangkat lunak, tetapi juga mencakup kemudahan mengakses perangkat, proses autentikasi, penggunaan perangkat input dan output, koneksi terhadap jaringan, serta penyelesaian kendala teknis dasar. Dalam draft kajian, penerapan TAM secara operasional telah diarahkan pada penilaian terhadap keterjangkauan dan aksesibilitas perangkat, kemudahan pengoperasian perangkat lunak, ketersediaan dukungan teknis yang responsif, serta manfaat pembelajaran yang dirasakan pengguna.

Kedua aspek tersebut memiliki keterkaitan dengan keberlanjutan pemanfaatan laboratorium. Guru dan peserta didik cenderung lebih mudah mengintegrasikan teknologi ke dalam aktivitas pembelajaran apabila fasilitas dipersepsikan bermanfaat sekaligus mudah digunakan. Sebaliknya, perangkat yang sulit dioperasikan, sering mengalami gangguan, memiliki antarmuka yang tidak sesuai dengan kebutuhan pengguna, atau tidak didukung oleh mekanisme bantuan teknis berpotensi menurunkan intensitas pemanfaatan meskipun secara kuantitatif tersedia dalam jumlah yang memadai. Khong et al. (2022) menunjukkan pentingnya faktor yang membentuk penerimaan dan keberlanjutan penggunaan teknologi pendidikan. Dalam konteks kajian ini, dukungan teknis menjadi salah satu faktor operasional yang relevan karena keberadaan teknisi atau mekanisme bantuan dapat mengurangi hambatan ketika pengguna menghadapi gangguan perangkat, perangkat lunak, maupun jaringan. Draft kajian juga menempatkan dukungan teknis sebagai komponen yang dapat memperkuat persepsi kemudahan dan kebermanfaatan fasilitas laboratorium komputer.

2.2.2 TECHNOLOGICAL PEDAGOGICAL CONTENT KNOWLEDGE DALAM PEMANFAATAN LABORATORIUM KOMPUTER

Di samping penerimaan teknis, integrasi TIK yang efektif membutuhkan penguasaan pedagogis melalui kerangka *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK). Kerangka TPACK sangat relevan dalam analisis kebutuhan laboratorium komputer untuk menilai sejauh mana guru SMP mampu mentransformasikan fasilitas TIK menjadi sarana pembelajaran yang responsif terhadap karakteristik mata pelajaran dan tahap perkembangan psikologis siswa usia remaja. Dalam lanskap pendidikan modern, TPACK diperlakukan sebagai kerangka kerja utama untuk memahami, mengukur, dan mengembangkan pengetahuan holistik guru dalam memadukan antara,

teknologi, pendekatan pedagogi, dan penguasaan materi konten secara terpadu (Dinçer, 2024).



Gambar 1. technological pedagogical content knowledge Framework

Penerapan TPACK dalam analisis kebutuhan laboratorium komputer juga harus mempertimbangkan variasi kapasitas individu tenaga pendidik di setiap satuan pendidikan. Tingkat penguasaan TPACK guru secara empiris terbukti bervariasi berdasarkan jenjang sekolah, latar belakang pendidikan, masa kerja atau pengalaman mengajar, serta konteks aksesibilitas terhadap fasilitas TIK itu sendiri (Jang et al., 2021). Keterbatasan dan keragaman tingkat TPACK ini membawa implikasi penting bahwa rancangan spesifikasi, tata kelola, dan fasilitas pendukung dalam laboratorium komputer SMP tidak dapat disamaratakan (*one-size-fits-all*) antar-sekolah, melainkan harus disesuaikan dengan profil kesiapan pedagogis guru setempat.

2.3 1. STUDI KOMPARASI & *BEST PRACTICES*

Tata kelola infrastruktur Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) pada jenjang Sekolah Menengah Pertama (SMP) memerlukan tolok ukur (*benchmarking*) melalui analisis komparatif terhadap sistem pendidikan di daerah berkinerja tinggi maupun negara pembanding. Studi komparatif dalam manajemen pendidikan menegaskan bahwa negara-negara dengan kinerja TIK unggul (seperti Singapura, Estonia, dan negara-negara anggota OECD) mengintegrasikan tata kelola laboratorium komputer tidak sebagai unit fisik yang terisolasi, melainkan sebagai bagian integral dari ekosistem transformasi digital nasional yang terstruktur (OECD, 2023). Melalui komparasi sistemik ini, kebijakan pendidikan nasional dapat mengidentifikasi pola tata kelola yang telah teruji dalam merancang standar fasilitas, mekanisme pemeliharaan berkelanjutan, serta optimalisasi pemanfaatan fasilitas komputasi bagi peserta didik usia sekolah menengah (UNESCO, 2022).

Salah satu kunci keberhasilan tata kelola laboratorium komputer di daerah atau negara berkinerja tinggi terletak pada pembagian peran yang jelas dan pembakuan Prosedur Operasional Standar (SOP) antar-pemangku kepentingan. Dalam kerangka tata kelola terpadu, pengelolaan teknis laboratorium tidak dibebankan sepenuhnya kepada guru pengampu mata pelajaran, melainkan didukung oleh unit bantuan teknis terpusat (*centralized IT helpdesk*) atau teknisi profesional terlatih di tingkat klaster sekolah (Oakley et al., 2025). Pola pendampingan teknis yang terstruktur ini terbukti secara signifikan mampu menurunkan beban administratif pendidik, menjamin kesiapan dan keandalan perangkat secara konsisten, serta meningkatkan frekuensi pemanfaatan laboratorium untuk aktivitas pembelajaran praktikum dan asesmen digital (Navarro et al., 2024).

Aspek keberlanjutan finansial dan manajemen siklus hidup (*lifecycle management*) perangkat keras juga menjadi pembeda utama dalam tata kelola di negara pembanding. Daerah dengan kinerja TIK tinggi menerapkan skema penganggaran berbasis daur ulang teknologi (*tech-refreshment cycle*) secara berkala setiap 3 hingga 5 tahun, sehingga dapat mencegah akumulasi perangkat usang (*obsolete*) yang berpotensi menghambat proses belajar (Hashim et al., 2022). Selain itu, tata kelola di wilayah maju secara konsisten memanfaatkan skema Kemitraan Publik-Swasta (*Public-Private Partnerships/PPP*) serta konsorsium antar-sekolah untuk mencapai efisiensi biaya Kebutuhan(*economies of scale*), pengelolaan lisensi perangkat lunak yang legal, serta standarisasi layanan pemeliharaan laboratorium secara kolektif (Evans et al., 2023).

Dalam konteks efisiensi biaya dan keandalan operasional laboratorium komputer SMP, tata kelola modern saat ini mengalami pergeseran paradigma arsitektur TIK, yaitu dari penggunaan server lokal (*local server*) menuju adopsi komputasi awan (*cloud computing*). Pemilihan model arsitektur ini berdampak langsung terhadap perencanaan anggaran pendidikan serta strategi pemeliharaan infrastruktur jangka panjang di sekolah. Komputasi awan menyediakan kerangka kerja fleksibel yang memungkinkan satuan pendidikan mengakses daya komputasi, penyimpanan data, dan aplikasi pembelajaran berbasis web tanpa harus menanggung kompleksitas pengelolaan peladen fisik secara mandiri di lokasi sekolah (Tarasenko et al., 2025).

Evaluasi terhadap model server lokal menunjukkan bahwa pendekatan tradisional ini membutuhkan pengeluaran modal (*Capital Expenditure/CapEx*) yang sangat tinggi di awal, mencakup Kebutuhan Unit server berspesifikasi tinggi, pengkondisian ruang khusus peladen (*server room*), sistem pendingin udara nonstop, serta catu daya bebas gangguan (*Uninterruptible Power Supply/UPS*) (Sison et al., 2025). Di samping itu, server lokal menimbulkan beban pengeluaran operasional (Operational Expenditure/OpEx) berulang untuk perawatan fisik, pembaruan keamanan (security patch) secara manual, serta risiko kerusakan perangkat keras yang tinggi akibat fluktuasi arus listrik. Meskipun server lokal memberikan keunggulan berupa aksesibilitas lokal tanpa ketergantungan pada koneksi internet luar, tingginya biaya pemeliharaan dan cepatnya depresiasi aset menjadikannya kurang efisien bagi mayoritas SMP dengan alokasi anggaran terbatas (Maro et al., 2024).

Sebaliknya, skema cloud computing menawarkan model pembiayaan yang mengalihkan beban pengeluaran modal (CapEx) menjadi biaya operasional berulang (OpEx) berbasis langganan (*subscription-based*) atau pemakaian (pay-as-you-go), yang secara drastis menekan Kebutuhan Investasi awal sekolah (Huang et al., 2023). Dalam model awan, pengelolaan infrastruktur dasar, pembaruan sistem keamanan, dan pencadangan data (backup) dilakukan secara otomatis oleh penyedia layanan, sehingga membebaskan sekolah dari kerumitan teknis serta menekan kebutuhan pembiayaan tenaga ahli TIK tingkat tinggi di tiap sekolah. Walaupun adopsi cloud computing mensyaratkan ketersediaan koneksi internet pita lebar (bandwidth) yang stabil dan perlindungan data pribadi murid yang ketat, model ini memberikan efisiensi biaya jangka panjang yang signifikan serta mendukung fleksibilitas pembelajaran digital (El Koshiry, 2024).

Sintesis antara pembelajaran tata kelola dari negara pembanding dan pemilihan arsitektur TIK yang tepat menjadi landasan strategis dalam merumuskan standar kebutuhan laboratorium komputer SMP di Indonesia. Kombinasi tata kelola profesional yang terstruktur dengan adopsi arsitektur hybrid, yaitu pemanfaatan cloud computing untuk layanan pembelajaran umum dan asesmen yang dipadukan dengan penyimpanan lokal terbatas di wilayah berketerbatasan jaringan, merupakan pendekatan yang paling rasional dan berbiaya efisien (Gu et al., 2025). Landasan teoritis ini memperkuat arah kebijakan bahwa pembangunan laboratorium komputer SMP tidak hanya harus unggul dari segi fungsi pedagogis, tetapi juga harus efisien secara finansial, mudah dirawat, dan adaptif terhadap ketimpangan kondisi infrastruktur antarwilayah

2.3.1 KARAKTERISTIK KEBUTUHAN LABORATORIUM KOMPUTER PASCABENCANA

Kebutuhan laboratorium komputer pada satuan pendidikan SMP terdampak bencana memiliki karakteristik yang berbeda dengan kebutuhan pada kondisi normal. Bencana dapat menimbulkan kerusakan tidak hanya pada perangkat komputer, tetapi juga pada ruang laboratorium, instalasi kelistrikan, jaringan, furnitur, sistem keamanan, dan fasilitas pendukung lainnya. Oleh karena itu, analisis kebutuhan pascabencana perlu menggunakan pendekatan berbasis tingkat kerusakan, keberfungsian fasilitas, kesiapan infrastruktur, serta kebutuhan pemulihan layanan pembelajaran.

Dalam perspektif *Satuan Pendidikan Aman Bencana* (SPAB), pemulihan sarana pendidikan diarahkan untuk menjamin keselamatan warga sekolah sekaligus menjaga keberlangsungan layanan pendidikan pada situasi darurat dan pascabencana (Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia, 2019).

Dengan demikian, pengadaan laboratorium komputer tidak cukup dilakukan melalui penggantian perangkat yang rusak, tetapi perlu memastikan bahwa seluruh komponen pendukung telah memenuhi kondisi yang memungkinkan perangkat digunakan secara aman dan efektif.

Tabel 2.2 Karakteristik Kebutuhan Laboratorium Komputer SMP Pascabencana

Aspek	Kondisi yang Dianalisis	Implikasi Kebutuhan
Kerusakan perangkat	Komputer dan perangkat pendukung rusak, hilang, atau masih dapat digunakan	Menentukan kebutuhan perbaikan atau penggantian perangkat
Kondisi ruang	Tingkat keamanan dan kelayakan ruang laboratorium	Menentukan kesiapan ruang sebelum perangkat ditempatkan
Kelistrikan	Kondisi instalasi, kapasitas daya, dan keamanan sistem listrik	Menentukan kebutuhan pemulihan dan proteksi kelistrikan
Jaringan dan konektivitas	Kondisi LAN, Wi-Fi, dan akses internet	Menentukan kebutuhan pemulihan atau pembangunan jaringan
Kebutuhan pembelajaran	Jumlah peserta didik dan aktivitas pembelajaran yang menggunakan komputer	Menentukan kapasitas dan jumlah perangkat yang diperlukan
Kesiapan pengelolaan	Ketersediaan guru, operator, teknisi, dan mekanisme pemeliharaan	Menentukan dukungan operasional dan keberlanjutan penggunaan
Risiko bencana berulang	Potensi banjir, gempa, longsor, atau ancaman lainnya	Menentukan kebutuhan perlindungan dan peningkatan ketangguhan fasilitas

Sumber : BNPB (2025), BPMP Provinsi Sumatera Utara (2025), Puslapdik *Kemendikdasmen* (2026), dan sintesis draft kajian

Berdasarkan karakteristik tersebut, pemenuhan kebutuhan laboratorium komputer pada SMP terdampak bencana perlu berorientasi pada pemulihan fungsi, bukan hanya penggantian aset. Tingkat dan bentuk intervensi dapat berbeda antar-satuan pendidikan sesuai dengan kondisi kerusakan dan kesiapan masing-masing sekolah. Pendekatan ini memungkinkan bantuan diberikan secara lebih tepat sasaran, aman, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan aktual penyelenggaraan pembelajaran.

2.4 LANDASAN INFRASTRUKTUR TIK

2.4.1 LABORATORIUM KOMPUTER SEBAGAI INFRASTRUKTUR SARANA DAN PRASARANA

Laboratorium komputer dalam struktur pendidikan jenjang SMP merupakan entitas infrastruktur terintegrasi yang berfungsi sebagai episentrum aktivitas pembelajaran berbasis digital. Berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 22 Tahun 2023, laboratorium komputer bukan sekadar unit fisik yang menampung perangkat keras, melainkan sebuah sistem prasarana yang harus memenuhi standar keselamatan, kesehatan, dan aksesibilitas untuk menjamin keberlangsungan proses pendidikan secara berkelanjutan.

Secara konseptual, model laboratorium komputer terpusat (*centralized lab model*) memungkinkan integrasi yang lebih efektif antara perangkat komputasi, infrastruktur jaringan, dan sistem manajemen daya dalam satu lingkungan yang terkendali (Tadesse, 2025). Laboratorium komputer terdiri atas perangkat utama berupa komputer desktop yang digunakan oleh peserta didik, serta didukung oleh prasarana seperti ruang khusus, instalasi jaringan, sistem kelistrikan, dan pengelolaan perangkat yang terpusat (Alhashem & Alfailakawi, 2023).

Model ini memberikan keunggulan strategis dalam hal kontrol supervisi, efisiensi pemeliharaan sistem, serta standarisasi lingkungan belajar yang krusial untuk pelaksanaan asesmen berbasis digital (Berkhout et al., 2024). Dalam perspektif pendidikan modern, laboratorium komputer diklasifikasikan sebagai aset strategis yang mendukung ekosistem pembelajaran digital yang inklusif, kolaboratif, dan adaptif terhadap perkembangan kurikulum (Chukwu et al., 2022).

Dalam konteks pemulihan pascabencana, laboratorium komputer harus dipandang sebagai infrastruktur kritis yang memiliki tingkat ketergantungan sistemik (*systemic interdependence*) yang tinggi. Keberhasilan operasional laboratorium tidak hanya diukur dari ketersediaan perangkat, tetapi dari integritas antara komponen fisik (ruang dan furnitur), komponen teknis (kelistrikan dan jaringan), serta komponen manajerial yang terpadu. Oleh karena itu, pembangunan kembali laboratorium pasca bencana menuntut pendekatan infrastruktur yang resilien, di mana setiap komponen dirancang agar mampu meminimalisasi kegagalan sistematis saat menghadapi tantangan lingkungan yang tidak ideal.

Laboratorium komputer memiliki sejumlah keunggulan dalam implementasinya yaitu (1) memungkinkan kontrol yang tinggi terhadap penggunaan perangkat, baik dari sisi pengawasan guru maupun pengelolaan sistem oleh teknisi (Qawaqneh et al., 2023). Seluruh aktivitas pembelajaran dapat dipantau secara terpusat sehingga meminimalkan penyalahgunaan perangkat. (2) Laboratorium komputer memberikan kemudahan dalam perawatan terpusat (Ochiai et al., 2025).

Seluruh perangkat berada dalam satu lokasi, sehingga proses pemeliharaan, pembaruan sistem, dan pengamanan perangkat dapat dilakukan secara lebih efisien dan terstruktur. (3) Laboratorium komputer dapat digunakan untuk pelaksanaan ujian berbasis komputer (Berkhout et al., 2024), seperti asesmen nasional atau ujian sekolah berbasis digital. Lingkungan yang terstandar dan terkendali mendukung pelaksanaan evaluasi yang lebih tertib dan akuntabel.

Meskipun unggul dalam aspek kontrol dan standarisasi, model tersebut memiliki beberapa keterbatasan diantaranya (1) laboratorium komputer hanya dapat digunakan pada waktu dan kondisi tertentu karena bersifat berbasis ruang (Ye et al., 2024). (2) ketidak fleksibelan penggunaan menjadi kelemahan mendasar dari laboratorium komputer (Hu et al., 2024). (3) Dari sisi utilisasi, laboratorium komputer seringkali tidak dimanfaatkan secara optimal (Ramadhani & Rofiq, 2024). Karena penggunaannya terbatas pada jadwal tertentu, terdapat waktu-waktu di mana fasilitas ini tidak digunakan secara maksimal.

Meskipun terdapat keterbatasan dalam aspek fleksibilitas dan ketergantungan pada ruang, model laboratorium terpusat tetap menjadi standar operasional yang paling rasional dan efisien dalam konteks pemulihan layanan pendidikan pascabencana. Efisiensi dalam pemeliharaan, kemudahan supervisi, serta standarisasi lingkungan kerja yang terkendali untuk kebutuhan asesmen digital merupakan keunggulan yang jauh lebih krusial dibandingkan keterbatasan fleksibilitasnya.

Oleh karena itu, tantangan utama bagi satuan pendidikan bukanlah meninggalkan model laboratorium, melainkan mengoptimalkan fungsionalitasnya melalui manajemen waktu yang lebih dinamis dan pengaturan penjadwalan untuk menjamin pemerataan akses. Dengan menerapkan laboratorium sebagai pusat aktivitas digital yang terkelola, keterbatasan jumlah perangkat dapat diatasi dan tetap mempertimbagkan kualitas pembelajaran, sehingga fungsi utama laboratorium sebagai pemulihan literasi digital dan pusat asesmen tetap terjaga secara berkelanjutan. Sehingga laboratorium dapat diposisikan sebagai fasilitas fisik yang menjadi prasyarat fundamental bagi berjalannya seluruh ekosistem layanan pembelajaran digital di sekolah. Konsep ini merujuk pada konsep bahwa fasilitas pendidikan berfungsi sebagai pusat layanan vital (Filardo, 2016).

2.4.2 PRINSIP STRATEGI PEMILIHAN PERANGKAT KERAS (HARDWARE)

Pemilihan perangkat keras dalam lingkungan pendidikan, khususnya pada satuan pendidikan terdampak bencana, harus didasarkan pada prinsip ketangguhan operasional (*operational resilience*). Dalam konteks pascabencana, perangkat keras tidak hanya dinilai dari performa komputasinya, melainkan juga dari kemampuannya untuk tetap beroperasi secara stabil di bawah kondisi lingkungan yang menantang, seperti fluktuasi pasokan listrik dan kelembaban ruang yang mungkin belum sepenuhnya terkendali. Perangkat keras (hardware) komputer merujuk pada seluruh komponen fisik dan material yang membentuk sebuah sistem komputasi, yang bekerja secara terintegrasi untuk menerima input, memproses instruksi, menyimpan informasi, dan menghasilkan output data (Kurose & Ross, 2021).

Dalam ekosistem pendidikan standar, perangkat keras berfungsi sebagai katalisator utama untuk literasi digital dan pembelajaran interaktif. Menurut Twigg (2015), infrastruktur teknologi dalam kondisi krisis harus dirancang dengan prioritas pada reliabilitas sistem guna meminimalisasi downtime yang dapat menghambat proses pemulihan layanan pendidikan.

Strategi pemilihan perangkat keras harus berpijak pada kerangka *Total Cost of Ownership* (TCO), yaitu sebuah pendekatan analitis untuk menghitung total biaya kepemilikan perangkat selama masa pakainya, yang mencakup biaya pengadaan, biaya operasional (konsumsi daya), biaya pemeliharaan, serta biaya penggantian suku cadang (Sison et al., 2025). Dalam kondisi pascabencana, pemilihan perangkat yang murah di awal namun memiliki biaya perawatan tinggi akan membebani satuan pendidikan dalam jangka panjang. Oleh karena itu, prinsip pemilihan yang diutamakan adalah *durability* (daya tahan) dan *maintainability* (kemudahan perbaikan), di mana komponen perangkat keras yang dipilih memiliki standar industri yang umum sehingga memudahkan ketersediaan suku cadang (*spare parts*).

Standarisasi perangkat memungkinkan interoperabilitas yang lebih baik, efisiensi dalam manajemen, serta penyederhanaan prosedur operasional standar (SOP) perawatan, yang sangat penting bagi sekolah yang memiliki keterbatasan jumlah teknisi atau laboran. Prinsip skalabilitas dan masa pakai (*future-proofing*) juga perlu menjadi pertimbangan penting agar investasi perangkat keras tetap relevan dengan perkembangan kurikulum digital. Pemilihan perangkat harus mempertimbangkan potensi peningkatan beban komputasi di masa mendatang seperti pembaruan sistem operasi dan aplikasi pembelajaran.

2.4.3 PRINSIP STRATEGI PEMILIHAN PERANGKAT LUNAK (SOFTWARE)

Perangkat lunak (*software*) berfungsi sebagai antarmuka pedagogis yang mengoperasionalkan kemampuan komputasi perangkat keras menjadi sarana pembelajaran yang bermakna. Dalam ekosistem laboratorium komputer SMP, pemilihan perangkat lunak tidak hanya didasarkan pada ketersediaan fitur, melainkan pada prinsip legalitas, interoperabilitas, dan keamanan data. Sebagaimana ditegaskan oleh Sommerville (2015), perangkat lunak dalam institusi pendidikan harus dikelola dengan standar integritas tinggi untuk menjamin bahwa seluruh aktivitas digital yang berlangsung di dalamnya mematuhi regulasi hak cipta dan standar etika digital yang berlaku.

Prinsip legalitas dan kepatuhan lisensi menjadi pondasi utama dalam tata kelola laboratorium. Penggunaan perangkat lunak resmi bukan sekadar formalitas administratif, melainkan prasyarat untuk menjamin stabilitas sistem, pembaruan keamanan (*security patching*) yang berkala, serta perlindungan terhadap kerentanan siber. Dalam kondisi sekolah pascabencana, di mana sumber daya teknis sering kali terbatas, ketergantungan pada perangkat lunak ilegal dapat memberikan dampak kerentanan sistem terhadap *malware* dan kegagalan beberapa fungsi, yang pada akhirnya akan menghambat proses pemulihan layanan pendidikan (Pfleeger et al., 2015). Oleh karena itu, prioritas pemilihan perangkat lunak diarahkan pada perangkat lunak yang berlisensi atau dapat menggunakan perangkat lunak berbasis *open source*.

Prinsip kompatibilitas dan fleksibilitas ekosistem menjadi penting dalam mendukung pembelajaran digital yang adaptif. Laboratorium komputer harus mampu menjalankan berbagai aplikasi pembelajaran yang dibutuhkan dalam pembelajaran terutama jenjang pendidikan SMP. Dalam perspektif sistem informasi pendidikan, perangkat lunak atau sistem operasi yang dipilih harus memiliki kompatibilitas dengan perangkat keras (*hardware*) yang digunakan, baik perangkat baru maupun lama. Hal itu dilakukan untuk memastikan kesinambungan materi ajar dan data siswa meskipun terjadi pergeseran konfigurasi perangkat (García-Peñalvo et al., 2021), sehingga memungkinkan sekolah untuk memelihara stabilitas pengalaman belajar peserta didik serta mempermudah migrasi data jika terjadi penggantian infrastruktur pascabencana.

Mengingat laboratorium komputer pascabencana sering menghadapi kendala konektivitas yang fluktuatif, sistem perangkat lunak sebaiknya dirancang dengan pendekatan *hybrid*, di mana data dan aplikasi dapat diakses secara lokal untuk menjaga operasional saat *offline*, tetapi perlu dipertimbagkan untuk melakukan *backup* data secara *online*. Pendekatan *hybrid* ini sangat direkomendasikan untuk menjamin keberlanjutan layanan pendidikan dalam situasi darurat maupun pascabencana (OECD, 2020). Prinsip ini dilakukan dengan tujuan dapat meminimalisasi risiko kehilangan data akibat gangguan teknis maupun bencana alam.

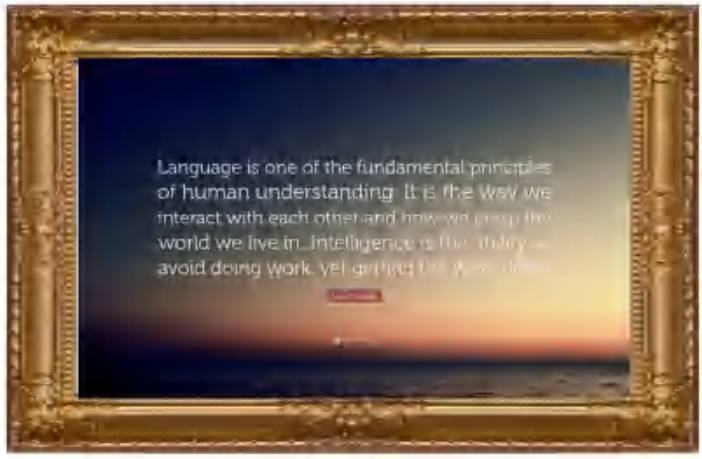
2.4.4 PRINSIP KONEKTIVITAS

Konektivitas dalam laboratorium komputer dapat dibagi menjadi dua konsep dasar yaitu *Wide Area Network* (komunikasi eksternal) dan *Local Area Network* (komunikasi internal). Komunikasi eksternal yang menyambungkan ke sumber daya digital, dan komunikasi internal yang menyambungkan antar komputer secara lokal (Kurose & Ross, 2021; Garrido et al., 2020). Dalam arsitektur sistem informasi pendidikan, konektivitas tidak lagi dipahami sekadar sebagai akses internet, melainkan sebagai critical infrastructure yang menjamin kontinuitas layanan, terutama untuk pelaksanaan asesmen berbasis komputer yang menuntut sinkronisasi data (Kurose & Ross, 2021). Pada satuan pendidikan yang terdampak bencana, prinsip konektivitas harus mencakup kemampuan sistem untuk beroperasi secara daring luring, tergantung pada kebutuhan setiap satuan pendidikan.

Dimensi pertama, konektivitas *Wide Area Network* (komunikasi eksternal), berfungsi menjamin sekolah tetap terhubung dengan ekosistem pendidikan nasional. Dalam kondisi pascabencana, infrastruktur kabel primer sering kali rentan terputus, sehingga prinsip redundansi jaringan (*network redundancy*) menjadi strategi fundamental. Laboratorium komputer harus dirancang dengan jalur koneksi cadangan (*failover*) yang bersifat heterogen seperti kombinasi jaringan kabel, akses nirkabel berbasis satelit atau seluler. Pendekatan ini selaras dengan standar infrastruktur yang direkomendasikan oleh ITU (2020), di mana diversifikasi jalur transmisi data menjadi kunci untuk menjaga keberlangsungan layanan saat jalur utama mengalami kegagalan fungsi.

Dimensi kedua, konektivitas *Local Area Network* (komunikasi internal), merupakan fondasi utama bagi operasional laboratorium dalam situasi darurat. Laboratorium komputer harus dirancang sebagai sistem yang mampu berfungsi secara mandiri (*standalone*) untuk mendukung aktivitas lokal seperti asesmen nasional moda semi-daring, berbagi sumber daya pembelajaran lokal (*local file server*), serta komunikasi data antar perangkat tanpa harus bergantung pada akses internet. Penguatan jaringan internal melalui penggunaan perangkat switch yang stabil dan topologi jaringan yang memungkinkan aliran data lokal tetap lancar tanpa gangguan dari jaringan internet. Hal ini memastikan bahwa fungsi-fungsi seperti pengumpulan data hasil belajar dan administrasi asesmen tetap dapat berjalan di tingkat satuan pendidikan sebagai mekanisme mitigasi saat terjadi isolasi jaringan akibat bencana (Garrido et al., 2020).

Dengan memperhatikan prinsip-prinsip konektivitas tersebut, laboratorium komputer diharapkan dapat digunakan menjadi pusat aktivitas digital yang adaptif terhadap berbagai dinamika lingkungan, sekaligus memastikan bahwa hak akses peserta didik terhadap pendidikan digital tetap terpenuhi.



Linus Torvalds



03

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1 ANALISIS KEBUTUHAN PERALATAN LABORATORIUM KOMPUTER SMP

Analisis kebutuhan peralatan laboratorium komputer pada satuan pendidikan terdampak bencana dilakukan dengan menggunakan pendekatan pemetaan fungsional yang berbasis pada tingkat kesiapan dan kondisi faktual di lapangan. Mengingat variasi dampak bencana yang dialami setiap sekolah, rehabilitasi tidak dapat menggunakan pendekatan penyeragaman, tetapi disesuaikan dengan lokasi terdampak. Hal ini dilakukan karena pemulihan fasilitas pascabencana memerlukan ketepatan antara kebutuhan teknis dan kondisi nyata di lapangan. Analisis ini menggunakan pendekatan standar kebutuhan berdasarkan Kategori Kesiapan Ekosistem Sekolah Pascabencana untuk memastikan bahwa setiap tindakan pemulihan memberikan dampak fungsional yang optimal, tepat sasaran, dan berkelanjutan. Pendekatan ini, merujuk pada adaptasi prinsip-prinsip operasional dari *National Disaster Recovery Framework (*NDRF*)* yang dikeluarkan oleh *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) tahun 2011 dan 2016 yaitu *Recovery, Restoration, Resilience/Mitigation*.

1 Kategori 1: Pemulihan Infrastruktur Dasar (*Recovery*)

Recovery atau pemulihan infrastruktur dasar merupakan tahap awal yang berfokus pada pengembalian fungsi utama laboratorium komputer agar dapat kembali digunakan untuk mendukung kegiatan belajar-mengajar. Pemulihan tidak hanya diartikan sebagai penggantian komputer atau aset yang mengalami kerusakan, tetapi mencakup pemulihan seluruh komponen dasar yang diperlukan agar perangkat dapat berfungsi, seperti komputer, monitor, keyboard, mouse, perangkat jaringan (modem, router, switch), meja kerja, serta ketersediaan sumber listrik dan ruang yang aman. Dengan demikian, kebutuhan pada kategori ini ditentukan berdasarkan kondisi aktual dan tingkat kerusakan yang dialami oleh masing-masing satuan pendidikan.

2 Kategori 2: Pemulihan Sistemik (*Restoration*)

Restoration atau pemulihan sistemik merupakan tahap yang berfokus pada pemulihan kesiapan seluruh komponen pendukung laboratorium komputer sehingga perangkat yang telah dipulihkan dapat beroperasi secara optimal dan berkelanjutan. Pemulihan perangkat komputer tidak akan memberikan hasil yang optimal apabila prasarana pendukungnya masih mengalami kerusakan. Oleh karena itu, kategori ini mencakup pemulihan instalasi dan distribusi listrik, jaringan LAN/Wi-Fi, perangkat jaringan, server atau penyimpanan data apabila diperlukan, serta penataan ruang, ventilasi, pencahayaan, dan aspek pendukung lainnya yang mempengaruhi operasional laboratorium. Kebutuhan pada tahap *Restoration* ditentukan berdasarkan hasil identifikasi kondisi prasarana di lapangan, dengan tujuan mengembalikan laboratorium sebagai suatu sistem yang saling terhubung, aman, dan layak digunakan untuk kegiatan pembelajaran.

2 Kategori 3: Optimalisasi Ekosistem (*Resilience/Mitigation*)

Resilience/Mitigation atau optimalisasi ekosistem merupakan tahapan untuk meningkatkan ketahanan laboratorium komputer setelah fungsi dasarnya berhasil dipulihkan, sehingga laboratorium memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menghadapi gangguan atau bencana yang mungkin terjadi kembali. Pada tahap ini, kebutuhan tidak lagi hanya berorientasi pada penggantian aset yang rusak, tetapi pada upaya mengurangi risiko kerusakan dan gangguan operasional melalui peningkatan kualitas serta ketahanan ekosistem laboratorium. Bentuk optimalisasi dapat mencakup penyediaan perangkat perlindungan kelistrikan seperti UPS, peningkatan infrastruktur jaringan, hingga penyediaan ruang yang aman sebagai upaya memulihkan kembali '*sense of normalcy*' bagi siswa setelah trauma bencana.

Peningkatan jaringan, backup data, pengelolaan perangkat secara terpusat, penggunaan perangkat yang lebih efisien dan mudah dipelihara, serta penyusunan mekanisme pemulihan dan keberlangsungan operasional laboratorium. Dengan pendekatan ini tidak hanya mengembalikan kondisi laboratorium seperti sebelum bencana, tetapi juga diarahkan untuk menghasilkan kondisi laboratorium yang lebih siap, lebih tahan terhadap gangguan, dan lebih mudah dipulihkan apabila terjadi bencana di kemudian hari.

Berdasarkan ketiga kategori tersebut, kebutuhan peralatan laboratorium komputer pada jenjang SMP selanjutnya perlu ditentukan dengan mempertimbangkan kondisi aktual setiap satuan pendidikan dan tingkat pemulihan yang telah dicapai. Pendekatan ini memungkinkan kebutuhan peralatan dibedakan antara kebutuhan untuk mengembalikan fungsi dasar laboratorium, kebutuhan untuk memulihkan sistem pendukung, dan kebutuhan untuk meningkatkan ketahanan serta keberlanjutan operasional laboratorium. Dengan demikian, pemenuhan kebutuhan tidak diarahkan secara seragam kepada seluruh sekolah, tetapi disesuaikan dengan tingkat kerusakan, kondisi prasarana pendukung, dan kemampuan laboratorium untuk kembali mendukung proses pembelajaran.

Dalam konteks kebutuhan Laboratorium Komputer Pada jenjang SMP, laboratorium komputer memiliki keunggulan yang khas terutama pada aspek kontrol tinggi, perawatan terpusat, dan kesesuaian untuk pelaksanaan ujian berbasis komputer. Keunggulan ini menunjukkan bahwa laboratorium komputer tetap relevan dalam konteks tertentu, khususnya pada pembelajaran yang membutuhkan pengendalian lingkungan dan standarisasi sistem.

Kedua, keunggulan perawatan terpusat menjadi nilai tambah yang signifikan dalam pengelolaan sarana TIK. (Ochiai et al., 2025) menegaskan bahwa pengelolaan perangkat dalam satu lokasi memungkinkan efisiensi dalam pemeliharaan, pembaruan sistem, serta pengamanan. Dalam kerangka *Centralized Management Theory*, pendekatan ini mendukung efisiensi operasional karena seluruh perangkat dapat dikontrol secara langsung oleh teknisi atau pengelola. Selain itu, prinsip *standardization of systems* memungkinkan keseragaman konfigurasi perangkat, sehingga meminimalkan kendala teknis dalam proses pembelajaran. Dari sisi analisis, hal ini menunjukkan bahwa laboratorium komputer lebih unggul dalam konteks pengelolaan aset yang terkontrol dan terstandar.

Ketiga, laboratorium komputer cocok digunakan untuk pelaksanaan ujian berbasis digital. (Berkhout et al., 2024) menunjukkan bahwa lingkungan yang terstandar dan terkendali mendukung pelaksanaan evaluasi yang lebih tertib dan akuntabel. Dalam perspektif *Computer-Based Assessment Theory*, laboratorium komputer mampu menjamin aspek keamanan (*security*), keadilan (*fairness*), dan keandalan (*reliability*) dalam proses evaluasi. Sistem yang terpusat memungkinkan pengaturan akses, pengendalian waktu, serta keseragaman perangkat yang digunakan oleh peserta didik. Hal ini menjadi sangat penting dalam pelaksanaan asesmen berbasis komputer di tingkat satuan pendidikan.

Jika diinterpretasikan dalam kerangka kebijakan, keunggulan laboratorium komputer sejalan dengan Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 22 Tahun 2023 tentang Standar Sarana dan Prasarana, yang menekankan pentingnya penyediaan sarana yang memenuhi standar fungsi dan pengelolaan. Laboratorium komputer sebagai fasilitas khusus memenuhi kebutuhan pembelajaran yang memerlukan kontrol tinggi serta pengelolaan terpusat.

Selain itu, dalam konteks Peraturan Menteri Pendidikan Dasar dan Menengah Nomor 9 Tahun 2025 tentang Tes Kemampuan Akademik, laboratorium komputer memiliki relevansi yang kuat sebagai infrastruktur utama dalam mendukung pelaksanaan asesmen berbasis digital. Standarisasi perangkat dan lingkungan menjadi faktor kunci dalam menjamin kualitas dan kredibilitas hasil evaluasi.

Dalam perspektif Instruksi Presiden Nomor 7 Tahun 2025, yang menekankan percepatan digitalisasi pembelajaran, laboratorium komputer berperan sebagai fondasi awal dalam membangun ekosistem pembelajaran digital yang terkontrol dan terstruktur. Meskipun tidak sefleksibel perangkat individu, laboratorium tetap memiliki fungsi strategis dalam mendukung implementasi teknologi secara sistematis.

Lebih lanjut, dalam kerangka Asta Cita ke-4, keunggulan laboratorium komputer mendukung penguatan sumber daya manusia melalui penguasaan teknologi dalam lingkungan yang terarah. Dengan kontrol yang tinggi dan sistem yang terstandar, peserta didik dapat mengembangkan kompetensi digital secara lebih disiplin dan terstruktur, terutama dalam konteks keterampilan dasar penggunaan teknologi.

Dengan demikian, analisis menunjukkan bahwa keunggulan laboratorium komputer terletak pada kemampuannya dalam menyediakan lingkungan belajar yang terkendali, efisien dalam pengelolaan, serta ideal untuk evaluasi berbasis komputer. Interpretasi ini menegaskan bahwa laboratorium komputer tetap memiliki peran penting, namun harus dirancang dengan tingkat adaptabilitas tinggi dalam pemulihan pasca bencana untuk memastikan kelangsungan layanan pendidikan meski dalam kondisi infrastruktur yang belum pulih sepenuhnya.

Dalam kajian perbandingan model Kebutuhan Laboratorium Komputer pada jenjang SMP, laboratorium komputer menunjukkan sejumlah keterbatasan yang berkaitan dengan akses terbatas, kurangnya fleksibilitas penggunaan, dan rendahnya tingkat penggunaan. Ketiga aspek ini dapat dijelaskan melalui sintesis teori yang relevan, sekaligus menjadi dasar analisis dalam menilai efektivitasnya dalam mendukung pembelajaran digital.

Pertama, dari aspek akses terbatas, (Ye et al., 2024) menjelaskan bahwa laboratorium komputer yang berbasis ruang menyebabkan penggunaan perangkat harus dijadwalkan secara bergiliran. Dalam perspektif *Technology Access Theory*, tingkat akses yang terbatas ini menjadi hambatan dalam integrasi TIK ke dalam pembelajaran sehari-hari. Secara teoritis, pembelajaran berbasis teknologi seharusnya mendukung prinsip *ubiquitous learning*, yaitu memungkinkan peserta didik mengakses teknologi kapan saja dan di mana saja. Namun, karakteristik laboratorium komputer justru membatasi akses tersebut, sehingga penggunaan TIK cenderung bersifat insidental, bukan kontinu.

Kedua, dari aspek kurangnya fleksibilitas penggunaan, (Hu et al., 2024) menegaskan bahwa laboratorium komputer memiliki keterbatasan dalam mendukung pembelajaran yang dinamis. Dalam kerangka *Learning Flexibility Theory*, teknologi idealnya mampu mengakomodasi berbagai skenario pembelajaran yang adaptif terhadap kebutuhan peserta didik dan guru. Namun, laboratorium komputer masih mencerminkan pendekatan *space-based learning*, di mana aktivitas belajar sangat bergantung pada ruang tertentu. Analisis ini menunjukkan bahwa penggunaan laboratorium komputer kurang responsif terhadap perkembangan model pembelajaran modern seperti *blended learning* dan *mobile learning* yang menuntut fleksibilitas tinggi.

Ketiga, dari sisi utilisasi, (Ramadhani & Rofiq, 2024) menunjukkan bahwa laboratorium komputer sering mengalami tingkat penggunaan yang rendah karena terbatas pada waktu tertentu. Dalam perspektif *Resource Utilization Theory*, kondisi ini disebut sebagai *underutilization*, yaitu ketika aset yang tersedia tidak dimanfaatkan secara optimal dibandingkan dengan biaya investasi yang telah dikeluarkan. Secara konseptual, rendahnya utilisasi ini berdampak pada efisiensi anggaran, karena biaya Kebutuhan dan pemeliharaan laboratorium tidak sebanding dengan intensitas penggunaannya.

Jika dianalisis secara lebih luas, ketiga kekurangan tersebut menunjukkan bahwa laboratorium komputer memiliki keterbatasan dalam mendukung transformasi pembelajaran digital yang menuntut akses luas, fleksibilitas tinggi, dan pemanfaatan optimal. Hal ini menjadi tantangan dalam implementasi kebijakan digitalisasi pendidikan, terutama ketika tujuan utama adalah menjadikan teknologi sebagai bagian integral dari proses pembelajaran sehari-hari.

Dalam perspektif kebijakan, kondisi ini perlu diselaraskan dengan Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 22 Tahun 2023 tentang Standar Sarana dan Prasarana, yang menekankan pemenuhan sarana dan prasarana pendidikan untuk mendukung proses pembelajaran sesuai kebutuhan satuan pendidikan. Selain itu, dalam kerangka Instruksi Presiden Nomor 7 Tahun 2025 tentang percepatan digitalisasi pembelajaran, diperlukan strategi penyediaan Laboratorium Komputer Yang dapat dimanfaatkan secara luas, efektif, dan berkelanjutan, sehingga keterbatasan laboratorium komputer perlu dipertimbangkan secara strategis dalam implementasi program digitalisasi pembelajaran.

Lebih lanjut, dalam konteks Asta Cita keempat, yang berfokus pada penguatan SDM melalui penguasaan teknologi, keterbatasan akses dan fleksibilitas laboratorium komputer berpotensi menghambat pengembangan kompetensi digital peserta didik secara optimal. Interpretasi ini menunjukkan bahwa meskipun laboratorium komputer tetap memiliki fungsi tertentu, model ini kurang ideal jika dijadikan sebagai satu-satunya pendekatan dalam Kebutuhan Sarana TIK.

Dengan demikian, analisis berdasarkan sintesis teori menunjukkan bahwa kekurangan laboratorium komputer terletak pada keterbatasannya dalam menyediakan akses yang luas, fleksibilitas pembelajaran, dan pemanfaatan yang optimal. Hal ini menjadi dasar penting dalam merumuskan kebijakan Kebutuhan Laboratorium Komputer Yang lebih adaptif, efisien, dan berorientasi pada kebutuhan pembelajaran modern.

3.2 ANALISIS KEBUTUHAN PERALATAN TIK DALAM PEMBELAJARAN

3.2.1 RASIO IDEAL PERANGKAT

Penentuan rasio ideal antara unit perangkat TIK, baik berupa komputer desktop maupun Laptop/PC, dengan jumlah peserta didik atau rombongan belajar (rombel) merupakan aspek krusial dalam analisis kebutuhan laboratorium komputer pada jenjang Sekolah Menengah Pertama (SMP). Rasio perangkat tidak hanya merepresentasikan angka kuantitatif ketersediaan fasilitas fisik, melainkan menjadi variabel penentu dalam menjamin efektivitas proses pembelajaran digital, kelancaran eksekusi kurikulum, serta efisiensi tata ruang laboratorium. Dalam kerangka perencanaan pendidikan modern, penentuan rasio perangkat harus mampu memadukan antara tuntutan pedagogis yang membutuhkan pengalaman belajar mandiri secara langsung (*hands-on experience*) dengan batas fisiologis, kapasitas spasial, dan daya dukung infrastruktur sekolah.

Landasan normatif penentuan kapasitas dan tata ruang laboratorium komputer di Indonesia berpedoman pada Peraturan Kepala BSKAP Nomor 048/H/KU/2023 tentang Petunjuk Teknis Standar Sarana dan Prasarana. Regulasi ini menetapkan bahwa rasio luas minimal ruang laboratorium komputer berukuran minimal 1,5 kali dari luas ruang kelas reguler. Mengacu pada asumsi standar penyelenggaraan pendidikan jenjang SMP yang menetapkan batas maksimal 32 murid per rombongan belajar, maka simulasi kebutuhan luas minimal laboratorium komputer yang mutlak disediakan oleh satuan pendidikan adalah sebesar 96 m^2.

Penetapan rasio unit perangkat dalam ruang laboratorium berluas 96 m² juga wajib diintegrasikan dengan prinsip-prinsip ergonomi, keselamatan, dan aksesibilitas tata ruang. Penataan 32 unit komputer atau Laptop/PC beserta infrastruktur pendukungnya dalam satu ruangan memerlukan perhitungan jarak antar-meja (*clearance space*), sirkulasi udara, pencahayaan, serta jalur pengkabelan listrik yang aman guna mencegah risiko kecelakaan kerja dan kelelahan fisik siswa (Gumasing et al., 2023). Standar fasilitas digital menegaskan bahwa pemaksaan kepadatan perangkat yang berlebihan tanpa memperhatikan rasio ruang dapat memicu gangguan kesehatan otot rangka (*musculoskeletal disorders*) serta merusak fokus dan konsentrasi belajar (Saha et al., 2024; Ruijia et al., 2025). Oleh karena itu, rasio 1:1 per rombel harus dibarengi dengan rancangan workstation yang inklusif dan mudah diakses oleh seluruh siswa, termasuk siswa dengan kebutuhan khusus maupun variasi tingkat literasi digital (Nguyen et al., 2023).

Dalam konteks penyelenggaraan pendidikan pascabencana, penetapan rasio ideal perangkat harus disesuaikan dengan kondisi objektif di lapangan. Keterbatasan aksesibilitas akibat kerusakan infrastruktur serta ketidakstabilan pasokan listrik dan jaringan di wilayah terdampak menuntut pendekatan rasio yang fleksibel dan kontekstual.

Dalam konteks penyelenggaraan pendidikan pascabencana, penetapan rasio ideal perangkat harus disesuaikan dengan kondisi objektif di lapangan. Keterbatasan aksesibilitas akibat kerusakan infrastruktur serta ketidakstabilan pasokan listrik dan jaringan di wilayah terdampak menuntut pendekatan rasio yang fleksibel dan kontekstual.

Secara sintetis, analisis kebutuhan laboratorium komputer SMP menyimpulkan bahwa rasio ideal perangkat per siswa/rombel adalah rasio 1:1 (32 unit komputer atau Laptop/PC utama ditambah unit cadangan per rombel) yang ditampung dalam laboratorium berluas minimal 96 m^2 sesuai Peraturan Kepala BSKAP Nomor 048/H/KU/2023. Penentuan rasio ini berfungsi sebagai parameter dalam kerangka evaluasi tiga lapis (*three-layered assessment*) yang menyelaraskan kesiapan fisik infrastruktur, kesiapan pedagogis guru (TPACK), serta tingkat penerimaan dan kenyamanan pengguna (TAM dan ergonomi) (Li & Li, 2025; Ruijia et al., 2025). Dengan menerapkan rasio perangkat yang terukur, aman, dan berkeadilan ini, satuan pendidikan SMP di seluruh wilayah Indonesia diharapkan mampu menyediakan sarana pembelajaran digital yang layak, inklusif, dan responsif terhadap tuntutan pendidikan abad ke-21.

Dalam kondisi darurat, penyelenggaraan pembelajaran pada satuan pendidikan terdampak bencana perlu mengedepankan fleksibilitas dan adaptasi terhadap kondisi peserta didik serta ketersediaan sarana dan prasarana. Surat Edaran Menteri Pendidikan Dasar dan Menengah Nomor 1 Tahun 2026 memungkinkan pembelajaran dilaksanakan melalui metode adaptif, seperti tatap muka terbatas atau pembelajaran mandiri. Oleh karena itu, penggunaan laboratorium komputer tidak harus dilakukan secara serentak untuk seluruh peserta didik, tetapi dapat menggunakan sistem kelompok, rotasi, atau pembagian sesi sesuai kapasitas ruang dan perangkat yang tersedia (Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah [Kemendikdasmen], 2026).

UNICEF (2011) dalam *Compendium of Transitional Learning Spaces* memberikan acuan ruang pembelajaran transisi sekitar 1,0 – 1,5 m^2 per anak, termasuk contoh ruang ideal 6 × 8 meter atau 48 m^2 untuk sekitar 40 anak. Tetapi, ketentuan tersebut merupakan acuan ruang belajar transisi dan bukan standar khusus laboratorium komputer. Dengan mempertimbangkan kebutuhan ruang kerja komputer dan fleksibilitas pembelajaran dalam kondisi bencana, kajian ini dapat menetapkan sesuai dengan kondisi yang disesuaikan dengan ruangan yang digunakan, dengan tetap memperhatikan keamanan, kenyamanan, ruang gerak peserta didik. Untuk rombongan belajar 32 peserta didik, pembelajaran dapat dilakukan secara fleksibel, jika komputer yang terdapat pada ruangan komputer tidak mencukup, maka dapat dibuat jadwal secara bergantian

3.2.2 SPESIFIKASI TEKNIS MINIMUM

Menetapkan spesifikasi teknis baik perangkat keras (hardware) maupun lunak (software) bukan sekadar pemenuhan syarat administratif. Ini adalah fondasi krusial untuk memastikan laboratorium komputer di SMP benar-benar fungsional dan relevan dengan kebutuhan pembelajaran modern. Standar yang ditetapkan dalam kajian ini menjadi ambang batas kelayakan agar sistem mampu menjalankan aplikasi pembelajaran yang menuntut performa tinggi, bukan sekadar untuk tugas administratif sederhana.

Kebutuhan komputasi di jenjang SMP saat ini telah bergeser; perangkat harus mampu mendukung aktivitas seperti koding, simulasi sains, pemodelan 3D, hingga penggunaan aplikasi berbasis kecerdasan artifisial. Oleh karena itu, penggunaan komponen berkinerja tinggi, seperti SSD dan prosesor multi-core, bukan lagi sebuah kemewahan, melainkan kebutuhan teknis agar proses belajar di kelas tidak terhambat oleh masalah klasik seperti latensi (latency) tinggi, loading aplikasi yang lambat, atau kegagalan sistem saat pelaksanaan asesmen nasional.

Secara empiris, penggunaan perangkat komputasi dengan spesifikasi di bawah standar terbukti menimbulkan berbagai hambatan teknis. Keterlambatan respons aplikasi hingga kegagalan koneksi saat menjalankan peramban khusus ujian (Exambrowser) tidak hanya mengganggu alur tes siswa, tetapi juga berpotensi merusak validitas data hasil pemetaan mutu pendidikan nasional (Zakariya et al., 2026). Oleh karena itu, spesifikasi perangkat keras yang tangguh menjadi prasyarat mutlak yang tidak dapat ditawar untuk menjamin reliabilitas operasional, terutama di wilayah terdampak bencana. Fokus utama dari standardisasi ini adalah memastikan bahwa setiap perangkat yang disediakan memiliki ketahanan fungsional jangka panjang dan mampu menangani beban kerja aplikasi modern tanpa kendala teknis yang sering muncul pada perangkat berspesifikasi rendah.

Di samping keandalan perangkat keras, keberadaan ekosistem perangkat lunak (software) yang terpercaya merupakan komponen kunci dalam operasional laboratorium komputer SMP. Kebutuhan ini mencakup sistem operasi modern, peramban khusus asesmen digital (Exambrowser), sistem manajemen pembelajaran (Learning Management System/LMS), serta berbagai perangkat lunak pembelajaran interaktif berbasis web. Pengembangan arsitektur TIK modern dan hibrida memungkinkan sekolah untuk mengintegrasikan berbagai aplikasi pembelajaran berbasis web (web-based learning tools) secara luas tanpa harus membebani memori lokal perangkat secara berlebihan (Tarasenko et al., 2025; Gu et al., 2025). Dengan pendekatan ini, siswa dapat mengakses platform pembelajaran kontekstual yang kaya konten secara lancar, responsif, dan aman.

3.2.3 KEBUTUHAN PERFORMA DASAR

1 Central Processing Unit (CPU)

Central Processing Unit (CPU) atau prosesor merupakan komponen utama pada komputer yang berfungsi menjalankan perintah dan mengolah data menjadi informasi (IBM, n.d.). Pada Laptop/PC pembelajaran, CPU berpengaruh terhadap kelancaran perangkat saat digunakan untuk membuka aplikasi belajar, mengakses internet, mengolah dokumen, mengikuti asesmen digital, melakukan pemrograman dasar, dan menjalankan beberapa aplikasi sekaligus.

Salah satu cara melihat kemampuan CPU adalah melalui jumlah core dan thread. Core menunjukkan jumlah inti pemrosesan, sedangkan thread menunjukkan kemampuan prosesor dalam menangani beberapa alur kerja secara bersamaan. Pada prosesor Intel, teknologi Hyper-Threading memungkinkan lebih dari satu thread berjalan pada satu core. Pada prosesor AMD, teknologi Simultaneous Multithreading atau SMT juga memungkinkan satu core menjalankan beberapa thread secara bersamaan (AMD, 2025; Intel, n.d.).

Berdasarkan pertimbangan tersebut, konfigurasi minimal 4 core/8 thread dapat digunakan sebagai acuan dasar dalam menilai kelayakan prosesor Laptop/PC pembelajaran. Contohnya, AMD Ryzen 3 7320U memiliki 4 core dan 8 thread, sedangkan Intel Core i5-1135G7 juga memiliki 4 core dan 8 thread berdasarkan spesifikasi resmi masing-masing produsen (AMD, n.d.; Intel, n.d.).

Tabel 3.1 Perbandingan CPU Berdasarkan 4 Core / 8 Thread

Kategori	Merk	Contoh Prosesor	Core / Thread	Keterangan untuk Laptop/PC Pembelajaran
Di bawah 4 core/8 thread	Intel	Intel Processor N100	4 core / 4 thread	Masih dapat digunakan untuk aktivitas ringan seperti mengetik, membuka browser, dan mengakses LMS. Namun, kurang ideal untuk multitasking, pemrograman dasar, atau penggunaan aplikasi pembelajaran yang lebih berat. Intel mencatat N100 memiliki 4 core dan 4 thread. (Intel)
Setara 4 core/ 8 thread	Intel	Intel Core i5-1135G7	4 core / 8 thread	Memenuhi ambang dasar 4 core/8 thread. Cukup untuk pembelajaran umum, multitasking ringan, asesmen digital, dan aplikasi produktivitas. (Intel)
	AMD	AMD Ryzen 3 7320U	4 core / 8 thread	Cocok sebagai contoh batas minimal AMD untuk Laptop/PC pembelajaran. Memadai untuk aplikasi belajar, dokumen, internet, asesmen digital, dan multitasking ringan. AMD mencatat Ryzen 3 7320U memiliki 4 core, SMT, dan 8 thread. (AMD)
	AMD	AMD Ryzen 3 7330U	4 core / 8 thread	Memenuhi ambang 4 core/8 thread dan cukup baik untuk pembelajaran umum. Lebih layak dibanding prosesor entry-level di bawah 4 core/8 thread. (AMD)
	AMD	AMD Ryzen 3 7440U	4 core / 8 thread	Memenuhi ambang dasar dan berasal dari generasi yang lebih baru. Lebih mendukung penggunaan aplikasi pembelajaran dan multitasking ringan-menengah. (AMD)
	AMD	AMD Ryzen 5 7520U	4 core / 8 thread	Walaupun termasuk Ryzen 5, jumlah core/thread-nya tetap 4/8. Jadi, nama "Ryzen 5" tidak otomatis berarti jumlah core lebih banyak daripada Ryzen 3. (AMD)

Kategori	Merk	Contoh Prosesor	Core / Thread	Keterangan untuk Laptop/PC Pembelajaran
Setara 4 core/ 8 thread	Intel	Intel Core i5-1135G7	4 core / 8 thread	Memenuhi ambang dasar 4 core/8 thread. Cukup untuk pembelajaran umum, multitasking ringan, asesmen digital, dan aplikasi produktivitas. (Intel)
	AMD	AMD Ryzen 3 7320U	4 core / 8 thread	Cocok sebagai contoh batas minimal AMD untuk Laptop/PC pembelajaran. Memadai untuk aplikasi belajar, dokumen, internet, asesmen digital, dan multitasking ringan. AMD mencatat Ryzen 3 7320U memiliki 4 core, SMT, dan 8 thread. (AMD)
	AMD	AMD Ryzen 3 7330U	4 core / 8 thread	Memenuhi ambang 4 core/8 thread dan cukup baik untuk pembelajaran umum. Lebih layak dibanding prosesor entry-level di bawah 4 core/8 thread. (AMD)
	AMD	AMD Ryzen 3 7440U	4 core / 8 thread	Memenuhi ambang dasar dan berasal dari generasi yang lebih baru. Lebih mendukung penggunaan aplikasi pembelajaran dan multitasking ringan-menengah. (AMD)

Mengingat variasi model prosesor di pasar sangat luas, spesifikasi 4 core/8 thread dalam kajian ini digunakan sebagai ambang kinerja dasar, bukan sebagai daftar model prosesor tertentu. Konfigurasi tersebut dapat ditemukan pada sejumlah prosesor lintas merek, generasi, dan kelas produk. Dengan demikian, penyajian contoh prosesor dalam tabel bersifat ilustratif, yaitu untuk memberikan gambaran perbandingan antara prosesor yang berada di bawah, setara, dan di atas ambang 4 core/ 8 thread. Pendekatan ini dipilih agar kajian tidak terikat pada satu merek atau satu seri prosesor tertentu, melainkan tetap berorientasi pada kecukupan kinerja perangkat untuk mendukung pembelajaran digital.

2 Random Access Memory (RAM)

Random Access Memory (RAM) merupakan memori sementara yang digunakan komputer untuk menyimpan data aktif ketika sistem operasi dan aplikasi sedang berjalan. RAM membantu prosesor mengakses data secara cepat selama perangkat digunakan. Berbeda dengan SSD yang menyimpan data secara permanen, RAM bersifat volatile, sehingga data yang tersimpan di dalamnya akan hilang ketika perangkat dimatikan atau daya listrik terputus (Kingston Technology, n.d.; Micron, n.d.).

Tabel 3.1 Perbedaan Jenis RAM

Jenis RAM	Periode Umum Penggunaan	Karakteristik Utama	Keterangan untuk Laptop/PC Pembelajaran
DDR / DDR1	Awal 2000-an	Generasi awal DDR SDRAM. Kecepatan dan kapasitasnya masih rendah dibanding generasi setelahnya.	**Tidak direkomendasikan** untuk Laptop/PC pembelajaran saat ini karena umumnya hanya ada pada perangkat yang sudah sangat lama.
DDR2	Pertengahan 2000-an	Lebih cepat dan lebih efisien dibanding DDR generasi pertama, tetapi sudah tertinggal jauh dari kebutuhan perangkat modern.	**Tidak direkomendasikan** untuk Kebutuhan baru karena biasanya hanya ditemukan pada Laptop/PC lama.
DDR3 / DDR3L	Akhir 2000-an hingga pertengahan 2010-an	Lebih baik dari DDR2. DDR3L merupakan varian rendah daya. DDR3 masih dapat ditemukan pada perangkat lama.	**Kurang direkomendasikan** untuk Kebutuhan baru. Masih bisa digunakan untuk aktivitas ringan, tetapi menunjukkan perangkat sudah cukup tua.
DDR4	Pertengahan 2010-an hingga sekarang	Masih banyak digunakan. DDR4 menjadi generasi memori yang umum pada banyak Laptop/PC beberapa tahun terakhir.	**Masih layak** untuk Laptop/PC pembelajaran, terutama jika kapasitasnya minimal 8 GB. Cocok untuk dokumen, internet, LMS, asesmen digital, dan pemrograman dasar.

Jenis RAM	Periode Umum Penggunaan	Karakteristik Utama	Keterangan untuk Laptop/PC Pembelajaran
DDR5	Sekitar 2021 hingga sekarang	Generasi lebih baru setelah DDR4. DDR5 menawarkan bandwidth lebih tinggi dan efisiensi daya lebih baik. Micron menjelaskan DDR5 dapat memberikan hingga dua kali bandwidth efektif dibanding DDR4, sedangkan Kingston menjelaskan DDR5 bekerja pada 1,1V dibanding DDR4 1,2V sehingga lebih efisien daya.	**Direkomendasikan** untuk perangkat baru karena lebih siap untuk penggunaan jangka menengah dan aktivitas pembelajaran digital yang lebih beragam.
LPDDR4 / LPDDR4X	2010-an hingga sekarang	Jenis RAM hemat daya yang umum digunakan pada Laptop/PC tipis, tablet, dan perangkat portabel.	**Masih layak**, terutama untuk Laptop/PC yang mengutamakan portabilitas dan daya tahan baterai. Namun, RAM jenis LPDDR sering tertanam pada motherboard, sehingga kapasitasnya perlu dipilih dengan hati-hati sejak awal.
LPDDR5 / LPDDR5X	Laptop/PC tipis generasi baru	Varian RAM hemat daya yang lebih baru, dengan performa dan efisiensi lebih baik dibanding LPDDR4/LPDDR4X.	**Direkomendasikan** untuk Laptop/PC baru yang tipis dan hemat daya. Namun, karena biasanya tidak mudah di-upgrade, kapasitas awal sebaiknya minimal 16 GB jika memungkinkan.

3 Media Penyimpanan Internal

Media penyimpanan internal merupakan komponen pada Laptop/PC yang berfungsi menyimpan sistem operasi, aplikasi, dan file pengguna secara permanen. Dalam konteks Laptop/PC pembelajaran, media penyimpanan tidak hanya berkaitan dengan kapasitas file yang dapat disimpan, tetapi juga mempengaruhi kecepatan perangkat saat dinyalakan, membuka aplikasi, memuat materi digital, mengakses dokumen, dan menjalankan

aktivitas pembelajaran berbasis teknologi. Kingston Technology (n.d.-a) menjelaskan bahwa SSD dapat memberikan waktu booting yang lebih singkat, transfer data yang lebih cepat, serta bandwidth yang lebih tinggi dibandingkan HDD.

Secara umum, media penyimpanan internal pada Laptop/PC dapat dibedakan menjadi Hard Disk Drive (HDD) dan Solid State Drive (SSD). Keduanya memiliki fungsi yang sama sebagai tempat penyimpanan data, tetapi berbeda dari sisi teknologi. HDD menggunakan piringan magnetik yang berputar, sedangkan SSD menggunakan memori flash dan tidak memiliki komponen bergerak. Perbedaan teknologi ini membuat SSD memiliki keunggulan dalam kecepatan akses, ketahanan terhadap guncangan, dan responsivitas perangkat dibandingkan HDD (Kingston Technology, n.d.-b).

A Hard Disk Drive (HDD)

Hard Disk Drive (HDD) merupakan media penyimpanan yang bekerja menggunakan komponen mekanis, yaitu piringan magnetik yang berputar dan head baca/tulis untuk mengakses data. Karena masih bergantung pada gerakan mekanis, HDD memiliki keterbatasan dalam kecepatan akses data. Pada beberapa HDD Laptop/PC, kecepatan transfer data berada pada kisaran sekitar 140 MB/s, sebagaimana tercantum dalam lembar spesifikasi Seagate BarraCuda 2.5 inch HDD (Seagate, 2019).

Dalam konteks Laptop/PC pembelajaran, HDD masih dapat digunakan untuk menyimpan file dalam jumlah besar dengan biaya relatif lebih rendah. Namun, HDD kurang ideal sebagai penyimpanan utama pada Laptop/PC murid karena proses menyalakan perangkat, membuka aplikasi, dan mengakses file cenderung lebih lambat dibandingkan SSD. Selain itu, karena memiliki komponen bergerak, HDD juga lebih rentan terhadap dampak mobilitas perangkat, misalnya ketika Laptop/PC sering dipindahkan atau dibawa oleh murid.

B Solid State Drive (SSD)

Solid State Drive (SSD) merupakan media penyimpanan yang menggunakan memori flash dan tidak memiliki komponen bergerak. Kingston Technology (n.d.-b) menjelaskan bahwa SSD tidak dipengaruhi oleh keterbatasan bentuk piringan seperti pada HDD, sehingga area penyimpanan pada SSD dapat diakses dengan kecepatan yang lebih konsisten. SSD juga lebih responsif karena tidak mengalami keterlambatan mekanis seperti HDD.

Dalam Laptop/PC pembelajaran, SSD lebih sesuai dijadikan penyimpanan utama karena dapat mempercepat proses menyalakan Laptop/PC, membuka aplikasi pembelajaran, mengakses dokumen, dan memuat materi digital. Kecepatan ini penting karena waktu pembelajaran di kelas terbatas, sehingga perangkat yang lambat menyala atau lambat membuka aplikasi dapat mengurangi efektivitas penggunaan teknologi dalam pembelajaran.

SSD sendiri memiliki beberapa jenis berdasarkan bentuk dan antarmuka, antara lain SSD SATA 2,5 inci, M.2 SATA, dan M.2 NVMe. Kingston Technology (n.d.-c) menjelaskan bahwa terdapat dua jenis SSD M.2, yaitu M.2 SATA dan M.2 NVMe. SATA menggunakan antarmuka yang lebih lama, sedangkan NVMe dirancang untuk memori flash modern. Dengan demikian, SSD berbentuk M.2 tidak selalu berarti NVMe karena ada M.2 yang masih menggunakan antarmuka SATA.

Untuk Kebutuhan Laptop/PC pembelajaran baru, SSD M.2 NVMe lebih direkomendasikan dibandingkan HDD atau SSD SATA. NVMe menggunakan jalur PCIe sehingga mampu memberikan transfer data yang lebih tinggi dibandingkan SATA. Kingston Technology (n.d.-d) menjelaskan bahwa NVMe melalui PCIe dapat mentransfer data jauh lebih besar dibandingkan SATA. Namun, untuk kebutuhan murid SMP, NVMe PCIe Gen 3 atau Gen 4 sudah memadai; NVMe PCIe Gen 5 belum perlu dijadikan standar karena lebih relevan untuk kebutuhan komputasi berperforma tinggi.

Tabel 3.3 Perbandingan HDD dan SSD

Aspek	HDD	SSD
Teknologi	Menggunakan piringan magnetik dan komponen mekanis	Menggunakan memori flash dan tidak memiliki komponen bergerak
Kecepatan akses	Lebih lambat	Lebih cepat dan responsif
Ketahanan terhadap guncangan	Lebih rentan karena memiliki komponen bergerak	Lebih tahan karena tidak memiliki komponen bergerak
Kesesuaian untuk Laptop/PC pembelajaran	Kurang ideal sebagai penyimpanan utama	Lebih direkomendasikan sebagai penyimpanan utama
Contoh penggunaan	Penyimpanan tambahan atau arsip	Sistem operasi, aplikasi pembelajaran, dokumen, dan file murid

Tabel 3.4 Tabel Kecepatan Baca Sequential Umum

Jenis Storage	Kisaran Kecepatan Baca Sekuensial	Catatan
HDD	± 80-160 MB/s	Masih wajar untuk HDD Laptop/PC/desktop, tetapi sangat bergantung pada RPM, ukuran file, kondisi drive, dan antarmuka. Cocoknya disebut "kisaran umum", bukan angka pasti.
SSD SATA	± 450-550 MB/s	Ini masuk akal. Banyak SSD SATA berada di kisaran ini; contoh Kingston A400 mencantumkan read speed hingga 500 MB/s. (Kingston Technology Company)
NVMe SSD PCIe Gen 3	± 1.500-3.500 MB/s	Umum pada Laptop/PC beberapa tahun terakhir. Sudah jauh lebih cepat dari SATA.
NVMe SSD PCIe Gen 4	± 3.500-7.500 MB/s	Umum pada Laptop/PC baru kelas menengah ke atas; contoh Samsung 990 PRO mencapai hingga 7.450 MB/s. (Samsung Global Newsroom)
NVMe SSD PCIe Gen 5	± 7.500-14.500 MB/s	Sangat cepat, tetapi belum perlu jadi standar Laptop/PC murid. Contoh Crucial T705 mencantumkan read speed hingga 14.500 MB/s. (assets.micron.com)

4 Layar

Layar merupakan salah satu komponen penting pada Laptop/PC pembelajaran karena menjadi media utama bagi murid untuk membaca materi, mengakses platform pembelajaran, menulis dokumen, mengerjakan asesmen digital, menonton video pembelajaran, melakukan pemrograman dasar, dan membuat konten sederhana. Kualitas layar tidak hanya ditentukan oleh ukuran dan resolusi, tetapi juga oleh jenis panel yang digunakan. Jenis panel mempengaruhi akurasi warna, sudut pandang, tingkat kecerahan, kontras, respons gerak, kenyamanan mata, serta kesesuaian layar untuk berbagai aktivitas belajar.

Secara umum, layar Laptop/PC modern dapat menggunakan beberapa teknologi panel, antara lain TN (Twisted Nematic), IPS (In-Plane Switching), OLED (Organic Light Emitting Diode), serta teknologi pengembangan terbaru seperti Mini LED dan QD-OLED. ViewSonic menjelaskan bahwa IPS merupakan salah satu dari beberapa jenis panel utama pada monitor, bersama TN, VA, dan OLED, dan jenis panel berpengaruh langsung terhadap tampilan, respons, serta kesesuaian layar untuk berbagai kebutuhan pengguna (ViewSonic, 2025). RTINGS juga menjelaskan bahwa monitor modern umumnya dapat dikelompokkan ke dalam panel OLED atau LED-backlit LCD, dan setiap jenis panel memiliki kekuatan serta kelemahan masing-masing terhadap kualitas gambar dan performa gerak (Di Giovanni, 2026).

A TN atau Twisted Nematic

TN (Twisted Nematic) merupakan salah satu teknologi panel LCD yang sudah lama digunakan pada monitor dan Laptop/PC. Panel TN dikenal memiliki waktu respons yang cepat dan biaya produksi yang relatif lebih rendah. Karena itu, panel TN banyak digunakan pada perangkat yang mengutamakan harga terjangkau atau respons cepat. Namun, kelemahan utama TN terdapat pada sudut pandang dan konsistensi warna. Jika layar dilihat dari samping, atas, atau bawah, warna dan kontras dapat berubah cukup jelas.

Dalam konteks Laptop/PC pembelajaran, panel TN masih dapat digunakan untuk aktivitas dasar seperti mengetik, membaca dokumen, dan mengakses aplikasi pembelajaran. Namun, panel ini kurang ideal jika perangkat sering digunakan untuk menonton video pembelajaran bersama, diskusi kelompok, presentasi kecil, pengolahan gambar, atau aktivitas yang membutuhkan tampilan warna lebih stabil. ViewSonic (2025) menjelaskan bahwa TN cenderung lebih cepat dan lebih murah, tetapi IPS lebih unggul dalam konsistensi warna dan sudut pandang.

B IPS atau In-Plane Switching

IPS (In-Plane Switching) merupakan panel LCD yang dirancang untuk menghasilkan sudut pandang lebih luas dan warna yang lebih konsisten dibandingkan TN. Pada panel IPS, tampilan layar tetap relatif stabil meskipun dilihat dari sudut yang berbeda. Hal ini penting untuk pembelajaran karena murid tidak selalu melihat layar dari posisi lurus sempurna, terutama saat bekerja berkelompok, berdiskusi, atau menggunakan Laptop/PC untuk presentasi sederhana.

Untuk Laptop/PC pembelajaran, IPS lebih direkomendasikan dibanding TN karena memberikan pengalaman visual yang lebih nyaman dan konsisten. ViewSonic (2025) menjelaskan bahwa IPS memiliki keunggulan pada akurasi warna, sudut pandang yang luas, dan konsistensi tampilan. Namun, IPS umumnya memiliki harga lebih tinggi dibanding TN dan kontrasnya biasanya tidak setinggi VA atau OLED. Dengan mempertimbangkan keseimbangan antara kualitas visual, harga, dan ketersediaan perangkat, panel IPS dapat menjadi pilihan paling realistis untuk Laptop/PC pembelajaran murid.

C OLED atau Organic Light Emitting Diode

OLED (Organic Light Emitting Diode) merupakan teknologi layar yang bersifat self-emissive, artinya setiap piksel dapat menghasilkan cahayanya sendiri tanpa membutuhkan lampu latar terpisah. LG Display menjelaskan bahwa OLED adalah teknologi layar yang dapat memancarkan cahaya sendiri, sehingga berbeda dari LCD yang membutuhkan backlight (LG Display, n.d.). Karena setiap piksel dapat menyala dan mati secara mandiri, OLED mampu menghasilkan warna hitam yang lebih pekat, kontras yang sangat tinggi, dan tampilan visual yang lebih kaya.

Dalam konteks pembelajaran, OLED memberikan kualitas visual yang sangat baik, terutama untuk konten multimedia, desain visual, video pembelajaran, dan materi dengan banyak gambar. Namun, OLED belum tentu menjadi pilihan utama untuk Laptop/PC murid secara massal karena harganya relatif lebih tinggi dan terdapat risiko burn-in apabila layar menampilkan elemen statis dalam waktu sangat lama, seperti taskbar, logo, atau tampilan aplikasi yang tidak berubah. RTINGS menjelaskan bahwa OLED memiliki keunggulan dalam kualitas gambar dan performa gerak, tetapi memiliki beberapa pertimbangan seperti harga yang lebih tinggi dan risiko burn-in pada penggunaan tertentu (Di Giovanni, 2026).

D Mini LED

Mini LED bukan jenis panel yang sepenuhnya berbeda seperti OLED, melainkan teknologi backlight yang digunakan pada layar LCD. Pada layar Mini LED, lampu latar dibuat dalam ukuran lebih kecil dan jumlah yang lebih banyak dibanding LED biasa. Dengan jumlah lampu latar yang lebih banyak, layar dapat mengatur pencahayaan area tertentu secara lebih presisi melalui teknik local dimming. Hasilnya, layar Mini LED dapat menghasilkan kecerahan tinggi dan kontras yang lebih baik dibanding LCD LED biasa.

Mini LED cocok untuk perangkat yang membutuhkan layar terang, misalnya digunakan di ruang kelas yang pencahayaannya kuat atau untuk menampilkan konten visual dengan rentang terang-gelap yang lebar. Namun, untuk Laptop/PC pembelajaran murid, Mini LED biasanya berada

pada perangkat kelas lebih tinggi sehingga belum perlu dijadikan standar minimal. RTINGS menjelaskan bahwa layar LED yang cerah, terutama dengan Mini LED backlighting, dapat lebih cocok untuk ruangan terang dibanding OLED pada beberapa konteks penggunaan (Di Giovanni, 2026).

E QD-OLED atau Quantum Dot OLED

QD-OLED (Quantum Dot OLED) merupakan pengembangan teknologi OLED yang menggabungkan piksel OLED dengan lapisan quantum dot. Samsung Display menjelaskan bahwa QD-OLED merupakan layar self-luminous yang terdiri atas lapisan TFT, sumber cahaya, dan lapisan quantum dot untuk menghasilkan warna menggunakan cahaya dari sumber tersebut. QD-OLED menggunakan cahaya biru sebagai sumber cahaya, kemudian quantum dot membantu menghasilkan warna merah dan hijau dengan kemurnian warna tinggi (Samsung Display, n.d.).

Keunggulan QD-OLED terdapat pada warna yang luas, kontras tinggi, sudut pandang baik, dan kualitas gambar yang sangat kaya. Samsung Display juga menjelaskan bahwa QD-OLED tidak membutuhkan backlight seperti LCD dan dapat mengatur cahaya pada setiap piksel, sehingga mampu menghasilkan warna hitam yang lebih dalam dan rasio kontras tinggi (Samsung Display, n.d.). Namun, dalam konteks Laptop/PC pembelajaran murid, QD-OLED belum menjadi kebutuhan utama karena umumnya berada pada perangkat premium. Teknologi ini lebih relevan untuk kebutuhan visual tingkat tinggi, desain grafis, produksi konten, multimedia profesional, atau perangkat kelas atas.

Tabel 3.5 Tabel Perbandingan Teknologi Panel Layar

Jenis Panel	Karakteristik Utama	Keterangan untuk Laptop/PC Pembelajaran
TN	Panel LCD lama dengan respons cepat dan biaya relatif rendah	Dapat digunakan untuk kebutuhan dasar, tetapi kurang ideal untuk pembelajaran visual dan kerja kelompok
IPS	Panel LCD dengan sudut pandang luas dan warna lebih stabil	Direkomendasikan sebagai pilihan realistis untuk Laptop/PC pembelajaran
OLED	Setiap piksel menghasilkan cahaya sendiri tanpa backlight	Sangat baik secara visual, tetapi belum perlu menjadi standar minimal
Mini LED	LCD dengan backlight LED berukuran sangat kecil dan local dimming	Baik untuk layar berkualitas tinggi, tetapi belum perlu menjadi standar Laptop/PC murid
QD-OLED	OLED dengan lapisan quantum dot untuk warna lebih luas dan cerah	Relevan untuk kebutuhan visual tingkat tinggi, bukan standar minimal Laptop/PC pembelajaran

Berdasarkan kebutuhan pembelajaran murid, layar Laptop/PC sebaiknya tidak hanya dinilai dari ukuran dan resolusi, tetapi juga dari teknologi panel yang digunakan. Panel IPS dapat menjadi pilihan yang lebih seimbang untuk Laptop/PC pembelajaran karena memiliki sudut pandang lebih luas dan warna yang lebih konsisten dibandingkan TN. Panel TN masih dapat digunakan untuk kebutuhan dasar, tetapi kurang ideal untuk aktivitas pembelajaran yang melibatkan visual, kerja kelompok, atau presentasi. Sementara itu, OLED, Mini LED, dan QD-OLED menawarkan kualitas tampilan yang lebih tinggi, tetapi umumnya berada pada perangkat kelas premium sehingga belum perlu dijadikan standar minimal. Untuk kebutuhan Laptop/PC pembelajaran murid, spesifikasi layar yang lebih realistis adalah minimal panel IPS atau setara, dengan resolusi Full HD (1920 × 1080) agar tampilan teks, gambar, dan aplikasi pembelajaran lebih nyaman digunakan.

5 Kamera

Kamera terintegrasi atau built-in webcam merupakan komponen Laptop/PC yang berfungsi menangkap gambar/video untuk komunikasi visual, dokumentasi kegiatan, pembelajaran jarak jauh, konferensi video, presentasi daring, asesmen lisan, maupun pembuatan konten sederhana. Dalam konteks Laptop/PC pembelajaran, kamera menjadi penting karena aktivitas belajar tidak selalu berlangsung secara tatap muka penuh, murid juga dapat mengikuti kelas daring, melakukan konsultasi, presentasi proyek, wawancara, refleksi video, atau kolaborasi jarak jauh.

Kualitas kamera Laptop/PC biasanya dipengaruhi oleh beberapa aspek, seperti resolusi video, frame rate, kemampuan menangkap cahaya, autofocus atau fixed focus, kualitas mikrofon, serta fitur privasi seperti privacy shutter. Dukungan kamera beresolusi lebih tinggi juga terlihat pada platform konferensi video yang umum digunakan dalam pembelajaran. Google Meet mendukung resolusi 1080p untuk rapat kelompok di web apabila perangkat memiliki kamera 1080p dan daya komputasi yang memadai (Google Workspace Updates, 2023). Zoom mencantumkan kebutuhan video 720p HD dan 1080p Full HD dalam dukungan teknisnya, sedangkan Microsoft Teams mengoptimalkan kualitas media hingga 1080p dan 30 fps apabila bandwidth mencukupi (Microsoft Learn, 2025; Zoom Support, n.d.). Oleh karena itu, kamera 720p dapat dipandang sebagai batas minimal.

Tabel 3.6 Kategori Kamera Laptop/PC

Kategori	Spesifikasi Umum	Keterangan untuk Laptop/PC Pembelajaran
VGA / 480p	Resolusi rendah	Kurang direkomendasikan karena gambar cenderung kurang tajam. Masih dapat digunakan untuk video dasar, tetapi kurang ideal untuk presentasi, asesmen lisan, atau pembelajaran daring.
HD / 720p	1280 × 720 piksel	Masih cukup untuk kebutuhan dasar seperti video conference, konsultasi daring, dan komunikasi visual sederhana. Namun, kualitas gambar dapat menurun pada pencahayaan kurang baik.
Full HD / 1080p	1920 × 1080 piksel	Lebih direkomendasikan untuk Laptop/PC pembelajaran karena gambar lebih jelas, terutama untuk presentasi daring, asesmen lisan, pembuatan konten pembelajaran, dan dokumentasi proyek murid. Google Meet mendukung 1080p jika perangkat memiliki kamera 1080p dan daya komputasi yang memadai (Google Workspace Updates, 2023).
2K / QHD	Sekitar 2560 × 1440 piksel	Kualitas lebih tinggi, tetapi belum perlu menjadi standar untuk Laptop/PC murid. Lebih relevan untuk kebutuhan konten visual atau pertemuan daring dengan kualitas tinggi.
4K / UHD	3840 × 2160 piksel	Umumnya belum diperlukan untuk Laptop/PC pembelajaran murid. Lebih sesuai untuk produksi konten profesional, streaming, atau kebutuhan visual tingkat tinggi.

Tabel 3.7 Aspek Kamera Laptop/PC yang Perlu Diperhatikan

Aspek	Keterangan	Relevansi untuk Laptop/PC Pembelajaran
Resolusi kamera	Menunjukkan ketajaman gambar, misalnya 720p atau 1080p.	Minimal 720p masih dapat digunakan, tetapi 1080p lebih baik untuk pembelajaran daring dan presentasi murid.
Frame rate	Menunjukkan jumlah gambar per detik, umumnya 30 fps.	30 fps sudah cukup untuk video conference dan presentasi pembelajaran.
Low-light performance	Kemampuan kamera menangkap gambar pada kondisi cahaya kurang.	Penting karena ruang kelas atau rumah murid tidak selalu memiliki pencahayaan ideal.
Autofocus / fixed focus	Autofocus menyesuaikan fokus secara otomatis; fixed focus memiliki fokus tetap.	Autofocus lebih baik untuk presentasi atau jika murid bergerak, tetapi fixed focus masih cukup untuk video conference biasa.
Mikrofon terintegrasi	Mikrofon bawaan untuk menangkap suara.	Penting untuk kelas daring, presentasi, asesmen lisan, dan diskusi kelompok.
Noise reduction	Fitur untuk mengurangi gangguan suara sekitar.	Berguna di lingkungan kelas atau rumah yang tidak selalu sunyi.
Privacy shutter	Penutup fisik kamera.	Baik untuk keamanan dan privasi murid. Logitech, misalnya, mencantumkan detachable privacy screen pada webcam bisnis C920e sebagai fitur privasi perangkat kamera (Logitech, n.d.).

Untuk Laptop/PC pembelajaran murid, kamera minimal HD 720p masih dapat diterima untuk kebutuhan komunikasi visual dasar. Namun, kamera Full HD 1080p lebih direkomendasikan karena memberikan gambar yang lebih jelas untuk pembelajaran daring, presentasi proyek, dokumentasi kegiatan, asesmen lisan, dan pembuatan konten sederhana. Kamera 2K atau 4K belum perlu dijadikan standar karena kebutuhan tersebut umumnya berada di luar penggunaan utama murid SMP.

Selain resolusi, perlu diperhatikan juga keberadaan mikrofon terintegrasi, kemampuan menangkap gambar dalam pencahayaan ruang kelas, serta fitur privasi. Dengan demikian, kamera Laptop/PC pembelajaran sebaiknya tidak hanya dinilai dari angka megapiksel atau resolusi, tetapi juga dari kesesuaiannya dengan aktivitas belajar yang membutuhkan komunikasi visual yang jelas, aman, dan nyaman.

Tabel 3.8 Rumusan Spesifikasi Kamera Laptop/PC

Komponen	Batas Minimal	Rekomendasi
Kamera	HD 720p	Full HD 1080p
Frame rate	30 fps	30 fps atau lebih
Mikrofon	Mikrofon terintegrasi	Mikrofon terintegrasi dengan noise reduction
Privasi	-	Privacy shutter atau indikator kamera aktif
Kebutuhan tambahan	Cukup untuk video conference dasar	Lebih baik untuk presentasi, asesmen lisan, dokumentasi proyek, dan konten pembelajaran sederhana

6 Audio

Audio merupakan komponen pendukung penting pada Laptop/PC pembelajaran karena berperan dalam komunikasi, pemahaman materi, dan produksi konten sederhana. Audio pada Laptop/PC umumnya terdiri atas speaker terintegrasi untuk keluaran suara dan mikrofon terintegrasi untuk menangkap suara pengguna. Dalam kegiatan belajar, keduanya dibutuhkan untuk mengikuti pembelajaran daring, mendengarkan video pembelajaran, berdiskusi melalui konferensi video, melakukan presentasi, merekam narasi, serta mengikuti asesmen lisan.

Kebutuhan audio juga terlihat pada platform konferensi video yang umum digunakan dalam pembelajaran. Zoom mencantumkan bahwa perangkat memerlukan speaker dan mikrofon, baik bawaan, USB, maupun nirkabel, untuk menjalankan pertemuan daring (Zoom Support, n.d.). Microsoft Teams juga menempatkan audio sebagai komponen penting; ketika bandwidth terbatas, Teams memprioritaskan kualitas audio dibandingkan video agar komunikasi tetap berjalan (Microsoft Learn, 2024). Dengan demikian, kualitas audio perlu diperhatikan karena pembelajaran digital tidak hanya bergantung pada tampilan visual, tetapi juga pada kejelasan suara yang diterima dan dikirim oleh perangkat.

A Speaker Terintegrasi

Speaker terintegrasi berfungsi menghasilkan suara dari Laptop/PC, seperti suara guru dalam video conference, audio video pembelajaran, instruksi aplikasi, simulasi interaktif, atau materi multimedia. Untuk Laptop/PC pembelajaran, speaker bawaan sebaiknya mampu menghasilkan suara yang cukup jelas untuk penggunaan individu atau kelompok kecil. Speaker yang terlalu kecil, cempreng, atau volumenya rendah dapat mengurangi kenyamanan murid saat mendengarkan materi.

Namun, speaker Laptop/PC tidak perlu diposisikan sebagai spesifikasi utama yang terlalu tinggi. Untuk kebutuhan murid, speaker stereo bawaan sudah memadai selama suaranya jelas dan volumenya cukup. Pada kondisi kelas yang bising atau ketika digunakan bersama banyak murid, perangkat tambahan seperti headset, speaker eksternal, atau perangkat audio kelas dapat digunakan sesuai kebutuhan.

B Mikrofon Terintegrasi

Mikrofon terintegrasi berfungsi menangkap suara pengguna saat mengikuti konferensi video, presentasi daring, rekaman narasi, wawancara, atau asesmen lisan. Dalam konteks pembelajaran, mikrofon yang baik membantu suara murid terdengar lebih jelas, terutama ketika mereka menjawab pertanyaan, menyampaikan presentasi, berdiskusi, atau membuat rekaman tugas.

Untuk Laptop/PC pembelajaran, mikrofon bawaan minimal harus dapat menangkap suara dengan jelas pada jarak penggunaan normal. Mikrofon dengan konfigurasi dual-array microphone lebih baik karena dapat membantu menangkap suara secara lebih terarah dan mendukung pengurangan suara latar. Beberapa Laptop/PC bisnis, misalnya ThinkPad, mencantumkan penggunaan dual-array noise-cancelling far-field microphones untuk meningkatkan kejernihan suara saat panggilan atau menonton video (Lenovo, n.d.).

C Noise Reduction dan Noise Cancellation

Fitur noise reduction atau noise cancellation berfungsi mengurangi suara latar yang mengganggu, seperti suara kipas, kendaraan, percakapan sekitar, atau kebisingan kelas. Fitur ini penting karena lingkungan belajar murid tidak selalu sunyi. murid dapat mengikuti pembelajaran daring dari rumah, ruang kelas, perpustakaan, atau area lain dengan kondisi suara yang bervariasi.

Dalam pembelajaran, kejelasan suara lebih penting daripada sekadar volume yang keras. Suara yang jelas membantu murid memahami instruksi, mengikuti diskusi, dan menyampaikan gagasan tanpa harus mengulang berkali-kali. Karena itu, fitur mikrofon dengan noise reduction dapat menjadi nilai tambah, terutama jika Laptop/PC digunakan untuk konferensi video, presentasi, dan asesmen lisan.

Tabel 3.9 Aspek Audio Laptop/PC Pembelajaran

Aspek Audio	Fungsi	Batas Minimal	Rekomendasi untuk Laptop/PC Pembelajaran
Speaker	Mengeluarkan suara dari video pembelajaran, konferensi video, aplikasi, dan materi multimedia	Speaker bawaan	Speaker stereo bawaan dengan suara jelas dan volume cukup
Mikrofon	Menangkap suara murid saat diskusi, presentasi, konferensi video, atau asesmen lisan	Mikrofon bawaan	Dual-array microphone atau mikrofon dengan kemampuan menangkap suara lebih jelas
Noise reduction / noise cancellation	Mengurangi suara latar yang mengganggu	Tidak wajib, tetapi membantu	Direkomendasikan sebagai nilai tambah, terutama untuk kelas daring dan presentasi
Port audio / konektivitas headset	Menghubungkan headset atau perangkat audio tambahan	Port audio 3,5 mm atau dukungan Bluetooth	Dukungan headset kabel atau nirkabel agar fleksibel digunakan di kelas
Kualitas audio untuk konferensi video	Mendukung komunikasi dua arah	Speaker dan mikrofon berfungsi baik	Speaker, mikrofon, dan koneksi stabil agar komunikasi pembelajaran berjalan jelas

Tabel 3.10 Rumusan Spesifikasi Audio Laptop/PC Pembelajaran

Komponen	Batas Minimal	Rekomendasi
Speaker	Speaker terintegrasi	Speaker stereo terintegrasi
Mikrofon	Mikrofon terintegrasi	Dual-array microphone
Pengolahan suara	-	Noise reduction/noise cancellation
Headset	Mendukung headset kabel atau nirkabel	Port audio 3,5 mm dan/atau Bluetooth
Kebutuhan pembelajaran	Cukup untuk video conference dasar	Mendukung diskusi, presentasi, asesmen lisan, dan rekaman narasi sederhana

Audio pada Laptop/PC pembelajaran mencakup speaker dan mikrofon terintegrasi yang berfungsi mendukung komunikasi, pemahaman materi, dan produksi konten sederhana. Speaker diperlukan untuk mendengarkan penjelasan, video pembelajaran, instruksi aplikasi, dan diskusi daring, sedangkan mikrofon diperlukan untuk menangkap suara murid saat presentasi, konferensi video, asesmen lisan, atau rekaman narasi. Platform konferensi video seperti Zoom mensyaratkan ketersediaan speaker dan mikrofon, sementara Microsoft Teams memprioritaskan kualitas audio ketika bandwidth terbatas agar komunikasi tetap dapat berlangsung (Microsoft Learn, 2024; Zoom Support, n.d.). Oleh karena itu, Laptop/PC pembelajaran sebaiknya memiliki speaker dan mikrofon terintegrasi yang jelas, dengan nilai tambah berupa dual-array microphone, noise reduction/noise cancellation, serta dukungan headset kabel atau nirkabel.

3.2.4 KEBUTUHAN KONEKTIVITAS DAN KOMPATIBILITAS

Konektivitas dan kompatibilitas merupakan aspek penting dalam spesifikasi Laptop/PC pembelajaran karena perangkat tidak bekerja secara mandiri, tetapi terhubung dengan jaringan internet, perangkat tambahan, media presentasi, serta ekosistem pembelajaran digital di sekolah. Laptop/PC murid perlu mendukung akses internet yang stabil, koneksi ke perangkat audio nirkabel, pemindahan data, proyeksi tampilan ke layar eksternal, serta sambungan jaringan kabel ketika diperlukan.

Dalam konteks pembelajaran digital, konektivitas tidak hanya berkaitan dengan "bisa terhubung", tetapi juga dengan kestabilan, kecepatan, fleksibilitas, dan kesesuaian perangkat dengan infrastruktur sekolah. Oleh karena itu, spesifikasi Laptop/PC pembelajaran perlu memperhatikan dukungan Wi-Fi, Bluetooth, USB, HDMI, dan LAN/Ethernet.

1 WiFi

Wi-Fi merupakan teknologi jaringan nirkabel yang digunakan Laptop/PC untuk terhubung ke internet dan jaringan lokal tanpa kabel. Dalam pembelajaran, Wi-Fi diperlukan untuk mengakses LMS, platform pembelajaran, sumber belajar digital, asesmen daring, konferensi video, penyimpanan awan, serta kolaborasi berbasis internet.

Untuk Laptop/PC pembelajaran, dukungan Wi-Fi perlu disesuaikan dengan perkembangan standar jaringan nirkabel. Wi-Fi 5 masih dapat digunakan untuk kebutuhan dasar, tetapi Wi-Fi 6 lebih direkomendasikan karena dirancang untuk mendukung efisiensi jaringan yang lebih baik, terutama ketika banyak perangkat terhubung secara bersamaan. Wi-Fi 6E dan Wi-Fi 7 menambahkan dukungan pada pita 6 GHz, tetapi penerapannya bergantung pada ketersediaan router dan regulasi spektrum di masing-masing wilayah. Sertifikasi Wi-Fi Alliance menunjukkan bahwa perangkat Wi-Fi modern dapat mendukung pita 2,4 GHz, 5 GHz, dan 6 GHz, termasuk Wi-Fi Certified 6 dan Wi-Fi Certified 7 pada perangkat tertentu (Wi-Fi Alliance, 2025).

Untuk kebutuhan sekolah, rumusan yang aman adalah minimal Wi-Fi 5, dengan rekomendasi Wi-Fi 6 atau lebih baru. Wi-Fi 6 lebih realistis sebagai rekomendasi karena sudah banyak tersedia pada Laptop/PC baru dan lebih relevan untuk ruang kelas dengan banyak perangkat.

2 Bluetooth

Bluetooth merupakan teknologi komunikasi nirkabel jarak dekat yang digunakan untuk menghubungkan Laptop/PC dengan perangkat tambahan, seperti headset, speaker, mouse, keyboard, stylus, atau perangkat pendukung pembelajaran lainnya. Dalam konteks Laptop/PC pembelajaran, Bluetooth mendukung mobilitas dan fleksibilitas penggunaan perangkat, terutama ketika murid atau guru menggunakan headset nirkabel untuk konferensi video, presentasi, atau rekaman suara. Dukungan Bluetooth juga relevan dengan kebutuhan audio pembelajaran. Zoom, misalnya, mencantumkan bahwa perangkat dapat menggunakan speaker dan mikrofon bawaan, USB, maupun Bluetooth untuk mengikuti pertemuan daring (Zoom Support, n.d.). Zoom juga menjelaskan bahwa pengguna Laptop/PC dapat menggunakan headset USB atau Bluetooth sebagai pilihan perangkat audio (Zoom Support, n.d.). Untuk Laptop/PC pembelajaran, Bluetooth 5.0 atau lebih baru dapat digunakan sebagai batas minimal yang aman. Bluetooth 5.3 atau 5.4 dapat menjadi nilai tambah, tetapi tidak perlu dijadikan standar wajib karena kebutuhan utama murid umumnya masih berkaitan dengan koneksi headset, mouse, keyboard, dan perangkat audio.

3 USB

USB merupakan antarmuka penting untuk menghubungkan Laptop/PC dengan perangkat eksternal, seperti flash drive, mouse, keyboard, printer, kamera eksternal, scanner, hard disk eksternal, proyektor melalui adaptor, atau perangkat praktik pembelajaran. Karena perangkat pembelajaran di sekolah sangat beragam, jumlah dan jenis port USB perlu menjadi perhatian.

USB memiliki beberapa jenis konektor dan tingkat kecepatan. USB-A masih banyak digunakan pada perangkat lama dan periferal sekolah, sedangkan USB-C semakin umum pada Laptop/PC baru karena bentuknya kecil, dapat dipasang bolak-balik, dan pada perangkat tertentu dapat mendukung data, pengisian daya, serta keluaran video. USB

Implementers Forum menjelaskan bahwa spesifikasi USB 3.2 mengenali tiga tingkat transfer data, yaitu 5 Gbps, 10 Gbps, dan 20 Gbps (USB Implementers Forum, n.d.). USB-IF juga menjelaskan bahwa USB 4 dan USB 3.2 secara bersama mengidentifikasi beberapa tingkat transfer data, seperti 5 Gbps, 10 Gbps, 20 Gbps, 40 Gbps, dan 80 Gbps (USB Implementers Forum, 2024).

Untuk Laptop/PC pembelajaran, kebutuhan yang lebih realistis adalah memiliki kombinasi USB-A dan USB-C. USB-A penting untuk kompatibilitas dengan perangkat sekolah yang sudah ada, sedangkan USB-C penting untuk perangkat baru dan fleksibilitas penggunaan jangka menengah.

4 HDMI

HDMI merupakan antarmuka audio-video yang digunakan untuk menghubungkan Laptop/PC ke layar eksternal, proyektor, televisi, atau perangkat display lain. Dalam pembelajaran, HDMI sangat penting untuk presentasi, demonstrasi materi, berbagi tampilan ke layar kelas, menampilkan video pembelajaran, atau menghubungkan Laptop/PC ke papan interaktif digital dan monitor eksternal.

HDMI masih relevan karena banyak proyektor, televisi, dan display sekolah menggunakan port HDMI sebagai koneksi utama. HDMI Forum menjelaskan bahwa HDMI 2.1 mendukung bandwidth 48 Gbps dan fitur untuk resolusi serta refresh rate tinggi seperti 4K120 dan 8K60 (HDMI Forum, 2017). Namun, untuk Laptop/PC pembelajaran murid, kebutuhan utama bukanlah 8K atau refresh rate tinggi, melainkan kemampuan menampilkan materi pembelajaran secara stabil ke layar eksternal.

Untuk Laptop/PC pembelajaran, HDMI standar sudah cukup sebagai batas minimal. Jika perangkat sudah menggunakan USB-C dengan dukungan display output, hal itu dapat menjadi nilai tambah, tetapi HDMI tetap penting karena lebih langsung kompatibel dengan banyak perangkat display di sekolah.

5 LAN

LAN/Ethernet tetap relevan untuk kondisi tertentu, misalnya ketika sekolah membutuhkan koneksi internet kabel yang lebih stabil untuk asesmen daring, instalasi sistem, konfigurasi jaringan, atau pembelajaran jaringan komputer. Namun, port LAN/RJ45 bawaan tidak perlu dijadikan syarat utama karena pada Laptop/PC modern, khususnya Laptop/PC yang tipis dan ringan, port Ethernet semakin jarang tersedia. Untuk menjaga fleksibilitas spesifikasi, dukungan LAN dapat dipenuhi melalui adaptor USB-to-Ethernet, baik berbasis USB-A maupun USB-C.

Dengan demikian, dalam spesifikasi Laptop/PC pembelajaran, LAN/Ethernet lebih tepat ditempatkan sebagai dukungan kompatibilitas tambahan, bukan sebagai komponen wajib bawaan. Pendekatan ini membuat spesifikasi tetap realistis terhadap ketersediaan Laptop/PC modern, tidak membatasi pilihan perangkat, dan tetap memungkinkan koneksi kabel ketika dibutuhkan.

Tabel 3.11 Rekomendasi Konektivitas Laptop/PC/PC Pembelajaran

Komponen	Fungsi dalam Pembelajaran	Batas Minimal	Rekomendasi Ideal
Wi-Fi	Akses internet, LMS, asesmen daring, konferensi video, sumber belajar digital	Wi-Fi 5	Wi-Fi 6 atau lebih baru
Bluetooth	Koneksi headset, speaker, mouse, keyboard, dan perangkat nirkabel lain	Bluetooth 5.0	Bluetooth 5.2/5.3 atau lebih baru
USB	Menghubungkan flash drive, mouse, keyboard, printer, kamera, scanner, dan perangkat eksternal	Tersedia USB-A atau USB-C	Kombinasi USB-A dan USB-C
HDMI	Menghubungkan Laptop/PC ke proyektor, TV, monitor, IFP/PID, atau layar eksternal	HDMI tersedia atau dukungan display output melalui USB-C	HDMI bawaan lebih praktis; USB-C display output dapat menjadi alternatif
LAN/Ethernet	Koneksi kabel yang stabil untuk kondisi tertentu	Tidak wajib tersedia sebagai port bawaan	Mendukung koneksi LAN melalui adaptor USB-to-Ethernet; port RJ45 bawaan menjadi nilai tambah

Aspek tata kelola dan legalitas perangkat lunak juga menjadi parameter penting dalam menjamin keberlanjutan fungsi laboratorium komputer. Penggunaan software berlisensi legal merupakan kewajiban yang harus dipenuhi oleh satuan pendidikan guna menghindari risiko kerentanan keamanan siber dan pelanggaran hak cipta.

Dalam mengantisipasi tingginya pembiayaan lisensi proprietary secara mandiri, satuan pendidikan dapat memanfaatkan skema tata kelola lisensi terpadu melalui konsorsium antar-sekolah maupun kemitraan publik-swasta (Public-Private Partnerships) (Evans et al., 2023). Model tata kelola lisensi secara kolektif ini terbukti mampu menekan efisiensi anggaran Kebutuhan Software sekaligus memastikan seluruh unit komputer sekolah mendapatkan akses aplikasi resmi dan terbarui secara berkelanjutan.

Efisiensi manajemen software dan arsitektur sistem semakin optimal melalui adopsi skema komputasi awan (cloud computing) yang menggeser ketergantungan pada server lokal. Pengelolaan perangkat lunak melalui arsitektur server lokal seringkali terkendala oleh tingginya biaya perawatan manual, keterbatasan spesifikasi peladen, dan risiko kegagalan hardware yang fatal saat diakses secara bersamaan (Sison et al., 2025; Maro et al., 2024). Sebaliknya, skema cloud computing berbasis langganan (subscription) atau pemakaian (pay-as-you-go) menawarkan fleksibilitas tinggi karena seluruh pembaruan perangkat lunak, sistem keamanan, dan patch aplikasi dapat dieksekusi secara otomatis oleh penyedia layanan (Huang et al., 2023; El Koshiry, 2024). Skema ini secara drastis mengurangi beban kerja teknis di tingkat sekolah sekaligus menjamin konsistensi performa aplikasi pembelajaran.

Kebutuhan laboratorium komputer SMP menegaskan bahwa spesifikasi teknis minimum (processor 4-core, RAM 8–16 GB, SSD) adalah mandatori yang didasarkan sepenuhnya pada kebutuhan reliabilitas operasional dan umur pakai perangkat (longevity). Dalam pengaturan pascabencana, spesifikasi ini krusial untuk mencegah kegagalan perangkat keras (hardware failure) akibat beban kerja sistem operasi yang berat. Dengan memadukan regulasi nasional dan kebutuhan ketahanan infrastruktur, penetapan standar ini menjadi panduan strategis dalam mewujudkan ekosistem belajar digital yang tangguh dan berkelanjutan bagi seluruh satuan pendidikan SMP.

Dengan demikian, spesifikasi yang diusulkan lebih kontekstual karena mempertimbangkan kebutuhan guru untuk mengakses platform pembelajaran, membuat bahan ajar, membuka beberapa aplikasi secara bersamaan, menjalankan video conference, dan menggunakan perangkat pendukung di kelas.

Rekomendasi Minimum

Komponen	Spesifikasi Minimum
CPU	Minimal 4 Core, 8 Threads, Speed ≥ 4.0 GHz.
RAM	Minimal 8 GB DDR4 atau DDR5.
Storage	SSD 512 GB
Layar	21.5" Resolusi Full HD (1920x1080)
Kamera	Kamera HD 480p
Konektivitas Jaringan	Ethernet (10/100/1000 Mbps) dan Wi-Fi 6 (802.11ax).
Port	HDMI, USB-C, USB-A, LAN/RJ-45
Peripheral	Headset berkabel dengan mikrofon, Keyboard & Mouse kabel USB standar.

Kebutuhan multitasking menjadi alasan utama rekomendasi penggunaan RAM minimal sebesar 8 GB. Saat ini, kapasitas RAM 4 GB dinilai tidak lagi mencukupi karena aktivitas kerja guru yang kerap melibatkan platform berbasis web, aplikasi presentasi, peramban dengan banyak tab, serta konferensi video secara bersamaan.

Rekomendasi

Di sisi lain, kapasitas RAM 16 GB memberikan opsi yang lebih aman bagi guru yang aktif mengoperasikan banyak aplikasi sekaligus, memanfaatkan perangkat lunak multimedia, atau mengajar mata pelajaran yang membutuhkan koding dan simulasi interaktif.

Kebutuhan akan responsivitas sistem menjadi dasar utama bagi rekomendasi penggunaan SSD dengan kapasitas minimal 256 GB. Perangkat SSD tersebut berfungsi efektif dalam mempercepat proses booting, memuat berkas bahan ajar, serta membuka berbagai aplikasi. Kendati demikian, kapasitas sebesar 512 GB jauh lebih disarankan agar guru dapat dengan leluasa menyimpan beragam dokumen, presentasi, video, aplikasi, cache browser, dan file pembelajaran lainnya.

Prosesor yang direkomendasikan adalah prosesor generasi baru dengan kelas performa memadai untuk mendukung multitasking pembelajaran. Kebutuhan ini muncul karena guru sering menjalankan platform pembelajaran, browser, aplikasi presentasi, dokumen digital, dan konferensi video secara bersamaan. Perangkat dengan prosesor generasi lama atau berperforma rendah lebih berisiko mengalami penurunan responsivitas pada beban kerja tersebut.

Rekomendasi layar minimal 13-14 inci didasarkan pada kebutuhan kenyamanan visual. Guru sering membuka beberapa tampilan sekaligus, sehingga layar terlalu kecil dapat mengganggu proses kerja. Layar 14-15 inci lebih ideal untuk presentasi, video conference, dan pengelolaan bahan ajar.

Rekomendasi port dan konektivitas didasarkan pada kebutuhan nyata responden. Hampir seluruh responden membutuhkan HDMI, semua membutuhkan Wi-Fi, dan lebih dari separuh menyebut LAN/RJ-45. Ini menunjukkan bahwa Laptop/PC guru perlu kompatibel dengan perangkat presentasi, jaringan sekolah, dan periferal pendukung pembelajaran.

3.3 INFRASTRUKTUR PENUNJANG

Keberadaan infrastruktur penunjang merupakan pilar krusial yang menentukan keberlanjutan dan keandalan operasional laboratorium komputer di Sekolah Menengah Pertama (SMP). Infrastruktur penunjang tidak lagi dipandang sebagai sekadar elemen pelengkap fisik, melainkan bagian dari sistem utama yang menjamin agar seluruh perangkat keras, perangkat lunak, dan aplikasi pembelajaran dapat berfungsi secara optimal. Berdasarkan Permendikbudristek Nomor 22 Tahun 2023 serta Peraturan Kepala Nomor 048/H/KU/2023, ekosistem TIK yang andal pada satuan pendidikan wajib ditopang oleh pasokan daya listrik yang stabil, ketersediaan jaringan internet nirkabel (Wi-Fi) serta LAN yang menjangkau seluruh area belajar secara lancar, dan tata ruang yang aman. Tanpa keberadaan infrastruktur penunjang yang memadai, investasi pada perangkat komputer atau Laptop/PC berteknologi tinggi tidak akan mampu memberikan dampak efektivitas yang maksimal terhadap proses pembelajaran digital.

Pemenuhan kebutuhan daya listrik yang diperhitungkan dalam kilovolt-ampere (kVA) menjadi parameter utama dalam merancang kapasitas laboratorium komputer SMP. Sebuah laboratorium komputer yang menampung puluhan unit perangkat aktif, pendingin udara (Air Conditioner), perangkat jaringan, serta peladen (server) membutuhkan suplai arus listrik yang terukur dan konsisten untuk mencegah terjadinya kelumpuhan sistem (power outage). Di samping kecukupan kapasitas kVA, keandalan sistem kelistrikan sangat bergantung pada penggunaan Uninterruptible Power Supply (UPS) atau catu daya bebas gangguan, khususnya untuk mengkondisikan fisik ruang peladen (server room) agar tetap beroperasi secara stabil tanpa hambatan fluktuasi voltase (Sison et al., 2025).

Perlindungan terhadap pasokan listrik ini menjadi bentuk jaminan atas keselamatan infrastruktur dasar yang sangat vital bagi keberlanjutan operasional perangkat TIK sekolah (Liu & Li, 2025).

Aspek keselamatan kelistrikan juga berkaitan erat dengan penataan jalur kabel (cable management) dan perlindungan fisik ruang dari risiko kebakaran maupun sengatan listrik. Peraturan Kepala BSKAP Nomor 048/H/KU/2023 mengamanatkan bahwa seluruh fasilitas TIK di sekolah harus aman secara fisik dari potensi bahaya kelistrikan, serta didukung oleh sirkulasi udara dan pencahayaan yang memenuhi standar kesehatan ruang. Penerapan instalasi listrik yang tertata rapi, sistem pembumian (grounding) yang benar, dan penempatan stop kontak yang aman merupakan syarat mutlak dalam mewujudkan model tata ruang TIK yang berkelanjutan (Ruijia et al., 2025). Dengan demikian, standar keselamatan kelistrikan berfungsi untuk melindungi keselamatan jiwa siswa dan pengelola laboratorium sekaligus mencegah kerusakan dini pada komponen perangkat keras.

Di samping kelistrikan, stabilitas dan kecukupan lebar pita koneksi internet (bandwidth), yang dihitung dalam rasio megabit per detik (Mbps) per siswa, menjadi infrastruktur penunjang yang amat vital. Penggunaan platform digital, sistem manajemen pembelajaran (Learning Management System/LMS), serta adopsi layanan berbasis komputasi awan (cloud computing) mensyaratkan ketersediaan koneksi internet pita lebar yang cepat dan stabil di seluruh area laboratorium (El Koshiry, 2024). Penentuan alokasi Mbps per siswa yang ideal mencegah terjadinya penyempitan lalu lintas data (bottleneck) saat puluhan siswa mengakses konten pembelajaran interaktif, mengunduh materi komputasi, atau menjalankan aplikasi pengodean (coding) secara simultan dalam satu rentang waktu pembelajaran.

Integrasi arsitektur jaringan internal berupa Local Area Network (LAN) berbasis kabel dan Wireless Fidelity (Wi-Fi) nirkabel menjadi kunci fleksibilitas konektivitas di laboratorium komputer. Penggunaan jaringan LAN kabel sangat diprioritaskan untuk perangkat utama yang membutuhkan tingkat stabilitas data dan keamanan tinggi, seperti komputer klien dan peladen saat pelaksanaan Asesmen Nasional Berbasis Komputer (ANBK) (Zakariya et al., 2026). Di sisi lain, penyediaan Wi-Fi nirkabel yang terjangkau secara merata di seluruh ruang belajar memberikan fleksibilitas bagi penggunaan perangkat portabel siswa atau guru, sebagaimana diamanatkan dalam kerangka kebijakan Permendikbudristek Nomor 22 Tahun 2023. Keandalan kombinasi jaringan LAN dan Wi-Fi ini memastikan proses tes dan pembelajaran interaktif berjalan tanpa hambatan teknis.

Meskipun standar infrastruktur jaringan dan kelistrikan telah ditetapkan secara regulatif, fakta di lapangan menunjukkan adanya kendala empiris yang cukup berat, terutama di wilayah yang terdampak bencana. Banyak satuan pendidikan di kawasan ini masih dihadapkan pada persoalan fluktuasi arus listrik yang tidak stabil, pemadaman berkala, serta sangat terbatasnya aksesibilitas terhadap konektivitas internet pita lebar (Hazin et al., 2025; Jaya et al., 2024). Keterbatasan infrastruktur dasar ini menciptakan kesenjangan mutu operasional laboratorium komputer antar wilayah, sehingga analisis kebutuhan pada jenjang SMP harus mempertimbangkan penyediaan infrastruktur penunjang alternatif, seperti penggunaan stabilisator tegangan (stabilizer), generator cadangan, serta opsi koneksi internet satelit atau modem seluler berkecepatan tinggi.

Faktor pengkondisian fisik lingkungan laboratorium, khususnya ketersediaan pendingin ruangan (Air Conditioner/AC), memegang peranan mutlak dalam menjaga suhu operasional perangkat dan kenyamanan termal siswa.

Penggunaan puluhan unit komputer secara bersamaan menghasilkan pelepasan kalor yang tinggi, sehingga membutuhkan sistem AC yang mampu menjaga temperatur ruangan tetap berada pada ambang batas aman untuk mencegah panas berlebih (overheating) pada komponen elektronik, serta pendinginan nonstop untuk ruang peladen (Sison et al., 2025). Pengelolaan kondisi fisik ruang yang mencakup suhu, sirkulasi udara, pencahayaan, dan kelembapan secara terbukti berpengaruh langsung terhadap peningkatan daya konsentrasi, motivasi belajar, kenyamanan fisik, dan penurunan risiko gangguan kesehatan bagi siswa usia SMP (Gumasing et al., 2023).

Secara holistik, analisis kebutuhan infrastruktur penunjang laboratorium komputer SMP harus memadukan kelistrikan (kVA dan UPS), internet (Mbps per siswa), jaringan (LAN/Wi-Fi), dan pendingin ruangan (AC) sebagai satu kesatuan parameter mutu fasilitas digital. Keempat elemen ini saling berkelindan dalam membentuk faset ergonomi fisik, keselamatan lingkungan, efisiensi tata ruang (layout), serta dukungan teknis yang kokoh bagi proses pembelajaran (Saha et al., 2024). Dengan memenuhinya sesuai standar regulasi dan rekomendasi akademis, laboratorium komputer SMP tidak hanya berfungsi sebagai fasilitas penyimpanan perangkat TIK, melainkan bertransformasi menjadi lingkungan belajar digital yang aman, nyaman, andal, dan inklusif bagi seluruh peserta didik.

Tabel Infrastruktur Pendukung

Infrastruktur	Rekomendasi
Listrik	Aman, stabil, dan memiliki cadangan daya (UPS/Genset)
Internet	Stabil dan sesuai dengan kebutuhan bandwidth sekolah
Wi-Fi	Menjangkau area belajar (termasuk ruang darurat jika diperlukan)

Penyimpanan	Aman, kering, bebas debu, dan terkunci
Pengisian Daya	Terjadwal, aman, dan menggunakan sistem pengisian daya yang tertib
Perangkat Pendukung	Sesuai dengan aktivitas belajar (headset, proyektor, dll.)
Dukungan Teknis	Penanggung jawab teknis yang jelas dan siap siaga
Skenario Luring	Tersedia untuk kondisi ketika akses internet terbatas/terputus

Penguatan infrastruktur pendukung merupakan komponen krusial dalam rencana penyediaan perangkat TIK pascabencana. Sekolah tidak hanya perlu menghitung kuantitas perangkat Laptop/PC atau PC, tetapi juga wajib memastikan bahwa ekosistem pendukung tersedia untuk menjamin keberlanjutan operasional. Hal ini mencakup ketersediaan daya listrik yang stabil, konektivitas, sistem penyimpanan yang aman, prosedur pengisian daya yang tertib, serta dukungan teknis yang responsif. Tanpa infrastruktur pendukung yang memadai, perangkat TIK berisiko menjadi aset yang tidak termanfaatkan secara optimal, atau bahkan mengalami kerusakan dini akibat kondisi lingkungan yang tidak terjaga.

3.4 ANALISIS PEMBIAYAAN (*COST ANALYSIS*)

Analisis pembiayaan (cost analysis) merupakan dimensi instrumental dalam penyusunan naskah akademik kebutuhan laboratorium komputer untuk Sekolah Menengah Pertama (SMP). Perencanaan finansial yang komprehensif tidak hanya bertumpu pada ketersediaan dana awal untuk Kebutuhan fisik, melainkan wajib memperhitungkan keberlanjutan operasional jangka panjang agar fasilitas TIK tidak mangkrak di tengah jalan.

Dalam kerangka hukum nasional, Pasal 46 Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional menggarisbawahi bahwa pembiayaan sarana dan prasarana pendidikan merupakan tanggung jawab bersama yang melibatkan pemerintah pusat, pemerintah daerah, dan masyarakat. Oleh karena itu, skema penganggaran laboratorium komputer harus dirancang secara transparan dan akuntabel melalui pembagian struktur biaya yang jelas, yakni antara Pengeluaran Modal (Capital Expenditure/CapEx) dan Pengeluaran Operasional (Operational Expenditure/OpEx).

Komponen Capital Expenditure (CapEx) mengacu pada alokasi investasi finansial awal yang dibutuhkan untuk membangun, melengkapi, dan mengondisikan fisik laboratorium komputer agar siap pakai. Berdasarkan Peraturan Kepala BSKAP Nomor 048/H/KU/2023 tentang Petunjuk Teknis Standar Sarana dan Prasarana, komponen CapEx di tingkat satuan pendidikan mencakup pemenuhan pengisian fisik ruang laboratorium berluas minimal 96 m^2.

Pembiayaan CapEx ini meliputi Kebutuhan unit komputer atau Laptop/PC murid berspesifikasi standar, penataan furnitur ergonomis (meja dan kursi siswa, meja demonstrasi guru, lemari penyimpanan alat, dan papan tulis), instalasi jaringan internal (LAN/Wi-Fi), penataan pengkabelan listrik utama, serta pemasangan sistem pendingin ruangan (Air Conditioner/AC). Seluruh item Kebutuhan CapEx ini membentuk aset tetap sekolah yang menjadi fondasi utama keberlangsungan ekosistem digital.

Besaran alokasi CapEx juga sangat dipengaruhi oleh pilihan arsitektur TIK yang diadopsi oleh satuan pendidikan, khususnya terkait keberadaan peladen (server).

Model tradisional yang mengandalkan server lokal menuntut pengeluaran modal awal (CapEx) yang sangat tinggi untuk membeli unit peladen berspesifikasi tinggi, pengondisian fisik ruang server khusus, Kebutuhan sistem pendingin AC nonstop, serta penyediaan Uninterruptible Power Supply (UPS) berskala besar (Sison et al., 2025). Mengingat keterbatasan anggaran pada banyak SMP di Indonesia, pemaksaan Kebutuhan server lokal dapat menyerap porsi terbesar dari CapEx sekolah. Sebagai solusinya, penerapan arsitektur TIK hibrida (hybrid model) menjadi pendekatan yang paling rasional dan berbiaya efisien (cost-effective) untuk menekan lonjakan investasi awal CapEx tanpa mengorbankan fungsionalitas sistem (Gu et al., 2025).

Di sisi lain, Operational Expenditure (OpEx) mencakup perkiraan pembiayaan rutin bulanan dan tahunan yang diperlukan untuk menjaga agar ekosistem laboratorium komputer tetap beroperasi secara optimal. Komponen OpEx rutin mencakup pembayaran tagihan utilitas bulanan (daya listrik dan langganan internet pita lebar/ bandwidth), biaya lisensi perangkat lunak, serta langganan platform pembelajaran. Adopsi model komputasi awan (cloud computing) terbukti secara drastis menekan beban investasi awal CapEx dengan mengalihkannya menjadi OpEx berulang berbasis langganan (subscription-based) atau pemakaian (pay-as-you-go) (Huang et al., 2023). Skema ini membebaskan sekolah dari kebutuhan peladen mahal sekaligus menekan kebutuhan pembiayaan untuk merekrut tenaga ahli TIK internal bersertifikasi tinggi di tiap sekolah (El Koshiry, 2024).

Salah satu isu kritis yang diidentifikasi dalam masalah naskah akademik ini adalah belum adanya skema pemeliharaan (maintenance) dan penanganan penyusutan (depreciation) perangkat yang berkelanjutan di satuan pendidikan. Banyak sekolah mampu mengalokasikan CapEx untuk pembelian awal, namun gagal menganggarkan cadangan OpEx untuk perawatan fisik rutin (preventive maintenance) dan perbaikan (corrective repair).

Pengoperasian laboratorium komputer tanpa cadangan pembiayaan pemeliharaan yang memadai berisiko mempercepat tingkat kegagalan hardware serta memperparah depresiasi nilai aset sekolah (Maro et al., 2024). Oleh sebab itu, struktur OpEx wajib mengalokasikan persentase anggaran khusus secara konsisten sebagai dana cadangan pemeliharaan dan perbaikan perangkat.

Keberlanjutan finansial laboratorium komputer SMP juga sangat ditentukan oleh manajemen siklus hidup perangkat melalui perencanaan daur ulang teknologi (tech-refreshment cycle). Perangkat komputer dan PC secara alami mengalami penurunan kinerja komputasi dan depresiasi nilai fungsi seiring bertambahnya usia pakai. Untuk mencegah penumpukan perangkat keras yang usang (obsolete) di laboratorium, skema penganggaran OpEx harus mencakup perencanaan daur ulang teknologi secara berkala setiap 3 hingga 5 tahun (Hashim et al., 2022). Dengan memasukkan tech-refreshment ke dalam perencanaan finansial jangka panjang, sekolah dapat melakukan peremajaan unit secara bertahap tanpa harus mengalami kejutan lonjakan CapEx secara mendadak di masa depan.

Guna mengoptimalkan efisiensi pembiayaan CapEx maupun OpEx, satuan pendidikan dapat memanfaatkan skema tata kelola keuangan yang inovatif, seperti Kemitraan Publik-Swasta (Public-Private Partnerships/PPP) dan pembentukan konsorsium antar-sekolah. Melalui kebutuhan kolektif dalam skala besar (economies of scale), konsorsium antar-sekolah mampu mengamankan harga pembelian perangkat keras yang lebih murah, mendapatkan potongan harga lisensi perangkat lunak resmi, serta menekan biaya kontrak pemeliharaan laboratorium secara bersama (Evans et al., 2023). Kolaborasi ini memberikan solusi konkret bagi sekolah-sekolah dengan kemampuan fiskal terbatas agar tetap mampu memenuhi standar laboratorium komputer yang berkualitas.

Secara sintetis, analisis pembiayaan laboratorium komputer SMP menyimpulkan bahwa perencanaan CapEx dan OpEx harus dikelola secara seimbang, realistis, dan berkesinambungan. Kebutuhan fisik awal melalui CapEx, yang mencakup spesifikasi BSKAP Nomor 048/H/KU/2023, wajib dibarengi dengan jaminan kepastian alokasi OpEx untuk utilitas, pemeliharaan, dan tech-refreshment. Dengan mengkombinasikan landasan hukum UU No. 20 Tahun 2003, adopsi arsitektur TIK yang efisien, serta pemanfaatan skema konsorsium, analisis pembiayaan ini memberikan kerangka kerja strategis bagi pemerintah dan sekolah untuk mewujudkan laboratorium komputer SMP yang tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga berkelanjutan secara finansial.

3.5 IDENTIFIKASI HAMBATAN, RISIKO, DAN MITIGASI

Penyelenggaraan laboratorium komputer di satuan pendidikan yang berada dalam wilayah terdampak bencana menghadapi tantangan spesifik yang sangat berbeda dibandingkan dengan kondisi operasional normal. Tantangan utama yang dihadapi sekolah tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga menyangkut aspek ketahanan infrastruktur dan keberlanjutan layanan pendidikan pascabencana. Oleh karena itu, identifikasi hambatan, analisis risiko, dan penyusunan strategi mitigasi menjadi langkah fundamental untuk memastikan investasi perangkat TIK tidak sia-sia dan dapat segera berfungsi kembali dalam mendukung proses pembelajaran serta pelaksanaan asesmen nasional.

Hambatan utama yang sering muncul pada satuan pendidikan terdampak bencana meliputi kerusakan fisik sarana dan prasarana dasar, seperti ketidakstabilan pasokan listrik dan terputusnya jaringan konektivitas internet akibat hancurnya infrastruktur wilayah.

Selain itu, keterbatasan ruang belajar yang aman dan higienis sering kali memaksa sekolah menggunakan ruang darurat yang kurang memadai untuk perangkat sensitif seperti komputer. Hambatan ini diperparah dengan minimnya akses terhadap tenaga teknis (teknisi IT) yang dapat segera melakukan perbaikan di lapangan, mengingat mobilisasi sumber daya di wilayah bencana biasanya terhambat.

Sebagai konsekuensi dari hambatan tersebut, terdapat sejumlah risiko signifikan yang mengancam keberlangsungan program bantuan laboratorium komputer. Risiko operasional yang paling nyata adalah kerusakan perangkat akibat fluktuasi tegangan listrik atau paparan lingkungan (seperti debu, kelembapan, dan suhu tinggi) yang tidak terkendali di lokasi bencana. Risiko lainnya adalah hilangnya data penting sekolah yang tersimpan secara lokal karena ketiadaan cadangan (backup), serta kegagalan pelaksanaan evaluasi atau asesmen berbasis komputer akibat terhentinya koneksi ke server pusat. Jika tidak diantisipasi, akumulasi risiko ini akan menyebabkan pemborosan anggaran karena perangkat yang disediakan tidak dapat digunakan secara optimal atau bahkan rusak dalam waktu singkat.

Untuk meminimalisir dampak risiko tersebut, diperlukan langkah mitigasi yang terintegrasi sejak tahap perencanaan bantuan. Strategi mitigasi harus mencakup tiga aspek: penguatan fisik, manajemen data, dan kesiapsiagaan operasional. Dari sisi penguatan fisik, laboratorium harus dilengkapi dengan perangkat pendukung seperti Uninterruptible Power Supply (UPS) berkapasitas memadai dan perlindungan fisik terhadap anomali lingkungan. Pada aspek manajemen data, sekolah perlu memperhatikan berbagai media penyimpanan. Dari sisi kesiapsiagaan, setiap sekolah terdampak bencana harus memiliki Prosedur Operasional Standar (SOP) darurat yang mencakup protokol pemindahan aset (evakuasi perangkat) dan prosedur pemulihan cepat (quick recovery) pascabencana agar layanan pendidikan tetap dapat diakses oleh peserta didik.

04

REKOMENDASI DAN ARAH KEBIJAKAN

Arah kebijakan strategis Kebutuhan Dan tata kelola laboratorium komputer pada jenjang Sekolah Menengah Pertama (SMP) harus diletakkan di atas fondasi regulasi nasional yang kokoh, yaitu Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003, Permendikbudristek Nomor 22 Tahun 2023, serta Petunjuk Teknis BSKAP Nomor 048/H/KU/2023. Transformasi digital pendidikan tidak lagi menempatkan Laboratorium Komputer sebagai fasilitas pelengkap opsional, melainkan sebagai bagian integral dan standar pelayanan minimal persekolahan modern. Kebijakan ini diarahkan untuk menjamin pencapaian lima area kompetensi digital siswa berbasis kerangka kerja DigComp 2.2, mencakup literasi data, komunikasi digital, kreasi konten, keamanan siber, dan pemecahan masalah, sekaligus memastikan kesiapan fisik dan teknis sekolah dalam menyelenggarakan Asesmen Nasional Berbasis Komputer (ANBK) dan mata pelajaran Informatika secara mandiri dan andal.

Guna mengatasi kesenjangan geografis dan disparitas antar wilayah yang tajam antara kawasan perkotaan dengan wilayah rural dan Daerah yang terdampak bencana , arah kebijakan prioritas Kebutuhan Wajib bergeser dari pola alokasi rata (flat distribution) menuju pendekatan berbasis pemetaan tingkat ketimpangan sarpras antar-sekolah (data-driven equity allocation). Hasil data empiris menunjukkan ketimpangan nyata dalam spesifikasi dan keandalan perangkat TIK antara Indonesia Barat, Tengah, dan Timur.

Oleh karena itu, pengambil kebijakan di tingkat Kementerian maupun Dinas Pendidikan Daerah wajib menggunakan indeks ketimpangan digital sekolah sebagai basis utama penetapan kuota bantuan, sehingga intervensi anggaran Dana Alokasi Khusus (DAK) Fisik maupun Bantuan Operasional Satuan Pendidikan (BOSP) secara presisi diprioritaskan bagi sekolah-sekolah yang mengalami defisit sarana paling berat.

Implementasi kebijakan pemerataan di wilayah 3T dan daerah berketerbatasan infrastruktur memerlukan strategi intervensi afirmatif yang adaptif terhadap kendala pasokan listrik dan jaringan internet. Mengingat hambatan utama di wilayah Indonesia Timur dan rural berpusat pada fluktuasi arus listrik, keterbatasan bandwidth, dan sulitnya akses layanan perbaikan, Kebutuhan Fasilitas TIK tidak boleh memaksakan standar fisik yang seragam tanpa memperhitungkan daya dukung lokal. Kebijakan afirmatif mencakup penyediaan paket sarana terintegrasi yang dilengkapi dengan alat penstabil tegangan (stabilizer), catu daya bebas gangguan (UPS), opsi koneksi internet satelit/modem seluler berkecepatan tinggi, serta spesifikasi perangkat keras hemat energi yang tahan terhadap fluktuasi lingkungan.

Sebagai respon strategis terhadap keterbatasan lahan fisik serta tingginya biaya pembangunan laboratorium konvensional seluas 96 m^2, arah kebijakan mendorong adopsi strategi hibridasi dan modernisasi sarana melalui pemanfaatan perangkat hemat daya dan portabel, seperti skema lab cart. Penggunaan trolley/cart penyimpanan dan pengisian daya portabel memungkinkan perangkat TIK dipindahkan secara fleksibel antar-ruang kelas reguler, sehingga merubah kelas biasa menjadi ruang belajar digital secara instan. Model lab cart ini menjadi alternatif yang sangat efisien dari segi biaya modal (CapEx) dan konsumsi daya listrik, sekaligus memberikan fleksibilitas akses TIK yang lebih dinamis tanpa mengabaikan fungsi laboratorium terpusat untuk kegiatan praktikum komputasi berat dan ANBK.

Dalam rangka meningkatkan efisiensi operasional dan menekan biaya pemeliharaan jangka panjang, kebijakan tata kelola TIK diarahkan untuk mentransformasi arsitektur sistem dari ketergantungan pada server lokal fisik menuju adopsi komputasi awan (cloud computing) dan model hibrida.

Pengelolaan server lokal terbukti membutuhkan pengeluaran modal (CapEx) dan operasional (OpEx) yang sangat tinggi, serta rawan terhadap kerentanan hardware dan pemadaman listrik. Melalui pendelegasian infrastruktur ke platform cloud, pembaruan aplikasi, pencadangan data, dan pemeliharaan sistem keamanan dapat dieksekusi secara otomatis, sehingga menekan kebutuhan pembiayaan teknisi ahli di setiap sekolah dan memastikan ketersediaan layanan pembelajaran interaktif berbasis web yang responsif.

Keberlanjutan fungsi laboratorium komputer mewajibkan adanya penguatan ekosistem SDM yang memisahkan beban kerja pedagogis guru dari pemeliharaan teknis perangkat. Kebijakan strategis mendorong pembentukan unit bantuan teknis terpusat (centralized IT helpdesk) atau teknisi profesional berbasis klaster/gugus sekolah untuk mengelola pemeliharaan berkala, perbaikan perangkat, dan penanganan gangguan teknis ANBK. Di saat yang sama, kapasitas guru mata pelajaran Informatika terus ditingkatkan melalui pelatihan terstruktur berbasis kerangka Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) dan standar DigComp 2.2, fokus pada penguasaan metode pengajaran koding, kecerdasan artifisial, dan perawatan dasar (first-line troubleshooting).

Untuk menjamin keberlanjutan investasi dan mencegah risiko akumulasi perangkat usang (technological obsolescence), kebijakan pembiayaan wajib mengamanatkan perencanaan daur ulang teknologi (tech-refreshment cycle) secara berkala setiap 3 hingga 5 tahun. Setiap satuan pendidikan dan Dinas Pendidikan Daerah harus mengalokasikan persentase khusus dalam anggaran operasional (OpEx) sebagai dana cadangan pemeliharaan rutin dan peremajaan perangkat.

Selain itu, pemerintah mendorong pembentukan konsorsium Kebutuhan Antar-sekolah dan Kemitraan Publik-Swasta (Public-Private Partnerships) guna mencapai efisiensi skala ekonomi (economies of scale), mengamankan lisensi perangkat lunak resmi berbiaya terjangkau, serta menjamin standar layanan purna jual yang berkelanjutan di seluruh Indonesia.



Daftar Pustaka:

Al-Adwan, A. S., Meet, R. K., Anand, S., Shukla, G. P., Alsharif, R., & Dabbaghia, M. (2024). Understanding continuous use intention of technology among higher education teachers in emerging economy: Evidence from integrated TAM, TPACK, and UTAUT model. *Studies in Higher Education, 50*(3), 505–524. https://doi.org/10.1080/03075079.2024.2343955

Altan, B. A., Yorulmaz, A., & Karalar, H. (2024). Modelling primary school teachers' acceptance of distance-based educational technologies: A post-pandemic perspective. *Education and Information Technologies, 29*(13), 16499–16523. https://doi.org/10.1007/s10639-024-12509-1

An introduction to the UNESCO *Recommendation on Open Science*. (2022). UNESCO. https://doi.org/10.54677/xoir1696

Audrin, C., & Bertrand. (2022). Key factors in digital literacy in learning and education: A systematic literature review using text mining. *Education and Information Technologies, 27*(6), 7395–7419. https://doi.org/10.1007/s10639-021-10832-5

Dinçer, S. (2024). Bridging the gap in technology integration in education: An examination of science teachers' competencies and needs. *Journal of Turkish Science Education, 21*(4), 620–634. https://doi.org/10.36681/tused.2024.033

Divayana, D. G. H., Suyasa, P. W. A., & Widiartini, N. K. (2021). An innovative model as evaluation model for information technology-based learning at ICT vocational schools. *Heliyon, 7*(2), e06347. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06347

El Koshiry, A. (2024). Enhancing sustainable development in education: Reality of cloud computing applications in activating e-learning at King Faisal University. *Heritage and Sustainable Development, 6*(1), 247–266. https://doi.org/10.37868/hsd.v6i1.480

Evans, N., Miklosik, A., & Du, J. T. (2023). University-industry collaboration as a driver of digital transformation: Types, benefits and enablers. *Heliyon, 9*(10), e21017. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21017

González-Pérez, L. I., & Ramírez-Montoya, M. S. (2022). Components of education 4.0 In 21st century skills frameworks: Systematic review. *Sustainability, 14*(3), 1493. https://doi.org/10.3390/su14031493

Govender, I. (2025). Digital Literacy and STEM Skills– What is the Connection? A Systematic Review. *Technology, Knowledge and Learning*. https://doi.org/10.1007/s10758-025-09879-x

Gu, Y., He, J., Huang, W., & Sun, B. (2025). Professional development for teachers in the digital age: A comparative analysis of online training programs and policy implementation. *Behavioral Sciences, 15*(8), 1076. https://doi.org/10.3390/bs15081076

Guan, Y., Zhang, C., He, H., Zhang, W., Hu, Z., Bi, T., & Jin, X. (2025). AI literacy predicts computational thinking through multidimensional interactions among Chinese high school students. *Scientific Reports, 15*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-025-16712-z

Gumasing, Ma. J. J., Cruz, I. S. V. D., Piñon, D. A. A., Rebong, H. N. M., & Sahagun, D. L. P. (2023). Ergonomic factors affecting the learning motivation and academic attention of SHS students in distance learning. *Sustainability, 15*(12), 9202. https://doi.org/10.3390/su15129202

Hashim, M. A. M., Tlemsani, I., & Duncan Matthews, R. (2022). A sustainable University: Digital Transformation and Beyond. *Education and Information Technologies, 27*(7), 8961–8996. https://doi.org/10.1007/s10639-022-10968-y

Hazin, M., Yani, M. T., Trihantoyo, S., Rusdinal, R., Sulastri, S., & Rahmawati, N. W. D. (2025). Analyzing digitalization in education policy in indonesia through the policy analysis triangle model. *Journal of Posthumanism, 5*(1). https://doi.org/10.63332/joph.v5i1.631

Huang, Q., Anwar, M., Oliver, G., & Mahbubur, R. (2023). Investigating cloud ERP adoption in australian higher education institutions: A case study. *Pacific Asia Journal of the Association for Information Systems, 15*, 88–115. https://doi.org/10.17705/1pais.15204

Jang, J., Ko, Y., Shin, W. S., & Han, I. (2021). Augmented reality and virtual reality for learning: An examination using an extended technology acceptance model. *IEEE Access, 9*, 6798–6809. https://doi.org/10.1109/access.2020.3048708

Jaya, I. G. N. M., Pahlevi, S. M., Susenna, A., Agustina, L., Kusumasari, D., Sukma, Y. A. A., Hernikawati, D., Rahmi, A. A., Pravitasari, A. A., & Kristiani, F. (2024). Framework for monitoring the spatiotemporal distribution and clustering of the digital society index of indonesia. *Sustainability, 16*(24), 11258. https://doi.org/10.3390/su162411258

Khong, H., Celik, I., Le, T. T. T., Lai, V. T. T., Nguyen, A., & Bui, H. (2022). Examining teachers' behavioural intention for online teaching after COVID-19 pandemic: A large-scale survey. *Education and Information Technologies, 28*(5), 5999–6026. https://doi.org/10.1007/s10639-022-11417-6

Li, M., & Li, Y. (2025). Investigating the interrelationships of technological pedagogical readiness using PLS-SEM: A study of primary mathematics teachers in China. *Journal of Mathematics Teacher Education*. https://doi.org/10.1007/s10857-025-09694-2

Liu, Q., & Li, Y. (2025). Digital-Technology-Enhanced immersive learning in chinese secondary school geography education: A comprehensive comparative analysis of sustainable pedagogical transformation. *Sustainability, 17*(18), 8478. https://doi.org/10.3390/su17188478

Maro, S. H., Kondoro, A. W., Mtebe, J. S., Proctor, J., Komba, A., & Haßler, B. (2024). Exploring the feasibility of deploying technology enhanced school-based teacher continuous professional development in internet-limited environments in tanzania. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning, 25*(2), 60–76. https://doi.org/10.19173/irrodl.v25i2.7428

Navarro, C., Arias-Calderón, M., Henríquez, C. A., & Riquelme, P. (2024). Assessment of student and teacher perceptions on the use of virtual simulation in cell biology laboratory education. *Education Sciences, 14*(3), 243. https://doi.org/10.3390/educsci14030243

Nguyen, L. T., Kanjug, I., Lowatcharin, G., Manakul, T., Poonpon, K., Sarakorn, W., Somabut, A., Srisawasdi, N., Traiyarach, S., & Tuamsuk, K. (2023). Digital learning ecosystem for classroom teaching in Thailand high schools. *Sage Open, 13*(1). https://doi.org/10.1177/21582440231158303

Oakley, T., Vaz, J., da Silva, F., Allan, R., Almeida, D., Champlin, K., da Silva, E. S., Tilman, A. J., Marr, I., Smith-Vaughan, H., Yan, J., & Francis, J. R. (2025). Implementation of a Laboratory Information Management System (LIMS) for microbiology in Timor-Leste: Challenges, mitigation strategies, and end-user experiences. *BMC Medical Informatics and Decision Making, 25*(1). https://doi.org/10.1186/s12911-024-02831-6

OECD science, technology and innovation outlook 2023. (2023). *OECD Publishing*. https://doi.org/10.1787/0b55736e-en

Pena-Molina, A. E., & Larrondo-Petrie, M. M. (2025). Safety and security considerations for online laboratory management systems. *Journal of Cybersecurity and Privacy, 5*(2), 24. https://doi.org/10.3390/jcp5020024

Ruijia, Z., Wenling, L., & Xuemei, Z. (2025). The impact of Information and Communication Technology (ICT) on learning outcomes in early childhood and primary education: A meta-analysis of moderating factors. *Frontiers in Psychology, 16*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1540169

Saha, A. K., Jahin, M. A., Rafiquzzaman, Md., & Mridha, M. F. (2024). Ergonomic design of computer laboratory furniture: Mismatch analysis utilizing anthropometric data of university students. *Heliyon, 10*(14), e34063. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34063

Sison, R., Luciano, R., & Padre, J. (2025). Setting up a computer laboratory for a national high school in nueva ecija: An updated perspective on technological integration. *International Journal For Multidisciplinary Research, 7*(2). https://doi.org/10.36948/ijfmr.2025.v07i02.36835

Tarasenko, S., Vorontsova, A., Régent, V., Soss, J., & Mylenkova, R. (2025). Science mapping analysis of challenges surrounding cloud universities and their impact on the resilience of higher education. *Knowledge and Performance Management, 9*(2), 1–17. https://doi.org/10.21511/kpm.09(2).2025.01

Zakariya, Y. F., Alotaibi, S. B., Alrashood, J. S., & Alrosaa, T. M. (2026). Computer-based testing in higher education: A phenomenology investigation into undergraduate students' perspectives through the technology acceptance model. *Frontiers in Psychology, 17*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2026.1602964

Kemendikdasmen

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DASAR DAN MENENGAH.
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN ANAK USIA DINI, PENDIDIKAN DASAR,
PENDIDIKAN NONFORMAL DAN INFORMAL
2026