

**IMPLEMENTASI SISTEM TANDA TANGAN DIGITAL QR CODE
BERBASIS WEB MENGGUNAKAN *FRAMEWORK* CODEIGNITER**

(Skripsi)

Oleh

**ZIA DANISVARA PAKPAHAN
NPM 1817051067**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**IMPLEMENTASI SISTEM TANDA TANGAN DIGITAL QR CODE
BERBASIS WEB MENGGUNAKAN *FRAMEWORK* CODEIGNITER**

Oleh

ZIA DANISVARA PAKPAHAN

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA ILMU KOMPUTER**

Pada

**Jurusan Ilmu Komputer
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**JURUSAN ILMU KOMPUTER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

IMPLEMENTASI SISTEM TANDA TANGAN DIGITAL QR CODE BERBASIS WEB MENGGUNAKAN *FRAMEWORK* CODEIGNITER

Oleh

ZIA DANISVARA PAKPAHAN

Tanda tangan digital merupakan salah satu metode keamanan penting dalam era digital untuk menjamin autentikasi dan integritas dokumen elektronik. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem tanda tangan digital berbasis QR Code menggunakan *framework* CodeIgniter 4 sebagai solusi autentikasi dokumen yang praktis dan efisien. Sistem memungkinkan pengguna untuk mengunggah dokumen PDF, menghasilkan tanda tangan digital dengan kode verifikasi unik, serta melakukan verifikasi keaslian dokumen melalui QR Code secara publik tanpa memerlukan akun pengguna. Metodologi yang digunakan adalah pendekatan *Waterfall*, yang meliputi tahapan analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, dan evaluasi. Sistem dikembangkan menggunakan teknologi web berbasis *framework* CodeIgniter 4, basis data MySQL, serta integrasi teknologi QR Code untuk mempermudah proses verifikasi. Fitur utama sistem mencakup autentikasi pengguna dengan enkripsi bcrypt, unggah dokumen dengan validasi keamanan, pembangkitan kode verifikasi menggunakan fungsi `random_bytes(8)`, integrasi QR Code untuk verifikasi, serta *dashboard* administrator untuk manajemen sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berfungsi secara optimal dengan tingkat penerimaan pengguna sebesar 80%, serta mampu menyediakan solusi autentikasi dokumen digital yang aman dan efektif. Sistem ini berpotensi diimplementasikan pada berbagai institusi yang membutuhkan validasi dokumen digital berbasis teknologi QR Code.

Kata Kunci: Tanda Tangan Digital; QR Code; CodeIgniter; Autentikasi Dokumen; Keamanan Digital.

ABSTRACT

IMPLEMENTATION OF A WEB-BASED QR CODE DIGITAL SIGNATURE SYSTEM USING THE CODEIGNITER FRAMEWORK

By

ZIA DANISVARA PAKPAHAN

A digital signature is a crucial security method in the digital era to ensure the authentication and integrity of electronic documents. This study aims to implement a QR Code-based digital signature system using the CodeIgniter 4 framework as a practical and efficient solution for document authentication. The system enables users to upload PDF documents, generate digital signatures with unique verification codes, and verify document authenticity publicly via QR Code without requiring user accounts. The research methodology adopts a Waterfall approach, consisting of requirement analysis, system design, implementation, Testing, and evaluation stages. The system is developed using web-based technologies with the CodeIgniter 4 framework, MySQL basis data, and QR Code integration to facilitate verification. The main features of the system include user authentication with bcrypt encryption, secure document upload with validation, verification code generation using the random_bytes(8) function, QR Code integration for document validation, and an administrative dashboard for system management. The Testing results indicate that the system functions optimally, achieving an 80% user acceptance rate and successfully providing a secure and effective solution for digital document authentication. This system can be applied in various institutions that require digital document validation using QR Code technology.

Keywords: Digital Signature; QR Code; CodeIgniter; Document Authentication; Digital Security.

Judul Skripsi

: **IMPLEMENTASI SISTEM TANDA TANGAN
DIGITAL QR CODE BERBASIS WEB
MENGUNAKAN *FRAMEWORK*
CODEIGNITER**

Nama Mahasiswa

: **Zia Danisvara Pakpahan**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1817051067

Program Studi

: S1 Ilmu Komputer

Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



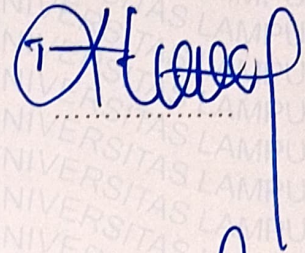
Tristiyanto, S.Kom., M.I.S., Ph.D.
NIP 19810414200501001

2. Ketua Jurusan Ilmu Komputer

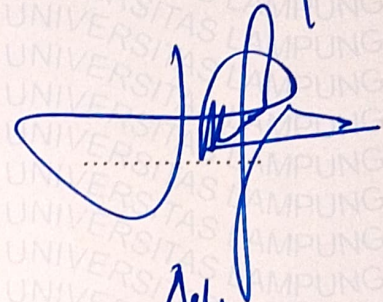
Dwi Sakethi, S.Si, M.Kom.
NIP 196806111998021001

MENGESAHKAN**1. Tim Penguji**

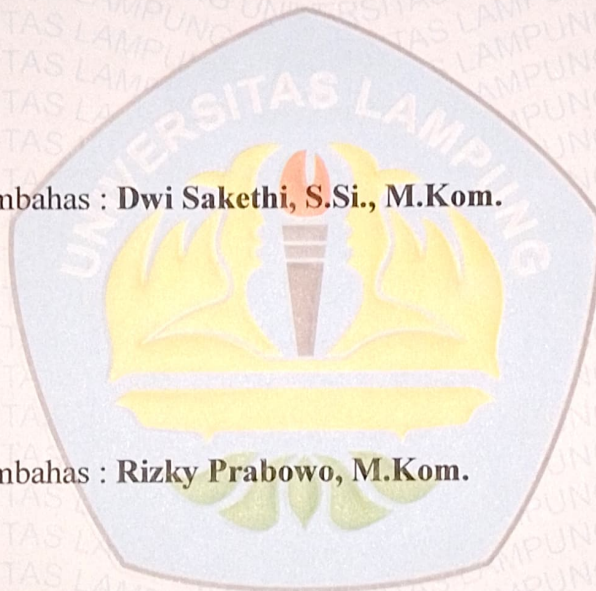
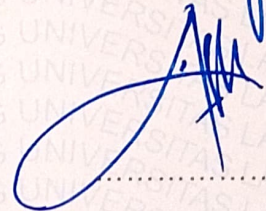
Ketua

: Tristiyanto, S.Kom., M.I.S., Ph.D.

Penguji I

Penguji Pembahas : **Dwi Sakethi, S.Si., M.Kom.**

Penguji II

Penguji Pembahas : **Rizky Prabowo, M.Kom.****2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**The signature of Dr. Eng. Heri Satria is written in blue ink. It is a stylized, cursive signature that flows across the page. To the left of the signature is a circular stamp of the Faculty of Mathematics and Natural Sciences of Universitas Lampung.**Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.****NIP 197110012005011002****Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 19 Juni 2025**

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Zia Danisvara Pakpahan

NPM : 1817051067

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“Implementasi Sistem Tanda Tangan Digital QR Code Berbasis Web Menggunakan Framework Codeigniter”** merupakan karya saya sendiri dan bukan karya orang lain. Semua tulisan yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila dikemudian hari terbukti skripsi saya merupakan hasil penjiplakan atau dibuat orang lain, maka bersedia menerima sanksi berupa pencabutan gelar yang telah saya terima.

Bandar Lampung, 5 Juli 2025



Zia Danisvara Pakpahan
NPM 1817051067

RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir di Kendari, Sulawesi Tenggara pada tanggal 22 Februari 2001. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara, putra dari Bapak Baheramsyah dan Ibu Qoyyimah. Pendidikan pertama ditempuh pada tahun 2005–2006 di TK Sangia, Kecamatan Landono, Kabupaten Konawe Selatan. Selanjutnya, penulis menyelesaikan pendidikan dasar pada tahun 2012 di SD Fransiskus 1 Tanjung Karang, Kota Bandar Lampung. Pendidikan menengah pertama diselesaikan pada tahun 2015 di SMP Negeri 10 Bandar Lampung, kemudian pendidikan menengah atas berhasil diselesaikan pada tahun 2018 di SMA Negeri 9 Bandar Lampung.

Pada tahun 2018, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Program studi yang diambil adalah S1 Ilmu Komputer pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Di awal masa perkuliahan, penulis aktif sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Ilmu Komputer (Himakom) pada bidang kesekretariatan.

MOTTO

“It is not that we have a short time to live, but that we waste a lot of it. Life is long enough if you know how to use it”

(Seneca)

“Waste no more time arguing what a good man should be. Be one.”

(Marcus Aurelius)

"Knowledge is the sharpest weapon."

(Kael – The Invoker)

PERSEMBAHAN



Alhamdulillah Rabbil ‘Alamin.

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, sahabat, dan para pengikutnya.

Skripsi ini penulis persembahkan kepada:

Ayahanda dan Ibunda tercinta, Bapak Baheramsyah dan Ibu Qoyyimah,
atas segala doa, dukungan, dan kasih sayang selama ini, yang menjadi kekuatan utama dalam menyelesaikan pendidikan ini.

Adik Tersayang, Zeina Almasartsila Pakpahan,
atas semangat dan dukungan yang selalu menyertai dan memberikan keceriaan selama proses penyelesaian skripsi ini.

Dan yang terkasih, Vioreta Yelian,
Atas semua usaha, semangat dan bantuan yang diberikan selama penulis menjalani perkuliahan dan menyelesaikan skripsi ini.

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “Implementasi Sistem Tanda Tangan Digital QR Code Berbasis Web Menggunakan Framework CodeIgniter” dengan baik. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Ilmu Komputer pada Program Studi S1 Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Dalam proses penyusunan dan penulisan laporan ini, penulis telah mendapatkan banyak bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan jasmani dan rohani sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini;
2. Ayahanda dan Ibunda tercinta, Bapak Baheramsyah dan Ibu Qoyyimah, atas doa, kasih sayang, serta dukungan moral dan materiil yang tak henti-hentinya;
3. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung;
4. Bapak Dwi Sakethi, S.Si., M.Kom., selaku Kepala Jurusan Ilmu Komputer sekaligus Dosen Pembahas I, atas bimbingan, arahan, dan motivasi yang diberikan selama proses penyusunan Skripsi ini;

5. Ibu Yunda Heningtyas, M.Kom., selaku Sekretaris Jurusan Ilmu Komputer Universitas Lampung, atas dukungan dan bantuannya selama masa studi;
6. Bapak Tristiyanto, S.Kom., M.I.S., Ph.D., selaku Kepala Program Studi S1 Ilmu Komputer sekaligus Dosen Pembimbing I, atas bimbingan, masukan, dan arahan yang sangat berarti dalam penyusunan laporan ini;
7. Bapak Rahman Taufik, S.Pd., M.Kom., selaku Dosen Pembimbing Akademik, atas pendampingan dan nasihat selama masa perkuliahan;
8. Bapak Rizky Prabowo, M.Kom., selaku Dosen Pembahas II yang telah memberikan kritik, saran, dan masukan yang konstruktif demi penyempurnaan laporan ini;
9. Seluruh dosen, tenaga kependidikan, dan staf administrasi Program Studi S1 Ilmu Komputer Universitas Lampung atas ilmu dan bantuan yang telah diberikan selama masa perkuliahan;
10. Rekan-rekan seperjuangan Ilmu Komputer angkatan 2018 atas semangat, kebersamaan, dan dukungannya selama masa perkuliahan hingga penyusunan Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan. Semoga laporan ini dapat bermanfaat dan menjadi kontribusi positif dalam pengembangan keilmuan di bidang Ilmu Komputer.

Bandar Lampung, 5 Juli 2025

Zia Danisvara Pakpahan
NPM 1817051067

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
LEMBAR PERSETUJUAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
SANWACANA	xi
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Penelitian.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Penelitian Terdahulu	5
2.2. Uraian Landasan Teori.....	7
2.2.1. Siklus Pengembangan Sistem.....	7
2.2.2. Keamanan Sistem Informasi.....	9
2.2.3. Kriptografi	10
2.2.4. Tanda Tangan Digital (Digital Signature).....	10
2.2.5. Autentikasi dan Otorisasi	12

2.2.6. QR-Code	12
2.2.7. PHP (<i>Hypertext Preprocessor</i>)	13
2.2.8. Codeigniter 4	14
2.2.9. Basis Data	15
2.2.10. Entity Relationship Diagram (ERD)	16
2.2.11. XAMPP	17
2.2.12. <i>Unified Modelling Language</i>	17
2.2.13. Pengolahan Dokumen PDF	19
2.2.14. Pengujian	20
III. METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.2. Perangkat Penelitian	23
3.2.1. Perangkat Keras	24
3.2.2. Perangkat Lunak	24
3.3. Tahapan Penelitian	25
3.3.1. Studi Literatur	26
3.3.2. Pengembangan Sistem	26
3.3.3. Publikasi dan Penulisan Laporan	47
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1. Implementasi Tanda Tangan Digital	48
4.1.1. Fitur Tanda Tangan Digital	49
4.1.2. Fitur Integrasi QR Code dan Pengolahan PDF	50
4.1.3. Fitur Verifikasi Dokumen Berbasis Basis Data	50
4.1.4. Fitur Manajemen Dokumen dan Audit	51
4.1.5. Sistem Autentikasi dan Kontrol Akses	51
4.2. Implementasi Sistem	51
4.2.1. Halaman Autentikasi (<i>Login dan Register</i>)	52
4.2.2. <i>Dashboard</i> Pengguna	53
4.2.3. Halaman Unggah Dokumen	55
4.2.4. Halaman Tanda Tangan Digital	56
4.2.5. Halaman Verifikasi Dokumen	57
4.2.6. Halaman Manajemen Dokumen	58
4.2.7. <i>Dashboard</i> Administrator	59
4.2.8. Halaman Manajemen User (Administrator)	59
4.2.9. Halaman Semua Dokumen (Administrator)	60

4.2.9. Halaman Verifikasi Publik	60
4.3. Hasil Pengujian Sistem	62
4.3.1. Hasil Pengujian <i>Black-Box Testing</i>	62
4.3.2. <i>User Acceptance Testing</i>	65
V. SIMPULAN DAN SARAN	67
5.1. Simpulan	67
5.2. Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu	5
Tabel 2.2. Bobot Penilaian	22
Tabel 3.1. Alur Penelitan.....	23
Tabel 3.2. Kebutuhan Sistem	27
Tabel 3.3. Rencana Pengembangan Sistem.....	29
Tabel 3.4. Pengujian Modul Autentikasi dan Otorisasi	43
Tabel 3.5. Pengujian Modul Pengelolaan Dokumen.....	44
Tabel 3.6. Pengujian Fitur Tanda Tangan Digital	44
Tabel 3.7. Pengujian Sistem Verifikasi	45
Tabel 3.8. Pengujian Panel Administrator	45
Tabel 3.9. Kriteria Evaluasi.....	46
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Modul Autentikasi dan Otorisasi	62
Tabel 4.2. Hasil Pengujian Modul Pengelolaan Dokumen	63
Tabel 4.3. Hasil Pengujian Fitur Tanda Tangan Digital	63
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Sistem Verifikasi	64
Tabel 4.5. Hasil Pengujian Panel Administrator	64
Tabel 4.6. Hasil Pengujian User Acceptance Testing	65
Tabel 4.7. Presentase Pengujian User Acceptance Testing.....	66

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Metode Waterfall.....	10
Gambar 3.1. Alur Tahapan Penelitian	27
Gambar 3.2. Use Case Diagram	28
Gambar 3.3. Activity Diagram Login	31
Gambar 3.4. Activity Diagram Daftar.....	32
Gambar 3.5. Activity Diagram Unggah Dokumen	33
Gambar 3.6. Activity Diagram Tanda Tangan	34
Gambar 3.7. Activity Diagram Unduh.....	35
Gambar 3.8. Activity Diagram Lihat Daftar User.....	36
Gambar 3.9. Activity Diagram Verifikasi Publik	37
Gambar 3.10. Activity Diagram Dashboard Admin	38
Gambar 3.11. Activity Diagram Kelola User.....	39
Gambar 3.12. Activity Diagram Logout	40
Gambar 3.13. Entity Relationship Diagram	41
Gambar 4.1. Mekanisme Pembentukan Tanda Tangan Digital	48
Gambar 4.2. Formulir Login	52
Gambar 4.3. Formulir Register	53

Gambar 4.4. Tab Unggah Dokumen	53
Gambar 4.5. Tab Tanda Tangan	54
Gambar 4.6. Tab Verifikasi	54
Gambar 4.7. Tab Dokumen	54
Gambar 4.8. Halaman Unggah	55
Gambar 4.9. Notifikasi Unggah Berhasil	55
Gambar 4.10. Notifikasi Unggah Gagal.....	56
Gambar 4.11. Menu Dropdown Dokumen.....	56
Gambar 4.12. Notifikasi Berhasil Menandatangani	56
Gambar 4.13. Notifikasi Verifikasi Berhasil.....	57
Gambar 4.14. Notifikasi Verifikasi Gagal	57
Gambar 4.15. Hasil Tanda Tangan pada Footer Dokumen	58
Gambar 4.16. Tampilan Card pada Tombol QR Code	58
Gambar 4.17. Tampilan Dashboard Administrator	59
Gambar 4.18 Tampilan Manajemen User Administrator	59
Gambar 4.19. Tampilan Manajemen Dokumen Administrator	60
Gambar 4.20. Formulir Verifikasi Publik	60
Gambar 4.21. Tampilan Verifikasi Publik Berhasil	61
Gambar 4.22. Tampilan Verifikasi Publik Gagal.....	61

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian

Transformasi digital yang terus berkembang mengakibatkan laju perkembangan teknologi yang cepat telah berdampak pada berbagai aspek kehidupan, termasuk dalam pengelolaan informasi dan dokumen. Perkembangan teknologi ini diiringi dengan meningkatnya jumlah data dan informasi yang beredar. Syahputra dkk., (2024) menyebutkan bahwa besarnya volume informasi yang beredar serta meningkatnya jumlah data secara eksponensial menyebabkan semakin sulit membedakan antara informasi yang autentik dengan yang palsu. Di era digital saat ini, penggunaan dokumen digital telah menjadi hal yang lumrah dan menjadi bagian tak terpisahkan dari aktivitas digital masyarakat. Penggunaan ini mencakup lingkungan profesional seperti perkantoran dan bisnis, dunia akademik untuk keperluan administrasi maupun pembelajaran, serta masyarakat umum yang semakin terbiasa mengakses, menyimpan, dan membagikan informasi dalam format elektronik demi efisiensi, kemudahan, dan kecepatan.. Oleh karena itu, pengelolaan dokumen secara elektronik kini menjadi standar baru dalam mendukung proses administrasi modern.

Seiring meningkatnya kebutuhan akan keaslian dan keamanan dokumen digital, instansi dan lembaga di berbagai sektor menghadapi tantangan besar dalam memastikan autentikasi dan validitas dokumen yang diterbitkan. Banyak institusi masih menggunakan proses autentikasi dokumen secara manual. Verifikasi dokumen secara manual dinilai kurang efektif karena memerlukan waktu dan usaha lebih. Selain itu, prosedur ini cenderung rumit dan rentan terhadap pemalsuan.. Pemalsuan dokumen umumnya dilakukan dengan memanipulasi isi maupun tampilan dokumen agar menyerupai dokumen asli (Lorien dkk., 2021).

Tantangan utama dalam autentikasi dokumen digital adalah tingginya potensi pemalsuan serta kesulitan dalam membedakan dokumen asli dengan dokumen yang telah dimanipulasi. Risiko ini tidak hanya berdampak pada dunia pendidikan, namun juga di sektor bisnis, hukum, dan pelayanan publik. Oleh karena itu, diperlukan solusi teknologi yang mampu menjamin integritas, autentikasi, serta kemudahan verifikasi dokumen digital.

Salah satu teknologi dua dimensi yang telah banyak digunakan adalah *QR Code*. Teknologi ini digunakan dalam berbagai sektor seperti keuangan, transportasi, tiket, dan sertifikat digital, serta telah menjadi solusi yang efektif untuk sistem autentikasi. *QR Code* dapat menyimpan data enkripsi atau informasi penting yang berkaitan dengan dokumen, sehingga mempermudah proses validasi hanya dengan satu kali pemindaian. Inovasi ini menjadikan *QR Code* sangat relevan untuk mendukung sistem tanda tangan digital yang efisien, mudah diakses, dan aman.

QR Code memungkinkan penyimpanan informasi enkripsi yang dapat digunakan untuk menghubungkan dokumen dengan tanda tangan digitalnya. Melalui aplikasi web, setiap dokumen digital yang diunggah pengguna akan menghasilkan *QR Code* unik, yang nantinya dapat digunakan untuk melakukan verifikasi keaslian dokumen secara cepat dan mudah.

Dampak dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap praktik administrasi dokumen digital di berbagai bidang. Selain itu, penelitian ini membuka peluang penerapan teknologi serupa di lingkungan institusi manapun yang membutuhkan keamanan dan efisiensi dalam autentikasi dokumen.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan aplikasi tanda tangan digital berbasis web yang menggunakan *QR Code* sebagai alat verifikasi?

2. Bagaimana sistem dapat menjamin keaslian dokumen dan mempermudah proses verifikasi dokumen digital secara umum untuk berbagai institusi, lembaga, maupun individu?

1.3. Batasan Masalah

Lingkup penelitian ini dibatasi pada aspek-aspek berikut guna menghindari perluasan pembahasan di luar tujuan utama:

1. Penelitian ini difokuskan pada pengembangan aplikasi tanda tangan digital berbasis web yang menggunakan *QR Code* sebagai alat autentikasi dan validasi dokumen.
2. Sistem dikembangkan menggunakan *framework* CodeIgniter versi 4 (CI4) sebagai platform utama pengembangan.
3. Aplikasi dirancang untuk penggunaan umum oleh institusi, lembaga, ataupun individu, dan tidak terbatas hanya untuk kebutuhan satu instansi tertentu.
4. Proses enkripsi, pembuatan *QR Code*, dan verifikasi dokumen merupakan komponen utama yang akan dikaji dan diuji dalam penelitian ini.
5. Penelitian ini tidak membahas aspek hukum atau legalitas tanda tangan digital secara detail, melainkan hanya berfokus pada aspek teknis implementasi dan pengujian sistem.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini ingin mencapai beberapa hal, diantaranya sebagai berikut:

1. Mengembangkan aplikasi tanda tangan digital berbasis web yang menggunakan *QR Code* sebagai alat autentikasi dan verifikasi dokumen digital.
2. Memastikan bahwa aplikasi yang dikembangkan dapat menjamin keaslian serta mempermudah proses verifikasi dokumen secara umum, sehingga dapat digunakan oleh berbagai institusi, lembaga, maupun individu.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan solusi teknologi yang dapat meningkatkan efisiensi dan keamanan dalam proses autentikasi dan verifikasi dokumen digital bagi berbagai institusi, lembaga, maupun individu.
2. Mempermudah proses verifikasi dan memastikan keaslian dokumen digital melalui integrasi tanda tangan digital dan QR *Code*, sehingga mengurangi risiko pemalsuan dokumen.
3. Menjadi referensi dan acuan bagi penelitian selanjutnya terkait pengembangan sistem tanda tangan digital berbasis web dengan pemanfaatan teknologi QR *Code*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian ini tidak terlepas dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan. Peneliti menggunakan penelitian sebelumnya sebagai perbandingan dan referensi. Berikut ini adalah beberapa penelitian terdahulu yang menjadi referensi dalam penelitian ini:

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu

Judul, Penulis, Tahun	Metode	Output/Hasil Penelitian
Sistem Validasi Dokumen Digital Menggunakan Fungsi Hash (Lita Amelia, 2022)	<i>Waterfall</i>	Sistem tanda tangan digital dengan QR Code yang menggunakan fungsi hash untuk autentikasi dan efisiensi dokumen digital pada lingkup Jurusan Ilmu Komputer Universitas Lampung..
<i>Designing End-to-End Web-Based Application Encryption with Asymmetric Encryption Using Waterfall Methodology</i> (Rijanandi dkk., 2023)	<i>Waterfall</i>	Aplikasi web berbasis enkripsi RSA (<i>asymmetric encryption</i>) dengan pendekatan <i>Waterfall</i> , mengamankan komunikasi <i>end-to-end</i> antara <i>server</i> dan <i>client</i> pada aplikasi web.
<i>Hash-Based Authentication Code Algorithm for Quick Response (QR) Code as Digital Signature</i> (Nur Khairiyah dkk., 2024)	<i>Waterfall</i>	Sistem autentikasi dokumen digital berbasis QR Code dan HMAC-SHA256, memastikan keaslian dan integritas sertifikat magang, teruji efektif dalam mencegah pemalsuan dokumen.

Tabel 2.1. menunjukan 3 penelitian terdahulu yang dijadikan acuan dalam penelitian ini. Berikut ini dijelaskan secara lebih spesifik mengenai setiap penelitian yang telah dijadikan referensi utama dalam pengembangan sistem pada skripsi ini.

Penelitian yang dilakukan oleh Lita Amelia (2022) mengembangkan sistem validasi dokumen digital menggunakan fungsi hash SHA-256 di Jurusan Ilmu Komputer, Universitas Lampung. Sistem ini menghasilkan QR Code sebagai tanda tangan digital untuk meningkatkan keabsahan dan keamanan dokumen. Metode pengembangan yang digunakan adalah *Waterfall*, sedangkan pengujian sistem dilakukan dengan metode *Black Box Testing* dan *User Acceptance Testing*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan QR Code yang terintegrasi dengan fungsi hash SHA-256 mampu meminimalisir risiko pemalsuan dokumen serta mempermudah proses validasi dokumen digital secara efektif dan aman.

Penelitian oleh Rijanandi dkk., (2023) membahas penerapan enkripsi asimetris RSA dalam sistem aplikasi web dengan pendekatan metodologi *Waterfall*. Metode ini membagi proses pengembangan menjadi beberapa tahap berurutan mulai dari analisis kebutuhan, desain sistem, hingga pengujian. Penerapan metode *Waterfall* dipilih karena struktur pengembangan sistem sudah ditentukan sejak awal dan jarang mengalami perubahan besar. Pendekatan ini menunjukkan bagaimana pengamanan data dapat diintegrasikan secara sistematis dalam pengembangan aplikasi berbasis web.

Penelitian oleh Khairiyah dkk., (2024) menyoroti penggunaan algoritma HMAC-SHA256 untuk menghasilkan tanda tangan digital berbasis QR Code pada dokumen elektronik. Sistem ini dirancang untuk mengamankan sertifikat magang dengan cara yang efisien dan fleksibel dalam proses verifikasi. Implementasi teknologi ini tidak hanya menjamin integritas dokumen, tetapi juga mempermudah otorisasi melalui pemindaian QR Code. Pendekatan ini terbukti efektif dalam mencegah manipulasi dokumen dan dapat diterapkan pada berbagai sektor yang membutuhkan validasi dokumen secara cepat dan terpercaya.

2.2. Uraian Landasan Teori

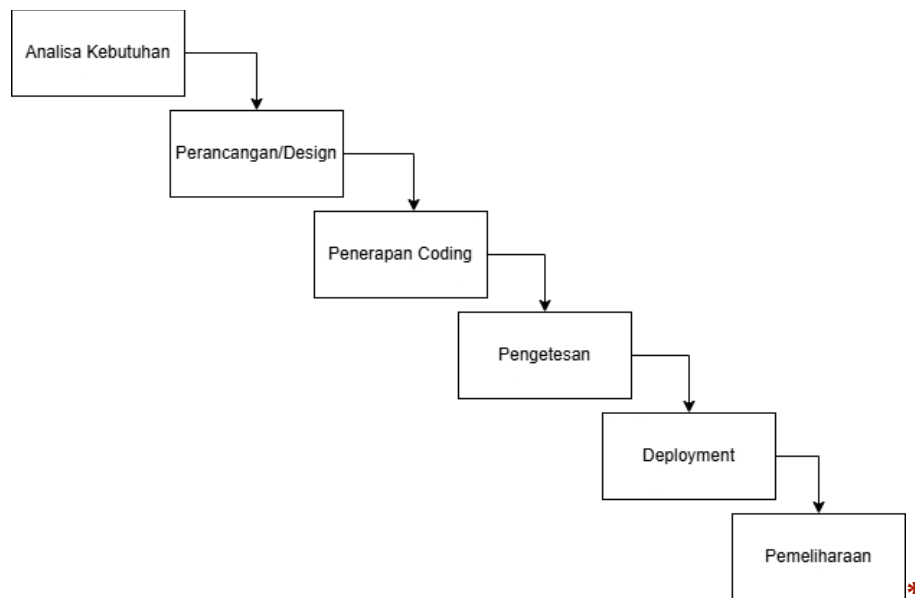
Landasan teori merupakan dasar konseptual yang digunakan untuk mendukung dan memperkuat penelitian ini. Pada bagian ini, akan dijelaskan teori-teori, konsep, serta hasil penelitian terdahulu yang relevan sebagai acuan dalam penyusunan metode dan pemecahan masalah (Rahmadani dkk., 2020). Dengan menyusun teori yang sesuai, peneliti dapat membentuk kerangka berpikir yang logis dan sistematis sehingga arah penelitian menjadi lebih jelas dan terarah (Yuliana & Nugroho, 2021). Selain itu, teori-teori yang dibahas akan membantu menjelaskan elemen-elemen penting seperti tanda tangan digital, algoritma kriptografi, hingga pemanfaatan QR Code dalam sistem autentikasi dokumen digital (Syahputra dkk., 2024 dalam Prasetya & Hanafiah, 2022).

2.2.1. Siklus Pengembangan Sistem

Siklus Hidup Pengembangan Perangkat Lunak atau *Software Development Life Cycle* (SDLC) adalah kerangka kerja terstruktur yang menguraikan tahapan mulai dari perumusan kebutuhan, desain, pengkodean, pengujian, implementasi hingga pemeliharaan agar perangkat lunak memenuhi kebutuhan pengguna, terdokumentasi serta mudah dalam proses *maintenance* (Mukrodin & Sugiyamta, 2020). Berbagai model dapat dipakai di dalam SDLC yakni model *Waterfall*. Model ini merupakan salah satu metode pengembangan perangkat lunak yang menekankan proses bertahap dan terstruktur, di mana setiap fase dikerjakan secara berurutan mulai dari analisis kebutuhan hingga pemeliharaan sistem.

Sebaliknya, pendekatan *Agile* menekankan iterasi singkat dan fleksibilitas tinggi untuk menyesuaikan perubahan kebutuhan bisnis secara cepat, sedangkan model *Spiral* menggabungkan iterasi dengan manajemen risiko guna menghadirkan solusi bertahap yang terkendali (Mukrodin & Sugiyamta, 2020). Pendekatan *Agile* juga memungkinkan kolaborasi yang lebih intens antara pengembang dan pengguna melalui *feedback* berkelanjutan. Hal ini menjadikan *Agile* cocok untuk proyek yang kebutuhan fungsionalnya cenderung berkembang seiring waktu. Dengan memilih

model yang tepat, pengembangan sistem dapat menjaga kualitas sekaligus efisiensi proyek perangkat lunak.



Gambar 2.1. *Waterfall*

Karena pada proyek ini kebutuhan sistem telah didefinisikan secara sejak awal, proyek ini mengadopsi model *Waterfall* yang membagi proses pengembangan sistem ke dalam beberapa tahap utama yang saling berurutan. Tahapan tersebut meliputi analisa kebutuhan, perancangan sistem, implementasi atau *coding*, pengujian, dan pemeliharaan. Penjelasan dari setiap tahapan dapat dilihat pada uraian berikut:

1. Analisa kebutuhan

Pada tahap awal dimulai dengan pembuatan konsep dengan cara menentukan apa saja yang dibutuhkan untuk sistem.

2. Perancangan Sistem

Tahap selanjutnya yaitu mengubah apa saja yang dibutuhkan menjadi representasi ke dalam bentuk desain rancangan dan tampilan seperti use case diagram, *Activity* diagram, serta rancangan *basis data*.

3. *Implementation*

Pada tahap ini apa yang sudah didesain akan diterapkan kedalam bahasa pemrograman melalui proses *coding*, sehingga nantinya akan terbuat aplikasi yang diinginkan.

4. *Testing*

Pada tahap ini setiap fungsi *software* akan diuji coba, supaya *software* dapat diketahui apakah terdapat *error* atau tidak dan hasilnya sesuai dengan apa yang dibutuhkan.

5. *Deployment*

Tahap ini merupakan proses instalasi sistem ke lingkungan produksi agar dapat digunakan oleh pengguna. Aktivitas utamanya meliputi instalasi ke server, konfigurasi sistem, dan validasi akhir melalui *User Acceptance Testing*.

6. *Maintenance*

Pada tahap ini dilakukan pemeliharaan *software*, seperti menambahkan fitur-fitur baru yang dibutuhkan atau memperbaiki *error* pada *software* ketika dijalankan yang sebelumnya tidak diketahui.

2.2.2. Keamanan Sistem Informasi

Kerangka keamanan sistem informasi bertumpu pada tiga pilar CIA: *Confidentiality*, *Integrity*, dan *Availability*. Busafi & Kumar (2020) menegaskan bahwa kerahasiaan melindungi data dari akses tidak sah, sedangkan integritas memastikan data tidak berubah tanpa izin. Dalam konteks sistem digital modern, kegagalan dalam satu pilar saja dapat menimbulkan dampak serius pada operasional dan kepercayaan pengguna. Pilar ketiga, ketersediaan, menuntut layanan selalu dapat diakses; pendekatan terpusat mudah menjadi *single point of failure* yang mengakibatkan data tidak tersedia tepat waktu (Nguyen *et al.*, 2024).

Sistem tanda tangan digital QR Code berbasis codeigniter yang dikembangkan merealisasikan ketiga prinsip tersebut secara terpadu. Kerahasiaan dijaga lewat autentikasi sesi dan hash bcrypt; integritas ditegakkan dengan penyematan QR Code berisi kode verifikasi kriptografis dalam PDF, sehingga setiap perubahan langsung terdeteksi saat verifikasi (Yuliana & Walidaniy, 2024). Ketersediaan diperkuat oleh pencatatan log komprehensif untuk pemulihan cepat. Landasan CIA

ini akan diterjemahkan lebih lanjut ke dalam rancangan entitas-relasi pada subbab berikutnya yang membahas *Entity Relationship Diagram*.

2.2.3. Kriptografi

Kriptografi merupakan ilmu dan seni untuk melindungi informasi melalui transformasi data menjadi bentuk yang tidak dapat dibaca oleh pihak yang tidak berwenang, sehingga menjadi fondasi utama dalam implementasi keamanan sistem informasi modern. Dalam konteks sistem tanda tangan digital, kriptografi berperan vital melalui penerapan berbagai algoritma hash seperti bcrypt untuk *password hashing*, fungsi hash SHA untuk memeriksa integritas, dan pembuatan angka acak yang aman secara kriptografis untuk menghasilkan kode verifikasi yang unik. Fungsi hash, sebagai salah satu komponen kriptografi yang paling fundamental, memiliki karakteristik fungsi satu arah yang memungkinkan data masukan dapat diubah menjadi hash dengan ukuran tetap, namun secara komputasi mustahil untuk mengembalikan hash tersebut ke bentuk aslinya. Implementasi bcrypt dalam sistem yang dikembangkan memberikan perlindungan terhadap password dengan mengintegrasikan *salt generation* otomatis dan *cost-factor* adaptif yang dapat disesuaikan dengan perkembangan kekuatan komputasi. Selain itu, penggunaan `random_bytes(8)` memastikan setiap kode verifikasi memiliki entropi yang tinggi dan dapat diprediksi atau direplikasi. Hal ini memberikan jaminan keunikan dan keamanan dalam proses verifikasi dokumen digital.

2.2.4. Tanda Tangan Digital (Digital Signature)

Tanda tangan digital merupakan mekanisme autentikasi yang menggunakan algoritma kriptografi untuk menjamin keaslian dan integritas dokumen digital. Konsep dasar tanda tangan digital mencakup setiap dokumen yang ditandatangani akan menghasilkan kode yang unik, dan nilai tersebut kemudian digunakan untuk proses verifikasi keaslian dokumen. Dalam prosesnya, terdapat sarana untuk menyimpan dan melakukan verifikasi tanda tangan digital agar menjadi lebih cepat dan praktis yaitu *QR Code* (Nuraeni dkk., 2024).

Menurut *International Telecommunication Union* (ITU-T X.509), tanda tangan digital merupakan data elektronik yang terkait atau secara logis berhubungan dengan data lain dan digunakan untuk melakukan verifikasi asal dan integritas dari data tersebut. Dalam konteks yang lebih luas, tanda tangan digital berfungsi sebagai mekanisme untuk:

1. Autentikasi - Melakukan verifikasi identitas penanda tangan.
2. Integritas - Memastikan dokumen tidak mengalami perubahan.
3. *Non-repudiation* (Non-penyangkalan) - Mencegah penanda tangan menyangkal tindakannya.
4. Akuntabilitas - Memberikan jejak audit yang dapat dilacak.

Perbedaan antara tanda tangan digital dan tanda tangan elektronik adalah tanda tangan digital merupakan bentuk khusus dari tanda tangan elektronik yang tidak hanya melakukan verifikasi identitas pengirim, tetapi juga menjamin dokumen tidak mengalami perubahan setelah penandatanganan. Sebaliknya, istilah tanda tangan elektronik mencakup segala informasi elektronik yang disematkan pada dokumen guna keperluan autentikasi dan verifikasi (Budianto dkk., 2021).

Sistem ini menerapkan pendekatan gabungan yang memadukan kemudahan penggunaan tanda tangan elektronik dengan keamanan dari tanda tangan digital. Dari sisi tanda tangan elektronik, antarmuka dirancang agar mudah digunakan oleh pengguna dalam proses penandatanganan dokumen. Adanya fitur verifikasi instan dapat meningkatkan efisiensi pada proses administrasi (Rifal, 2022). Sementara dari aspek tanda tangan digital, sistem ini menekankan pada pembangkitan kode verifikasi yang menggunakan algoritma *bytes* acak untuk menjamin integritas dokumen (Yuliana & Walidaniy, 2024). Implementasi pendekatan gabungan tersebut juga didukung oleh Budianto, dkk.(2021) yang menyatakan bahwa pendekatan gabungan tersebut bertujuan memberikan solusi optimal dalam memastikan keaslian, integritas, dan *non-repudiation* dokumen digital.

2.2.5. Autentikasi dan Otorisasi

Autentikasi menjadi lapisan pertama pertahanan dalam sistem yang akan dibuat. kredensial pengguna disimpan dengan *hashing* bcrypt, lalu identitas penanda tangan diperkuat lagi melalui tanda tangan digital dan QR Code. Model ini sejalan dengan temuan Yuliana & Walidaniy (2024) yang menekankan bahwa penggabungan QR Code dan kunci yang dihasilkan CSPRNG menyediakan bukti keaslian dokumen pada skenario akses jarak jauh. Implementasi serupa dibuktikan oleh penelitian Mukti & Setiawan (2020) pada rekam medis, di mana pemindaian QR memastikan hanya dokter yang sah tercatat sebagai penanda tangan dan integritas file tetap terjaga.

Authorization mengatur apa yang boleh dilakukan setelah identitas yang terverifikasi. Sistem ini menerapkan *Role-Based Access Control* (RBAC), memisahkan hak *user* dan admin sehingga tiap aktor hanya melihat fungsi sesuai perannya. Pendekatan hierarkis seperti ini direkomendasikan oleh He *et al.*, (2020) melalui skema *attribute-based access control* yang terbukti efisien di lingkungan komputasi awan, dan diperkuat oleh Yang *et al.*, (2019) yang menekankan pentingnya kontrol akses adaptif demi menjaga privasi data skala besar di IoT. Kombinasi autentikasi kriptografis dan RBAC tersebut memastikan hanya pihak berwenang yang dapat mengunggah, menandatangani, maupun melakukan verifikasi dokumen pada sistem.

2.2.6. QR-Code

QR Code (*Quick Response Code*) adalah jenis kode batang dua dimensi yang dapat menyimpan data dalam format yang lebih padat dan efisien daripada *barcode* satu dimensi. QR Code dapat menyimpan berbagai jenis informasi, mulai dari angka, huruf, hingga data lebih kompleks seperti URL atau informasi terenkripsi. QR Code pertama kali ditemukan oleh Denso Wave pada tahun 1994 untuk digunakan dalam industri manufaktur, namun kini QR Code telah berkembang menjadi alat yang sangat berguna dalam berbagai sektor, termasuk pembayaran digital, autentikasi, dan verifikasi dokumen (Yuliana dkk., 2024).

Sistem tanda tangan digital berbasis QR Code memanfaatkan QR Code sebagai medium yang menyimpan informasi penting terkait dokumen yang telah ditandatangani secara digital. QR Code menyimpan data seperti nilai hash atau tanda tangan digital yang dihasilkan melalui proses tanda tangan. Penggunaan QR Code dalam sistem ini memungkinkan verifikasi keaslian dokumen secara cepat dan mudah hanya dengan memindai kode menggunakan perangkat *mobile*, seperti ponsel pintar. Ini sangat berguna dalam proses verifikasi yang membutuhkan kecepatan dan efisiensi, karena pengguna tidak perlu membuka dokumen secara langsung untuk melakukan verifikasi keasliannya (Supriadi dkk., 2024).

Selaras dengan penelitian Supriadi dkk., (2024), penggunaan QR Code dalam sistem tanda tangan digital memberikan kelebihan dalam hal kecepatan verifikasi dan kemudahan akses. Dalam aplikasi tanda tangan digital berbasis QR Code, QR Code menyimpan informasi hash dan tanda tangan digital yang sudah dienkripsi, sehingga mempermudah pihak yang menerima dokumen untuk melakukan verifikasi keaslian tanpa harus mengakses *basis data* atau dokumen secara langsung. Proses ini menjadikan QR Code sebagai alat verifikasi yang praktis dan efisien, yang dapat digunakan di berbagai perangkat *mobile* dengan hanya memindai kode menggunakan aplikasi pemindai QR.

Selain itu, QR Code memungkinkan integrasi yang mudah dengan berbagai sistem lain, seperti sistem manajemen dokumen dan aplikasi berbasis web, yang semakin mempercepat proses verifikasi dokumen dalam konteks digitalisasi. Penggunaan QR Code juga meningkatkan keamanan dalam transaksi digital, karena informasi yang terkandung dalam QR Code dapat dienkripsi dan hanya dapat dibaca dengan perangkat yang tepat, yang membuatnya sulit untuk dipalsukan atau dimanipulasi (Mukrodin & Sugiyamta, 2020).

2.2.7. PHP (*Hypertext Preprocessor*)

PHP adalah bahasa pemrograman *server-side scripting* yang bersifat *open source*, banyak digunakan untuk mengembangkan aplikasi berbasis web. Sebagai bahasa pemrograman yang berjalan di sisi server, PHP memungkinkan pemrosesan data

secara dinamis dan menghasilkan halaman web yang sesuai dengan permintaan pengguna. PHP banyak digunakan oleh pengembang karena memiliki dokumentasi luas dan komunitas besar yang aktif memberikan dukungan teknis. Salah satu keunggulan PHP adalah kemampuannya untuk berintegrasi dengan banyak sistem manajemen basis data, seperti MySQL, serta mendukung pembuatan dan verifikasi tanda tangan digital berbasis QR Code pada aplikasi berbasis web (Yuliana dkk., 2024).

PHP memainkan peran penting dalam mengelola data pengguna dan pemrosesan dokumen dalam aplikasi web, yang memungkinkan pembuatan dan verifikasi tanda tangan digital secara efisien. PHP digunakan dalam *framework* CodeIgniter 4, yang memberikan struktur Model-View-Controller (MVC) untuk memisahkan kode aplikasi ke dalam bagian logika, tampilan, dan pengelolaan data, yang memudahkan pengembangan aplikasi web secara cepat dan aman (Yuliana dkk., 2024),

PHP sangat cocok digunakan dalam pengembangan aplikasi web karena kemampuannya dalam menangani permintaan HTTP, memproses data pengguna, serta mengintegrasikan berbagai *library* yang diperlukan, seperti *library* untuk *encoding* dan *decoding* QR Code. XAMPP digunakan untuk menyediakan server lokal, mendukung PHP dengan menyediakan Apache HTTP server dan MySQL untuk pengelolaan basis data, sehingga mempermudah pengembangan aplikasi di lingkungan yang terkendali (Mukrodin & Sugiyamta, 2020).

2.2.8. Codeigniter 4

CodeIgniter 4 adalah *framework* PHP yang dirancang untuk membangun aplikasi web secara efisien dan cepat. *Framework* ini menggunakan pola desain *Model-View-Controller* (MVC), yang memungkinkan pemisahan antara logika aplikasi, antarmuka pengguna, dan pengelolaan data. Dengan menggunakan CodeIgniter 4, pengembang dapat menulis aplikasi yang mudah dikelola dan lebih cepat dalam pengembangan, serta mengurangi kemungkinan kesalahan dalam kode. CodeIgniter 4 juga dikenal karena ringan dan kecepatan proses eksekusi, menjadikannya pilihan populer dalam pengembangan aplikasi web yang membutuhkan performa optimal, seperti sistem tanda tangan digital berbasis QR Code (Yuliana dkk., 2024).

Penggunaan CodeIgniter 4 dalam pengembangan aplikasi berbasis tanda tangan digital sangat membantu dalam membangun backend aplikasi yang efisien. CodeIgniter 4 menyediakan berbagai *library* untuk menangani berbagai tugas umum, seperti pengelolaan sesi pengguna, pengelolaan basis data, dan pembuatan API untuk sistem yang lebih terintegrasi. Salah satu keuntungan utama dari CodeIgniter 4 adalah dokumentasinya yang lengkap dan mudah dipahami, memudahkan pengembang baru maupun berpengalaman dalam memahami dan mengimplementasikan berbagai fitur yang disediakan. Hal ini sangat berguna dalam pengembangan sistem tanda tangan digital, di mana pengelolaan sesi pengguna dan data yang aman sangat penting (Yuliana dkk., 2024).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yuliana dkk., (2024), CodeIgniter 4 digunakan untuk mengembangkan sistem tanda tangan digital berbasis QR Code, di mana sistem ini memanfaatkan kemampuan *framework* ini dalam mengelola pengolahan data dan mengintegrasikan QR Code untuk melakukan verifikasi keaslian dokumen. CodeIgniter 4 mempermudah pengelolaan dan pemrosesan data menggunakan model MVC, serta memastikan bahwa pengembangan aplikasi bisa dilakukan dengan cepat tanpa mengurangi kualitas keamanan dan kinerja aplikasi.

Selain itu, CodeIgniter 4 menawarkan kemampuan untuk mengintegrasikan berbagai *library* pihak ketiga untuk pembuatan dan pemindaian QR Code, yang sangat penting dalam sistem tanda tangan digital berbasis QR Code. Dengan CodeIgniter 4, pengembang dapat dengan mudah mengelola proses pembuatan QR Code, yang berisi tanda tangan digital dan data hash, sehingga mempercepat proses verifikasi dokumen secara instan dan meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan (Mukrodin & Sugiyamta, 2020).

2.2.9. Basis Data

Basis data berfungsi sebagai gudang yang menyimpan, mengorganisasi, dan menjaga konsistensi data sehingga terhindar dari duplikasi maupun relasi-relasi yang tidak jelas (Rahmatuloh dkk., 2023). Dengan struktur terpusat namun terkelola melalui mekanisme manajemen basis data, sistem penandatanganan digital

memperoleh fondasi yang andal untuk proses pencatatan dokumen, pengguna, serta jejak audit. Tanpa lapisan penyimpanan terstruktur ini, integritas, ketersediaan, dan kecepatan akses data tiga pilar utama pada layanan tanda tangan digital akan sulit dicapai seperti ditekankan oleh penelitian serupa di ranah e-sertifikat dan absensi daring oleh Rahmatuloh dkk., (2023).

Pemilihan *Relational Database Management System* (RDBMS) berbasis MySQL/MariaDB menjadi pilihan dominan karena bersifat open-source, memiliki performa kueri tinggi, dan mendukung fitur keamanan berlapis (Rahmatuloh dkk., 2023). Implementasi nyata ditunjukkan oleh Hidayat dkk., (2022) yang merancang tujuh tabel inti mulai dari admin hingga log audit untuk portal e-sertifikat berbasis QR Code, seluruhnya dibangun di atas MySQL. Struktur terstandar ini memungkinkan penerapan kunci primer–asing, indeks, serta prosedur *backup* terjadwal, sehingga setiap proses tanda tangan dapat dilacak dengan presisi. Selaras dengan kebutuhan tersebut, subbab berikutnya akan memvisualisasikan hubungan antar entitas dan atribut tersebut dalam *Entity Relationship Diagram* (ERD) guna memastikan desain logis sejalan dengan kebutuhan fungsional sistem.

2.2.10. Entity Relationship Diagram (ERD)

Entity Relationship Diagram (ERD) adalah alat untuk memodelkan hubungan antar entitas dalam basis data sistem. Diagram ini menggambarkan entitas-entitas utama yang ada dalam sistem serta hubungan antara entitas-entitas tersebut. Dalam pengembangan sistem tanda tangan digital berbasis QR Code, ERD digunakan untuk merancang struktur basis data yang menyimpan informasi penting, seperti data pengguna, dokumen yang ditandatangani, QR Code yang digunakan untuk verifikasi, serta hasil verifikasi dokumen.

ERD memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana data berinteraksi dan terhubung dalam sistem (Supriadi dkk., 2024). Dalam sistem tanda tangan digital berbasis QR Code, entitas utama yang perlu dipertimbangkan dalam ERD adalah *User*, *Document*, *QR Code*, dan *Signature*. Relasi antara entitas ini akan memastikan bahwa data yang disimpan dalam basis data dapat diakses dan diperbarui dengan efisien. Misalnya, *user* dapat mengunggah dokumen, yang

kemudian dapat dihasilkan tanda tangan dan QR *Code* yang terkait untuk verifikasi. QR *Code* dan tanda tangan memiliki relasi satu-ke-satu dengan dokumen, sementara *user* memiliki relasi satu-ke-banyak dengan dokumen. (Mukrodin & Sugiyamta, 2020).

2.2.11. XAMPP

XAMPP ialah perangkat lunak paket yang menyediakan server lokal untuk mengembangkan aplikasi berbasis web. XAMPP menyatukan beberapa perangkat lunak penting seperti Apache, MySQL, dan PHP, yang memungkinkan pengembangan dan pengujian aplikasi web secara lokal sebelum dijalankan ke server produksi. Dengan XAMPP, pengembang dapat membangun dan menguji aplikasi secara efisien tanpa menyiapkan lingkungan server terpisah. Hal ini memudahkan dalam pengembangan aplikasi tanda tangan digital berbasis QR *Code*, yang mana pengelolaan dan pengujian aplikasi secara lokal sangat dibutuhkan sebelum aplikasi diterapkan di lingkungan yang lebih besar (Yuliana dkk., 2024).

Keuntungan utama dari XAMPP adalah kemudahan dalam instalasi dan penggunaannya, yang memungkinkan pengembang untuk langsung memulai pengembangan aplikasi web tanpa harus mengkonfigurasi server secara manual. XAMPP juga menyediakan MySQL sebagai sistem manajemen basis data yang memungkinkan penyimpanan dan pengelolaan data pengguna dan dokumen dengan aman. Dalam konteks sistem tanda tangan digital, MySQL digunakan untuk menyimpan data yang terkait dengan dokumen yang ditandatangani, serta hasil verifikasi tanda tangan digital yang disimpan dalam format QR *Code* untuk memudahkan verifikasi keaslian dokumen (Mukrodin & Sugiyamta, 2020).

2.2.12. Unified Modelling Language

Unified Modeling Language (UML) merupakan bahasa pemodelan visual standar yang membantu merumuskan, melakukan verifikasi, dan mendokumentasikan rancangan perangkat lunak secara terstruktur. Dengan menetapkan elemen-elemen sistem dalam bentuk diagram, UML memudahkan peneliti memecah proses

kompleks menjadi tampilan yang intuitif. Pada konteks penelitian ini, pemodelan UML menjadi landasan sebelum mengurai alur rinci (*Activity diagram*) dan interaksi aktor–sistem (*use case diagram*), sehingga keterkaitan fungsi serta aliran kerja dapat dijelaskan secara konsisten dan mudah dilacak (Khairunisa dkk., 2022)

a. Activity Diagram

Activity Diagram adalah jenis diagram dalam UML yang digunakan untuk menggambarkan alur aktivitas atau proses yang terjadi dalam sistem. Diagram ini menunjukkan langkah-langkah dalam setiap tahap proses dan bagaimana alur kerja berpindah dari satu aktivitas ke aktivitas lain. Dalam konteks sistem tanda tangan digital berbasis *QR Code*, *Activity Diagram* digunakan untuk menggambarkan proses utama dalam sistem, mulai dari pengunggahan dokumen, pembuatan tanda tangan digital, hingga verifikasi dokumen menggunakan *QR Code*.

Seperti yang dijelaskan oleh Yuliana dkk., (2024), *Activity Diagram* memberikan gambaran visual yang jelas tentang alur proses dalam sistem, yang membantu pengembang dan pengguna untuk memahami bagaimana aktivitas dalam sistem berjalan. Diagram ini menggambarkan langkah-langkah secara linear dan terstruktur, dari awal hingga akhir proses. Dalam sistem ini, diagram akan menunjukkan alur pengunggahan dokumen yang diikuti dengan proses pembuatan tanda tangan digital, dan kemudian berakhir dengan pemindaian *QR Code* untuk melakukan verifikasi keaslian dokumen.

b. Use Case Diagram

Use Case Diagram adalah diagram yang menggambarkan interaksi antara aktor (pengguna atau sistem eksternal) dengan sistem yang dikembangkan. Diagram ini bertujuan untuk memodelkan fungsionalitas sistem dari perspektif pengguna, yaitu menggambarkan apa yang dapat dilakukan oleh sistem dan bagaimana pengguna berinteraksi dengan sistem tersebut. Dalam konteks aplikasi tanda tangan digital berbasis *QR Code*, *Use Case Diagram* digunakan untuk menggambarkan berbagai skenario penggunaan yang melibatkan pengguna (seperti admin dan *user*) dan sistem (seperti proses unggah dokumen, pembuatan tanda tangan digital, dan verifikasi menggunakan *QR Code*).

Yuliana dkk., (2024) menjelaskan bahwa *Use Case Diagram* membantu dalam menganalisis kebutuhan fungsional sistem, memberikan gambaran yang jelas tentang apa yang perlu dilakukan oleh sistem dan bagaimana setiap aktor berinteraksi dengan sistem tersebut. Dalam pengembangan sistem tanda tangan digital berbasis *QR Code*, *use case diagram* dapat mencakup beberapa aktor, seperti pengguna yang mengunggah dokumen, admin yang mengelola pengguna, dan verifikator yang memindai *QR Code* untuk melakukan verifikasi dokumen. Setiap aktor dapat memiliki satu atau lebih *Use Case* yang menjelaskan interaksi mereka dengan sistem (Supriadi dkk., 2024).

2.2.13. Pengolahan Dokumen PDF

Pengolahan dokumen *Portable Document Format* (PDF) dalam sistem tanda tangan digital melibatkan beberapa tahap, mulai dari pembuatan dokumen hingga penandatanganan digital dan penyisipan *QR Code*. PDF merupakan format yang sering digunakan untuk menyimpan dokumen secara digital karena keandalannya dalam mempertahankan format dokumen yang konsisten di berbagai platform. Dalam sistem ini, PDF digunakan untuk menyimpan dokumen yang telah ditandatangani secara digital, dan *QR Code* yang berisi tanda tangan digital atau hash dokumen disematkan dalam dokumen tersebut untuk memudahkan proses verifikasi.

Yuliana dkk., (2024) menyatakan bahwa salah satu keunggulan penggunaan *QR Code* dalam PDF adalah kemudahannya dalam verifikasi. Dengan hanya memindai *QR Code* menggunakan perangkat *mobile*, verifikasi dokumen dapat dilakukan secara instan, tanpa perlu membuka dokumen atau mengakses basis data. Hal ini memungkinkan pemeriksaan keaslian dokumen secara cepat dan efisien, yang sangat penting dalam situasi yang memerlukan verifikasi cepat seperti pada transaksi elektronik atau sertifikasi digital.

Selain itu, penggunaan PDF dalam sistem ini memastikan bahwa format dokumen tetap terjaga dan tidak dapat dimodifikasi secara sembarangan. Supriadi dkk., (2024) juga menambahkan bahwa dengan menyematkan *QR Code* yang berisi

informasi hash dan tanda tangan digital, sistem memastikan bahwa dokumen tetap terjamin keasliannya dan hanya dapat diverifikasi oleh pihak yang memiliki akses ke kunci publik yang sesuai.

2.2.14. Pengujian

Pengujian dimulai dengan *Black Box Testing*, yakni menilai keluaran setiap fitur untuk mendeteksi kesalahan fungsi, antarmuka, maupun performa tanpa meninjau kode sumber (Rifal dkk., 2022). Setelah seluruh fungsionalitas lolos uji, sistem divalidasi melalui *User Acceptance Testing* (UAT), di mana kelompok pengguna menilai apakah aplikasi benar-benar memenuhi kebutuhan operasional sebelum resmi dipakai (Rahmawati & Hadiprakoso, 2020).

a. *Black Box Testing*

Black Box Testing adalah metode pengujian perangkat lunak yang berfokus pada pengujian fungsionalitas sistem tanpa memperhatikan struktur internal kode atau logika pemrograman. Dalam pengujian *Black Box*, penguji hanya memeriksa masukan dan keluaran sistem untuk memastikan bahwa sistem berfungsi sesuai dengan yang diinginkan. Pada sistem tanda tangan digital berbasis *QR Code*, *Black Box Testing* digunakan untuk memastikan bahwa semua proses dalam aplikasi berjalan dengan baik, mulai dari pengunggahan dokumen, pembuatan tanda tangan digital, hingga verifikasi menggunakan *QR Code*.

Seperti yang dijelaskan oleh Yuliana dkk., (2024), *Black Box Testing* sangat efektif dalam menguji aplikasi yang berbasis web, karena penguji tidak perlu mengetahui kode internal aplikasi, hanya perlu memeriksa apakah aplikasi memberikan output yang sesuai dengan input yang diberikan. Pada sistem tanda tangan digital *Black Box Testing* digunakan untuk memastikan bahwa fungsi utama sistem, seperti pembuatan dan verifikasi tanda tangan digital melalui *QR Code*, berjalan dengan baik tanpa kesalahan.

Selain itu, Supriadi dkk., (2024) menambahkan bahwa pengujian *Black Box* sangat penting untuk memastikan keandalan sistem, karena memungkinkan pengujian dari

sudut pandang pengguna akhir tanpa tergantung pada implementasi teknis yang ada. Proses pengujian ini membantu memastikan bahwa semua fitur verifikasi dan tanda tangan digital berfungsi dengan benar sesuai kebutuhan pengguna, serta mengidentifikasi potensi kerusakan dalam fungsionalitas aplikasi.

b. *User Acceptance Testing* (UAT)

User Acceptance Testing (UAT) merupakan tahap pengujian akhir yang dilakukan oleh calon pengguna untuk memastikan bahwa sistem telah sesuai dengan kebutuhan fungsional dan operasional sebelum diterapkan secara penuh ke lingkungan nyata (*production*). Pengujian ini penting sebagai bentuk validasi dari sudut pandang pengguna, di mana tidak hanya aspek teknis yang diperhatikan, tetapi juga kemudahan penggunaan, keandalan fitur, serta kenyamanan dalam interaksi antarmuka.

Menurut Suprpto (2021), UAT berbeda dari pengujian sistem karena tujuannya bukan semata mencari kesalahan teknis melainkan untuk melakukan verifikasi bahwa solusi yang disediakan oleh sistem benar-benar diterima oleh pengguna dari perspektif kebutuhan riil di lapangan. Adapun Chamida dkk., (2021) menyatakan bahwa pengujian ini secara langsung mencerminkan tingkat kesesuaian sistem terhadap ekspektasi pengguna dalam konteks penggunaan aktual, melalui skenario interaksi nyata yang disusun dalam bentuk kuesioner atau simulasi proses kerja.

Dalam implementasinya, pengujian dilakukan menggunakan pendekatan *Contract Acceptance Testing*, yaitu bentuk UAT yang mengacu pada persyaratan yang telah disepakati dalam dokumen kebutuhan pengguna. Setiap fitur diuji berdasarkan skenario nyata (*use case*) yang mencerminkan proses bisnis sistem. Evaluasi dilakukan dengan membagikan lembar kuesioner kepada sejumlah responden yang merepresentasikan pengguna akhir dari sistem.

Skala penilaian yang digunakan mengacu pada model skala Likert 5 poin, dengan bobot sebagai berikut:

Tabel 2.2. Bobot Penilaian

Skala	Keterangan	Skor	Persentase
SS	Sangat Setuju	5	80 - 100%
S	Setuju	4	60 - 79%
C	Cukup	3	40 - 59%
TS	Tidak Setuju	2	20 - 39%
STS	Sangat Tidak Setuju	1	0 - 19%

Persentase capaian untuk masing-masing butir evaluasi dihitung menggunakan rumus:

$$P = \frac{S}{\text{Skor Ideal}} \times 100\%$$

Keterangan:

P = Nilai persentase kepuasan

S = Jumlah total skor aktual (frekuensi $\times$ skor)

Skor Ideal = Skor maksimum $\times$ jumlah responden

Seluruh hasil pengujian akan ditampilkan dalam bentuk tabel rekapitulasi *User Acceptance Testing* untuk masing-masing fitur utama, seperti proses unggah dokumen, penandatanganan digital, validasi dengan QR Code, dan manajemen dokumen.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Jurusan Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, Bandar Lampung. Seluruh tahapan penelitian, mulai dari perancangan, pengembangan, hingga pengujian sistem, dilakukan secara mandiri menggunakan perangkat komputer pribadi peneliti. selama tahun ajaran 2024/2025.

Tabel 3.1. Alur Penelitian

Kegiatan	2025					
	Januari	Februari	Maret	april	Mei	Juni
Studi Literatur						
Analisis Kebutuhan						
Perancangan & Design						
Pengembangan Aplikasi						
Pengujian						
Deployment						
Penulisan Laporan						

3.2. Perangkat Penelitian

Penelitian ini didukung oleh perangkat penelitian yang terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak berikut:

3.2.1. Perangkat Keras

Perangkat keras utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah laptop dengan spesifikasi sebagai berikut:

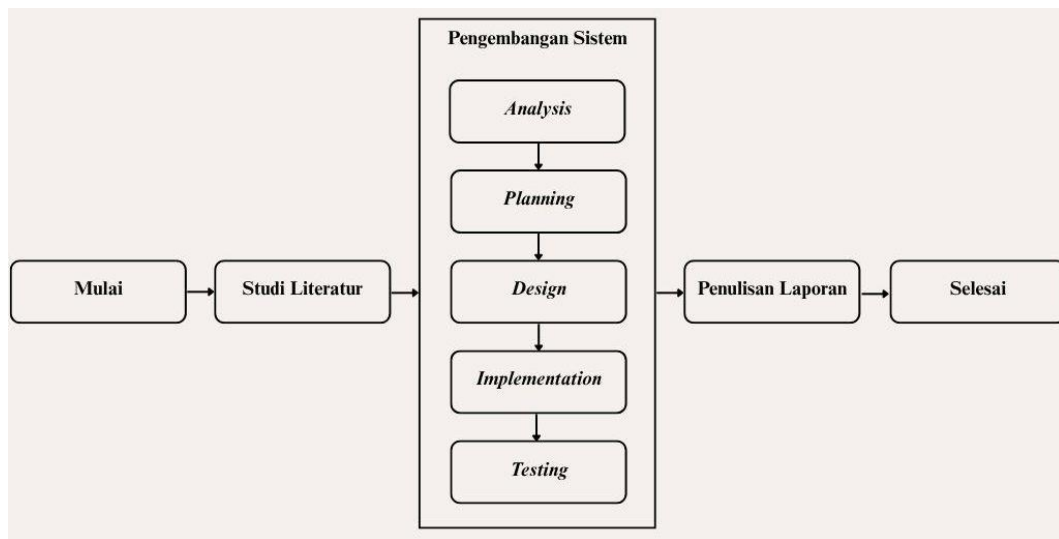
- **Prosesor** : Intel Core i5-5250U, 1.80GHz
- **Memori (RAM)** : 12 GB
- **Sistem Operasi** : Windows 10 Home, 64-bit
- **Grafis** : NVIDIA GeForce 930MX

3.2.2. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan selama proses penelitian meliputi:

- *Framework Pengembangan Web* : CodeIgniter 4
- *Web Server* : XAMPP Control Panel versi 3.3.0
- *Sistem Manajemen Basis Data* : MariaDB 10.4.32
- *Bahasa Pemrograman* : PHP 8.2.12
- *Text Editor/IDE* : Visual Studio Code versi 1.101.2
- *Browser untuk Pengujian* : Google Chrome, Brave Browser
- *Library QR Code* : Endroid QR Code versi 4.0
- *Dependency Manager* : Composer versi 2.8.5
- *Version Control* : Git versi 2.48.1
- *Pengelola Dokumen Laporan* : Microsoft Office Word

3.3. Tahapan Penelitian



Gambar 3.1. Alur Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian tahapan yang sistematis, yang dimulai dengan studi literatur, dilanjutkan dengan perancangan sistem, pengembangan aplikasi, dan berakhir dengan pengujian dan evaluasi sistem. Setiap tahap memiliki tujuan spesifik untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan memenuhi kebutuhan pengguna dan berfungsi dengan baik sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Tahapan-tahapan penelitian ini disusun mengikuti model pengembangan sistem *Waterfall*. Berikut rincian tahapannya:

1. Analisis

Tahap awal penelitian ini adalah mengumpulkan dan menganalisis literatur terkait untuk memahami teori dasar dan perkembangan terkini mengenai tanda tangan digital, QR Code, serta sistem pengamanan berbasis kriptografi.

2. Pengembangan Sistem

Pada tahap ini, dilakukan identifikasi kebutuhan fungsional sistem yang akan dibangun, mencakup spesifikasi teknis dan kinerja sistem yang diharapkan untuk memenuhi tujuan penelitian.

3. Penulisan Laporan

Setelah sistem diuji, dilakukan evaluasi sistem. Semua temuan dan perbaikan dicatat, dan dokumentasi lengkap tentang sistem serta cara penggunaannya disusun untuk referensi lebih lanjut.

3.3.1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahap awal dalam proses pengembangan sistem yang dilakukan untuk mengumpulkan berbagai referensi terkait topik yang dibahas. Referensi dapat berasal dari jurnal ilmiah, artikel penelitian, dokumen teknis, buku, maupun sumber daring seperti dokumentasi resmi dan situs pengembang. Tahapan ini membantu penulis dalam memahami konsep-konsep dasar, teknologi yang digunakan, serta pendekatan yang relevan terhadap perancangan sistem tanda tangan digital berbasis *QR Code*.

3.3.2. Pengembangan Sistem

Pengembangan sistem dilakukan berdasarkan hasil analisis kebutuhan dan referensi yang diperoleh pada tahap studi literatur. Proses ini mencakup beberapa tahapan penting mulai dari analisis, perancangan, implementasi, hingga pengujian sistem. Penjabaran lebih lanjut mengenai tiap tahapan tersebut dijelaskan pada subbab berikut ini.

a. Analysis

System requirement merupakan kebutuhan sistem yang menjelaskan berbagai fitur yang harus ada untuk memastikan sistem tanda tangan digital berbasis *QR Code* dapat berfungsi dengan baik. Berdasarkan hasil analisis terhadap permasalahan yang dihadapi, analisis kebutuhan pengguna, serta diskusi dengan dosen pembimbing, diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Registrasi dan *Login* Pengguna

Sistem harus memungkinkan pengguna untuk melakukan registrasi dan *login* dengan menggunakan *username* dan *password* untuk mengakses aplikasi dan mengelola dokumen.

2. Unggah Dokumen

Pengguna harus dapat mengunggah dokumen dalam format PDF yang akan ditandatangani secara digital.

3. Pembuatan Tanda Tangan Digital

Sistem harus menghasilkan tanda tangan digital untuk setiap dokumen yang diunggah, kode disimpan dalam bentuk *QR Code*.

Sistem harus menyisipkan *QR Code* pada dokumen yang berisi tanda tangan digital dan informasi hash dokumen untuk memudahkan verifikasi.

4. Verifikasi Dokumen dengan *QR Code*

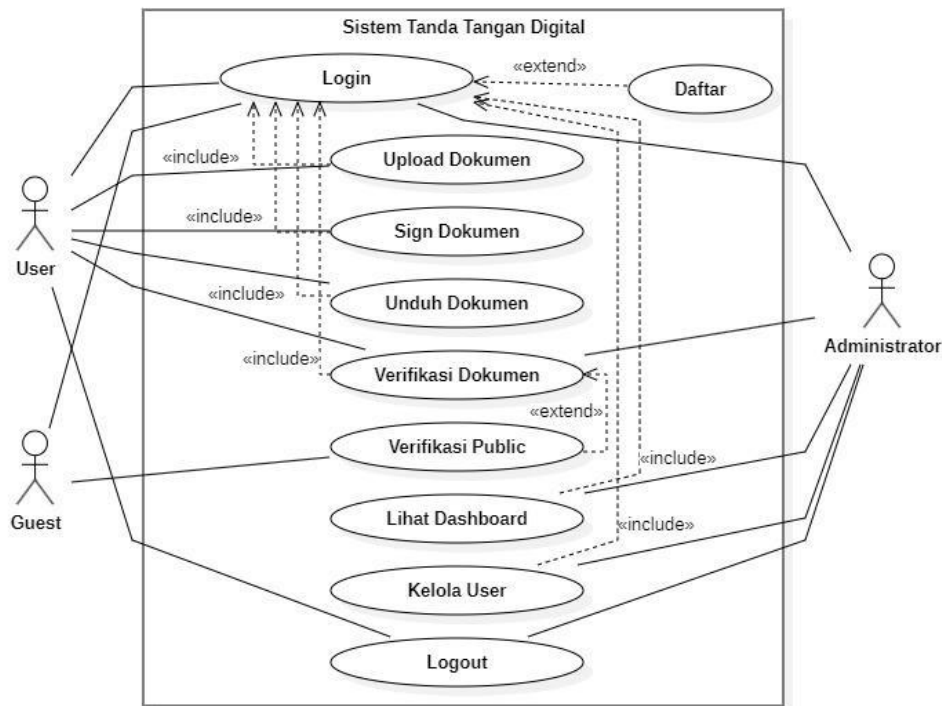
Sistem harus memungkinkan pengguna untuk memindai *QR Code* pada dokumen menggunakan perangkat mobile untuk melakukan verifikasi keaslian dan integritas dokumen yang ditandatangani.

Berdasarkan uraian di atas, dihasilkan tabel yang menjelaskan hal mendasar yang diperlukan oleh sistem:

Tabel 3.2. Kebutuhan Sistem

No	Aktor	Deskripsi
1	Administrator	• Admin dapat <i>login</i> dan mengakses <i>dashboard</i> untuk melihat statistik sistem. • Admin dapat mengelola data <i>user</i> dengan operasi CRUD. • Admin dapat melakukan verifikasi dokumen menggunakan kode verifikasi • Admin dapat melihat seluruh dokumen dalam sistem.
2	User	• <i>User</i> dapat melakukan registrasi dan <i>login</i> ke sistem. • <i>User</i> dapat mengunggah dokumen PDF dan memberikan tanda tangan digital. • <i>User</i> dapat mengunduh dokumen bertanda tangan dengan <i>QR Code</i>. • <i>User</i> dapat melakukan verifikasi dokumen menggunakan kode verifikasi.
3	Guest	• <i>Guest</i> dapat melakukan verifikasi publik dokumen dengan memindai <i>QR Code</i> atau memasukkan kode verifikasi tanpa <i>login</i>.

Untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai interaksi antara pengguna dengan sistem tanda tangan digital berbasis *QR Code*, maka dibuatlah *Use Case Diagram*. Diagram ini memodelkan fungsi-fungsi utama yang dapat diakses oleh aktor sistem, seperti pengguna dan admin, serta hubungan antara setiap aktor dengan fitur-fitur yang tersedia dalam aplikasi. Berikut adalah rancangan *Use Case Diagram* pada sistem yang dikembangkan:



Gambar 3.2. Use Case Diagram

b. Planning

Perencanaan pengembangan disusun dalam jangka waktu lima bulan dengan pembagian waktu yang proporsional untuk setiap tahapan pengembangan. Setiap tahap memiliki hasil yang spesifik, dimulai dari analisis kebutuhan dan perancangan sistem, dilanjutkan dengan implementasi komponen-komponen utama seperti autentikasi, manajemen dokumen, tanda tangan digital, dan sistem verifikasi. Rencana pengembangan sistem dijelaskan dalam bentuk tabel yang ditampilkan pada tabel 3.3. berikut.

Tabel 3.3. Rencana Pengembangan Sistem

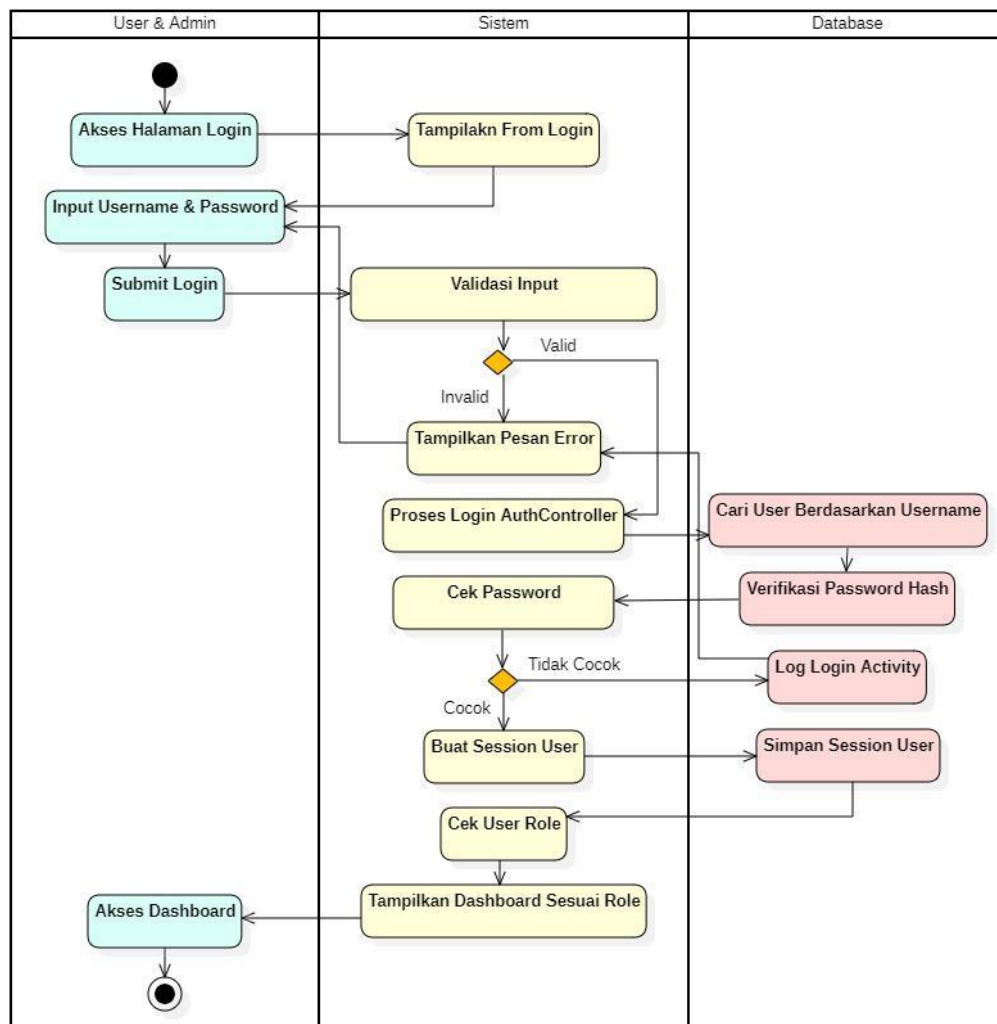
[illegible]

c. Design

Pada tahap perancangan sistem, dilakukan pemodelan alur kerja dan interaksi antara pengguna dan sistem untuk memastikan seluruh proses aplikasi berjalan terstruktur dan mudah dipahami. Proses ini membuat dokumentasi keterkaitan fitur utama seperti registrasi, autentikasi, unggah dokumen, tanda tangan digital, serta verifikasi dokumen dalam satu sistem yang utuh. *Activity* diagram digunakan untuk memetakan alur proses utama yang berjalan di dalam sistem tanda tangan digital QR Code berbasis web. Diagram ini membantu memperjelas setiap tahapan aktivitas mulai dari pengguna melakukan aksi, sistem memproses data, hingga interaksi dengan basis data, sehingga seluruh proses bisnis dapat tergambarkan secara runtut dan mudah dipahami.

1). Activity Diagram Login

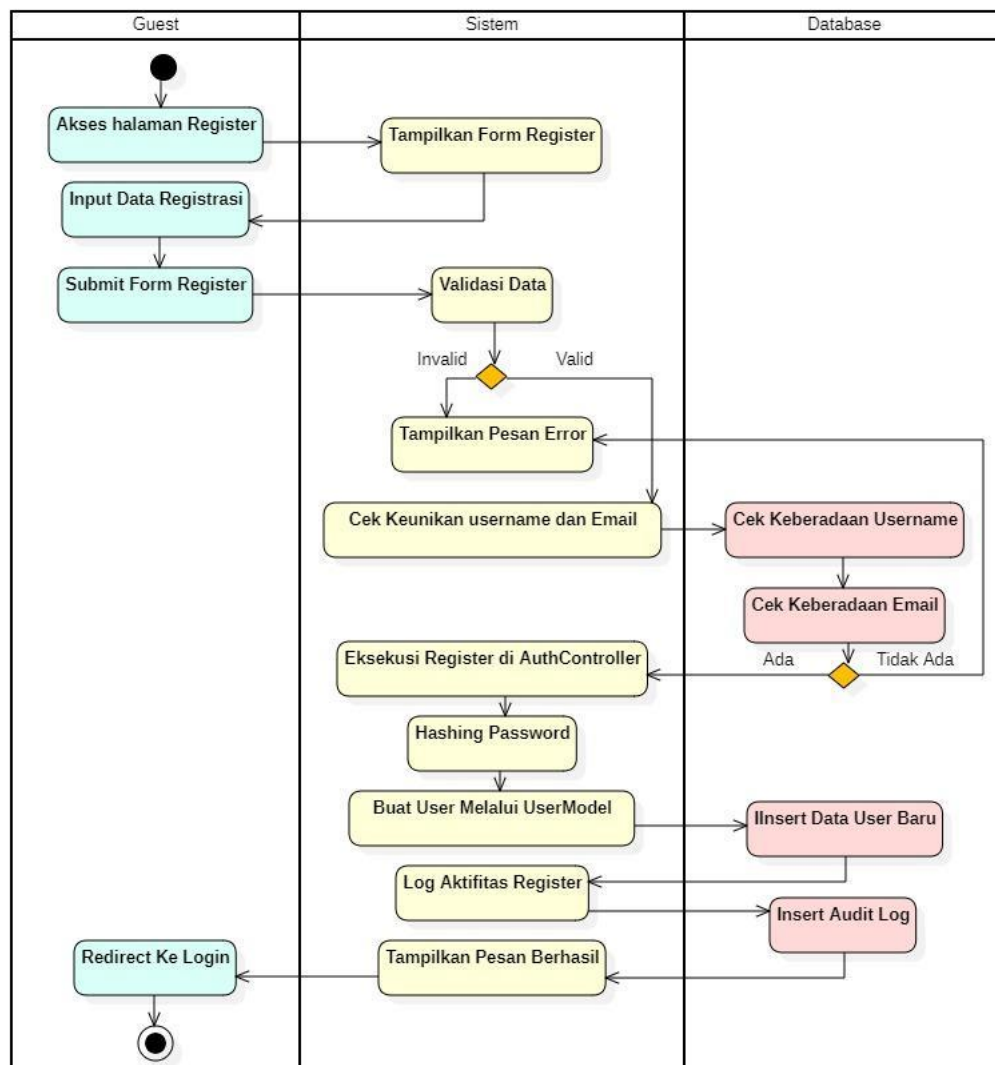
Diagram *login* pada gambar 3.3. menggambarkan proses autentikasi *user* dan admin ke dalam sistem. Proses dimulai dengan *user* mengakses halaman *login*, sistem menampilkan formulir *login*, kemudian *user* memasukkan *username* dan *password*. Sistem melakukan validasi input dan mencari *user* di basis data, lalu melakukan verifikasi *password* hash. Jika *login* berhasil, sistem membuat sesi *user* dan memeriksa role untuk menentukan akan diarahkan ke *dashboard* admin atau *user*. Jika terjadi *error* pada validasi atau *password* tidak cocok, sistem menampilkan pesan *error* dan *user* dapat mencoba *login* kembali dengan input yang benar.



Gambar 3.3. Activity Diagram Login

2). Activity Diagram Daftar

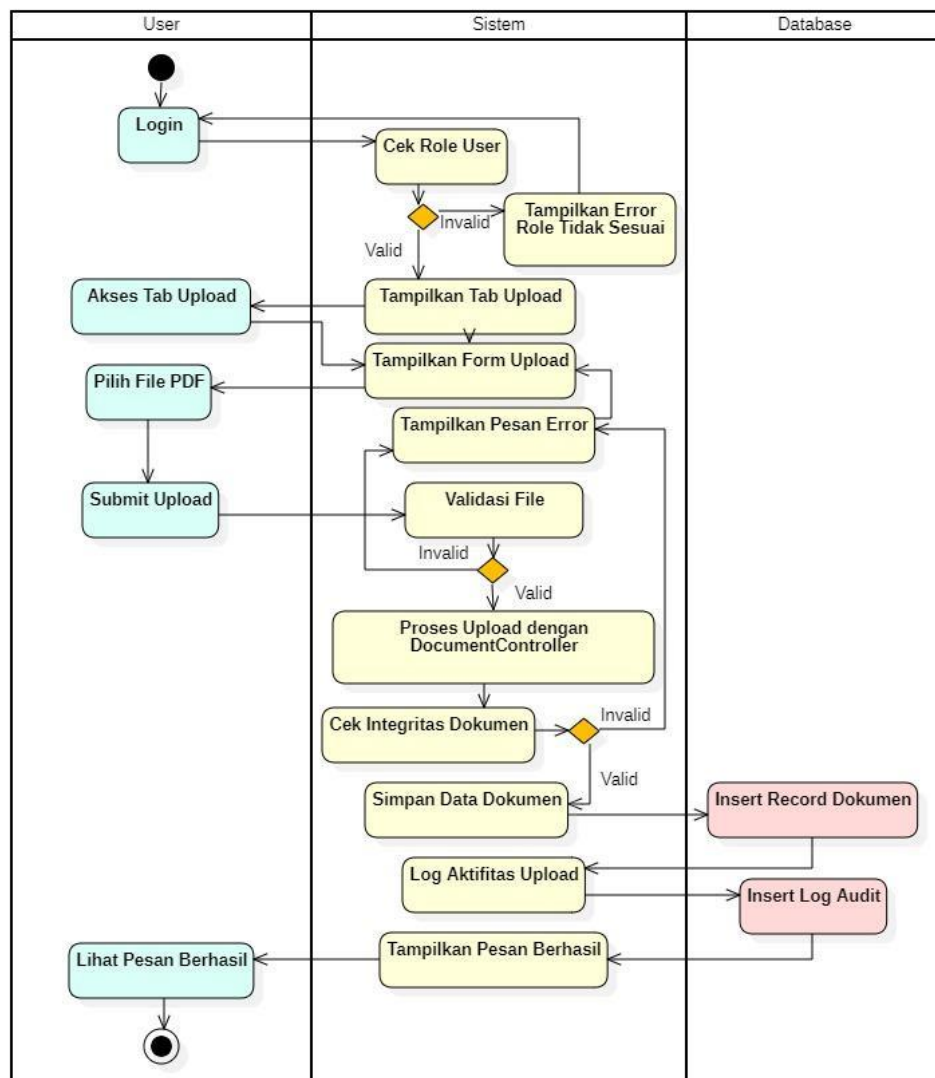
Diagram register pada gambar 3.4. menampilkan proses registrasi *user* baru oleh *guest*. *Guest* mengakses halaman registrasi dan sistem menampilkan formulir registrasi. *Guest* mengisi data lengkap seperti *username*, surel, password, dan nama lengkap, kemudian melakukan *submit* formulir ke sistem. Sistem melakukan validasi data dan memeriksa keunikan *username* serta surel di basis data. Jika data valid dan unik, sistem membuat hash *password* dan menyimpan *user* baru ke basis data serta mencatat aktivitas registrasi. Setelah berhasil, sistem menampilkan pesan sukses dan mengarahkan *guest* ke halaman *login*. Jika terjadi *error* validasi, *guest* dapat memperbaiki input data dan mencoba mendaftar kembali.



Gambar 3.4. Activity Diagram Daftar

3). Activity Diagram Unggah Dokumen

Diagram unggah dokumen pada gambar 3.5. menjelaskan proses pengunggahan file PDF oleh *user* ke sistem. *User* mengakses tab unggah dan sistem menampilkan formulir unggah. *User* memilih file PDF, kemudian *submit* formulir. Sistem melakukan validasi file termasuk pengecekan *role user*, format PDF, ukuran, dan *header* PDF yang valid. Jika berhasil, sistem memproses unggahan pengguna dengan membuat nama dokumen unik, memindahkan dokumen ke direktori, dan melakukan verifikasi integritas dokumen. Data dokumen kemudian disimpan kedalam basis data beserta log aktivitas unggah. Jika terjadi *error* pada validasi atau proses unggah, *user* dapat memilih file lain dan mencoba unggah kembali.

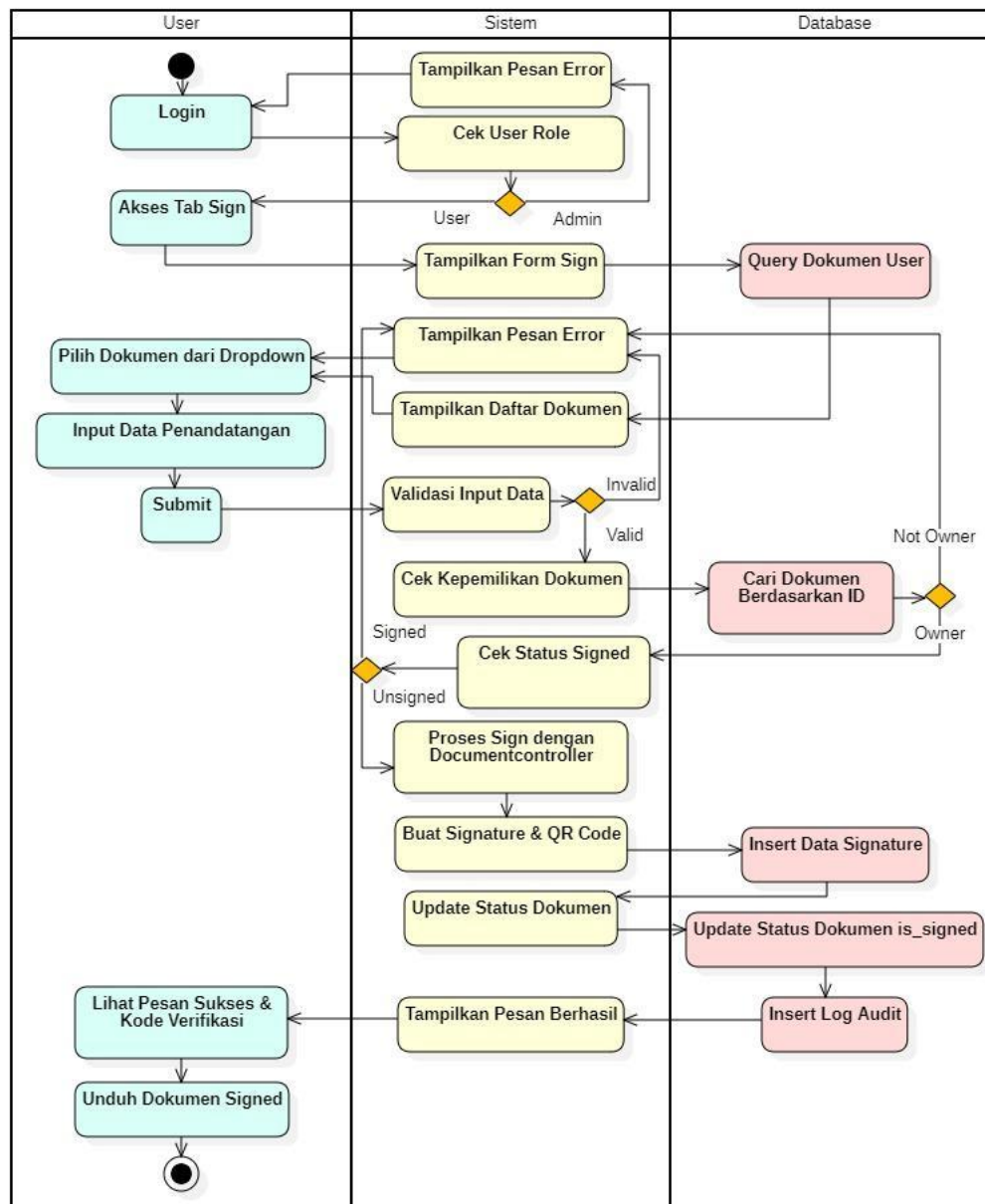


Gambar 3.5. Activity Diagram Unggah Dokumen

4). Activity Diagram Tandatangani Dokumen

Diagram *sign* dokumen pada gambar 3.6. menggambarkan proses penandatanganan digital oleh *user*. *User* mengakses tab tanda tangan dan sistem menampilkan formulir dengan *dropdown* dokumen yang belum ditandatangani. *User* memilih dokumen dan mengisi data penanda tangan (nama, posisi, surel), kemudian *submit* untuk menandatangani. Sistem melakukan validasi data dan memeriksa kepemilikan dokumen serta status belum ditandatangani. Jika valid, sistem memproses penandatanganan dengan membuat kode verifikasi unik, membuat QR Code, menyimpan data *signature*, membuat PDF bertanda tangandengan QR Code yang disematkan. Sistem akan memperbarui status dokumen lalu log aktivitas

penandatanganan dicatat. Kemudian *user* dapat mengunduh PDF bertanda tangan. Jika *error* terjadi, *user* dapat memperbaiki input data penanda tangan.

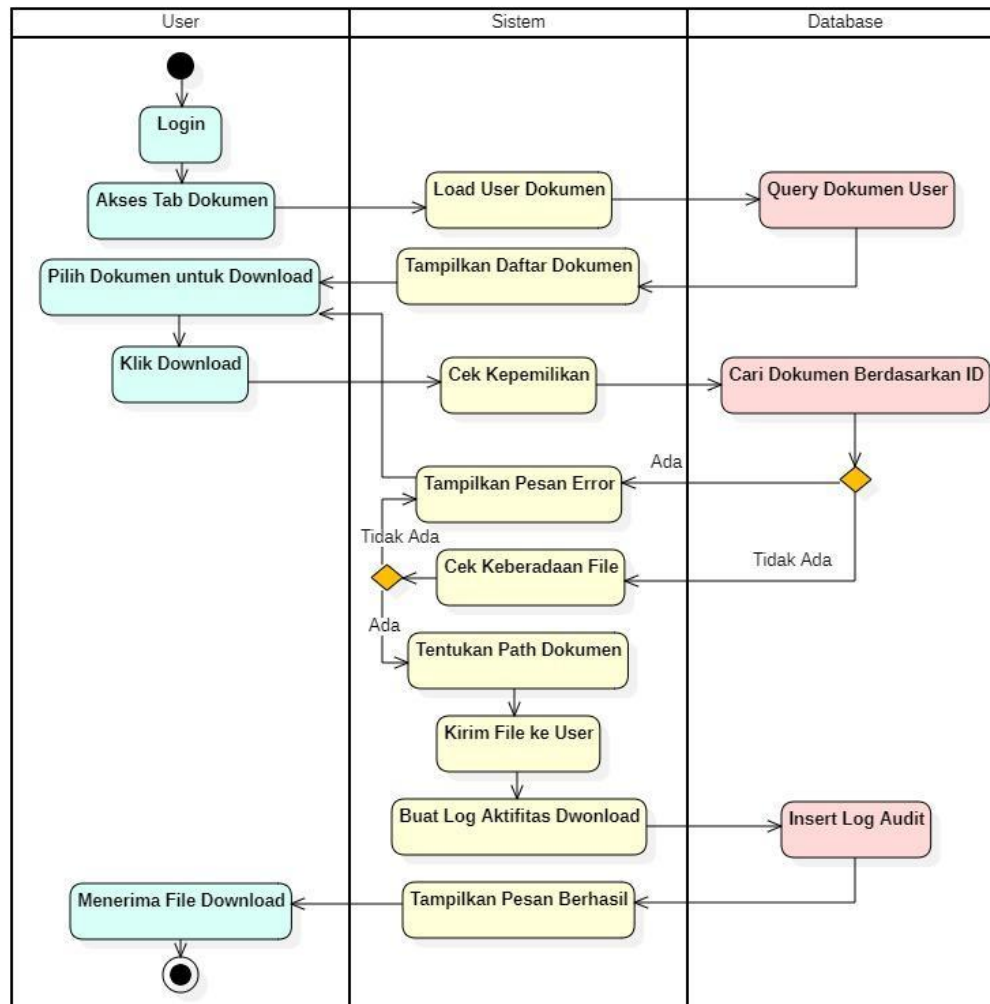


Gambar 3.6. Activity Diagram Tanda Tangan

5). Activity Diagram Unduh Dokumen

Diagram unduh dokumen pada gambar 3.7. menunjukkan proses unduh dokumen oleh *user* atau *admin*. *User* mengakses tab dokumen dan sistem menampilkan list dokumen milik *user*. *User* memilih dokumen dan klik tombol unduh. Sistem memproses request unduh dengan mengecek keberadaan file, memeriksa

kepemilikan dokumen, dan menentukan alamat dokumen. Sistem kemudian mempersiapkan *header* unduhan dan mengirim file ke *user*, serta mencatat log aktivitas unduh. Jika terjadi *error* seperti file tidak ditemukan atau akses ditolak, akan tampil pesan error dan *user* dapat memilih dokumen lain untuk diunduh.

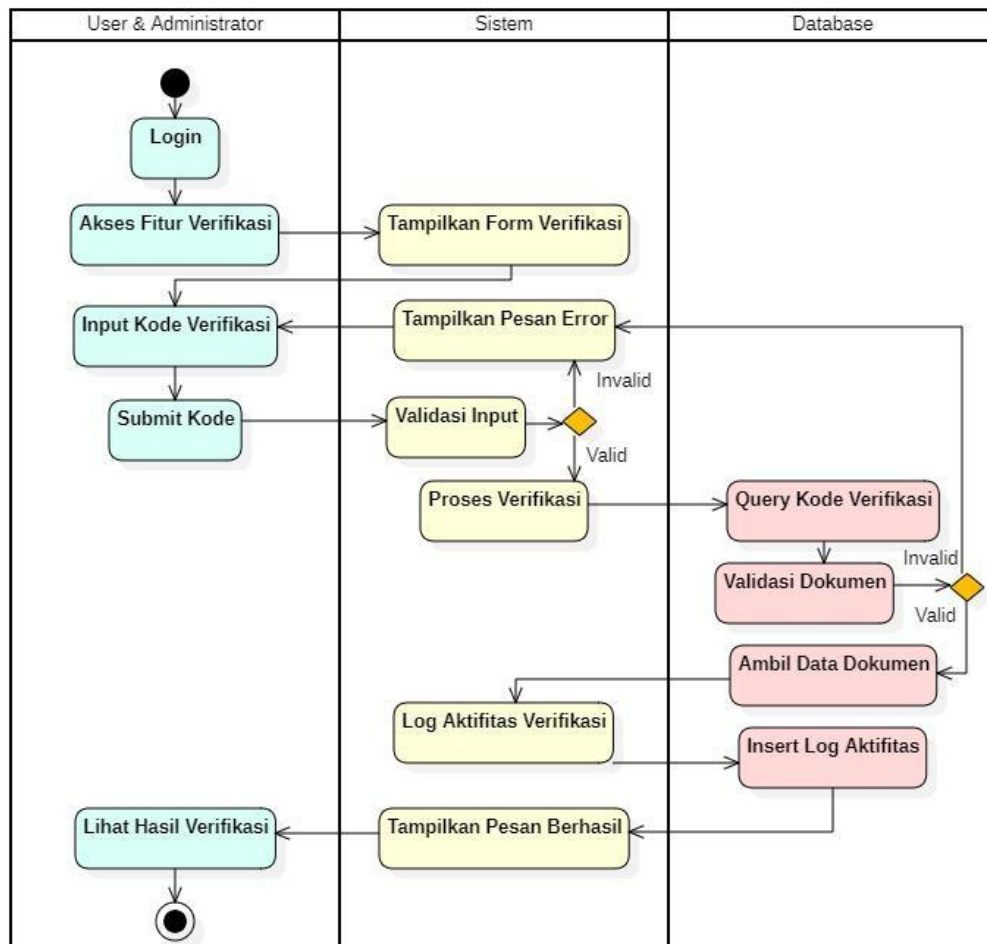


Gambar 3.7. Activity Diagram Unduh

6). Activity Diagram Verifikasi Dokumen oleh User dan Administrator

Activity diagram verifikasi dokumen oleh user dan administrator pada gambar 3.8. menggambarkan proses verifikasi kode dokumen yang dapat dilakukan oleh pengguna yang telah terverifikasi dalam sistem. Proses dimulai setelah *user* atau administrator melakukan *login* dan mengakses fitur verifikasi, kemudian memasukkan kode verifikasi dokumen yang akan divalidasi oleh sistem. Sistem melakukan validasi input dan memproses verifikasi dengan melakukan *query* ke basis data untuk mencari kode verifikasi dan memvalidasi status dokumen. Jika

verifikasi berhasil, sistem akan mencatat aktivitas verifikasi ke dalam log audit dan menampilkan hasil verifikasi kepada pengguna, sedangkan jika terjadi kesalahan pada tahap validasi input atau validasi dokumen, sistem akan menampilkan pesan *error* dan mengarahkan kembali ke tahap input kode verifikasi.

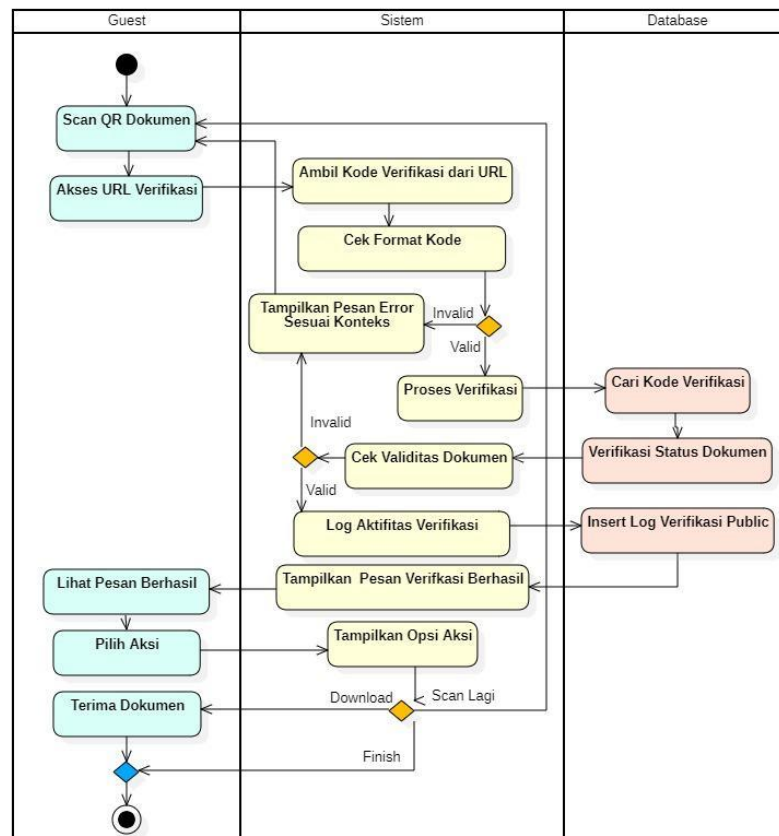


Gambar 3.8. Activity Diagram Verifikasi

7). Activity Diagram Verifikasi Publik

Diagram verifikasi public pada gambar 3.9. menunjukkan proses verifikasi dokumen tanpa *login* oleh *guest*. *Guest* memindai QR Code pada dokumen bertanda tangan yang otomatis membuka URL verifikasi di browser. Sistem menerima request dan mengambil kode verifikasi dari URL, kemudian memproses verifikasi dengan mencari kode *signature* di basis data. Jika kode valid dan dokumen sudah ditandatangani maka akan tampil hasil verifikasi dengan informasi penanda tangan, *timestamp*, dan status dokumen. *Guest* dapat melihat detail verifikasi dan opsi untuk

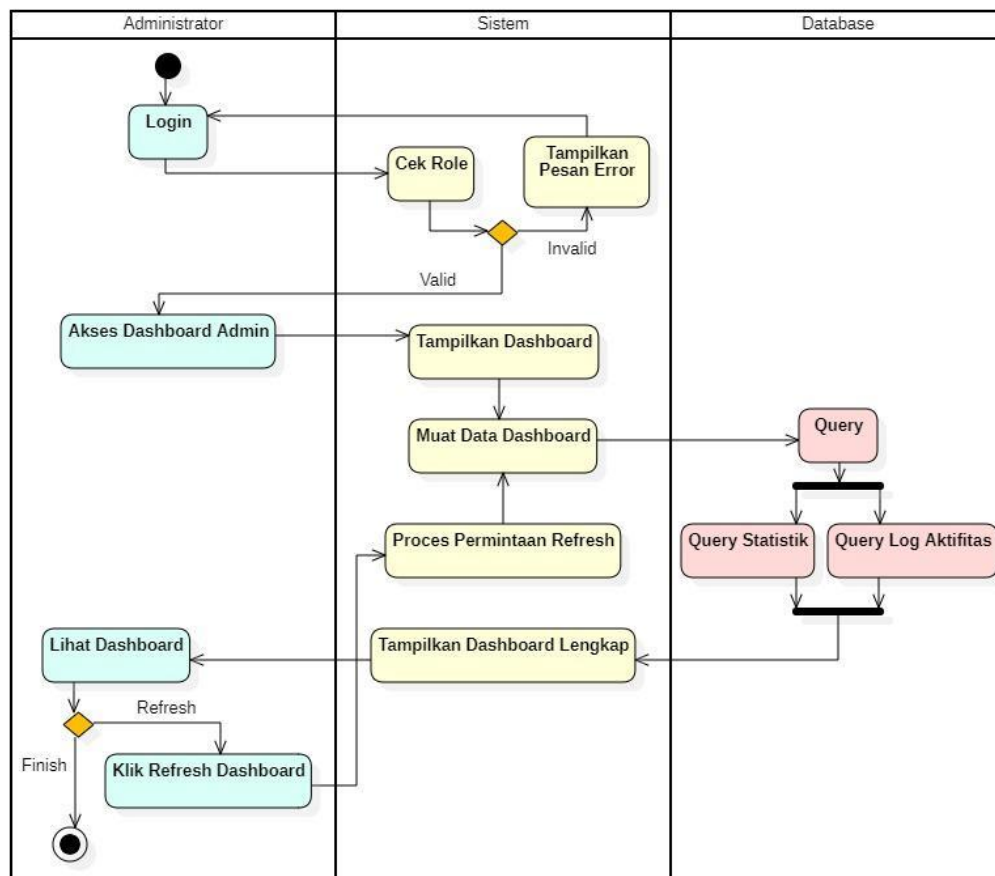
unduh dokumen. Jika code tidak valid atau dokumen belum ditandatangani, *guest* akan melihat pesan *error* dan dapat mencoba pindai QR Code lain.



Gambar 3.9. Activity Diagram Verifikasi Publik

8). Activity Diagram Akses Dashboard Admin

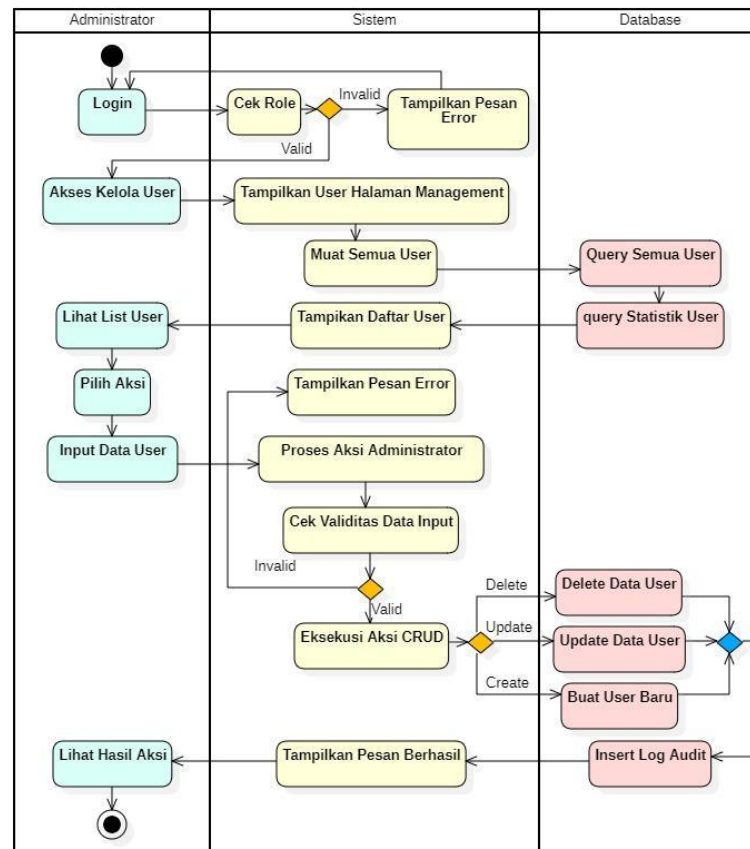
Diagram lihat *dashboard* admin pada gambar 3.10. menampilkan proses akses pemantauan sistem oleh admin. Admin mengakses *dashboard* dan sistem melakukan pengecekan *role* admin. Jika valid, sistem menampilkan halaman *dashboard* dan memuat statistik sistem dengan melakukan multiple *query* ke basis data (*system stats*, *user stats*, *document stats*, *today activity*). Data statistik ditampilkan dalam bentuk *cards* yang menunjukkan total *user*, dokumen, presentase dokumen ditandatangani serta aktivitas harian. Admin dapat melihat ringkasan lengkap sistem dan melakukan *refresh* untuk memperbarui data secara *real-time* dengan mengulang proses *load* statistik. Jika bukan admin, akan diarahkan kembali ke halaman akses dengan pesan *error* yang sesuai.



Gambar 3.10. *Activity Diagram Dashboard Admin*

9). Activity Diagram Kelola User

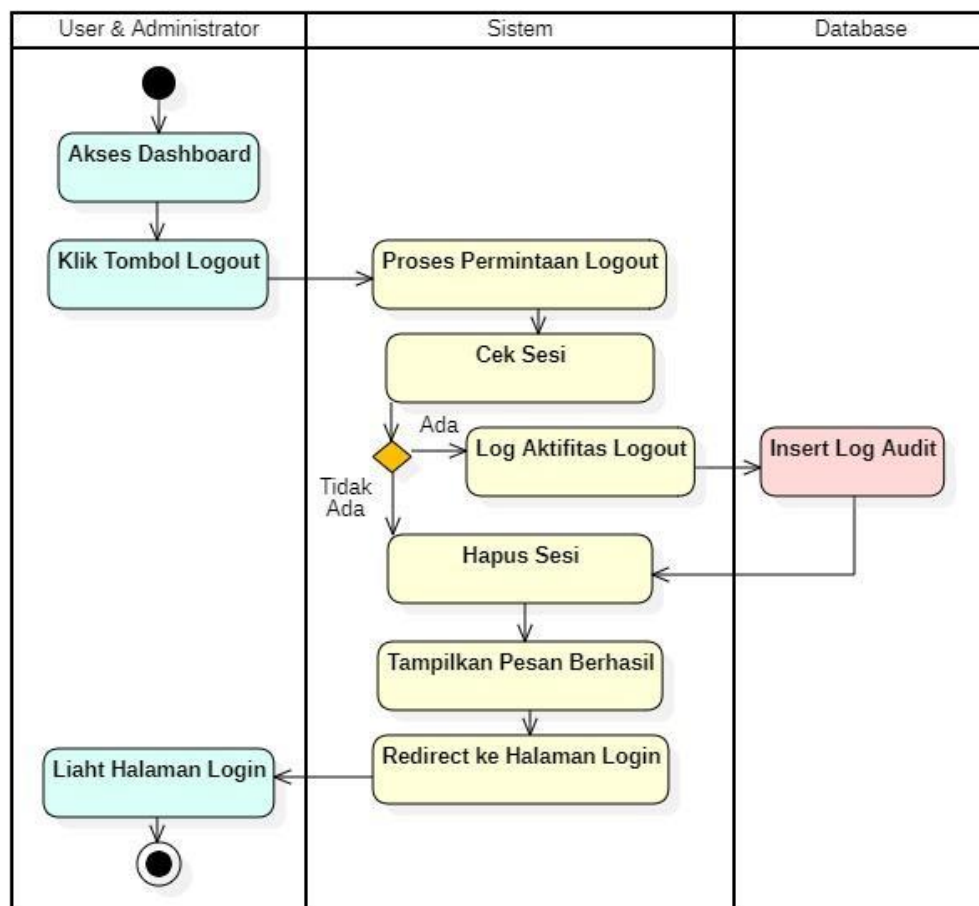
Diagram kelola *user* pada gambar 3.11. menjelaskan proses manajemen *user* oleh administrator. Setelah mengakses *user management*, sistem melakukan pengecekan *role*, kemudian menampilkan halaman dengan memuat semua *user* beserta statistik dokumen masing-masing. Administrator dapat melihat daftar *user* dan memilih aksi (*create*, *update*, atau *delete*). Selanjutnya, administrator mengisi data *user* dan konfirmasi aksi. Sistem memproses dengan validasi data dan mengecek keberadaan *user*, kemudian menjalankan operasi CRUD sesuai pilihan administrator lalu operasi tersebut dicatat dalam log audit. Administrator dapat melihat hasil dan pesan kesalahan apabila terjadi error, kemudian memperbaiki data masukan dan melakukan percobaan ulang.



Gambar 3.11. Activity Diagram Kelola User

10). Activity Diagram Logout

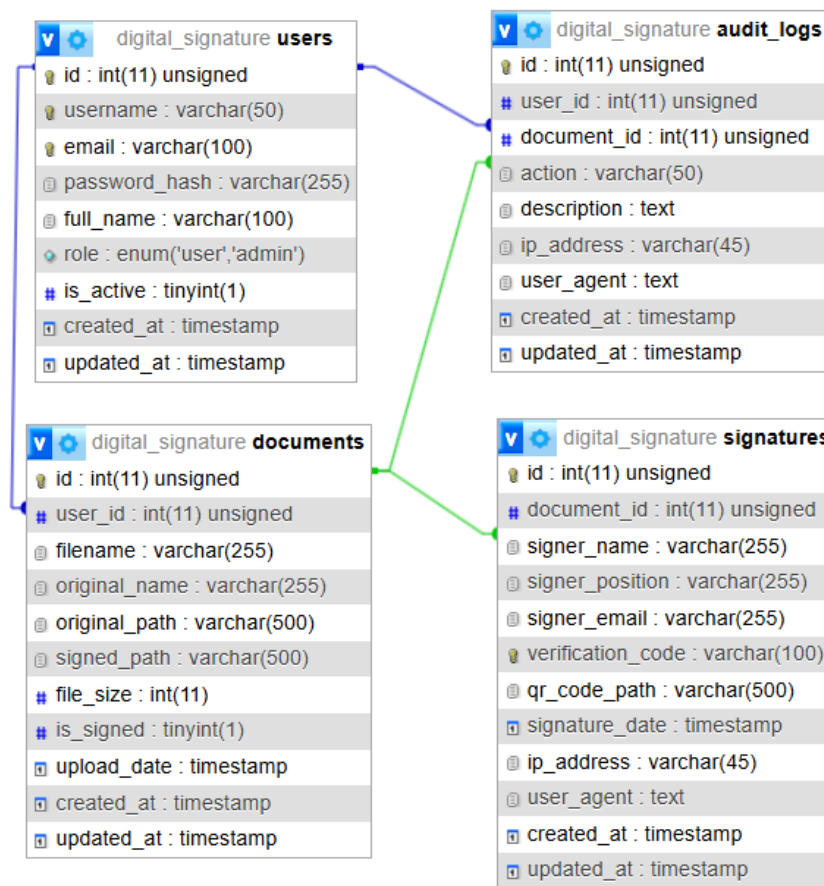
Diagram logout seperti pada gambar 3.12. menampilkan proses keluar dari sistem yang dapat dilakukan oleh *user* maupun administrator. *User/administrator* menekan tombol *logout* dan sistem memproses permintaan *logout* dengan memeriksa keberadaan sesi. Jika sesi ada, sistem mencatat log aktivitas *logout* ke basis data, kemudian menghapus sesi *user*. Jika sesi tidak ada, sistem langsung menghancurkan sesi tanpa *logging*. Setelah berhasil, sistem menampilkan pesan sukses dan mengarahkan ke halaman *login*. Proses *logout* dirancang selalu berhasil untuk memastikan *user* dapat keluar dari sistem.



Gambar 3.12. Activity Diagram Logout

11). Entity Relationship Diagram

Perancangan basis data sistem tanda tangan digital digambarkan melalui *Entity Relationship Diagram* (ERD) yang menunjukkan struktur tabel dan relasi antar entitas dalam basis data. ERD dirancang berdasarkan kebutuhan fungsional yang telah diidentifikasi melalui *Activity diagram* dan *use case* untuk mendukung proses autentikasi, manajemen dokumen, digital *signature*, dan verifikasi. Diagram ini menggambarkan hubungan antara entitas *user*, dokumen, *signature*, dan log audit beserta atribut-atribut yang diperlukan untuk mendukung operasional sistem. Rancangan ERD dapat dilihat pada gambar 3.13. berikut.



Gambar 3.13. *Entity Relationship Diagram*

- Tabel Users berfungsi sebagai data utama pengguna dengan atribut username dan email sebagai identitas unik, password_hash untuk autentikasi terenkripsi, role dengan nilai enumerasi ('user',) untuk pembagian hak akses, serta is_active untuk mengontrol status aktif pengguna.
- Tabel Documents menyimpan informasi dokumen yang diunggah dengan user_id sebagai kunci asing yang menghubungkan kepemilikan dokumen, filename dan original_name untuk identifikasi berkas, file_path dan signed_path untuk lokasi penyimpanan dokumen asli dan bertanda tangan, serta is_signed untuk menandai status dokumen.
- Tabel Signatures berisi data tanda tangan digital dengan document_id sebagai rujukan ke tabel documents, signer_name, signer_position, dan signer_email untuk identitas penanda tangan, verification_code sebagai kode unik verifikasi publik, dan qr_code_path untuk lokasi berkas QR Code.

- Tabel Audit_Logs berfungsi untuk melacak seluruh aktivitas sistem dengan *user_id* dan *document_id* sebagai kunci asing untuk penelusuran, *action* untuk jenis aktivitas (*login*, *upload*, *sign*, *verify*), *description* untuk detail kegiatan, serta *ip_address* dan *user_agent* untuk informasi teknis pengguna.

d. Implementasi

Tahap implementasi merupakan fase di mana seluruh hasil perancangan sistem diterjemahkan ke dalam kode program menggunakan bahasa pemrograman PHP dan *framework* CodeIgniter 4. Proses implementasi dilakukan secara bertahap dan sistematis guna memastikan setiap komponen sistem berfungsi dengan baik serta terintegrasi secara optimal. Kegiatan implementasi diawali dengan persiapan *environment* pengembangan, dilanjutkan dengan pembuatan basis data, pengembangan fitur autentikasi, manajemen dokumen, sistem tanda tangan digital, dan fitur verifikasi dokumen.

Setiap tahapan implementasi merujuk pada diagram perancangan yang telah disusun sebelumnya agar tercipta konsistensi antara desain dan kode program. Proses *coding* mengikuti standar penulisan kode yang baik dengan memperhatikan aspek keamanan, efisiensi, serta kemudahan pemeliharaan sistem. Selama proses implementasi, dilakukan pengujian secara berkala untuk memastikan setiap fitur yang dikembangkan berjalan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

Implementasi juga mencakup integrasi dengan *library* eksternal seperti Endroid QR Code untuk pembangkitan QR Code, serta konfigurasi keamanan untuk enkripsi data menggunakan algoritma *bcrypt*. Tahap ini diakhiri dengan penyatuan seluruh komponen menjadi satu aplikasi web yang utuh dan siap untuk diuji secara menyeluruh pada tahap selanjutnya.

e. Prosedur Pengujian Sistem

Pengujian sistem adalah tahap yang sangat penting dalam pengembangan aplikasi untuk memastikan bahwa seluruh fitur yang ada berfungsi sesuai dengan tujuan dan spesifikasi yang telah ditentukan. Pada penelitian ini, pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem tanda tangan digital dapat bekerja dengan baik dan

memenuhi kebutuhan fungsional serta non-fungsional yang telah ditetapkan. Proses pengujian ini mencakup beberapa metode, salah satunya adalah *Black Box Testing*, yang lebih fokus pada pengujian fungsionalitas aplikasi tanpa memperhatikan struktur internal kode.

Tabel 3.4. Pengujian Modul Autentikasi dan Otorisasi

Skenario Uji	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan
Proses <i>Login</i>	Akses halaman <i>login</i>	Menampilkan Formulir <i>login</i>
	Masukkan kredensial valid	Autentikasi berhasil dan diarahkan ke <i>dashboard</i>
	Masukkan <i>field</i> kosong	Menampilkan notifikasi " <i>Field Wajib Diisi</i> "
	Masukkan kredensial salah	Menampilkan Notifikasi " <i>Login Gagal</i> "
Proses Registrasi	Akses formulir registrasi	Menampilkan formulir registrasi
	Mengisi semua <i>field</i> dengan data valid	Registrasi berhasil dan diarahkan ke halaman <i>login</i>
	Mengisi <i>field</i> dengan format tidak sesuai	Menampilkan Notifikasi " <i>Registrasi Gagal</i> "
	Daftar dengan kredensial yang sudah ada	Menampilkan Notifikasi " <i>Registrasi Gagal</i> "

Tabel 3.5. Pengujian Modul Pengelolaan Dokumen

Skenario Uji	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan
Unggah Dokumen	Mengakses fitur unggah dokumen	Menampilkan antarmuka Unggah
	Unggah PPDF dengan ukuran sesuai batas	Dokumen berhasil tersimpan dalam daftar
	Unggah file dengan format selain PDF	Menampilkan "Format file tidak didukung"
	Unggah file melebihi ukuran maksimum	Menampilkan peringatan "Ukuran file terlalu besar"
Akses Dokumen	Melihat daftar dokumen milik pengguna	Menampilkan dokumen sesuai kepemilikan
	Unduh dokumen yang dimiliki	File berhasil diunduh

Tabel 3.6. Pengujian Fitur Tanda Tangan Digital

Skenario Uji	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan
Pemberian Tanda Tangan	Memilih dokumen untuk ditandatangani	Menampilkan formulir input data penanda tangan
	Mengisi informasi penanda tangan dengan lengkap	Tanda tangan berhasil dan QR Code dibuat
	Submit formulir dengan data tidak lengkap	Menampilkan notifikasi "Lengkapi semua informasi"
	Menandatangani dokumen yang sudah memiliki tanda tangan	Menampilkan "Dokumen telah ditandatangani"

Tabel 3.7. Pengujian Sistem Verifikasi

Skenario Uji	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan
Verifikasi oleh <i>User</i> Terdaftar	Masukkan kode verifikasi yang benar	Menampilkan informasi dokumen dan detail penanda tangan
	Input kode verifikasi yang salah atau tidak valid	Menampilkan "Kode Verifikasi Tidak Ditemukan"
Verifikasi Publik	Pindai QR <i>Code</i> pada dokumen	Menampilkan halaman verifikasi publik
	Akses verifikasi menggunakan URL dengan kode	Informasi dokumen dapat diakses tanpa <i>login</i>

Tabel 3.8. Pengujian Panel Administrator

Skenario Uji	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan
Dashboard Admin	<i>Login</i> sebagai administrator	Menampilkan <i>dashboard</i> dengan statistik sistem
	<i>Refresh</i> data statistik	
Pengelolaan <i>User</i>	Akses menu manajemen pengguna	Menampilkan daftar pengguna sistem
	Menambahkan pengguna baru	<i>User</i> baru berhasil ditambahkan
	Mengubah status pengguna	Status <i>user</i> berhasil diperbarui
Pemantauan Aktivitas	Melihat log aktivitas sistem	Menampilkan riwayat aktivitas pengguna

f. *Deployment*

Tahap *deployment* merupakan fase akhir dalam pengembangan sistem tanda tangan digital dimana sistem yang telah melalui proses analisis, perancangan, implementasi, dan pengujian siap untuk digunakan oleh pengguna sesungguhnya. Pada *deployment* dilakukan instalasi sistem ke server produksi, konfigurasi *environment*, dan penyesuaian pengaturan keamanan untuk memastikan sistem beroperasi dengan optimal. Selain itu juga dilakukan *User Acceptance Testing* (UAT) untuk memvalidasi bahwa sistem telah memenuhi kebutuhan pengguna dan berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Selama proses *deployment* berlangsung, pengembang tetap memantau sistem secara berkala untuk mengidentifikasi potensi *error* dan menangani feedback dari pengguna guna memastikan sistem beroperasi dengan baik dalam lingkungan produksi.

Tabel 3.9. Kriteria Evaluasi

No	Kriteria Evaluasi
1.	Apakah antarmuka sistem tanda tangan digital mudah dipahami?
2.	Apakah sistem dapat dioperasikan dengan mudah tanpa memerlukan pelatihan intensif?
3.	Apakah fitur unggah dan pemberian tanda tangan digital berjalan dengan lancar?
4.	Apakah proses verifikasi dokumen dapat dilakukan dengan cepat dan akurat?
5.	Apakah sistem ini efektif dalam mendukung digitalisasi proses penandatanganan dokumen?
6.	Apakah <i>dashboard</i> administrator menyediakan informasi yang relevan dan berguna?
7.	Apakah tingkat keamanan sistem memberikan rasa percaya kepada pengguna?

g. *Pemeliharaan Sistem*

Pemeliharaan sistem merupakan bagian penting dalam menjaga aplikasi tanda tangan digital berbasis QR Code tetap berfungsi optimal setelah implementasi. Pemeliharaan ini mencakup tiga jenis kegiatan utama: pemeliharaan preventif, yang melibatkan pembaruan rutin untuk meningkatkan keamanan dan mencegah

kerusakan; pemeliharaan korektif, yang dilakukan untuk memperbaiki kesalahan yang terjadi dalam penggunaan sistem; dan pemeliharaan adaptif, yang memastikan aplikasi tetap kompatibel dengan perkembangan teknologi baru. Seluruh kegiatan pemeliharaan dilakukan untuk memastikan keberlanjutan sistem, menjaga aspek keamanannya, serta memenuhi kebutuhan pengguna secara berkelanjutan.

3.3.3. Publikasi dan Penulisan Laporan

Hasil dari penelitian ini disusun dalam bentuk laporan skripsi yang disusun secara sistematis dan dapat dijadikan acuan bagi pengembangan sistem serupa di masa mendatang. Proses penulisan laporan meliputi tahapan mulai analisis kebutuhan, perancangan dan pengembangan sistem, hingga pengujian serta evaluasi terhadap hasil implementasi.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan implementasi sistem tanda tangan digital berbasis QR Code menggunakan *framework* CodeIgniter 4, dapat disimpulkan beberapa hal sebagaimana dijelaskan berikut:

- a. Sistem berhasil dikembangkan dengan pendekatan metodologi *Waterfall* dan menyediakan fungsi utama secara menyeluruh, mulai dari unggah dokumen PDF, pembangkitan tanda tangan digital, hingga verifikasi keaslian dokumen melalui QR Code.
- b. Aplikasi telah memenuhi tujuan penelitian dengan menyediakan solusi autentikasi dokumen digital yang praktis dan efisien, serta memungkinkan proses verifikasi secara publik tanpa memerlukan akun pengguna.
- c. Seluruh fitur utama berfungsi optimal, mencakup autentikasi pengguna dengan *bcrypt*, unggah dokumen dengan validasi, pembangkitan kode verifikasi melalui *random_bytes(8)*, integrasi QR Code, serta verifikasi basis data.
- d. Sistem menerapkan prinsip keamanan *Confidentiality, Integrity, Availability* (CIA) melalui *Role-Based Access Control* (RBAC), enkripsi kata sandi, pencatatan log audit, dan kode verifikasi kriptografis yang unik.
- e. Pengujian *Black-Box* menunjukkan keberhasilan 100% pada seluruh skenario. Pengujian *User Acceptance Testing* (UAT) memperoleh skor penerimaan 82,86%, menandakan sistem berada pada kategori “sangat sesuai” dan layak untuk diimplementasikan.

5.2. Saran

Berdasarkan temuan dan evaluasi sistem, berikut beberapa saran untuk pengembangan sistem

a. Pengembangan Fungsionalitas

Sistem dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan dukungan untuk format dokumen lain seperti Word dan Excel, serta fitur notifikasi otomatis dan *template* dokumen untuk mempercepat proses kerja yang berulang.

b. Peningkatan Keamanan

Keamanan sistem dapat diperkuat dengan penerapan autentikasi dua faktor (*Two-Factor Authentication/2FA*) dan penambahan enkripsi pada dokumen yang tersimpan agar perlindungan data lebih optimal.

c. Optimisasi Sistem

Peningkatan performa dapat dilakukan dengan mengimplementasikan *caching*, mengoptimalkan *query* basis data, serta menyediakan versi aplikasi mobile agar pengguna dapat mengakses sistem secara lebih fleksibel.

d. Penelitian Lanjutan

Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada studi perbandingan dengan platform tanda tangan digital sejenis untuk mengidentifikasi keunggulan dan kekurangan sistem yang telah dikembangkan sebelumnya, sebagai dasar perbaikan di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, A. 2024. *Perancangan aplikasi absensi berbasis web menggunakan algoritma Reed-Solomon Code untuk pembuatan QR-Code (Studi kasus: SMK Nurul Qolbi Bekasi)*. Tugas Akhir. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Budianto, A., Pangesti, S., Pasaribu, D. dan Faustina, S. 2021. Barcoding digital signature authenticity sebagai alat bukti perkara pidana. *Refleksi Hukum: Jurnal Ilmu Hukum*, 5(2), pp. 255–274. DOI: <https://doi.org/10.24246/jrh.2021.v5.i2.p255-274>.
- Chamida, M. A., Susanto, A., dan Latubessy, A. 2021. Analisa User Acceptance Testing terhadap Sistem Informasi Pengelolaan Bedah Rumah di Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman Kabupaten Jepara. *Indonesian Journal of Technology, Informatics and Science (IJTIS)*, 3(1), hlm. 36–41. DOI: <https://doi.org/10.24176/ijtis.v3i1.7531>
- Chilmi, F., Putra, A.B. dan Najaf, A.R.E. 2024. Sistem informasi surat-menyurat elektronik dengan tanda tangan digital pada SMA Muhammadiyah 7 Surabaya. *JUSIFOR: Jurnal Sistem Informasi dan Informatika*, 3(1), pp. 19–27. DOI: [10.33379/jusifor.v3i1.3949](https://doi.org/10.33379/jusifor.v3i1.3949).
- Farisi, A. 2021. Pengembangan aplikasi tanda tangan digital dengan metode hash menggunakan custom core system class pada *framework* CodeIgniter. *Jurnal Teknologi Sistem Informasi*, 2(1), pp. 137–149.
- Fang, W., Chen, W., Zhang, W., Pei, J., Gao, W. dan Wang, G. 2020. Digital signature scheme for information non-repudiation in blockchain: a state of the art review. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2020(56), pp. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13638-020-01665-w>.
- Hidayat, M.R., Gusman, D. dan Adeswastoto, H. 2022. Portal e-sertifikat dengan QR Code menggunakan PHP dan MySQL. *Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan*, 1(1), pp. 13–27. DOI: <https://doi.org/10.31004/jerkin.v1i1.1>.
- Igiriza, M., Rahmatullah, T., Syam, R.Z.A. dan Ruqayah, F. 2025. Keterampilan literasi digital dalam pemanfaatan big data demi terwujudnya masyarakat pengetahuan. *Jurnal Perpustakaan*, 16(1), pp. 55–68. DOI: [10.20885/unilib.Vol16.iss1.art5](https://doi.org/10.20885/unilib.Vol16.iss1.art5).

- Khairiyah, N., Hendriyani, Y., Hadi, A. dan Mursyida, L. 2024. Hash-based authentication code algorithm for quick response (QR) code as digital signature. *International Journal of Emerging Technology in Engineering Education (IJETEED)*, **1**(1), pp. 7–12. DOI: [10.24036/int.j.emerg.technol.eng.educ.v1i1.2](https://doi.org/10.24036/int.j.emerg.technol.eng.educ.v1i1.2).
- Khairunisa, Y., Tyas, S.S. dan Firmansyah, Z. 2022. Development of interactive website for vocational school tracer study application. *Proceedings of JICOMS 2022*, Jakarta, Indonesia, 16 November. DOI: [10.4108/eai.16-11-2022.2326063](https://doi.org/10.4108/eai.16-11-2022.2326063).
- Lorien, A. dan Wellem, T. 2021. Implementasi sistem otentikasi dokumen berbasis Quick Response (QR) code dan digital signature. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, **5**(4), pp. 663–671. DOI: <https://doi.org/10.29207/resti.v5i1.3316>.
- Millenia, M., Pakpahan, K. dan Sulistyawaty, S. 2023. Perbandingan peraturan tanda tangan digital di negara Jepang dan negara Indonesia (studi putusan: nomor 61/PID/2017/PT YYK). *Jurnal Ilmiah Bidang Sosial, Ekonomi, Budaya, Teknologi, dan Pendidikan*, **2**(12), pp. 3749–3762. DOI: <https://doi.org/10.54443/sibatik.v2i12.1515>.
- Muharir, M. 2021. Aplikasi permohonan surat PKL dan surat keterangan aktif mahasiswa menggunakan digital signature QR Code. *Jurnal Ilmiah Teknik Informatika dan Komunikasi (JUITIK)*, **1**(1), pp. 18–28.
- Mukti, G.W.W. dan Setiawan, H. 2020. Designing and building secure electronic medical record application by applying AES-256 and RSA digital signature. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **852**, 012148, pp. 1–6. DOI: [10.1088/1757-899X/852/1/012148](https://doi.org/10.1088/1757-899X/852/1/012148).
- Nuraeni, F., Kurniadi, D. dan Rahayu, D.N. 2024. Implementation of RSA and AES-128 super encryption on QR-code based digital signature schemes for document legalization. *Jurnal Teknik Informatika (JUTIF)*, **5**(3), pp. 675–684. DOI: <https://doi.org/10.52436/1.jutif.2024.5.3.1426>.
- Rahmawati, A.T. dan Hadiprakoso, R.B. 2020. Rancang bangun aplikasi rekapitulasi obat dengan menerapkan tanda tangan digital. *ULTIMA InfoSys*, **11**(2), pp. 119–124.
- Rijanandi, T., Pardede, S.L., Sitorus, M.R. dan Cahyani, N.D. Designing end-to-end web based application encryption with asymmetric encryption using waterfall methodology. *Jurnal Telematika*, **18**(2), pp. 88–93. Institut Teknologi Harapan Bangsa.
- Silalahi, F.D. 2022. *Manajemen database MySQL (Structured Query Language)*. Yayasan Prima Agus Teknik bekerja sama dengan Universitas Sains & Teknologi Komputer (Universitas STEKOM), pp. 1–151.
- Suprpto, E. 2021. User Acceptance Testing (UAT) Refreshment PBX Outlet Site BNI Kanwil Padang. *Civronlit: Jurnal Civronlit Unbari*, **6**(2), hlm. 54–58. DOI: <https://doi.org/10.33087/civronlit.v6i2.85>

- Supriadi, T.S.P., Syahidin, Y. dan Yunengsih, Y. 2024. Implementation of digital signatures in the integrated patient progress notes system at XYZ Hospital Bandung. *International Journal Software Engineering and Computer Science (IJSECS)*, **4**(2), pp. 836–849. DOI: <https://doi.org/10.35870/ijsecs.v4i2.2936>.
- Syahputra, R.A., Maliza, N.O., Kasmawati dan Putri, C.W.A. 2024. Strategi peningkatan kesadaran data dan informasi masyarakat di era digital. *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat Nusantara (JPkMN)*, **5**(3), pp. 3164–3171. DOI: <http://doi.org/10.55338/jpkmn.v5i3.3543>.
- Weza, M., El-Gayar, M.M., Abo Elfetoh, A. dan Elmogy, M. 2024. A novel model for securing seals using blockchain and digital signature based on quick response codes. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, **102**(6), pp. 2507–2531.
- Widia, R.N. 2021. *Website smart door pada kantor menggunakan QR Code*. Tugas Akhir. Politeknik Harapan Bersama, Tegal.
- Yuliana, M. dan Walidaniy, W.D. 2024. Efficient multi-signature and QR Code integration for document authentication using EdDSA-based algorithm. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, **17**(2), pp. 390–401. DOI: [10.22266/ijies2024.0430.32](https://doi.org/10.22266/ijies2024.0430.32).