

PANDUAN PENGEMBANGAN VIRTUAL LAB FOTOGRAFI DASAR

Kamera Pro Edukatif Berbasis Web

Konsep final: kamera asli perangkat sebagai live view, kontrol Pro berbentuk slider, penjelasan edukatif, serta perbedaan jelas antara kontrol nyata, otomatis, dan simulasi.

Versi 2.0 - Baseline Pengembangan dari Awal

23 Juli 2026

Dokumen ini dirancang untuk workflow human-in-the-loop: pengguna tetap mengendalikan arah produk, sedangkan AI agent mengerjakan implementasi per fase.

Kontrol Dokumen

Atribut	Keterangan
Nama dokumen	Panduan Pengembangan Virtual Lab Fotografi Dasar
Versi	2.0
Status	Baseline pengembangan baru dari awal
Konsep utama	Kamera Pro edukatif berbasis kamera perangkat
Sumber arah UI	Mockup dan struktur fitur pada catatan Karina
Referensi pola interaksi	Alur Canon Play sebagai inspirasi fungsi, bukan salinan desain atau aset
Teknologi utama	PHP native MVC, MySQL/MariaDB, HTML, CSS, JavaScript, MediaDevices API, Canvas
Metode kerja	Human-in-the-loop, implementasi bertahap, perubahan dapat dikunci setelah setiap fase
Pemilik keputusan	Pengguna / pengembang utama

Keputusan Produk yang Dikunci

- Proyek akan dibangun ulang dari awal agar arsitektur, tampilan, dan alur sesuai konsep terbaru.
- Kamera asli HP atau laptop digunakan sebagai live view dan sumber foto.
- ISO, shutter speed, dan aperture tetap disediakan sebagai slider pembelajaran.
- Setiap kontrol diberi badge NYATA, SIMULASI, atau OTOMATIS berdasarkan kemampuan perangkat.
- Kontrol yang tidak tersedia pada browser tetap dapat dipelajari melalui simulasi efek yang jujur.
- Foto asli dan hasil simulasi tidak boleh dicampur atau diklaim sebagai hasil hardware yang sama.
- Tampilan dashboard dan susunan menu mengikuti catatan Karina.
- Pola penggunaan simulator mengikuti alur Canon Play: atur, lihat dampak, ambil foto, baca penjelasan, bandingkan.
- Kode, aset, logo, dan teks Canon tidak boleh disalin.
- Pengguna dapat mengubah keputusan produk; setiap perubahan harus dicatat dan diterapkan pada fase berikutnya.

Prinsip Utama

Aplikasi harus terasa seperti kamera mode Pro untuk belajar fotografi, bukan sekadar kamera biasa dan bukan pula slider dekoratif. Setiap perubahan slider harus menghasilkan perubahan visual, indikator, serta penjelasan yang dapat dipahami siswa.

Daftar Isi

1. Ringkasan Produk	8. Mesin Slider Fotografi	15. Pengujian, Keamanan, dan Privasi
2. Batas Konsep dan Klaim	9. Pengambilan Foto dan Perbandingan Hasil	16. Deployment dan Definition of Done
3. Arah Tampilan dan Pengalaman Pengguna	10. Praktikum dan Pembelajaran Terstruktur	Lampiran A. Template AGENTS.md
4. Peran Pengguna dan Alur Utama	11. Model Data	Lampiran B. Prompt Awal
5. Ruang Lingkup MVP	12. Fase Pengembangan dari Awal	Lampiran C. Prompt Audit
6. Arsitektur Teknis	13. Kerja Manual, ChatGPT, dan AI Agent	Lampiran D. Laporan Status
7. Strategi Kamera dan Kemampuan Perangkat	14. Protokol Perubahan	Lampiran E. Checklist Kamera

1. Ringkasan Produk

Virtual Lab Fotografi Dasar adalah aplikasi pembelajaran berbasis web untuk siswa Kelas X DKV. Aplikasi menggunakan kamera asli perangkat sebagai live view, kemudian menambahkan panel kontrol Pro berbentuk slider, indikator efek, dan penjelasan edukatif.

Rumusan Konsep Final

Kamera perangkat menyediakan gambar nyata. Aplikasi menyediakan pengalaman belajar kamera Pro melalui slider, penjelasan, latihan, hasil jepretan, dan perbandingan. Kontrol hardware digunakan hanya bila perangkat mendukungnya; kontrol lain disimulasikan secara transparan.

1.1 Tujuan Produk

- Membantu siswa memahami ISO, shutter speed, aperture, exposure, fokus, white balance, zoom, noise, motion blur, dan depth of field.
- Menjadi alat bantu pengganti kamera DSLR pada tahap pengenalan konsep, latihan dasar, dan prapraktikum.
- Mengurangi ketergantungan terhadap jumlah kamera fisik sekolah yang terbatas.
- Menyediakan latihan yang dapat dilakukan melalui HP atau laptop.
- Memberikan umpan balik dan penjelasan pada setiap perubahan pengaturan.
- Menyimpan hasil praktik agar guru dapat memantau perkembangan siswa.

1.2 Nilai Pembeda dari Kamera Biasa

Kamera Biasa	Virtual Lab Fotografi
Hanya membuka preview dan mengambil foto.	Menjelaskan fungsi setiap pengaturan dan dampaknya.
Kontrol tergantung aplikasi kamera bawaan.	Kontrol ditampilkan sebagai slider pembelajaran yang konsisten.
Tidak membedakan hardware dan efek digital.	Setiap kontrol diberi badge NYATA, SIMULASI, atau OTOMATIS.
Hasil tidak selalu dibandingkan secara edukatif.	Foto asli dan hasil pengaturan dapat dibandingkan beserta metadata.
Tidak memiliki tugas praktikum terstruktur.	Memiliki guided practice, pengamatan, kesimpulan, dan monitoring guru.

1.3 Prinsip HAIDA

Prinsip	Penerapan dalam Aplikasi
Hybrid	Belajar melalui aplikasi lalu dilanjutkan dengan praktik dan arahan guru.
Adaptive	Fitur dan kontrol menyesuaikan kemampuan kamera perangkat serta hasil belajar siswa.
Interactive	Slider, live view, exposure meter, shutter, penjelasan, dan perbandingan hasil.
Digital Project	Siswa mengambil, menyimpan, membandingkan, dan mengumpulkan foto.

Prinsip	Penerapan dalam Aplikasi
Accessibility	Responsif, dapat digunakan melalui HP/laptop, serta memiliki fallback saat kemampuan kamera terbatas.

2. Batas Konsep dan Klaim

2.1 Klaim yang Aman

- Aplikasi menggunakan kamera perangkat sebagai media praktik langsung.
- Aplikasi menyediakan kontrol Pro edukatif dan simulasi parameter fotografi.
- Aplikasi dapat menerapkan kontrol hardware tertentu apabila browser dan perangkat mendukungnya.
- Aplikasi menggantikan kebutuhan kamera DSLR untuk latihan konsep dasar dan prapraktikum.
- Aplikasi tidak menggantikan seluruh pengalaman sensor motorik dan karakter optik kamera DSLR.

2.2 Klaim yang Dilarang

- Mengatakan seluruh HP dapat mengubah ISO hardware secara langsung dari browser.
- Mengatakan aperture fisik HP berubah ketika slider aperture digeser.
- Mengatakan shutter speed hardware berubah apabila tidak dibuktikan oleh capability perangkat.
- Menulis metadata simulasi sebagai EXIF asli.
- Mengklaim hasil simulasi identik dengan kamera DSLR profesional.
- Menyalin desain, logo, gambar, kode, atau teks Canon Play.

2.3 Status Kontrol

Badge	Makna	Contoh
NYATA	Nilai berhasil diterapkan ke kamera melalui capability dan constraints perangkat.	Zoom 2x, torch, exposure compensation pada perangkat tertentu.
SIMULASI	Efek diterapkan pada preview atau foto melalui Canvas/CSS untuk tujuan pembelajaran.	ISO 1600, f/2.8, shutter 1/15 ketika hardware tidak mendukung.
OTOMATIS	Nilai tetap dikendalikan kamera atau browser.	Autofocus, auto white balance, auto exposure.

Aturan Kejujuran Teknis

Slider tetap boleh selalu tersedia agar pengalaman belajar konsisten. Namun badge dan metadata harus menjelaskan apakah perubahan benar-benar diterapkan pada hardware atau hanya disimulasikan.

3. Arah Tampilan dan Pengalaman Pengguna

3.1 Sumber Arah UI

Struktur halaman dan menu mengikuti catatan Karina, termasuk login, dashboard siswa, Materi, Virtual Lab, Simulasi Komposisi, Kuis, Digital Project, Hasil & Nilai, Progress Belajar, Profil, dan Panduan.

3.2 Karakter Visual

- Latar terang, bersih, dan ramah siswa.
- Kartu menu besar dengan sudut membulat dan bayangan ringan.
- Warna aksen biru atau ungu yang konsisten.
- Ikon sederhana dan mudah dikenali.
- Tidak terlihat seperti dashboard admin generik.
- Responsif untuk desktop, tablet, dan HP.
- Area kamera menjadi fokus utama pada halaman Virtual Lab.
- Slider cukup besar untuk disentuh pada layar HP.

3.3 Susunan Dashboard Siswa

No.	Menu	Status MVP
1	Materi	Aktif
2	Virtual Lab	Prioritas utama
3	Simulasi Komposisi	Fase lanjutan
4	Kuis	Fase lanjutan
5	Digital Project	Fase lanjutan
6	Hasil & Nilai	Fase lanjutan
7	Progress Belajar	Aktif setelah materi dan praktikum
8	Profil	Minimum
9	Panduan	Minimum

3.4 Halaman Virtual Lab

- Header dan status kamera.
- Live view kamera dominan.
- Tombol aktifkan, ganti, dan matikan kamera.
- Slider ISO, shutter speed, dan aperture.
- Kontrol nyata tambahan bila tersedia: zoom, focus, exposure compensation, white balance, dan torch.
- Exposure meter dari -3 sampai +3.
- Panel 'Apa yang sedang terjadi?'.
- Tombol shutter besar.
- Foto asli dan hasil simulasi.
- Hasil Jeprekan Saya dan perbandingan.

4. Peran Pengguna dan Alur Utama

4.1 Peran

Peran	Hak Utama
Guru	Mengelola materi/praktikum, melihat hasil, penilaian, progres, dan laporan.
Siswa	Belajar materi, menggunakan kamera Pro, mengikuti praktikum,

Peran	Hak Utama
	mengambil foto, dan melihat hasil.

4.2 Alur Siswa

1. Login dan membuka dashboard.
2. Memilih Materi atau Virtual Lab.
3. Menekan tombol Aktifkan Kamera dan memberikan izin.
4. Memilih mode AUTO, PRO, atau GUIDED PRACTICE.
5. Menggeser slider dan membaca penjelasan perubahan.
6. Mengambil foto melalui tombol shutter.
7. Membandingkan foto asli dan hasil simulasi.
8. Menyimpan pengamatan dan memilih hasil terbaik.
9. Menyelesaikan praktikum dan melihat hasil.

4.3 Alur Guru

1. Login ke dashboard guru.
2. Melihat jumlah siswa yang menggunakan Virtual Lab.
3. Melihat hasil jepretan dan sesi praktikum.
4. Membaca metadata kontrol nyata/simulasi.
5. Melihat pengamatan dan kesimpulan siswa.
6. Memberikan nilai atau komentar pada proyek yang memerlukan penilaian manual.
7. Mengakses laporan perkembangan.

5. Ruang Lingkup MVP

5.1 Fitur Wajib

- Login guru dan siswa.
- Dashboard sesuai susunan catatan Karina.
- Materi dan progres dasar.
- Akses kamera depan/belakang.
- Deteksi capability kamera.
- Slider ISO, shutter speed, dan aperture.
- Badge NYATA, SIMULASI, dan OTOMATIS.
- Exposure meter dan panel penjelasan.
- Pengambilan foto asli melalui Canvas.
- Hasil simulasi terpisah.
- Galeri Hasil Jepretan Saya.
- Perbandingan dua hasil.
- Minimal empat guided practice.
- Monitoring hasil oleh guru.
- Keamanan, role guard, CSRF, dan validasi upload.

5.2 Fitur Setelah MVP

- Simulasi komposisi yang lebih interaktif.
- Kuis adaptif lengkap.
- Digital Project dengan rubrik penilaian.

- Ekspor laporan PDF.
- Analisis histogram lanjutan.
- PWA dan mode offline.
- Notifikasi.
- Gamifikasi.

5.3 Di Luar Scope Awal

- Aplikasi Android/iOS native.
- Perekaman video atau audio.
- AI image analysis.
- Kontrol hardware yang tidak dilaporkan perangkat.
- Peniruan desain Canon secara identik.
- Efek bokeh berbasis segmentasi AI berat.

6. Arsitektur Teknis

6.1 Teknologi

Lapisan	Teknologi	Tanggung Jawab
Frontend	HTML5, CSS3, JavaScript vanilla	UI, slider, live view, penjelasan, galeri.
Camera API	MediaDevices, MediaStreamTrack	Izin kamera, switch camera, capability, constraints.
Image Processing	Canvas 2D, CSS filters	Snapshot, brightness, noise, frame blending, hasil simulasi.
Backend	PHP native MVC	Auth, route, validasi, score, penyimpanan, role.
Database	MySQL/MariaDB	User, materi, capability, capture, praktikum, nilai.
Storage	Folder non-executable	Foto asli, hasil simulasi, thumbnail.

6.2 Struktur Folder Rekomendasi

```

project/
├── AGENTS.md
├── PROJECT_STATUS.md
├── DECISIONS.md
├── TODO.md
├── CHANGELOG.md
├── app/
│   ├── Controllers/
│   ├── Models/
│   ├── Views/
│   ├── Core/
│   └── Services/
└── config/

```

```

├─ database/
|   └─ migrations/
|   └─ seeds/
|   └─ backups/
├─ docs/
├─ public/
|   └─ index.php
|   └─ assets/
|       └─ css/
|       └─ js/
|       └─ images/
|       └─ icons/
├─ routes/
└─ storage/
    └─ captures/
    └─ simulated/
    └─ thumbnails/
    └─ logs/

```

6.3 Modul JavaScript

File	Fungsi
camera-service.js	Membuka kamera, memilih perangkat, menghentikan stream, capability, constraints.
pro-controls.js	Slider, badge status, nilai aktif, tombol plus/minus.
photography-engine.js	Logika edukatif exposure, ISO, shutter, aperture, noise, motion, DOF.
camera-renderer.js	Live preview, Canvas, efek simulasi, snapshot.
camera-ui.js	Interaksi halaman, panel penjelasan, state, pesan error.
capture-gallery.js	Hasil jepretan, detail, hasil terbaik, perbandingan.

Keputusan Kesederhanaan

Jangan menjadikan Node.js sebagai syarat runtime. Library tambahan hanya digunakan bila benar-benar mempercepat dan dapat disimpan lokal.

7. Strategi Kamera dan Kemampuan Perangkat

7.1 Alur Akses Kamera

1. Pengguna menekan Aktifkan Kamera.
2. Aplikasi meminta getUserMedia dengan audio: false.
3. Kamera belakang diprioritaskan melalui facingMode environment.
4. Video track aktif disimpan pada state aplikasi.

5. Capability dan settings dibaca.
6. Kontrol yang didukung diaktifkan.
7. Kontrol lain tetap tersedia sebagai simulasi pembelajaran.
8. Seluruh track dihentikan ketika pengguna keluar, logout, atau mengganti kamera.

7.2 Capability yang Diperiksa

Capability	Perilaku
zoom	Aktif sebagai kontrol nyata jika tersedia.
focusMode / focusDistance	Aktif jika didukung; selain itu otomatis.
exposureMode / exposureCompensation	Aktif jika didukung; dapat membantu meter nyata.
whiteBalanceMode / colorTemperature	Aktif jika tersedia.
torch	Aktif hanya pada perangkat yang melaporkannya.
ISO / aperture / shutter	Umumnya tidak universal; tetap disediakan sebagai simulasi pembelajaran.

7.3 Fallback

- Izin ditolak: tampilkan instruksi membuka izin, tetapi materi lain tetap dapat digunakan.
- Tidak ada kamera: gunakan simulator scene dasar atau foto contoh lokal.
- getCapabilities tidak tersedia: gunakan getSettings dan kontrol dasar.
- Kontrol manual gagal diterapkan: pulihkan nilai dan ubah badge menjadi SIMULASI atau OTOMATIS.
- Kamera sedang dipakai aplikasi lain: tampilkan pesan yang jelas dan tombol coba lagi.

8. Mesin Slider Fotografi

8.1 ISO

Nilai	Efek Pembelajaran
100	Paling bersih, membutuhkan cahaya cukup.
200-400	Masih bersih, sedikit lebih terang.
800-1600	Membantu kondisi gelap, noise mulai terlihat.
3200-6400	Lebih terang, noise tinggi.

8.2 Shutter Speed

Rentang	Efek Pembelajaran
1/2000 - 1/500	Membekukan gerakan, cahaya lebih sedikit.
1/250 - 1/60	Rentang umum, gerakan mulai terlihat.
1/30 - 1/8	Lebih terang, risiko motion blur.
1/4 - 1 detik	Motion blur kuat, perlu kestabilan.

8.3 Aperture

Nilai	Efek Pembelajaran
f/1.8 - f/2.8	Bukaan lebar, terang, depth of field sempit, bokeh kuat.
f/4 - f/5.6	Keseimbangan subjek dan latar.
f/8 - f/11	Area fokus lebih luas.
f/16 - f/22	Area fokus luas, cahaya lebih sedikit.

8.4 Exposure Meter

Representasi: -3 -2 -1 0 +1 +2 +3

- 0 berarti seimbang.
- Nilai negatif menunjukkan underexposed.
- Nilai positif menunjukkan overexposed.
- Sumber meter harus diberi label: Kamera, Estimasi Gambar, atau Simulasi.
- Estimasi gambar dapat dihitung dari rata-rata luminance frame Canvas.

8.5 Panel Penjelasan

Slider Aktif	Contoh Penjelasan
ISO 1600	Gambar lebih terang, tetapi noise mulai terlihat. Cocok saat cahaya terbatas.
Shutter 1/1000	Gerakan lebih mudah dibekukan, tetapi foto dapat menjadi lebih gelap.
Aperture f/2.8	Bukaan lebar memberi lebih banyak cahaya dan latar lebih buram.

9. Pengambilan Foto dan Perbandingan Hasil

9.1 Saat Tombol Shutter Ditekan

1. Ambil frame dari video ke Canvas.
2. Simpan foto asli tanpa efek simulasi.
3. Buat salinan hasil simulasi apabila slider simulasi aktif.
4. Simpan kedua file dengan nama acak dan folder berbeda.
5. Simpan metadata kontrol serta status NYATA/SIMULASI/OTOMATIS.
6. Tampilkan Foto Asli dan Hasil Pengaturan berdampingan.
7. Tampilkan penjelasan dampak pengaturan.

9.2 Hasil Jepletan Saya

- Menampilkan thumbnail, waktu, slider, exposure meter, dan badge kontrol.
- Siswa dapat membuka detail.
- Siswa dapat memilih dua hasil untuk dibandingkan.
- Siswa dapat menandai satu hasil terbaik.
- Siswa dapat menulis pengamatan.
- Siswa hanya dapat melihat atau menghapus hasil miliknya sendiri.

9.3 Metadata Minimum

Kelompok	Data
Perangkat	Facing mode, resolusi, frame rate, capability yang tersedia.
Kontrol nyata	Zoom, exposure compensation, focus, white balance, torch bila diterapkan.
Kontrol edukatif	ISO, shutter, aperture, exposure meter, badge status.
Hasil	Path foto asli, path simulasi, thumbnail, waktu, is_best.
Catatan	Pengamatan siswa dan sumber exposure meter.

10. Praktikum dan Pembelajaran Terstruktur

10.1 Guided Practice Minimum

Praktikum	Target
Exposure dan pencahayaan	Membandingkan hasil terlalu gelap, seimbang, dan terlalu terang.
Zoom dan framing	Memahami perubahan bidang pandang dan komposisi.
ISO dan noise	Membandingkan kualitas hasil ISO rendah dan tinggi.
Shutter dan gerakan	Membandingkan freeze motion dan motion blur.
Aperture dan depth of field	Simulasi perbedaan latar tajam dan bokeh.
Kontrol perangkat	Latihan fokus, white balance, atau torch bila capability tersedia.

10.2 Struktur Praktikum

- Judul dan tujuan.
- Teori singkat.
- Kontrol yang digunakan.
- Status kontrol nyata atau simulasi.
- Instruksi langkah demi langkah.
- Foto sebelum dan sesudah.
- Pengamatan siswa.
- Pertanyaan analisis.
- Kesimpulan.
- Skor kelengkapan atau penilaian guru.

10.3 Adaptasi Perangkat

Praktikum Tidak Boleh Gagal Karena Perangkat

Jika satu kontrol hardware tidak tersedia, sistem otomatis mengganti latihan ke versi simulasi atau menawarkan latihan alternatif. Tujuan pembelajaran tetap sama, tetapi sumber efek dicatat dengan jujur.

11. Model Data

Tabel	Fungsi
users	Akun guru dan siswa.
materi	Materi fotografi.
progres_materi	Status belajar siswa.
camera_sessions	Sesi kamera aktif dan informasi perangkat.
camera_capabilities	Capability yang ditemukan pada sesi/perangkat.
camera_captures	Foto asli, hasil simulasi, thumbnail, dan metadata utama.
camera_capture_settings	Nilai kontrol dan status hardware/simulated/automatic.
praktikum	Definisi latihan.
praktikum_sessions	Sesi pengerjaan siswa.
praktikum_answers	Pengamatan, jawaban, kesimpulan, dan skor.
projects / submissions	Digital Project dan pengumpulan.
scores	Nilai kuis, praktikum, dan proyek.

11.1 Aturan Penyimpanan

- Jangan menyimpan gambar base64 besar di database.
- Simpan path relatif dengan nama file acak.
- Folder upload tidak boleh mengeksekusi PHP.
- Simpan MIME, ukuran, checksum, dan user_id.
- Foto asli dan hasil simulasi memiliki kolom/path berbeda.
- Metadata simulasi tidak ditulis sebagai EXIF hardware.

12. Fase Pengembangan dari Awal

Fase	Nama	Output Utama
0	Dokumentasi dan Context	AGENTS.md, status, decisions, TODO, scope, prompt workflow.
1	Fondasi Aplikasi	MVC, routing, database, login, role, design system, dashboard.
2	Materi dan Progress	Materi, detail, progress siswa, dashboard ringkas.
3	Kamera Dasar	getUserMedia, live view, switch camera, stop stream, snapshot.
4	Capability dan Pro Controls	getCapabilities, constraints, slider, badge nyata/simulasi/otomatis.
5	Simulation Engine	ISO, shutter, aperture, meter, Canvas effects, panel penjelasan.

Fase	Nama	Output Utama
6	Capture Gallery	Foto asli, simulasi, metadata, hasil terbaik, perbandingan.
7	Guided Practice	Praktikum, pengamatan, kesimpulan, adaptasi perangkat.
8	Guru dan Nilai	Monitoring, detail hasil, penilaian, laporan.
9	Fitur Pendukung	Komposisi, kuis, project, profil, panduan.
10	QA dan Deployment	Security, device matrix, responsive, HTTPS, deployment.

12.1 Gate Setelah Setiap Fase

- AI agent memperbarui PROJECT_STATUS.md dan TODO.md.
- Pengguna menguji hasil utama.
- Pengguna menyampaikan perubahan atau persetujuan.
- Perubahan dicatat pada DECISIONS.md dan CHANGELOG.md.
- Prompt fase berikutnya dibuat berdasarkan status aktual, bukan asumsi.
- Fase berikutnya tidak boleh merusak fitur yang telah lolos.

12.2 Urutan Prioritas

Prioritas	Isi
P0	Login, dashboard, kamera aktif, slider, shutter, penyimpanan, keamanan.
P1	Penjelasan edukatif, perbandingan, praktikum, monitoring guru.
P2	Kuis lengkap, komposisi, digital project, laporan, polish.

13. Pembagian Kerja Manual, ChatGPT, dan AI Agent

Pelaksana	Tanggung Jawab
Pengguna / Pengembang	Menentukan arah, memilih desain, menguji di perangkat, menyetujui atau mengubah keputusan.
ChatGPT Manual	Menganalisis status, merancang fase berikutnya, memperbaiki prompt, membantu debugging dan keputusan.
AI Agent / Codex	Membaca AGENTS.md, mengimplementasikan satu fase, menguji, memperbarui dokumentasi, dan melaporkan hasil.

13.1 Workflow Human-in-the-Loop

1. Pengguna mengirim status proyek atau kebutuhan perubahan.
2. ChatGPT menyusun prompt fase yang spesifik.
3. AI agent menjalankan implementasi dan tes.
4. Pengguna menguji hasil melalui browser/perangkat.

5. Pengguna menyampaikan koreksi, termasuk perubahan tampilan atau konsep.
6. ChatGPT memperbarui panduan atau prompt.
7. AI agent menerapkan perubahan tanpa mengulang konteks panjang.

13.2 Aturan Hemat Token

- Seluruh konteks permanen disimpan di AGENTS.md.
- Keputusan penting disimpan di DECISIONS.md.
- Status aktual disimpan di PROJECT_STATUS.md.
- Prompt berikutnya hanya menyebut fase, acceptance criteria, dan perubahan terbaru.
- Agent tidak menampilkan ulang seluruh file kecuali diminta.
- Laporan agent hanya berisi file berubah, cara uji, hasil tes, dan risiko.

14. Protokol Perubahan

14.1 Perubahan oleh Pengguna

Perubahan dapat dilakukan kapan saja, tetapi harus diterjemahkan menjadi keputusan yang jelas agar agent tidak mempertahankan asumsi lama.

Jenis Perubahan	Tindakan
Konsep produk	Perbarui AGENTS.md, DECISIONS.md, arsitektur, dan acceptance criteria.
UI/UX	Perbarui design system, mockup referensi, dan halaman terdampak.
Fitur	Pindahkan prioritas pada TODO.md dan tentukan fase implementasi.
Teknologi	Buat decision record dengan alasan, dampak, dan rencana migrasi.
Scope	Tentukan fitur yang dihentikan, ditunda, atau diwajibkan.

14.2 Format Instruksi Perubahan

PERUBAHAN YANG DIMINTA:

- Bagian yang berubah:
- Kondisi lama:
- Kondisi baru:
- Alasan:
- Fitur yang harus tetap berjalan:
- Fitur yang boleh ditunda:
- Acceptance criteria baru:

14.3 Larangan bagi Agent

- Tidak boleh mempertahankan konsep lama setelah keputusan baru dikunci.
- Tidak boleh menghapus fitur yang berjalan tanpa alasan dan backup.
- Tidak boleh mengubah teknologi besar tanpa persetujuan.

- Tidak boleh mengklaim fase selesai jika acceptance criteria belum lolos.
- Tidak boleh mengarang dukungan hardware kamera.

15. Pengujian, Keamanan, dan Privasi

15.1 Matriks Pengujian Minimum

Area	Tes Wajib
Browser	Chrome Android, Chrome desktop, browser lain sebagai tambahan.
Perangkat	Minimal satu HP Android dan satu laptop/webcam.
Kamera	Depan, belakang, switch, izin diterima/ditolak, stop stream.
Kontrol	Slider, badge, capability, applyConstraints gagal/berhasil.
Capture	Foto asli, simulasi, penyimpanan, detail, perbandingan.
Security	Role, CSRF, IDOR, file validation, folder protection.
Responsive	Tidak overflow, slider mudah disentuh, preview proporsional.
Regression	Login, dashboard, materi, progres, 403, 404, log error.

15.2 Privasi Kamera

- Kamera tidak aktif otomatis.
- Pengguna harus menekan tombol Aktifkan Kamera.
- Gunakan audio: false.
- Tidak merekam video.
- Tidak menyimpan frame tanpa tombol shutter.
- Tampilkan indikator kamera aktif.
- Sediakan tombol Matikan Kamera.
- Hentikan track ketika halaman ditinggalkan.
- Siswa hanya dapat melihat hasil miliknya.

15.3 Keamanan File

- Validasi MIME melalui fileinfo.
- Batasi ukuran file.
- Gunakan nama file acak.
- Pisahkan folder asli dan simulasi.
- Nonaktifkan eksekusi PHP pada storage.
- Jangan mengekspos path internal.
- Gunakan CSRF pada simpan, hapus, dan hasil terbaik.

16. Deployment dan Definition of Done

16.1 Deployment

- Development dapat berjalan melalui localhost XAMPP/Laragon.
- Produksi wajib HTTPS agar akses kamera dapat digunakan.
- Database memiliki migration dan seed yang reproducible.

- Konfigurasi rahasia tidak disimpan di repository publik.
- Storage memiliki izin tulis yang aman dan tidak executable.
- Lakukan backup database sebelum migration penting.

16.2 Definition of Done Produk Inti

- Login guru dan siswa berjalan.
- Dashboard sesuai struktur catatan Karina.
- Kamera asli dapat diaktifkan, diganti, dan dimatikan.
- Slider ISO, shutter, dan aperture bekerja dan memiliki penjelasan.
- Badge kontrol nyata/simulasi/otomatis tampil akurat.
- Tombol shutter menghasilkan foto asli.
- Hasil simulasi dibuat terpisah.
- Galeri dan perbandingan hasil bekerja.
- Minimal empat guided practice dapat diselesaikan.
- Guru dapat melihat hasil siswa.
- Tidak ada fatal error dan seluruh role terlindungi.

Kriteria Selesai yang Tegas

Fitur tidak dianggap selesai hanya karena tampilannya ada. Fitur selesai jika alur pengguna, penyimpanan database, keamanan, error handling, dan pengujian perangkat telah berjalan.

Lampiran A. Template Isi AGENTS.md

Identitas Proyek

Nama: Virtual Lab Fotografi Dasar

Konsep: Kamera Pro edukatif berbasis kamera perangkat

Pengguna: Guru dan siswa Kelas X DKV

Keputusan Utama

- UI mengikuti susunan catatan Karina.
- Live view memakai kamera perangkat.
- ISO, shutter, dan aperture berbentuk slider.
- Setiap kontrol wajib diberi status NYATA, SIMULASI, atau OTOMATIS.
- Canon Play hanya referensi pola interaksi, bukan sumber aset atau kode.
- Foto asli dan hasil simulasi disimpan terpisah.
- Pengguna dapat mengubah keputusan; perubahan terbaru mengalahkan keputusan lama.

Teknologi

- PHP native MVC
- MySQL/MariaDB
- HTML5, CSS3, JavaScript vanilla
- MediaDevices API
- Canvas 2D
- XAMPP/Laragon untuk development
- HTTPS untuk produksi

Aturan Agent

- Baca PROJECT_STATUS.md, DECISIONS.md, TODO.md, dan CHANGELOG.md.
- Kerjakan satu fase secara vertical slice.
- Jangan membuat placeholder sebagai hasil akhir.
- Jangan mengklaim kontrol hardware tanpa capability.
- Jangan merusak fitur yang sudah lolos.
- Perbarui dokumentasi setelah fase selesai.
- Laporkan file, cara uji, hasil tes, dan risiko.

Lampiran B. Prompt Awal Proyek dari Nol

Baca dokumen panduan pengembangan ini.

Inisialisasi proyek dari awal tanpa membangun fitur aplikasi terlebih dahulu.

1. Buat AGENTS.md berdasarkan Lampiran A.
2. Buat PROJECT_STATUS.md.
3. Buat DECISIONS.md.
4. Buat TODO.md.

5. Buat CHANGELOG.md.
6. Buat folder docs/ berisi:
 - ARCHITECTURE.md
 - DATABASE.md
 - FEATURES.md
 - TESTING.md
 - UI_GUIDE.md
7. Catat konsep final:
 - kamera perangkat sebagai live view;
 - slider ISO, shutter, aperture;
 - badge NYATA/SIMULASI/OTOMATIS;
 - UI mengikuti catatan Karina;
 - Canon Play hanya referensi alur.
8. Jangan menginstal dependency.
9. Jangan membuat source code fitur.
10. Laporkan kesiapan untuk audit awal.

Lampiran C. Prompt Audit Awal

Baca AGENTS.md dan seluruh dokumentasi proyek.

Lakukan audit folder tanpa membangun fitur.

Periksa:

- source code;
- struktur MVC;
- database;
- login/role;
- design system;
- camera API;
- slider;
- storage;
- security;
- testing;
- kesesuaian dengan konsep terbaru.

Perbarui PROJECT_STATUS.md dan TODO.md.

Hasil akhir hanya:

1. kondisi proyek;
2. fitur yang tersedia;
3. masalah kritis;
4. risiko;
5. PO berikutnya;

6. file dokumentasi yang diubah.

Jangan menulis fitur pada tahap audit.

Lampiran D. Format Laporan Status Agent

Status Fase

Selesai

- ...

File Dibuat/Diubah

- ...

Database

- backup:

- migration:

- seed:

URL Pengujian

- ...

Akun Uji

- ...

Acceptance Test

- [x] ...

- [] ...

Masalah Tersisa

- ...

Rekomendasi Fase Berikutnya

- ...

Lampiran E. Checklist Sebelum Memulai Fase Kamera

- ☐ Login guru dan siswa stabil.
- ☐ Role guard dan CSRF berjalan.
- ☐ Dashboard sudah mengikuti design system terbaru.
- ☐ HTTPS atau localhost tersedia.
- ☐ Storage foto telah diproteksi.
- ☐ Permission kamera dapat diuji pada HP.
- ☐ Terdapat minimal satu perangkat Android untuk acceptance test.
- ☐ Decision log telah mencatat kontrol nyata vs simulasi.
- ☐ Fallback tanpa kamera telah direncanakan.

Penutup

Dokumen ini menjadi baseline terbaru. Setiap perubahan dari pengguna dapat mengganti keputusan di dalam dokumen, selama perubahan tersebut dicatat dan diikuti dengan pembaruan acceptance criteria. Pengembangan tidak perlu 100% diserahkan kepada AI agent; pengguna tetap melakukan pengujian, persetujuan desain, dan keputusan produk.