



TUGAS AKHIR - IF184802

Implementasi Perangkat Lunak Audit Keamanan Cloud dengan Data Terenkripsi

MUHAMMAD FAJRI SALAM
NRP 05111540000099

Dosen Pembimbing I
Ir. MUCHAMMAD HUSNI, M.Kom.

Dosen Pembimbing II
HENNING TITI CIPTANINGTYAS, S.Kom., M.Kom.

DEPARTEMEN INFORMATIKA
Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - IF184802

Implementasi Perangkat Lunak Audit Keamanan Cloud dengan Data Terenkripsi

MUHAMMAD FAJRI SALAM
NRP 05111540000099

Dosen Pembimbing I
Ir. MUCHAMMAD HUSNI, M.Kom.

Dosen Pembimbing II
HENNING TITI CIPTANINGTYAS, S.Kom., M.Kom.

DEPARTEMEN INFORMATIKA
Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



UNDERGRADUATE THESIS - IF184802

Secure Cloud Auditing Over Encrypted Data Software Implementation

MUHAMMAD FAJRI SALAM
NRP 05111540000099

First Advisor
Ir. MUCHAMMAD HUSNI, M.Kom.

Second Advisor
HENNING TITI CIPTANINGTYAS, S.Kom., M.Kom.

INFORMATICS DEPARTMENT
Faculty of Information Communication and Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

Implementasi Perangkat Lunak Audit Keamanan Cloud dengan Data Terenkripsi

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer
pada
Bidang Studi Arsitektur Jaringan Komputer
Program Studi S-1 Departemen Informatika
Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD FAJRI SALAM
NRP: 05111540000099

Disetujui oleh Pembimbing tugas akhir:

1. Ir. MUCHAMMAD HUSNI, M.Kom.
(NIP. 19600221 198403 1 001) (Pembimbing 1)

2. HENNING TITI CIPTANINGTYAS,
S.Kom., M.Kom.
(NIP. 19840708 201012 2 004) (Pembimbing 2)

SURABAYA
JUNI, 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Implementasi Perangkat Lunak Audit Keamanan Cloud dengan Data Terenkripsi

Nama Mahasiswa : MUHAMMAD FAJRI SALAM
NRP : 05111540000099
Departemen : Informatika FTIK ITS
**Dosen Pembimbing 1 : Ir. MUCHAMMAD HUSNI,
M.Kom.**
**Dosen Pembimbing 2 : HENNING TITI
CIPTANINGTYAS, S.Kom.,
M.Kom.**

Abstrak

Komputasi awan adalah teknologi populer yang memungkinkan untuk mengakses data melalui Internet yang bahkan dapat menyimpan data sebagai pengganti penyimpanan lokal. Cloud memungkinkan pengguna untuk menyimpan data mereka di cloud tanpa perlu khawatir akan keakuratan dan keandalannya. Namun menyimpan data di cloud menimbulkan tantangan keamanan tertentu. Mengalihdayakan data di cloud menyebabkan pemilik data kehilangan kontrol fisik atas data mereka. Penyedia Layanan Cloud tertentu dapat beroperasi secara tidak jujur dengan data pengguna cloud, mereka dapat mengakses data dari cloud dan menjualnya kepada pihak ketiga untuk mendapatkan keuntungan. Jadi, meskipun *outsourcing* data di cloud tidak mahal dan mengurangi kompleksitas penyimpanan dan pemeliharaan berdurasi lama, setidaknya ada jaminan integritas data, privasi, keamanan, dan ketersediaan di server cloud.

Tugas Akhir ini akan berfokus pada strategi verifikasi integritas untuk data *outsourcing*. Skema yang diusulkan adalah menggabungkan mekanisme enkripsi dengan verifikasi integritas. Skema enkripsi yang digunakan di sini adalah algoritma kriptografi AES-256 dan fungsi *hash* SHA-256 yang digunakan untuk memastikan kebenaran penyimpanan data pada server yang tidak terpercaya

Kata kunci : Cloud Computing, AES-256, SHA-256, TPA.

Implementation of Secure Cloud Auditing Over Encrypted Data Software

Student's Name : MUHAMMAD FAJRI SALAM
Student's ID : 05111540000099
Department : Informatika FTIK-ITS
First Advisor : Ir. MUCHAMMAD HUSNI, M.Kom
Second Advisor : HENNING TITI
CIPTANINGTYAS, S.Kom.,
M.Kom.

Abstract

Cloud computing is a popular technology which permits storing and accessing data over Internet instead of storing it on local machine's hard drive. Cloud enables users to store their data on cloud without fearing about its accuracy and reliability. However storing data on cloud imposes certain security challenges. Outsourcing data in cloud result in data owners losing physical control over their data. Certain Cloud Service Providers may operate dishonestly with the cloud users' data, they may sneak the data from cloud and sell it to third parties in order to earn profit. Thus even though outsourcing data on cloud is inexpensive and reduces long duration storage and maintenance complexity, there is least assurance of data integrity, privacy, security and availability on cloud servers. A number of solutions have been recommended to solve the security issues in cloud.

This undergraduate thesis focuses on the integrity verification strategy for outsourced data. The proposed scheme combines the encrypting mechanism along with integrity verification strategy. The encrypting scheme used here is cryptographic algorithm like AES-256 and SHA-256 hash function is employed for ensuring data storage correctness on untrusted server

Kata kunci : Cloud Computing, AES-256, SHA-256, TPA.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur kepada Allah Yang Maha Esa atas segala karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul

“IMPLEMENTASI PERANGKAT LUNAK AUDIT KEAMANAN CLOUD DENGAN DATA TERENKRIPSI”.

Harapan dari penulis, semoga apa yang tertulis di dalam buku tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan saat ini dan ke depannya, serta dapat memberikan kontribusi yang nyata.

Dalam pelaksanaan dan pembuatan tugas akhir ini tentunya sangat banyak bantuan yang penulis terima dari berbagai pihak, tanpa mengurangi rasa hormat penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT. dan Nabi Muhammad SAW. yang telah membimbing penulis selama hidup.
2. Keluarga penulis (Ayah, Ibu, Mas Dicky, Dina, Aldan, dan keluarga penulis yang lain) yang selalu memberikan dukungan baik berupa doa, moral, dan material yang tak terhingga kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Muchammad Husni, M.Kom dan Ibu Henning Titi Ciptaningtyas, S.Kom., M.Kom selaku Dosen Pembimbing penulis yang telah membimbing, memberikan nasihat, dan memotivasi penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr.Eng. Darlis Herumurti, S.Kom, M.Kom. selaku kepala Departemen Informatika ITS.
5. Bapak dan Ibu Dosen yang telah memberikan ilmunya selama penulis berkuliah di Informatika ITS.
6. Teman-teman Developer Arya-Fajar Production (Tayar, Fuad, Awan, Irsa, Tamtam, Andhika, Fawwaz, Fasma, Jonathan, Adit dan Nila) yang selalu membantu memberikan solusi dan

memberikan hiburan dikala penulis mendapatkan tekanan proyek yang tidak masuk akal di tengah kesibukan kegiatan perkuliahan.

7. Teman-teman Developer PPDB Riau 2019 (Fuad, Didin, Yoza dan Sulton) yang menemani penulis selama 10 hari untuk melancarkan PPDB Riau 2019 di Pekanbaru, Riau.
8. Teman-teman dari keluarga kontrakan Toko Bu Firda (Imam, Feliq, Muad, Yoga, Yanto, Ari dan Wowos) yang telah tinggal seataap bersama selama tiga tahun, selalu menemani kehidupan diluar kegiatan kuliah baik susah maupun senang.
9. Teman-teman pejuang SW 120 yang selalu memberikan informasi penting dan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir.
10. Teman-teman angkatan 2015 (Masamalas) yang sudah menjadi saksi hidup perjalanan karir penulis selama berkuliah di Informatika ITS.
11. Untuk orang-orang yang tidak dapat disebutkan satu persatu oleh penulis dan pembaca buku tugas akhir ini.

Penulis telah berusaha sebaik-baiknya dalam menyusun tugas akhir ini. Namun, penulis memohon maaf apabila terdapat kekurangan, kesalahan maupun kelalaian yang telah penulis lakukan. Kritik dan saran yang membangun dapat disampaikan sebagai bahan perbaikan selanjutnya. Tetap semangat dalam menjalani kehidupan, jangan menyerah, karena Allah masih ingin melihat kita berjuang. Semoga kita semua selalu diberi kebahagiaan lahir dan batin dan kesuksesan dunia akhirat. Aamiin.

Surabaya, 7 Juni 2019

Muhammad Fajri Salam

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
Abstrak.....	vii
Abstract.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	1
DAFTAR TABEL.....	5
BAB I PENDAHULUAN.....	7
1.1 Latar Belakang	7
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Batasan Permasalahan	8
1.4 Tujuan	8
1.5 Manfaat	8
1.6 Metodologi	8
1.6.1 Penyusunan Proposal Tugas Akhir.....	8
1.6.2 Studi Literatur	9
1.6.3 Perancangan Sistem	9
1.6.4 Implementasi Sistem	9
1.6.5 Pengujian.	9
1.6.6 Penyusunan Buku	9
1.7 Sistematika Penulisan Laporan.....	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.1 Audit pada Komputasi Awan	11
2.1.1 Definisi Audit	11
2.1.2 Tujuan Audit Komputasi Awan	12
2.2 Laravel	13
2.3 MySQL.....	17
2.4 Python.....	17
2.4.1 Platform Pemrograman Python.....	18
2.4.2 Lisensi Python	18

2.4.3	Fitur Bahasa Pemrograman Python	18
2.5	Advanced Encryption Standard (AES) 256	19
2.5.1	Proses Enkripsi Advanced Encryption Standard ..	21
2.5.2	Proses Deskripsi Advanced Encryption Standard	24
2.5.3	Proses Ekspansi Kunci	26
2.6	Secure Hash Algorithm 256 (SHA-256)	27
2.6.1	Awal Perkembangan SHA-256	28
2.6.2	Dasar Prinsip	28
2.6.3	Cara Kerja	28
BAB III	PERANCANGAN	33
3.1	Deskripsi Umum	33
3.2	Rancangan Sistem	33
3.3	Server Aplikasi	34
3.3.1	Rancangan Spesifikasi Kebutuhan Sistem	35
3.3.2	Rancangan Proses Mengunggah File	36
3.3.3	Rancangan Proses Pengunduhan File	37
3.3.4	Rancangan Audit File	40
3.3.5	Rancangan Antarmuka	42
3.4	Rancangan Server Backup	48
3.5	Rancangan Server Basis Data	49
BAB IV	IMPLEMENTASI	51
4.1	Lingkungan Pembangunan Sistem	51
4.2	Implementasi Server Aplikasi	51
4.2.1	Implementasi Pengunggahan File di Server	52
4.2.2	Implementasi Pengunduhan File	52
4.2.3	Implementasi Audit File	53
4.2.4	Implementasi Antarmuka Pengguna	53
4.3	Implementasi Server Backup	58
4.4	Implementasi Server Basis Data	59
BAB V	UJI COBA DAN EVALUASI	61
5.1	Lingkungan Uji Coba	61
5.2	Pengujian	61
5.2.1	Pengujian Fungsional Sistem	61

5.2.2 Pengujian Performa Sistem	66
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.3 Kesimpulan	69
5.4 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	71
BIODATA PENULIS	73

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arsitektur Laravel	16
Gambar 2.2 Proses Input Bytes, State Array, dan Output Bytes [7]20	
Gambar 2.3 Ilustrasi Proses Enkripsi AES [7]	21
Gambar 2.4 Pengaruh Pemetaan pada Setiap Byte [7]	23
Gambar 2.5 Transformasi ShiftRows [7]	23
Gambar 2.6 Ilustrasi Proses Deskripsi AES [7].....	24
Gambar 2.7 Transformasi InvShiftRows [7]	25
Gambar 2.8 Pseudocode Ekspansi Kunci [7]	27
Gambar 2.9 Nilai Awal pada Variabel H	29
Gambar 3.10 Arsitektur Sistem	34
Gambar 3.11 Kasus Penggunaan	35
Gambar 3.12 Alur Pengunggahan File	39
Gambar 3.13 Alur Pengunduhan File	40
Gambar 3.14 Alur Audit File.....	41
Gambar 3.15 Rancangan Antarmuka Masuk ke Sistem	42
Gambar 3.16 Rancangan Antarmuka Registrasi.....	43
Gambar 3.17 Rancangan Antarmuka Unggah File.....	43
Gambar 3.18 Rancangan Antarmuka Melihat File Saya	44
Gambar 3.19 Rancangan Antarmuka Melihat File Dibagikan ke Saya	45
Gambar 3.20 Rancangan Antarmuka Bagikan File 1	45
Gambar 3.21 Rancangan Antarmuka Bagikan File 2	46
Gambar 3.22 Rancangan Antarmuka Bagikan File 3	46
Gambar 3.23 Rancangan Antarmuka Melihat Log Aktivitas	47
Gambar 3.24 Rancangan Antarmuka Melihat Log Berbagi File	47
Gambar 3.25 Alur Pengembalian File	48
Gambar 3.26 Alur Pencadangan Basis Data.....	49
Gambar 4.27 <i>Pseudocode</i> Pengunggahan File	52
Gambar 4.28 <i>Pseudocode</i> Pengunduhan File	53
Gambar 4.29 <i>Pseudocode</i> Audit File.....	53
Gambar 4.30 Halaman Login	54
Gambar 4.31 Halaman Registrasi.....	55
Gambar 4.32 Halaman Unggah File	55

Gambar 4.33 Halaman File Saya.....	56
Gambar 4.34 Halaman Berbagi File 1	56
Gambar 4.35 Halaman Berbagi File 2	57
Gambar 4.36 Halaman Berbagi File 3	57
Gambar 4.37 Halaman Melihat Log	58
Gambar 4.38 Halaman Melihat Log Berbagi File	58
Gambar 4.39 <i>Pseudocode script</i> pengembalian file	59
Gambar 4.40 <i>Pseudocode</i> Pengiriman file backup ke server backup	59
Gambar 5.41 File pada Server Aplikasi Sebelum Pengujian Mengunggah File.....	62
Gambar 5.42 File pada Server Aplikasi Sebelum Pengujian Mengunggah File.....	62
Gambar 5.43 Mengunggah File pada Aplikasi	62
Gambar 5.44 Pesan Berhasil Mengunggah File pada Aplikasi ...	62
Gambar 5.45 File pada Server Aplikasi Setelah Pengujian Pengunggahan File	63
Gambar 5.46 File pada Server Aplikasi Setelah Pengujian Pengunggahan File	63
Gambar 5.47 Menu Unduh File.....	63
Gambar 5.48 Perintah yang digunakan untuk menghapus dan mengubah file	64
Gambar 5.49 File 2.dat sebelum dirubah.....	64
Gambar 5.50 File 2.dat setelah dirubah	64
Gambar 5.51 Perintah yang digunakan untuk menjalankan script audit	65
Gambar 5.52 Hasil yang didapat setelah proses audit	65
Gambar 5.53 Perintah untuk menjalankan script recovery.....	65
Gambar 5.54 Tampilan pada Aplikasi Apabila Telah Melakukan Pengembalian Data ke Server Aplikasi	65
Gambar 5.55 File yang dihapus dan dimodifikasi telah berhasil dikembalikan pada server aplikasi.....	66
Gambar 5.56 Perintah untuk menjalankan script pengiriman backup basis data	66
Gambar 5.57 File telah tersimpan pada server backup.....	66

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Jumlah Round dan Key [7]	20
Tabel 2.2 S-Box SubBytes	22
Tabel 2.3 Tabel Inverse S-Box [7]	26
Tabel 3.4 Kasus Penggunaan.....	35
<i>Tabel 5 Spesifikasi Masing-Masing Server</i> Error! Bookmark not defined.	
Tabel 5.6 Uji Coba Performa Pengguna 1	67
Tabel 5.7 Uji Coba Performa Pengguna 2	67
Tabel 5.8 Uji Coba Performa Pengguna 3	67

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan jaman, teknologi saat ini mengalami perkembangan kearah pencapaian kemudahan dan kenyamanan yang luar biasa, sehingga kegiatan sehari-hari yang di anggap tidak mungkin di kerjakan dalam waktu yang singkat menjadi mungkin untuk dilakukan secara singkat. Pengembangan teknologi komputasi berbasis internet saat ini lebih di arahkan pada proses aplikasi sistem yang mudah dan tidak memerlukan banyak waktu dan tenaga.

Perkembangan teknologi komputasi berbasis internet ini salah satunya dikenal sebagai *Cloud Computing*. Ada banyak jenis implementasi dari *Cloud Computing*, salah satunya adalah penyimpanan data secara *online*. Keunggulan menyimpan data secara *online* adalah pengguna dapat mengakses datanya dimanapun dan kapanpun dengan internet.

Perkembangan *Cloud Computing* ini tidak selalu berujung ke hal-hal yang positif. Ada juga penyedia layanan *Cloud Computing* yang melakukan penyalahgunaan data pengguna. Bentuk penyalahgunaan data ini berupa pencurian data, penjualan data dan perubahan data.

Tujuan dari pengerjaan tugas akhir ini adalah untuk memecahkan masalah tentang keamanan penyimpanan data pada layanan *Cloud*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diangkat dalam tugas akhir ini dapat dipaparkan sebagai berikut:

1. Bagaimana cara mengaplikasikan algoritma enkripsi AES-256 pada *framework* Laravel?
2. Bagaimana cara mengetahui bahwa data yang tersimpan pada sistem tidak dimodifikasi?
3. Bagaimana cara mencadangkan data dan mengembalikan data yang telah hilang atau termodifikasi?

1.3 Batasan Permasalahan

Berdasarkan masalah yang diuraikan oleh penulis, maka batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah PHP dan Python sedangkan basis data yang digunakan adalah MySQL.
2. Lingkungan pengembangan yang digunakan menggunakan *framework* Laravel 5.8.

1.4 Tujuan

Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini antara lain :

1. Merancang *website* dengan *framework* Laravel yang mengaplikasikan algoritma enkripsi AES-256.
2. Menghasilkan *Secret hash key* yang dihasilkan oleh aplikasi *checksum* yang menggunakan algoritma SHA-256.
3. Membangun sistem yang menggunakan tiga server yaitu server aplikasi, server basis data dan server backup.

1.5 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah terciptanya sistem penyimpanan data berbasis *website* yang memastikan akan keamanan data tanpa campur tangan penyedia layanan *Cloud*. Hasil tugas akhir ini diharapkan kedepannya dapat diterapkan sebagai aplikasi di lingkungan masyarakat umum

1.6 Metodologi

Pembuatan tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan metodologi sebagai berikut:

1.6.1 Penyusunan Proposal Tugas Akhir

Proposal tugas akhir ini berisi gambaran tentang tugas akhir yang akan dibuat. Pendahuluan proposal tugas akhir meliputi hal yang menjadi latar belakang diajukannya usulan tugas akhir, rumusan masalah yang diangkat, batasan masalah yang menjadi konstrain dari tugas akhir, tujuan pembuatan tugas akhir, dan manfaat dari hasil tugas akhir. Di dalam proposal tugas akhir juga dijabarkan mengenai

tinjauan pustaka yang menjadi referensi pendukung dalam pembuatan tugas akhir ini.

1.6.2 Studi Literatur

Pada studi literatur, akan dilakukan pengumpulan informasi dan referensi yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir yaitu mengenai Laravel, PHP, Python, MySQL, Algoritma AES-256 dan SHA-256

1.6.3 Perancangan Sistem

Pada tahap perancangan sistem, akan dilakukan perancangan bisnis proses dari sistem. Bisnis proses ini meliputi proses pendaftaran, mengunggah data, mengunduh data dan membagikan data kepada pengguna yang lain.

1.6.4 Implementasi Sistem

Pada tahap implementasi sistem akan dilakukan implementasi pembuatan sistem sesuai pada tahap perancangan sistem. Keluaran yang diharapkan dari tahap ini adalah Sistem PenyimpananData yang aman dan siap untuk dipakai.

1.6.5 Pengujian.

Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan pada sistem yang dibangun serta untuk memeriksa apakah sistem sudah berjalan dengan baik dan dipastikan agar tidak ada kesalahan yang terjadi.

1.6.6 Penyusunan Buku

Pada tahap ini dilakukan penyusunan buku sebagai dokumentasi dari pelaksanaan tugas akhir yang mencakup seluruh konsep, teori, implementasi, serta hasil yang telah dikerjakan.

1.7 Sistematika Penulisan Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Bab I. Pendahuluan

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan permasalahan, tujuan, manfaat, metodologi, dan sistematika penulisan dari pembuatan tugas akhir.

2. Bab II. Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi kajian teori atau penjelasan dari metode, algoritma, *library*, dan *tools* yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini. Kajian teori yang dimaksud berisi tentang penjelasan singkat mengenai Laravel, PHP, Python, MySQL, Algoritma AES-256 dan Algoritma SHA-256.

3. Bab III. Perancangan

Bab ini berisi pembahasan mengenai perancangan proses bisnis yang akan diimplementasikan dalam tugas akhir. Perancangan proses bisnis berupa perancangan proses pendaftaran, mengunggah data, mengunduh data dan membagikan data.

4. Bab IV. Implementasi

Bab ini menjelaskan implementasi yang berbentuk kode sumber dari proses bisnis yang terjadi pada aplikasi mulai pendaftaran, mengunggah data, mengunduh data dan membagikan data.

5. Bab V. Pengujian dan Evaluasi

Bab ini berisi hasil pengujian dan evaluasi pada aplikasi Sistem Penyimpanan Data.

6. Bab VI. Kesimpulan dan Saran

Bab ini merupakan bab yang menyampaikan kesimpulan dari hasil uji coba yang dilakukan, masalah-masalah yang dialami pada proses pengerjaan tugas akhir, dan saran untuk pengembangan tugas akhir ke depannya.

7. Daftar Pustaka

Bab ini berisi daftar pustaka yang dijadikan literatur dalam tugas akhir.

8. Lampiran

Dalam lampiran terdapat kode sumber program secara keseluruhan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi pembahasan mengenai teori-teori dasar atau penjelasan dari metode dan alat yang digunakan dalam tugas akhir. Penjelasan ini bertujuan untuk memberikan gambaran secara umum terhadap program yang dibuat dan berguna sebagai penunjang dalam pengembangan riset yang berkaitan.

2.1 Audit pada Komputasi Awan

Perkembangan terbaru dalam Teknologi Informasi (TI) telah memberi dampak besar atas bidang audit. TI telah menginspirasi rekayasa ulang berbagai proses bisnis tradisional untuk mendukung operasi yang lebih efisien dan untuk meningkatkan komunikasi dalam entitas serta antara entitas dengan para pelanggan dan pemasoknya. Akan tetapi, berbagai kemajuan ini membawa berbagai risiko baru yang membutuhkan pengendalian internal khusus. Kemajuan ini telah melahirkan kebutuhan akan berbagai teknik baru untuk mengevaluasi pengendalian dan untuk memastikan keamanan serta akurasi data perusahaan dan sistem informasi yang menghasilkannya [1].

2.1.1 Definisi Audit

Audit adalah proses sistematis mengenai mendapatkan dan mengevaluasi secara objektif bukti yang berkaitan dengan penilaian mengenai berbagai kegiatan dan peristiwa ekonomi untuk memastikan tingkat kesesuaian antara penilaian-penilaian tersebut membentuk kriteria serta menyampaikan hasilnya ke para pengguna yang berkepentingan [1].

Lembaga auditor internal (*Institute of Internal Auditory - IIA*) mendefinisikan audit internal sebagai fungsi penilaian independen yang dibentuk dalam perusahaan untuk mempelajari dan mengevaluasi berbagai aktivitasnya sebagai layanan bagi perusahaan. Para auditor internal melakukan berbagai jenis aktivitas atas nama perusahaan, termasuk melakukan audit keuangan, mempelajari ketaatan suatu operasi terhadap kebijakan

perusahaan, mengkaji ketaatan perusahaan terhadap kewajiban hukumnya, mengevaluasi efisiensi operasional, mendeteksi dan mengejar pelaku penipuan dalam perusahaan, serta melakukan audit TI [1].

Secara umum, audit adalah ketika pihak ketiga, kelompok independen dilibatkan untuk memperoleh bukti melalui penyelidikan, pemeriksaan fisik, pengamatan, konfirmasi, prosedur analitik, dan / atau kinerja ulang [2].

Dalam audit komputasi awan, variasi langkah-langkah ini diselesaikan untuk membentuk pendapat atas desain dan efektivitas operasional kontrol yang diidentifikasi dalam bidang berikut:

- Komunikasi
- Insiden keamanan
- Keamanan jaringan
- Pengembangan sistem atau manajemen perubahan
- Manajemen risiko
- Manajemen data
- Kerentanan dan manajemen remediasi

2.1.2 Tujuan Audit Komputasi Awan

Selama tahap perencanaan dan pelaksanaan audit, penting untuk memiliki pemahaman yang jelas tentang apa yang termasuk dalam tujuan audit. Perusahaan harus berusaha untuk menyelaraskan tujuan bisnis mereka dengan tujuan audit. Ini akan memastikan bahwa waktu dan sumber daya yang dihabiskan akan membantu mencapai lingkungan kontrol internal yang kuat dan menurunkan risiko pendapat yang berkualitas [2].

Auditor menggunakan tujuan sebagai cara untuk menyimpulkan bukti yang mereka peroleh. Di bawah ini adalah daftar contoh tujuan komputasi awan yang dapat digunakan oleh auditor dan bisnis.

- **Menetapkan Rencana Strategis**

Penggunaan sumber daya TI harus selaras dengan strategi bisnis perusahaan. Ketika mendefinisikan tujuan ini, beberapa pertimbangan utama harus mencakup apakah investasi TI didukung oleh kasus bisnis yang kuat dan

pendidikan apa yang akan diperlukan selama peluncuran investasi TI baru.

- **Mendefinisikan Arsitektur Informasi**

Arsitektur informasi mencakup persyaratan jaringan, sistem, dan keamanan yang diperlukan untuk menjaga integritas dan keamanan informasi. Apakah informasi itu diam, dalam perjalanan atau sedang diproses.

- **Mendefinisikan Proses, Organisasi, dan Hubungan TI**

Menciptakan proses yang didokumentasikan, terstandarisasi, dan diulang menciptakan untuk lingkungan TI yang lebih stabil. Bisnis harus fokus pada pembuatan kebijakan dan prosedur yang mencakup struktur organisasi, peran dan tanggung jawab, kepemilikan sistem, manajemen risiko, keamanan informasi, pemisahan tugas, manajemen perubahan, manajemen insiden, dan pemulihan bencana.

- **Menilai dan Mengelola Risiko TI**

Manajemen harus mendokumentasikan risiko-risiko yang dapat mempengaruhi tujuan perusahaan. Ini dapat mencakup kerentanan keamanan, undang-undang dan peraturan, akses ke pelanggan atau informasi sensitif lainnya, dll.

- **Identifikasi Kontrol Keamanan Manajemen Vendor**

Karena perusahaan mengandalkan vendor lain seperti AWS untuk menampung infrastruktur mereka atau ADP untuk pemrosesan gaji, perusahaan perlu mengidentifikasi risiko-risiko yang dapat memengaruhi keandalan, akurasi, dan keamanan informasi sensitif.

Penelitian ini lebih berfokus kepada Audit keamanan penyimpanan file berbasis komputasi awan

2.2 Laravel

Laravel adalah sebuah framework berbahasa pemrograman PHP terbaik yang dikembangkan oleh *Taylor Otwell*. Proyek pembuatan framework ini dimulai pada April 2011, yang didasari

atas keresahan *Taylor Otwell* karena tidak adanya framework PHP yang *up to date* dengan versi PHP [3].

Taylor Otwell memilih bahasa pemrograman PHP untuk frameworknya dikarenakan bahasa ini merupakan bahasa pemrograman yang sangat populer dalam membangun sebuah CMS (Content Management System). Popularitas PHP dikarenakan beberapa kelebihan yang ditawarkan oleh bahasa ini :

- **Kesederhanaan**, bahasa PHP merupakan bahasa yang sederhana. User atau pengguna yang hanya sedikit tahu atau bahkan sama sekali tidak mengerti tentang pemrograman bisa dengan cepat belajar PHP. Selain itu PHP juga menyediakan fungsi *built-in* untuk menangani kebutuhan standar pembuatan web.
- **Banyaknya referensi**, bahasa PHP dipilih karena bahasa ini telah ada sejak lama yaitu tahun 1995 dan sudah memiliki komunitas yang sangat besar. Dengan komunitas yang besar ini tentu saja referensi tentang bahasa pemrograman PHP sudah sangat banyak.
- **Open source**, bahasa PHP merupakan bahasa *open source* yang dapat digunakan di berbagai sistem operasi seperti: Linux, Unix, Macintosh, dan Windows.
- **Banyaknya web server**, web server yang mendukung bahasa PHP dapat ditemukan dimana-mana mulai dari Apache, IIS, Lighttpd, hingga Xitami yang pengkonfigurasianya relative mudah [4].

Kelebihan Laravel

Dengan dukungan serta popularitas PHP serta MySQL pada Laravel, framework ini tentu saja juga mendapatkan popularitas yang serupa pula. Selain itu ada beberapa alasan lain mengapa banyak orang memilih dan menggunakan framework Laravel daripada framework lain diantaranya:

- **Mudah dan Dokumentasinya Lengkap**
Platform Laravel menarik dan mudah digunakan. Seorang pengguna yang tidak ahli dalam bidang web developmentpun bisa menggunakannya. Dokumentasi resmi yang dimiliki Laravel pun tergolong ke dalam dokumentasi yang sangat baik, rapi, mudah dan jelas. Dokumentasi ini tersedia pada <https://laravel.com/docs>
- **Open source**
Laravel merupakan framework open source yang dapat digunakan secara bebas, gratis, dan memungkinkan pengguna untuk membuat web aplikasi yang besar dan kompleks dengan mudah.
- **Arsitektur MVC**
Dengan menggunakan pola MVC, kita dapat membuat arsitektur kode yang lebih rapi dimana pola tersebut memisahkan antara logika dan view. Arsitektur MVC dapat meningkatkan *performance* serta memiliki beberapa fungsi built-in. Arsitektur MVC pada Laravel dapat dilihat pada gambar 2.1.
- **Blade Template**
Laravel memiliki fitur blade template yang mempermudah pengguna untuk memetakan template yang dia miliki dengan membaginya menjadi beberapa bagian sehingga lebih mudah diatur.
- **Memiliki Fitur Migration**
Migration adalah salah satu fitur utama yang dimiliki Laravel. Dengan migration, memungkinkan pengguna untuk mempertahankan struktur database yang dia miliki tanpa membuatnya kembali. Dengan migration memungkinkan untuk mengatur database dengan menuliskan kode PHP.
- **Keamanan**
Keamanan aplikasi merupakan prioritas nomor satu dalam mengembangkan website. Terlebih lagi jika website tersebut menyimpan banyak data yang sangat penting dan sensitive.

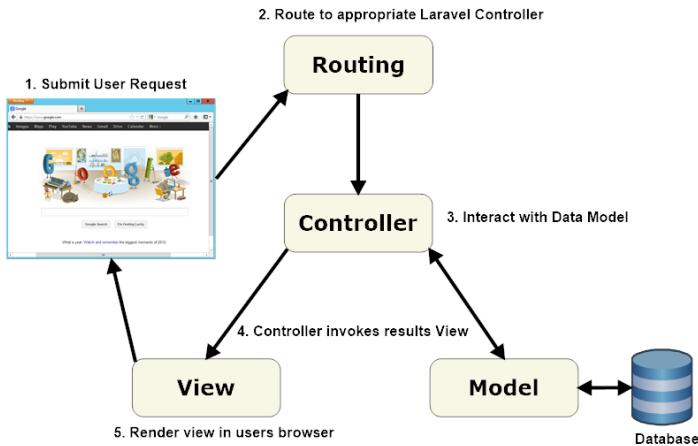
Laravel memberikan kita beberapa pilihan penting yang dapat digunakan untuk membuat aplikasi kita agar tetap aman. ORM Laravel menggunakan PDO yang dapat mencegah SQL Injection, memiliki csrf token, dan banyak hal lainnya

- **Komunitas yang besar**

Laravel merupakan framework yang populer dan memiliki komunitas yang besar. Dengan adanya komunitas ini pengguna dapat lebih mudah belajar dan mencari solusi yang tepat atas setiap permasalahannya.

- **Hemat waktu**

Dengan berbagai abstraksi yang tersedia di Laravel. Pengguna jadi lebih fokus untuk memikirkan logika bisnis dari aplikasi yang dia buat. Jika ada developer baru yang masuk ke project, dia cukup mempelajari dokumentasi resmi Laravel sehingga lebih menghemat waktu [3].



Gambar 2.1 Arsitektur Laravel

Pada penelitian ini kerangka kerja Laravel digunakan sebagai kerangka kerja untuk aplikasi berbasis website yang digunakan pada sistem.

2.3 MySQL

Salah satu database yang sering digunakan bersama dengan bahasa pemrograman PHP adalah database MySQL.

MySQL (My Structure Query Language) adalah sebuah perangkat lunak sistem manajemen basis data SQL (Database Management System) atau sering disingkat DBMS. MySQL merupakan DBMS yang multithread, multi-user, yang bersifat gratis dan dibawah lisensi GNU General Public License. MySQL ini dipilih oleh banyak orang karena beberapa kelebihan yang ditawarkan:

- MySQL dapat berjalan dengan stabil pada berbagai sistem operasi, seperti Windows, Linux, FreeBSD, Mac OS X Server, Solaris dan masih banyak lagi
- Bersifat Open Source, MySQL didistribusikan secara open source (gratis)
- Bersifat Multi User, MySQL dapat digunakan oleh beberapa user dalam waktu yang bersamaan tanpa mengalami masalah.
- MySQL memiliki kecepatan yang baik dalam menagani query (perintah SQL). Dengan kata lain MySQL dapat memroses lebih banyak SQL per satuan waktu.
- Dari segi security atau keamanan data, MySQL memiliki beberapa lapisan sekuriti, seperti level subnet mask, nama host, dan izin akses user dengan sistem perizinan yang mendetail serta password yang terenkripsi.
- MySQL memiliki interface (antarmuka) terhadap aplikasi dan bahasa pemrograman.
- Dukungan banyak komunitas, biasanya tergabung dalam sebuah forum untuk saling berdiskusi membagi informasi tentang MySQL [4].

Pada penelitian ini MySQL digunakan sebagai basis data untuk system yang dibangun.

2.4 Python

Python adalah bahasa pemrograman interpretatif yang dianggap mudah dipelajari serta berfokus pada keterbacaan kode.

Dengan kata lain, Python diklaim sebagai bahasa pemrograman yang memiliki kode-kode pemrograman yang sangat jelas, lengkap, dan mudah untuk dipahami [5].

Python dianggap memiliki kehebatan untuk menangani pembuatan aplikasi-aplikasi kekinian yang mengandung kata kunci *big data*, *data mining*, *deep learning*, *data science*, hingga *machine learning*. Dengan kata lain, Python adalah bahasa pemrograman yang sederhana untuk membuat aplikasi berbasis kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) [5].

Python secara umum berbentuk pemrograman berorientasi objek, pemrograman imperatif, dan pemrograman fungsional. Istilah lainnya adalah bahasa pemrograman multi-paradigma.

Python dapat digunakan untuk berbagai keperluan pengembangan perangkat lunak dan dapat berjalan di berbagai platform sistem operasi [5].

2.4.1 Platform Pemrograman Python

Python dapat dijalankan di berbagai platform sistem operasi. Oleh karena itu, distribusi aplikasi yang dibuat menggunakan Python sangatlah luas dan *multi-platform*.

Beberapa platform yang mendukung Python di antaranya Linux / Unix, Windows, Mac OS, Java Virtual Machine, OS/2, Amiga, Palm dan Symbian [5].

2.4.2 Lisensi Python

Pada prinsipnya, Python dapat diperoleh dan digunakan secara bebas oleh siapapun, bahkan bagi *developer* yang menggunakan bahasa pemrograman ini untuk kepentingan komersial. Namun pengguna *package* atau modul dari pihak ketiga mungkin saja membutuhkan lisensi yang berbeda, misalnya lisensi berbayar [5].

2.4.3 Fitur Bahasa Pemrograman Python

Beberapa fitur dan kelebihan yang dimiliki Python adalah:

- Memiliki koleksi kepustakaan yang banyak. Artinya telah tersedia modul-modul ‘siap pakai’ untuk berbagai keperluan seperti pembuatan permainan hingga kecerdasan buatan.

- Memiliki struktur bahasa yang jelas, sederhana dan mudah dipelajari
- Berorientasi prosedural dan objek sekaligus (multi-paradigma)
- Memiliki sistem pengelolaan memori otomatis (*garbage collection*)
- Bersifat modular sehingga mudah dikembangkan dengan menciptakan modul-modul baru, baik dibangun dengan bahasa Python maupun C/C++

Pada penelitian ini Bahasa Python digunakan untuk membuat *script* yang digunakan untuk mengaudit dan mengembalikan data pada sistem

2.5 Advanced Encryption Standard (AES) 256

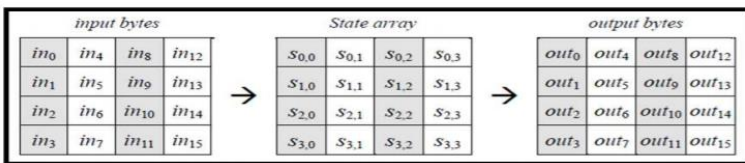
Advanced Encryption Standard (AES) merupakan algoritma cryptographic yang dapat digunakan untuk mengamankan data. Algoritma AES adalah blok ciphertext simetrik yang dapat mengenkripsi (encipher) dan dekripsi (decipher) informasi. AES dipilih karena kuat terhadap serangan differential, serangan truncated differential, serangan linear, serangan interpolation, dan serangan square [6].

Input dan output dari algoritma AES terdiri dari urutan data sebesar 128 bit. Urutan data yang sudah terbentuk dalam satu kelompok 128 bit tersebut disebut juga sebagai blok data atau plaintext yang nantinya akan dienkripsi menjadi ciphertext. Cipher key dari AES terdiri dari key dengan panjang 128 bit, 192 bit, atau 256 bit. Perbedaan panjang kunci akan mempengaruhi jumlah round yang akan diimplementasikan pada algoritma AES ini. Berikut ini adalah Tabel 2.1 yang memperlihatkan jumlah round / putaran (N_r) yang harus diimplementasikan pada masing-masing panjang kunci

Tabel 2.1 Perbandingan Jumlah Round dan Key [7]

	Jumlah Key (Nk)	Ukuran Block (Nb)	Jumlah Putaran (Nr)
AES-128	4	4	10
AES-192	6	4	12
AES-256	8	4	14

Pada dasarnya, operasi AES dilakukan terhadap array of byte dua dimensi yang disebut dengan state. State mempunyai ukuran NROWS X NCOLS. Pada awal enkripsi, data masukan yang berupa $in_0, in_2, in_3, in_4, in_5, in_6, in_7, in_8, in_9, in_{10}, in_{11}, in_{12}, in_{13}, in_{14}, in_{15}$ disalin ke dalam array state. State inilah yang nantinya dilakukan operasi enkripsi / dekripsi. Kemudian keluarannya akan ditampung ke dalam array out. Gambar 2.2 mengilustrasikan proses penyalinan dari input bytes, state array, dan output bytes.

**Gambar 2.2 Proses Input Bytes, State Array, dan Output Bytes [7]**

Pada saat permulaan, input bit pertama kali akan disusun menjadi suatu array byte dimana panjang dari array byte yang digunakan pada AES adalah sepanjang 8 bit data. Array byte inilah yang nantinya akan dimasukkan atau dicopy ke dalam state dengan urutan dimana r (row / baris) dan c (column/kolom):

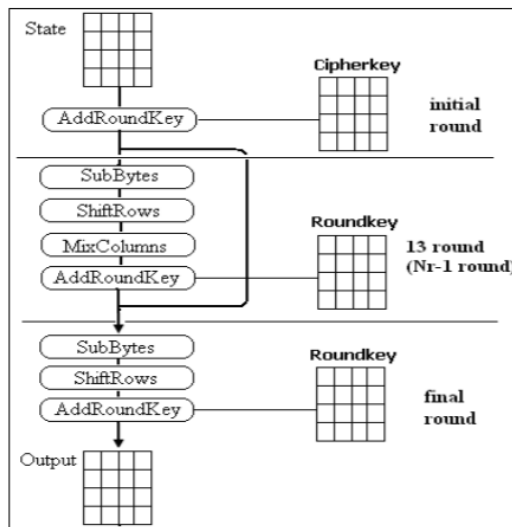
$$s[r,c] = in[r+4c] \text{ untuk } 0 \leq r < 4 \text{ dan } 0 \leq c < Nb$$

sedangkan dari state akan dicopy ke output dengan urutan:

$$\text{out}[r+4c] = \text{s}[r,c] \text{ untuk } 0 \leq r < N_b$$

2.5.1 Proses Enkripsi Advanced Encryption Standard

Proses enkripsi algoritma AES terdiri dari empat jenis transformasi bytes, yaitu SubBytes, ShiftRows, MixColumns, dan AddRoundKey. Pada awal proses enkripsi, input yang telah dicopykan ke dalam state akan mengalami transformasi byte AddRoundKey. Setelah itu, state akan mengalami transformasi SubBytes, ShiftRows, MixColumns, dan AddRoundKey secara berulang-ulang sebanyak Nr. Proses ini dalam algoritma AES disebut sebagai round function. Round yang terakhir agak berbeda dengan round-round sebelumnya dimana pada round terakhir, state tidak mengalami transformasi MixColumns. Ilustrasi proses enkripsi AES dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Ilustrasi Proses Enkripsi AES [7]

2.5.1.1 AddRoundKey

Pada proses enkripsi dan dekripsi AES proses AddRoundKey sama, sebuah round key ditambahkan pada state

dengan operasi XOR. Setiap round key terdiri dari Nb word dimana tiap word tersebut akan dijumlahkan dengan word atau kolom yang bersesuaian dari state sehingga:

$$[s'_{0,c}, s'_{1,c}, s'_{2,c}, s'_{3,c}] = [s_{0,c}, s_{1,c}, s_{2,c}, s_{3,c}] \oplus [w_{round * Nb + c}] \text{ untuk } 0 \leq c \leq Nb$$

[w_i] adalah word dari key yang bersesuaian dimana $i = \text{round} * Nb + c$. Transformasi AddRoundKey pada proses enkripsi pertama kali pada round = 0 untuk round selanjutnya round = round + 1, pada proses dekripsi pertama kali pada round = 14 untuk round selanjutnya round = round - 1.

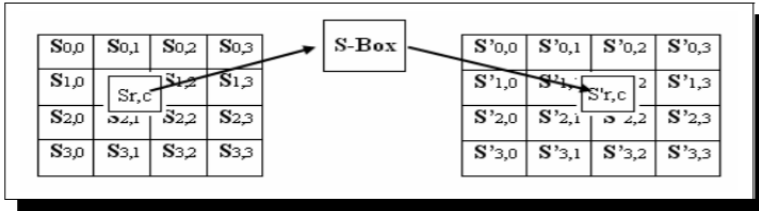
2.5.1.2 SubBytes

SubBytes merupakan transformasi byte dimana setiap elemen pada state akan dipetakan dengan menggunakan sebuah tabel substitusi (S-Box). Tabel substitusi S-Box akan dipaparkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 S-Box SubBytes

		y															
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f
x	0	63	7c	77	7b	f2	6b	6f	c5	30	01	67	2b	fe	d7	ab	76
	1	ca	82	c9	7d	fa	59	47	f0	ad	d4	a2	af	9c	a4	72	c0
	2	b7	fd	93	26	36	3f	f7	cc	34	a5	e5	f1	71	d8	31	15
	3	04	c7	23	c3	18	96	05	9a	07	12	80	e2	eb	27	b2	75
	4	09	83	2c	1a	1b	6e	5a	a0	52	3b	d6	b3	29	e3	2f	84
	5	53	d1	00	ed	20	fc	b1	5b	6a	cb	be	39	4a	4c	58	cf
	6	d0	ef	aa	fb	43	4d	33	85	45	f9	02	7f	50	3c	9f	a8
	7	51	a3	40	8f	92	9d	38	f5	bc	b6	da	21	10	ff	f3	d2
	8	cd	0c	13	ec	5f	97	44	17	c4	a7	7e	3d	64	5d	19	73
	9	60	81	4f	dc	22	2a	90	88	46	ee	b8	14	de	5e	0b	db
	a	e0	32	3a	0a	49	06	24	5c	c2	d3	ac	62	91	95	e4	79
	b	e7	c8	37	6d	8d	d5	4e	a9	6c	56	f4	ea	65	7a	ae	08
	c	ba	78	25	2e	1c	a6	b4	c6	e8	dd	74	1f	4b	bd	8b	8a
	d	70	3e	b5	66	48	03	f6	0e	61	35	57	b9	86	c1	1d	9e
	e	e1	f8	98	11	69	d9	8e	94	9b	1e	87	e9	ce	55	28	df
	f	8c	a1	89	0d	bf	e6	42	68	41	99	2d	0f	b0	54	bb	16

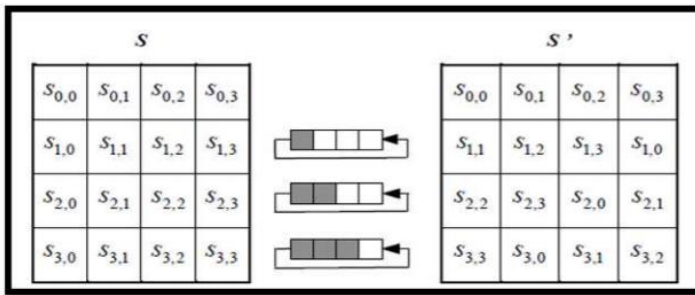
Untuk setiap byte pada array state, misalkan $S[r, c] = xy$, yang dalam hal ini xy adalah digit heksadesimal dari nilai $S[r, c]$, maka nilai substitusinya, dinyatakan dengan $S'[r, c]$, adalah elemen di dalam tabel substitusi yang merupakan perpotongan baris x dengan kolom y . Gambar 2.4 mengilustrasikan pengaruh pemetaan byte pada setiap byte dalam state



Gambar 2.4 Pengaruh Pemetaan pada Setiap Byte [7]

2.5.1.3 Shiftrows

Transformasi Shiftrows pada dasarnya adalah proses pergeseran bit dimana bit paling kiri akan dipindahkan menjadi bit paling kanan (rotasi bit). Proses pergeseran Shiftrow ditunjukkan dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Transformasi ShiftRows [7]

2.5.1.4 MixColumns

MixColumns mengoperasikan setiap elemen yang berada dalam satu kolom pada state. Secara lebih jelas, transformasi mixcolumns dapat dilihat pada perkalian matriks berikut ini:

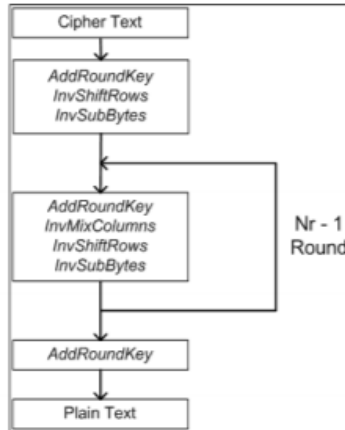
$$\begin{bmatrix} S'_{0,c} \\ S'_{1,c} \\ S'_{2,c} \\ S'_{3,c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 02 & 03 & 01 & 01 \\ 01 & 02 & 03 & 01 \\ 01 & 01 & 02 & 03 \\ 03 & 01 & 01 & 02 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{0,c} \\ S_{1,c} \\ S_{2,c} \\ S_{3,c} \end{bmatrix} \quad \dots [1]$$

Hasil dari perkalian matriks diatas dapat dianggap seperti perkalian yang ada di bawah ini :

$$\begin{aligned} s'_{0,c} &= (\{02\} \bullet s_{0,c}) \oplus (\{03\} \bullet s_{1,c}) \oplus s_{2,c} \oplus s_{3,c} \\ s'_{1,c} &= s_{0,c} \oplus (\{02\} \bullet s_{1,c}) \oplus (\{03\} \bullet s_{2,c}) \oplus s_{3,c} \\ s'_{2,c} &= s_{0,c} \oplus s_{1,c} \oplus (\{02\} \bullet s_{2,c}) \oplus (\{03\} \bullet s_{3,c}) \\ s'_{3,c} &= (\{03\} \bullet s_{0,c}) \oplus s_{1,c} \oplus s_{2,c} \oplus (\{02\} \bullet s_{3,c}) \end{aligned} \quad \dots [2]$$

2.5.2 Proses Deskripsi Advanced Encryption Standard

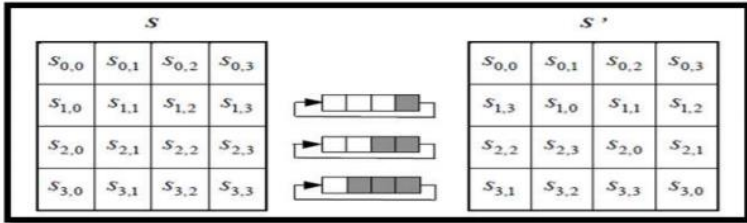
Transformasi cipher dapat dibalikkan dan diimplementasikan dalam arah yang berlawanan untuk menghasilkan inverse cipher yang mudah dipahami untuk algoritma AES. Transformasi byte yang digunakan pada invers cipher adalah InvShiftRows, InvSubBytes, InvMixColumns, dan AddRoundKey. Algoritma dekripsi dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Ilustrasi Proses Deskripsi AES [7]

2.5.2.1 *InvShiftRows*

InvShiftRows adalah transformasi byte yang berkebalikan dengan transformasi *ShiftRows*. Pada transformasi *InvShiftRows*, dilakukan pergeseran bit ke kanan sedangkan pada *ShiftRows* dilakukan pergeseran bit ke kiri. Ilustrasi transformasi *InvShiftRows* terdapat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Transformasi *InvShiftRows* [7]

2.5.2.2 *InvSubBytes*

InvSubBytes juga merupakan transformasi bytes yang berkebalikan dengan transformasi *SubBytes*. Pada *InvSubBytes*, tiap elemen pada state dipetakan dengan menggunakan tabel Inverse S-Box. Tabel Inverse S-Box akan ditunjukkan dalam Tabel 2.3.

2.5.2.3 *InvMixColumns*

Setiap kolom dalam state dikalikan dengan matrik perkalian dalam AES. Perkalian dalam matrik dapat dituliskan :

$$\begin{bmatrix} s'_{0,c} \\ s'_{1,c} \\ s'_{2,c} \\ s'_{3,c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0E & 0B & 0D & 09 \\ 09 & 0E & 0B & 0D \\ 0D & 09 & 0E & 0B \\ 0B & 0D & 09 & 0E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_{0,c} \\ s_{1,c} \\ s_{2,c} \\ s_{3,c} \end{bmatrix} \quad \dots [3]$$

Hasil dari perkalian dalam matrik adalah:

$$s'_{0,c} = (\{0E\} \bullet s_{o,c}) \oplus (\{0B\} \bullet s_{1,c}) \oplus (\{0D\} \bullet s_{2,c}) \oplus (\{09\} \bullet s_{3,c})$$

$$s'_{1,c} = (\{09\} \bullet s_{o,c}) \oplus (\{0E\} \bullet s_{1,c}) \oplus (\{0B\} \bullet s_{2,c}) \oplus (\{0D\} \bullet s_{3,c})$$

$$s'_{2,c} = (\{0D\} \bullet s_{o,c}) \oplus (\{09\} \bullet s_{1,c}) \oplus (\{0E\} \bullet s_{2,c}) \oplus (\{0B\} \bullet s_{3,c})$$

$$s'_{3,c} = (\{0B\} \bullet s_{o,c}) \oplus (\{0D\} \bullet s_{1,c}) \oplus (\{09\} \bullet s_{2,c}) \oplus (\{0E\} \bullet s_{3,c})$$

Tabel 2.3 Tabel Inverse S-Box [7]

		y															
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f
x	0	52	09	6a	d5	30	36	a5	38	bf	40	a3	9e	81	f3	d7	fb
	1	7c	e3	39	82	9b	2f	ff	87	34	8e	43	44	c4	de	e9	cb
	2	54	7b	94	32	a6	c2	23	3d	ee	4c	95	0b	42	fa	c3	4e
	3	08	2e	a1	66	28	d9	24	b2	76	5b	a2	49	6d	8b	d1	25
	4	72	f8	f6	64	86	68	98	16	d4	a4	5c	cc	5d	65	b6	92
	5	6c	70	48	50	fd	ed	b9	da	5e	15	46	57	a7	8d	9d	84
	6	90	d8	ab	00	8c	bc	d3	0a	f7	e4	58	05	b8	b3	45	06
	7	d0	2c	1e	8f	ca	3f	0f	02	c1	af	bd	03	01	13	8a	6b
	8	3a	91	11	41	4f	67	dc	ea	97	f2	cf	ce	f0	b4	e6	73
	9	96	ac	74	22	e7	ad	35	85	e2	f9	37	e8	1c	75	df	6e
	a	47	f1	1a	71	1d	29	c5	89	6f	b7	62	0e	aa	18	be	1b
	b	fc	56	3e	4b	c6	d2	79	20	9a	db	c0	fe	78	cd	5a	f4
	c	1f	dd	a8	33	88	07	c7	31	b1	12	10	59	27	80	ec	5f
	d	60	51	7f	a9	19	b5	4a	0d	2d	e5	7a	9f	93	c9	9c	ef
	e	a0	e0	3b	4d	ae	2a	f5	b0	c8	eb	bb	3c	83	53	99	61
	f	17	2b	04	7e	ba	77	d6	26	e1	69	14	63	55	21	0c	7d

2.5.3 Proses Ekspansi Kunci

Algoritma AES mengambil kunci cipher dan melakukan rutin ekspansi kunci (key expansion) untuk membentuk key schedule. Ekspansi kunci menghasilkan total $N_b(N_r+1)$ word. Algoritma ini membutuhkan set awal key yang terdiri dari N_b word, dan setiap round N_r membutuhkan data kunci sebanyak N_b word. Hasil key schedule terdiri dari array 4 byte word linear yang dinotasikan dengan $[w_i]$. SubWord adalah fungsi yang mengambil 4 byte word input dan mengaplikasikan S-Box ke tiap-tiap data 4 byte untuk menghasilkan word output. Fungsi RotWord mengambil word $[a_0, a_1, a_2, a_3]$ sebagai input, melakukan

permutasi siklik, dan mengembalikan word $[a1, a2, a3, a0]$. $Rcon[i]$ terdiri dari nilai-nilai yang diberikan oleh $[xi-1, \{00\}, \{00\}, \{00\}]$, dengan $xi-1$ sebagai pangkat dari x (x dinotasikan sebagai $\{02\}$). Pseudocode dari proses ekspansi kunci dapat dilihat dalam gambar 2.8.

```

KeyExpansion(byte key[4*Nk], word w[Nb*(Nr+1)], Nk)
begin
  word temp
  i = 0
  while (i < Nk)
    w[i] = word(key[4*i], key[4*i+1], key[4*i+2], key[4*i+3])
    i = i+1
  end while

  i = Nk
  while (i < Nb * (Nr+1))
    temp = w[i-1]
    if (i mod Nk = 0)
      temp = SubWord(RotWord(temp)) xor Rcon[i/Nk]
    else if (Nk > 6 and i mod Nk = 4)
      temp = SubWord(temp)
    end if
    w[i] = w[i-Nk] xor temp
    i = i + 1
  end while
end

```

Gambar 2.8 Pseudocode Ekspansi Kunci [7]

Dari Gambar 2.8 dapat dilihat bahwa word ke Nk pertama pada ekspansi kunci berisi kunci cipher. Setiap word berikutnya, $w[i]$, sama dengan XOR dari word sebelumnya, $w[i-1]$ dan word Nk yang ada pada posisi sebelumnya, $w[i-Nk]$. Untuk word pada posisi yang merupakan kelipatan Nk , sebuah transformasi diaplikasikan pada $w[i-1]$ sebelum XOR, lalu dilanjutkan oleh XOR dengan konstanta round, $Rcon[i]$. Transformasi ini terdiri dari pergeseran siklik dari byte data dalam suatu word $RotWord$, lalu diikuti aplikasi dari lookup tabel untuk semua 4 byte data dari word $SubWord$ [7].

Pada penelitian ini AES 256 digunakan untuk mengenkripsi file yang disimpan pada system.

2.6 Secure Hash Algorithm 256 (SHA-256)

Pada bulan Agustus 1991, NIST (The National Institute of Standard and Technology) mengumumkan bakuan (standard) untuk tanda-tangan digital yang dinamakan *Digital Signature*

Standard (DSS),. DSS terdiri dari dua komponen, yang pertama adalah algoritma tanda-tangan digital yang disebut *Digital Signature Algorithm (DSA)*, dan yang kedua adalah fungsi hash standard yang disebut Secure Hash Algorithm [8].

SHA adalah fungsi hash satu arah yang dibuat oleh NIST dan digunakan bersama DSS. SHA dinyatakan sebagai standard fungsi hash satu arah oleh United States National Security Agency (NSA). SHA didasarkan pada MD4 yang dibuat oleh Ronald L. Rivest dari MIT [8].

2.6.1 Awal Perkembangan SHA-256

Awal terbentuknya SHA-256 dimulai dari sejarah algoritma SHA, dimana hingga saat ini ada lima algoritma SHA yaitu SHA-0, SHA-1, SHA-224, SHA-256, SHA-384, dan SHA-512. Varian SHA-0 dikenal dengan SHA-0 pada tahun 1991, varian SHA-1 dikenal dengan SHA-1 pada tahun 1993, varian SHA-224, SHA-256, SHA-384, dan SHA-512 dikenal dengan SHA-2 pada tahun 2000 [9] [10]. Dari seitulah SHA-256 muncul yang merupakan pecahan dari SHA- 2 yang mempunyai varian di dalamnya antara lain : varian SHA-224, SHA-256, SHA-384, dan SHA-512.

2.6.2 Dasar Prinsip

Algoritma SHA-256 dapat digunakan untuk menghitung nilai message digest dari sebuah pesan, dimana pesan tersebut memiliki panjang maksimum 2^{64} bit. Algoritma ini menggunakan sebuah message schedule yang terdiri dari 64 element 32-bit word, delapan buah variabel 32-bit, dan variabel penyimpan nilai hash 8 buah word 32-bit. Hasil akhir dari algoritma SHA-256 adalah sebuah message digest sepanjang 256-bit [11].

2.6.3 Cara Kerja

Cara Kerja SHA-256 mengubah pesan masukan ke dalam message digest 256 bit. Berdasarkan Secure Hash Signature Standard, pesan masukan yang panjangnya lebih pendek dari 2^{64} bit, harus dioperasikan oleh 512 bit dalam kelompok dan menjadi sebuah message diggest 256-bit [12].

Tahapan-tahapan cara kerja SHA-256 adalah sebagai berikut [12]:

1. Message Padding : Pada tahap pertama, pesan yang berupa binary disisipkan dengan angka 1 dan ditambahkan bit-bit pengganjal yakni angka 0 hingga panjang pesan tersebut kongruen dengan 448 modulo 512. Panjang pesan yang asli kemudian ditambahkan sebagai angka biner 64 bit. Setelah itu maka panjang pesan sekarang menjadi kelipatan 512 bit.
2. Parsing: Pesan yang sudah dipadding tadi kemudian dibagi menjadi N buah blok 512 bit: $M^{(1)}$, $M^{(2)}$, ..., $M^{(N)}$.
3. Message Expansion: Masing-masing blok 512-bit tadi lalu dipecah menjadi 16 buah word 32-bit: $M_0^{(i)}$, $M_1^{(i)}$, ..., $M_{15}^{(i)}$ yang mana nantinya diperluas menjadi 64 word yang diberi label W_0 , W_1 , ..., W_{63} dengan aturan tertentu yang sudah ditentukan sebelumnya oleh standar SHA-2.

Initial Hash Value of SHA-256

$A=H_0^{(0)}$	6a09e667
$B=H_1^{(0)}$	bb67ae85
$C=H_2^{(0)}$	3c6ef372
$D=H_3^{(0)}$	a54ff53a
$E=H_4^{(0)}$	510e527f
$F=H_5^{(0)}$	9b05688c
$G=H_6^{(0)}$	1f83d9ab
$H=H_7^{(0)}$	5be0cd19

Gambar 2.9 Nilai Awal pada Variabel H

4. Message Compression: Masing-masing dari 64 word yang diberi label W_0 , W_1 , ..., W_{63} tadi kemudian diproses dengan algoritma fungsi hash SHA-256. Dalam proses tersebut, inti utama dari algoritma SHA-256 adalah membuat 8

variabel yang diberikan nilai untuk nilai awal dari $H_0^{(0)}$ - $H_7^{(0)}$ di awal masing-masing fungsi hash. Nilai-nilai awal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.9.

5. Algoritma ini melakukan perhitungan sebanyak 64 kali putaran untuk setiap perhitungan blok. Delapan variabel yang diberi label A, B, C, ..., H tadi nilainya terus berganti selama perputaran sebanyak 64 kali putaran sebagai berikut:

$$T_1 = H + \sum_1(E) + Ch(E, F, G)[1] + K_t + W_t \quad (1)$$

$$T_2 = \sum_0(A) + Maj(A, B, C)[1] \quad (2)$$

$$H = G \quad (3)$$

$$G = F \quad (4)$$

$$F = E \quad (5)$$

$$E = D + T_1 \quad (6)$$

$$D = C \quad (7)$$

$$C = B \quad (8)$$

$$B = A \quad (9)$$

$$A = T_1 + T_2 \quad (10)$$

6. Setelah perputaran sebanyak 64 kali tadi, nilai hash $H^{(i)}$ kemudian dihitung sebagai berikut:

$$H_0^{(i)} = a + H_0^{(i-1)}$$

$$H_1^{(i)} = b + H_1^{(i-1)}$$

$$H_2^{(i)} = c + H_2^{(i-1)}$$

$$H_3^{(i)} = d + H_3^{(i-1)}$$

$$H_4^{(i)} = e + H_4^{(i-1)}$$

$$H_5^{(i)} = f + H_5^{(i-1)}$$

$$H_6^{(i)} = g + H_6^{(i-1)}$$

$$H_7^{(i)} = h + H_7^{(i-1)}$$

7. Selanjutnya hasil akhir SHA-256 didapat dari penggabungan delapan variabel yang tadi sudah dikomputasi.

$$H_0^{(N)} \parallel H_1^{(N)} \parallel H_2^{(N)} \parallel H_3^{(N)} \parallel H_4^{(N)} \parallel H_5^{(N)} \parallel H_6^{(N)} \parallel H_7^{(N)}$$

Pada penelitian ini SHA-256 digunakan untuk menghasilkan *secret hash key* yang digunakan untuk proses audit.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

PERANCANGAN

Bab ini membahas mengenai perancangan implementasi sistem yang dibangun pada tugas akhir. Bagian yang akan dijelaskan pada bab ini adalah deskripsi umum sistem dan rancangan sistem.

3.1 Deskripsi Umum

Pada penelitian ini dibangun sistem penyimpanan data yang menggunakan algoritma enkripsi AES-256. Sistem ini memiliki tiga server yaitu server aplikasi, server basis data dan server backup.

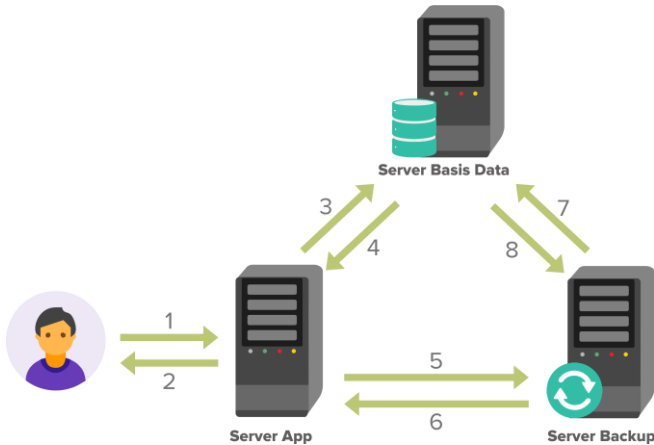
Pada server aplikasi akan dibangun aplikasi berbasis website menggunakan kerangka kerja Laravel dengan menggunakan Bahasa pemrograman php yang menggunakan basis data MySQL dan program audit yang menggunakan Bahasa Python. Sedangkan basis data digunakan sebagai host basis data untuk system dan server backup sebagai tempat pencadangan dari server aplikasi dan server basis data.

Sistem penyimpanan data ini dapat menyimpan data pengguna dengan aman, karena diterapkan algoritma enkripsi untuk menyimpan data dari pengguna. Selain itu sistem ini juga memiliki fitur untuk membagikan data pengguna ke pengguna yang lain.

Dengan adanya sistem ini diharapkan nantinya pengguna dapat menggunakan sistem ini sebagai tempat penyimpanan berbasis *cloud* yang aman dari gangguan.

3.2 Rancangan Sistem

Rancangan sistem yang akan dibuat meliputi arsitektur sistem, rancangan spesifikasi kebutuhan sistem, rancangan proses pengunggahan file, rancangan proses pengunduhan file, rancangan audit file, rancangan pengembalian file dan rancangan pencadangan basis data. Arsitektur sistem dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Arsitektur Sistem

Keterangan pada gambar 3.10 adalah:

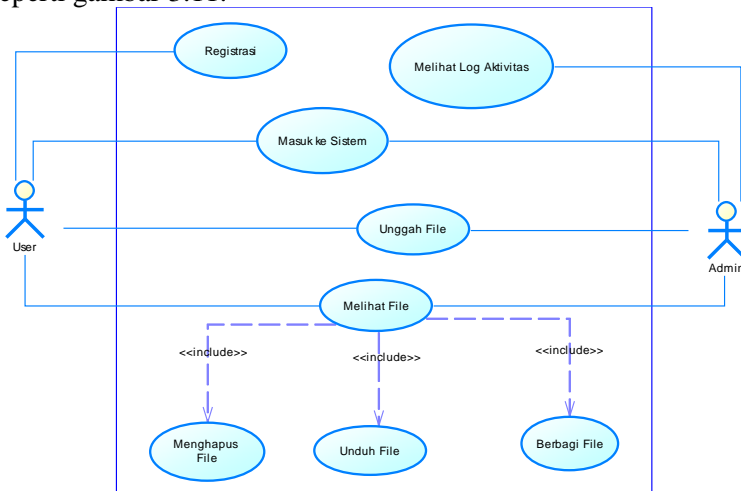
1. Pengguna mengunggah file ke sistem
2. Pengguna mengunduh file dari sistem
3. Server aplikasi menyimpan data di server basis data
4. Server basis data mengirim data sesuai permintaan server aplikasi
5. Server aplikasi mengirim file terenkripsi ke server backup sebagai data cadangan
6. Server backup mengirim file terenkripsi ke server aplikasi untuk agar data yang ada pada server aplikasi adalah data file yang benar
7. Server backup menyimpan data di server basis data
8. Server basis data mengirim data sesuai permintaan server backup

3.3 Server Aplikasi

Pada server aplikasi ini akan dibangun aplikasi berbasis website dengan menggunakan kerangka kerja Laravel dan program audit dengan menggunakan Bahasa Python

3.3.1 Rancangan Spesifikasi Kebutuhan Sistem

Rancangan spesifikasi kebutuhan sistem pada tugas akhir ini dapat digambarkan dalam bentuk diagram kasus penggunaan seperti gambar 3.11.



Gambar 3.11 Kasus Penggunaan

Diagram kasus penggunaan pada Gambar 3.11 akan dijelaskan masing-masing pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Kasus Penggunaan

Kode Kasus Penggunaan	Kasus Penggunaan	Deskripsi
UC-001	Masuk ke Sistem	User dan admin dapat masuk ke system
UC-002	Registrasi	User dapat mendaftarkan dirinya ke system
UC-003	Unggah File	User dan admin dapat mengunggah file ke sistem

UC-004	Melihat File	User dan admin dapat melihat file yang telah diunggah oleh dirinya dan file yang telah dibagikan oleh user yang lain
UC-005	Unduh File	User dan admin dapat mengunduh file yang telah diunggah oleh dirinya dan file yang telah dibagikan oleh user yang lain
UC-006	Menghapus File	User dan admin dapat menghapus file yang telah diunggah oleh dirinya
UC-007	Berbagi File	User dan admin dapat membagikan file yang telah diunggah oleh dirinya kepada user yang lain
UC-008	Melihat Log Aktivitas	Admin dapat melihat log aktivitas yang telah dilakukan oleh user dan admin
UC-009	Melihat Log Berbagi File	Admin dapat melihat log kegiatan berbagi file yang telah dilakukan user dan admin

3.3.2 Rancangan Proses Mengunggah File

Sebelum file yang diunggah oleh pengguna disimpan di server, terdapat beberapa tahap yang dilakukan oleh sistem untuk memperkuat keamanan data. Tahap-tahap tersebut dapat dilihat pada gambar 3.12. Berikut adalah tahap-tahap dalam proses pengunggahan data:

1. Pengguna mengunggah File.
Pengguna mengunggah file dari form yang tersedia di aplikasi. Aplikasi akan mencatat *metadata* dari file tersebut di basis data.
2. Enkripsi file.
Saat file sudah terupload, sistem akan mengenkripsi file tersebut dengan menggunakan algoritma AES-256 dengan key dari pengguna tersebut dan file tersebut akan disimpan di sistem. Sistem juga mencatat waktu yang digunakan untuk proses enkripsi ini
3. Simpan file
Setelah file berhasil dienkrip, sistem akan menyimpan file tersebut dengan nama urutan nomor file tersebut sehingga dipastikan tidak ada file dengan nama yang sama pada sistem. Format file yang telah dienkripsi juga diubah. Sistem juga akan menyimpan catatan log aktivitas di basis data.
4. Cadangkan file
Setelah file terenkripsi tersimpan di server aplikasi, sistem akan mengirimkan file terenkripsi tersebut ke server backup.
5. Membuat *secret hash key*.
Sistem akan membuat *secret hash key* dengan menggunakan algoritma SHA-256 untuk disimpan di basis data. *Secret hash key* ini nantinya akan digunakan untuk proses audit file tersebut.

3.3.3 Rancangan Proses Pengunduhan File

Untuk mengunduh file terdapat beberapa tahap yang dilakukan oleh sistem.

1. Verifikasi file
Untuk mengetahui bahwa file yang akan diunduh tidak mengalami modifikasi, *secret hash key* pada file tersebut akan dibandingkan dengan *secret hash key* yang sudah tersimpan di basis data. Jika *secret hash key* file dan basis

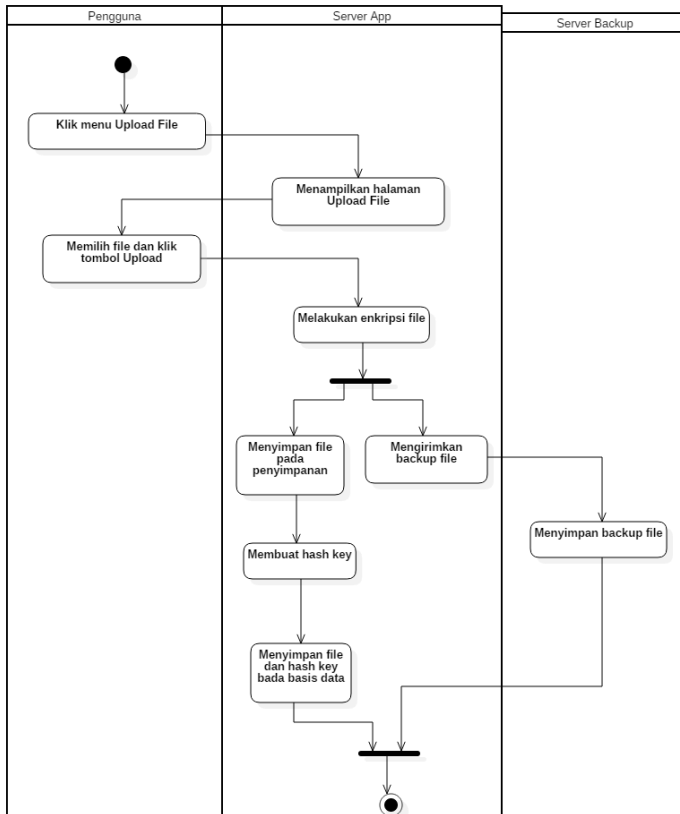
data sama, maka file tersebut tidak mengalami modifikasi dan terverifikasi. Begitu juga sebaliknya.

2. Dekripsi file.

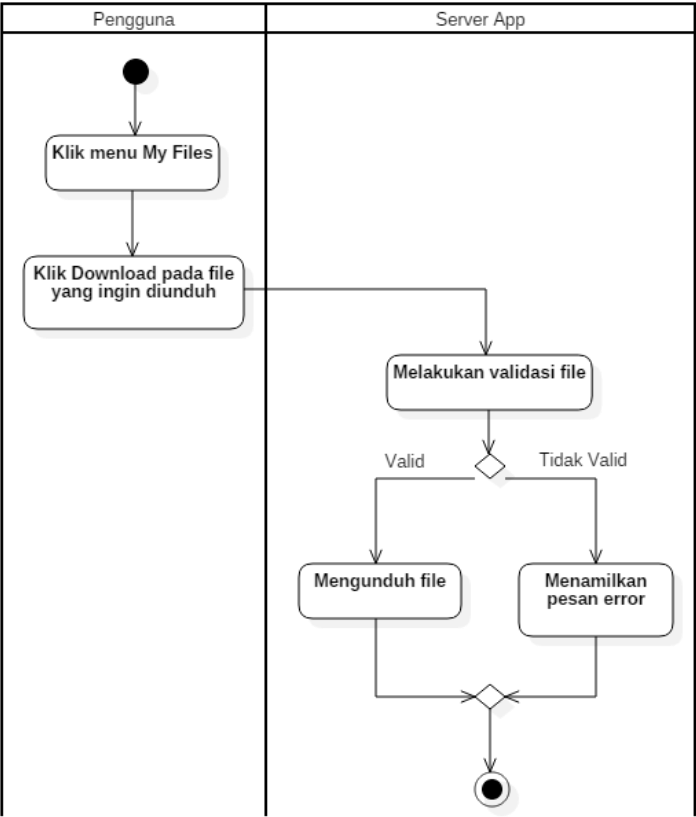
Setelah file terverifikasi, sistem akan mendekripsi file tersebut dengan menggunakan key yang sesuai dan sistem mencatat waktu yang digunakan untuk proses dekripsi ini. Sistem juga akan menyimpan catatan log aktivitas di basis data.

3. Download file

Setelah file didekripsi barulah file tersebut dikirimkan ke pengguna.



Gambar 3.12 Alur Pengunggahan File



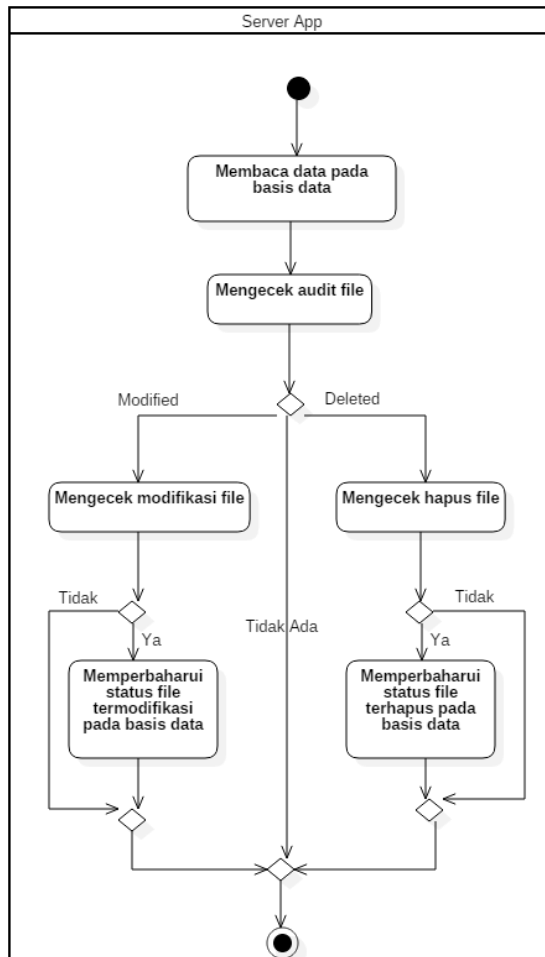
Gambar 3.13 Alur Pengunduhan File

3.3.4 Rancangan Audit File

Proses audit file pada tugas akhir ini menggunakan program pihak ketiga yang dibangun menggunakan bahasa Python. Program ini akan berjalan setiap lima menit agar proses audit ini selalu *up-to-date* dan *real-time*.

Skenario audit file ini dimulai dari program audit membaca data file dari basis data dan data file dari penyimpanan. Jika ada file yang hilang atau termodifikasi pada penyimpanan maka

program audit ini akan mencari bahwa file tersebut telah hilang atau termodifikasi.



Gambar 3.14 Alur Audit File

3.3.5 Rancangan Antarmuka

Perancangan antarmuka pengguna merupakan hal yang penting dalam melakukan perancangan sistem. Antarmuka pengguna yang berhubungan langsung dengan pengguna harus memiliki tampilan yang menarik dan mudah dipahami. Sistem ini memiliki beberapa antarmuka pengguna yang mana akan dijelaskan di bawah ini.

3.3.5.1 Rancangan Antarmuka *Login*

Halaman ini digunakan pengguna untuk kebutuhan Masuk ke Sistem (UC-001). Pada halaman ini terdapat dua isian yang harus diisi oleh pengguna untuk masuk ke sistem yaitu email dan password. Setelah itu pengguna diharuskan menekan tombol Masuk untuk masuk ke sistem. Rancangan halaman antarmuka login bisa dilihat pada gambar 3.15.



The diagram shows a login form with a title 'Login' at the top. Below the title are two input fields: 'Email' and 'Password'. At the bottom of the form is a button labeled 'Masuk'.

Gambar 3.15 Rancangan Antarmuka Masuk ke Sistem

3.3.5.2 Rancangan Antarmuka Registrasi

Halaman ini digunakan untuk kebutuhan Registrasi (UC-002). Pada halaman ini terdapat empat isian yang harus diisi oleh pengguna yaitu email, nama, password dan konfirmasi password. Setelah itu pengguna diharuskan untuk menekan tombol registrasi untuk mendaftar. Rancangan antarmuka halaman registrasi bisa dilihat pada gambar 3.16.

The image shows a registration form titled "Registrasi". It contains four input fields: "Email", "Nama", "Password", and "Konfirmasi Password". Below these fields is a button labeled "Daftar".

Gambar 3.16 Rancangan Antarmuka Registrasi

3.3.5.3 Rancangan Antarmuka Unggah File

Halaman ini digunakan untuk kebutuhan Unggah File (UC-003). Terdapat satu isian yang digunakan untuk memilih file yang akan diunggah. Setelah pengguna memilih file pengguna diharuskan untuk menekan tombol upload untuk mengunggah file yang telah dipilih tersebut. Rancangan antarmuka dari mengunggah file bisa dilihat pada gambar 3.17.

The image shows a file upload form titled "Upload File". It contains two buttons: "Choose File" and "Browse". Below these buttons is a button labeled "Upload".

Gambar 3.17 Rancangan Antarmuka Unggah File

3.3.5.4 Rancangan Antarmuka Melihat File

Halaman ini digunakan untuk kebutuhan Melihat File (UC-004). Pada halaman ini terdapat dua tabel. Tabel yang pertama

adalah tabel file saya yang menampilkan file yang telah diunggah oleh pengguna sedangkan tabel yang kedua adalah tabel file dibagikan ke saya yang menampilkan data file yang telah dibagikan oleh pengguna lain.

Pada tabel file saya terdapat empat kolom yang berisikan nama file, ukuran file, format file dan aksi yang berisikan 3 tombol yaitu Download untuk kebutuhan Unduh File (UC-005), tombol Bagikan untuk kebutuhan Bagikan File (UC-006) dan tombol Hapus untuk kebutuhan Menghapus File (UC-007). Rancangan antarmuka file saya bisa dilihat pada gambar 3.18.

▼ Filename	▼ Size	▼ Format	▼ Aksi		
File 1.png	322 KB	image/png	Download	Bagikan	Hapus
File 2.jpg	2019 KB	image/jpg	Download	Bagikan	Hapus
File 3.exe	309 KB	application/exe	Download	Bagikan	Hapus
File 4.rar	512 KB	archive/rar	Download	Bagikan	Hapus

Gambar 3.18 Rancangan Antarmuka Melihat File Saya

Pada tabel file dibagikan ke saya terdapat empat kolom yang berisikan nama file, ukuran file, format file dan aksi yang berisikan tombol Download untuk kebutuhan Unduh File (UC-005). Rancangan antarmuka file dibagikan ke saya bisa dilihat pada gambar 3.19.

File Dibagikan ke Saya

▼ Pemilik	▼ Filename	▼ Size	▼ Format	▼ Aksi
User1@mail.com	File 1.png	322 KB	image/png	Download
User2@mail.com	File 2.jpg	201 KB	image/jpg	Download
User3@mail.com	File 3.exe	207 KB	application/exe	Download

Gambar 3.19 Rancangan Antarmuka Melihat File Dibagikan ke Saya

3.3.5.5 Rancangan Antarmuka Berbagi File

Halaman ini digunakan untuk kebutuhan Berbagi File. Halaman ini memiliki dua isian. Isian yang pertama adalah pilihan jenis privasi yang berisikan privasi sebagai isian default dan publik.

Jika pengguna memilih jenis privasinya berisi privasi maka akan muncul checkbox bagikan yang apabila checkbox bagikan seperti pada gambar 3.20. Apabila checkbox diisi oleh pengguna maka akan muncul isian baru yang berlabel email seperti pada gambar 3.21.

Bagikan File

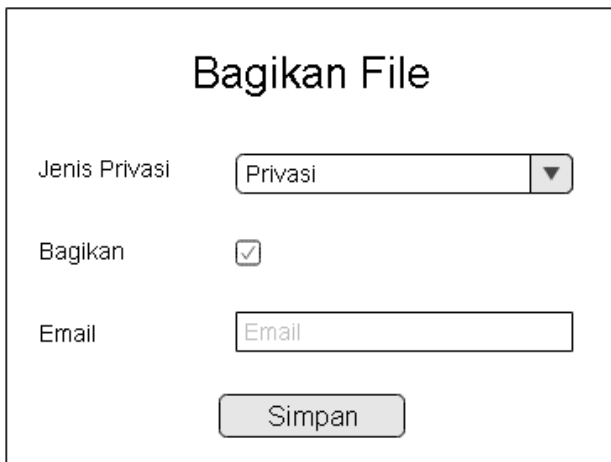
Jenis Privasi

Privasi
▼

Bagikan
☒

Simpan

Gambar 3.20 Rancangan Antarmuka Bagikan File 1



The screenshot shows a web form titled "Bagikan File". It contains three input fields: "Jenis Privasi" (Privacy Type) with a dropdown menu showing "Privasi", "Bagikan" (Share) with a checked checkbox, and "Email" with a text input field. A "Simpan" (Save) button is at the bottom.

Gambar 3.21 Rancangan Antarmuka Bagikan File 2

Jika pengguna memilih jenis privasi berisi publik maka checkbox bagikan tidak ditampilkan seperti pada gambar 3.22.



The screenshot shows the same "Bagikan File" form, but with the "Jenis Privasi" dropdown set to "Publik". The "Bagikan" checkbox is no longer visible, and the "Email" field is also absent. Only the "Simpan" button remains at the bottom.

Gambar 3.22 Rancangan Antarmuka Bagikan File 3

3.3.5.6 Rancangan Antarmuka Melihat Log Aktivitas

Halaman ini digunakan untuk kebutuhan Melihat Log Aktivitas (UC-008). Halaman ini menampilkan tabel yang memiliki enam kolom yaitu User, nama file, ukuran file, format

file, durasi (enkripsi atau dekripsi) dan aksi. Rancangan antarmuka dari Melihat Log Aktivitas bisa dilihat pada gambar 3.23.

▼ User	▼ Filename	▼ Size	▼ Format	▼ Durasi	▼ Aksi
User1@mail.com	File 1.png	322 KB	image/png	105ms	Download
User2@mail.com	File 2.jpg	2019 KB	image/jpg	549ms	Upload
User3@mail.com	File 3.exe	309 KB	application/exe	0ms	Delete
User4@mail.com	File 4.rar	512 KB	archive/rar	0ms	Request-Checksum
admin@mail.com	File 4.rar	512 KB	archive/rar	0ms	Accept-Request

Gambar 3.23 Rancangan Antarmuka Melihat Log Aktivitas

3.3.5.7 Rancangan Antarmuka Melihat Log Berbagi File

Halaman ini digunakan untuk kebutuhan Melihat Log Berbagi File (UC-009). Halaman ini menampilkan tabel yang memiliki empat kolom, yaitu Pemilik, File, Penerima dan Status. Rancangan antarmuka dari Melihat Log Berbagi bisa dilihat pada gambar 3.24.

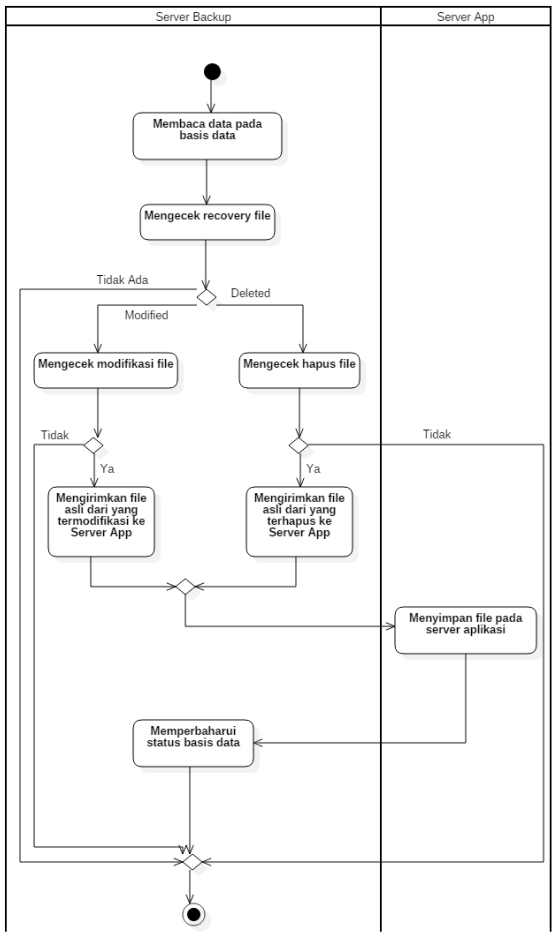
Log Berbagi File

▼ Pemilik	▼ Filename	▼ Penerima	▼ Status
User1@mail.com	File 1.png	User2@mail.com	Tersedia
User2@mail.com	File 2.jpg	User3@mail.com	Dihapus
User3@mail.com	File 3.exe	User1@mail.com	Data Berubah

Gambar 3.24 Rancangan Antarmuka Melihat Log Berbagi File

3.4 Rancangan Server Backup

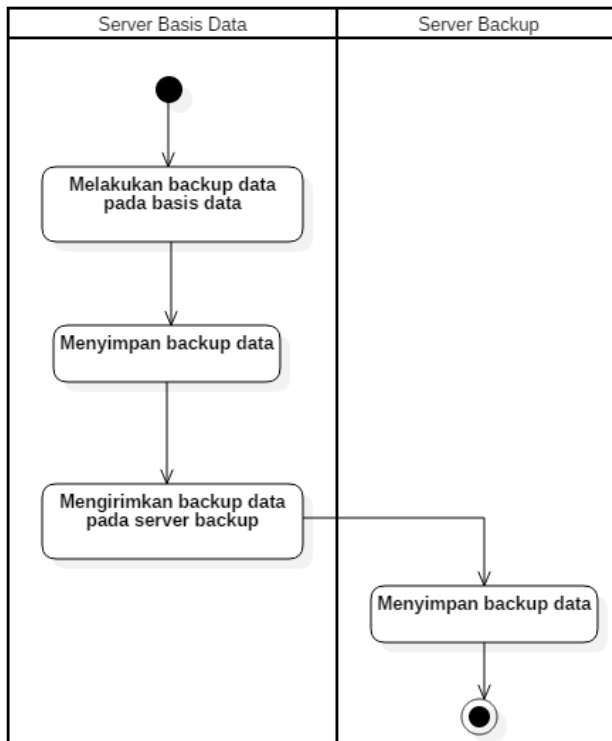
Pada server backup ini akan dibangun sebuah program dengan Bahasa Python yang memiliki fungsi untuk mengembalikan data yang hilang atau termodifikasi ke server aplikasi. Langkah-langkah proses pengembalian data dapat dilihat pada gambar 3.25.



Gambar 3.25 Alur Pengembalian File

3.5 Rancangan Server Basis Data

Server basis data berfungsi sebagai *host* basis data dan pencadangan basis data. Hasil pencadangan basis data ini akan disimpan di server basis data dan server backup. Untuk mengirimkan data cadangan basis data ini menggunakan sebuah program dengan Bahasa Python. Langkah-langkah proses pencadangan dapat dilihat pada gambar 3.26.



Gambar 3.26 Alur Pencadangan Basis Data

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV IMPLEMENTASI

Pada bab ini akan dibahas mengenai implementasi sistem sesuai dengan analisis dan perancangan proses bisnis secara umum pada sistem Penyimpanan Data yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya.

Implementasi yang akan dijelaskan meliputi lingkungan pembangunan sistem atau perangkat lunak, kode sumber utama yang berisi *pseudocode*, implementasi antarmuka perangkat lunak dan implementasi *client*. Arsitektur sistem yang digunakan adalah MVC dengan kerangka kerja Laravel.

4.1 Lingkungan Pembangunan Sistem

Lingkungan sistem yang digunakan untuk membangun perangkat lunak ini:

1. Windows 10 Enterprise sebagai sistem operasi
2. Sublime Text Editor 3128 sebagai *Integrated Development Environment (IDE)*
3. Laravel 5.8 sebagai kerangka kerja (*framework*)
4. PHP 7.2.12 sebagai bahasa pemrograman yang digunakan.
5. Python 3.7.3 sebagai bahasa pemrograman untuk program pihak ketiga.
6. MariaDB Server 10.1.37 (MySQL) dan HeidiSQL sebagai sistem manajemen basis data
7. Apache 2.4.37 sebagai *web server*

4.2 Implementasi Server Aplikasi

Sistem yang dibuat memiliki lapisan-lapisan yang direpresentasikan dalam kelas, yaitu view sebagai lapisan antarmuka pengguna, *controller* sebagai tempat untuk menerima *request* yang dikirim oleh aplikasi *client* dan mengirim balik *response*, *service* sebagai tempat pemrosesan data komputasi,

repository sebagai tempat untuk melakukan pengelolaan terhadap basis data dan *model* sebagai representasi dari setiap tabel di basis data.

4.2.1 Implementasi Pengunggahan File di Server

Fungsi Pengunggahan File direpresentasikan pada fungsi upload dengan parameter file yang diunggah. *Pseudocode* fungsi ini dapat dilihat pada Gambar 4.27

```

1. function upload(file)
2.   GET file
3.   validate file
4.
5.   SET key encryption
6.   encrypt file
7.   save encrypted file
8.   send encrypted file to application server
9.
10.  generate hash key
11.
12.  insert file, execution time, hash key into
    file model
13.  insert file into log model

```

Gambar 4.27 *Pseudocode* Pengunggahan File

4.2.2 Implementasi Pengunduhan File

Fungsi Pengunduhan File direpresentasikan pada fungsi download dengan parameter id file yang akan diunduh. *Pseudocode* fungsi ini dapat dilihat pada Gambar 4.28.

```

1. function download(file)
2.   GET file from storage
3.
4.   IF file not valid THEN
5.     decrypt file
6.     insert file into log model

```



```

7.          RETURN download decrypted file
8.      ELSE
9.          RETURN error message
10.     ENDF

```

Gambar 4.28 Pseudocode Pengunduhan File

4.2.3 Implementasi Audit File

Script audit file ini dibangun menggunakan bahasa Python. *Pseudocode* Audit File ini bisa dilihat pada Gambar 4.29.

```

1. GET data from file model
2. FOR row in record THEN
3.     GET file from storage
4.     IF file not valid THEN
5.         update invalid into file model
6.     ELSE IF file not found
7.         update not found into file model
8.     ENDF
9. ENDFOR

```

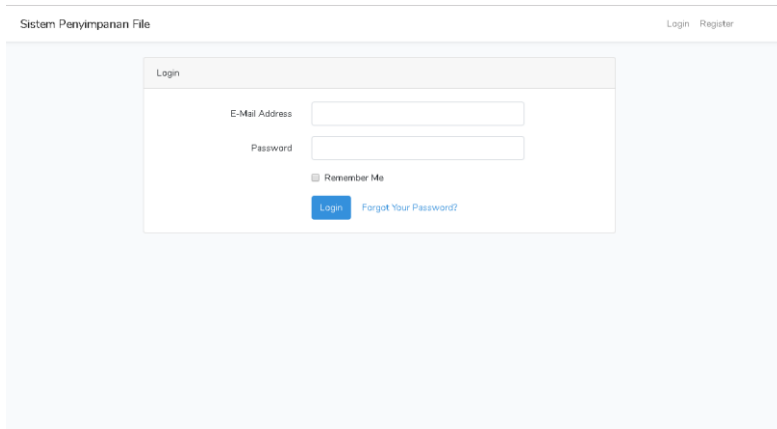
Gambar 4.29 Pseudocode Audit File

4.2.4 Implementasi Antarmuka Pengguna

Implementasi antarmuka pengguna dibuat menggunakan HTML dengan *template* AdminBSB dan dengan *template engine* dari Laravel: blade. Pada subbab ini akan menjelaskan dan menampilkan tampilan halaman antarmuka yang diimplementasikan sesuai dengan rancangan antarmuka yang terdapat pada bab 3.

4.2.4.1 Halaman Login

Halaman ini merupakan halaman yang digunakan untuk kasus penggunaan UC-001, yaitu Masuk ke Sistem. Halaman antarmuka *login* menampilkan halaman untuk pengguna masuk ke dalam sistem dengan cara memasukkan email dan password. Tampilan implementasi halaman *login* dapat dilihat pada gambar 4.30.



Gambar 4.30 Halaman Login

4.2.4.2 Halaman Registrasi

Halaman ini merupakan halaman yang digunakan untuk kasus penggunaan UC-002, yaitu Registrasi. Halaman antarmuka Registrasi menampilkan halaman untuk pengguna mendaftarkan dirinya ke dalam sistem dengan cara memasukkan nama, email, password dan konfirmasi password. Tampilan implementasi halaman registrasi dapat dilihat pada gambar 4.31.

4.2.4.3 Halaman Unggah File

Halaman ini merupakan halaman yang digunakan untuk kasus penggunaan UC-003, yaitu Unggah File. Halaman antarmuka Unggah File menampilkan halaman untuk pengguna dapat mengunggah file ke sistem. Tampilan implementasi halaman unggah file dapat dilihat pada gambar 4.32.

4.2.4.4 Halaman Melihat File

Halaman ini merupakan halaman yang digunakan untuk kasus penggunaan UC-004, yaitu Melihat File. Halaman ini menampilkan data file yang telah diunggah oleh pengguna dan data file yang dibagikan kepada dirinya. tampilan implementasi halaman melihat file dapat dilihat pada gambar 4.33.

Sistem Penyimpanan File Login Register

Register

Name

E-Mail Address

Password

Confirm Password

Gambar 4.31 Halaman Registrasi

Tugas Akhir :)

edwin
edwin@edwin.com

MAIN NAVIGATION

- Home
- My Files
- Upload File
- Log
- File Sharing

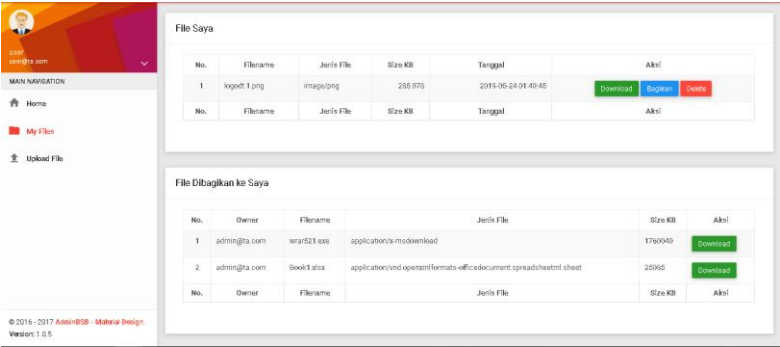
© 2016 - 2017 AdminB08 - Material Design.
Version: 1.0.5

Upload New File

File

No file chosen

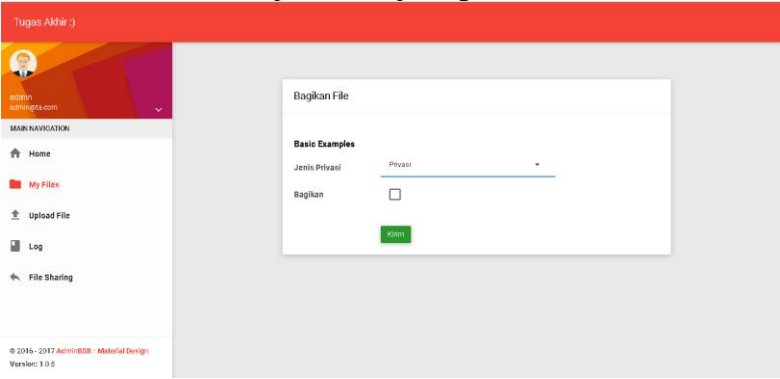
Gambar 4.32 Halaman Unggah File



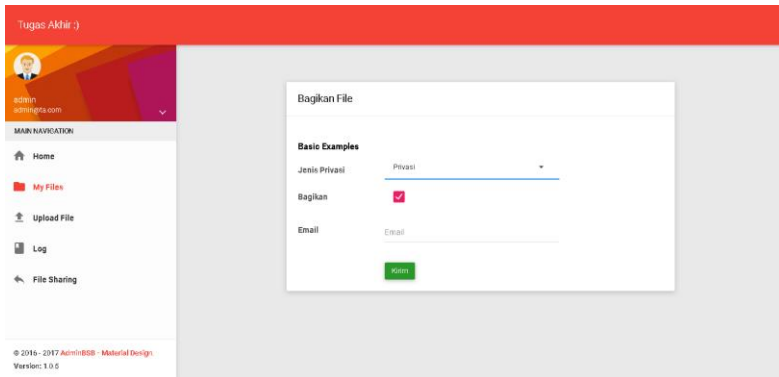
Gambar 4.33 Halaman File Saya

4.2.4.5 Halaman Berbagi File

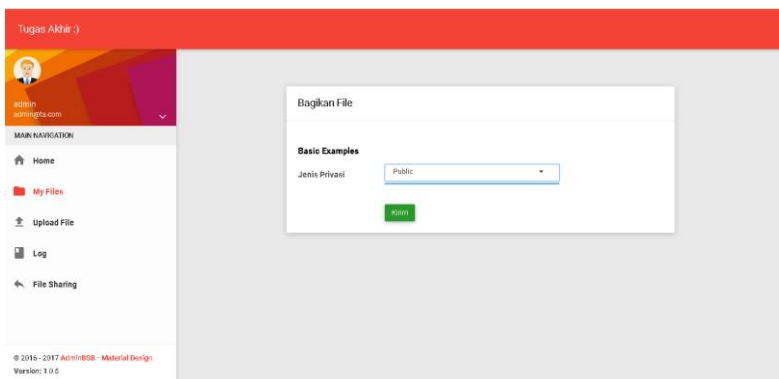
Halaman ini merupakan halaman yang digunakan untuk kasus penggunaan UC-007, yaitu Berbagi File. Halaman ini menampilkan menu yang membuat pengguna dapat membagikan filenya kepada pengguna yang lain. Tampilan implementasi halaman melihat file dapat dilihat pada gambar 4.34, 4.35 dan 4.36.



Gambar 4.34 Halaman Berbagi File 1



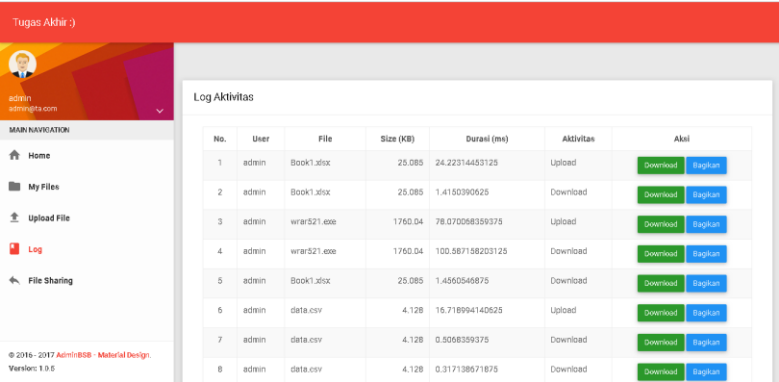
Gambar 4.35 Halaman Berbagi File 2



Gambar 4.36 Halaman Berbagi File 3

4.2.4.6 Halaman Melihat Log Aktivitas

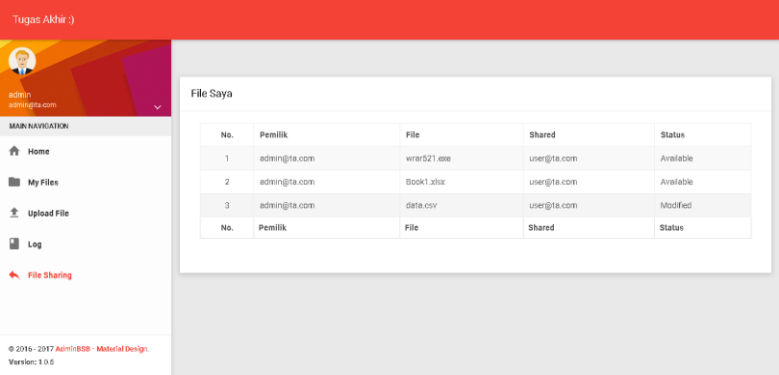
Halaman ini merupakan halaman yang digunakan untuk kasus penggunaan UC-008, yaitu Melihat Log Aktivitas. Halaman ini menampilkan data log aktivitas yang telah dilakukan oleh semua pengguna. Tampilan implementasi halaman melihat file dapat dilihat pada gambar 4.37



Gambar 4.37 Halaman Melihat Log

4.2.4.7 Halaman Melihat Log Berbagi File

Halaman ini merupakan halaman yang digunakan untuk kasus penggunaan UC-008, yaitu Melihat Log Berbagi File. Halaman ini menampilkan data log berbagi file yang telah dilakukan oleh semua pengguna. Tampilan implementasi halaman melihat log berbagi file dapat dilihat pada gambar 4.38.



Gambar 4.38 Halaman Melihat Log Berbagi File

4.3 Implementasi Server Backup

Pada server backup ini akan diberikan sebuah *script* yang memiliki fungsi sebagai pemulihan file yang telah hilang atau termodifikasi. *Script* yang digunakan ini dibangun menggunakan

Bahasa Python. *Script* ini berjalan setiap lima menit pada server backup. *Pseudocode script* ini dapat dilihat pada gambar 4.39.

```

1. GET data from file model
2.     FOR row in record THEN
3.         GET file from storage
4.         SEND file to aplication server

```

Gambar 4.39 *Pseudocode script* pengembalian file

4.4 Implementasi Server Basis Data

Pada server basis data ini akan diberikan sebuah *script* yang memiliki fungsi untuk mencadangkan basis data dan mengirimkan cadangan basis data tersebut kepada server backup. *script* ini akan berjalan setiap satu jam pada server basis data. *Pseudocode script* ini dapat dilihat pada gambar 4.40.

Server basis data ini akan melakukan pencadangan basis data dan pengiriman file cadangan basis data. Pencadangan basis data dilakukan menggunakan sebuah *command* di terminal dan pengiriman file cadangan basis data dilakukan dengan menjalankan *script* yang menggunakan Bahasa Python. *Command* untuk pencadangan basis adalah berikut:

```
mysqldump database_name > /directory/to/save/name_file.sql
```

```

1. GET Backup file
2. SEND Backup file to backup server

```

Gambar 4.40 *Pseudocode* Pengiriman file backup ke server backup

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

UJI COBA DAN EVALUASI

Bab ini membahas mengenai uji coba yang dilakukan dan evaluasi sesuai dengan rancangan dan implementasi. Dari hasil yang didapatkan setelah melakukan uji coba, akan dilakukan evaluasi sehingga dapat diambil kesimpulan untuk bab selanjutnya.

5.1 Lingkungan Uji Coba

Uji coba dilakukan pada masing-masing server dengan spesifikasi seperti yang tertera pada **Error! Reference source not found.-1**.

Tabel 5.5

Komponen	Spesifikasi
CPU	Intel(R) Xeon(R) Gold 6140 CPU @ 2.30GHz
Sistem Operasi	Ubuntu Bionic 16.04 LTS 64 bit
Memori	RAM 1 GB
Penyimpanan	SSD 25 GB

5.2 Pengujian

Pengujian ini terdiri dari dua jenis yaitu pengujian fungsional sistem dan pengujian performa sistem. Pengujian dilakukan di server dengan spesifikasi server yang dapat dilihat pada tabel 5.1-1.

5.2.1 Pengujian Fungsional Sistem

Pengujian Fungsional Sistem ini terdiri dari lima pengujian yaitu Pengujian Mengunggah File, Pengujian Mengunduh File, Pengujian Audit File, Pengujian Pengembalian File dan Pengujian Pencadangan Basis Data.

5.2.1.1 Pengujian Mengunggah File

Sebelum melakukan uji coba dapat kita lihat file apa saja yang tersimpan di server aplikasi (gambar 5.41) dan server backup (gambar 5.42)

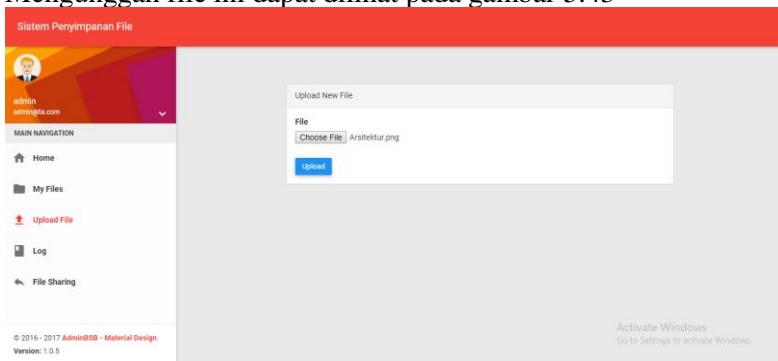
```
root@berbagi-dana-database1:/var/www/html/Tugas-Akhir/storage/app# ls
1.dat 2.dat 3.dat public
```

Gambar 5.41 File pada Server Aplikasi Sebelum Pengujian Mengunggah File

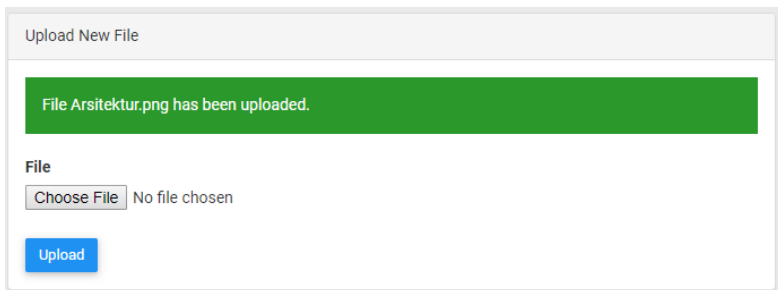
```
root@berbagi-dana-server1:/var/www/html/backup# ls
1.dat 2.dat 3.dat dump recovery.py sql tryscp.py
root@berbagi-dana-server1:/var/www/html/backup#
```

Gambar 5.42 File pada Server Aplikasi Sebelum Pengujian Mengunggah File

Pengujian Mengunggah File ini dilakukan di aplikasi berbasis website pada alamat <http://157.230.42.44:8000>. Mengunggah file ini dapat dilihat pada gambar 5.43



Gambar 5.43 Mengunggah File pada Aplikasi



Gambar 5.44 Pesan Berhasil Mengunggah File pada Aplikasi

```
root@berbagi-dana-database1:/var/www/html/Tugas-Akhir/storage/app# ls
1.dat 2.dat 3.dat 4.dat public
root@berbagi-dana-database1:/var/www/html/Tugas-Akhir/storage/app#
```

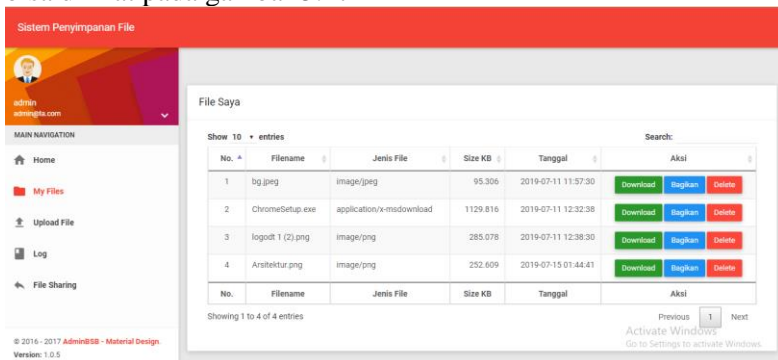
Gambar 5.45 File pada Server Aplikasi Setelah Pengujian Pengunggahan File

```
root@berbagi-dana-server1:/var/www/html/backup# ls
1.dat 2.dat 3.dat 4.dat dump recovery.py sql tryscp.py
root@berbagi-dana-server1:/var/www/html/backup#
```

Gambar 5.46 File pada Server Aplikasi Setelah Pengujian Pengunggahan File

5.2.1.2 Pengujian Mengunduh File

Pengujian Mengunduh File ini dapat dilakukan dengan menekan tombol Download di menu My Files pada Aplikasi yang bisa dilihat pada gambar 5.47



Gambar 5.47 Menu Unduh File

5.2.1.3 Pengujian Audit File

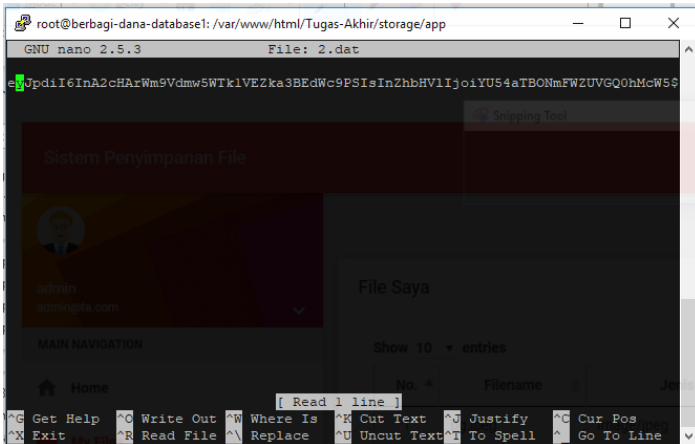
Pengujian Audit File ini dapat terlihat hasilnya apabila terdapat file yang telah dimodifikasi atau dihapus pada server aplikasi. Penulis akan menghapus satu file dan memodifikasi satu file yang proses tersebut dapat dilihat pada gambar 5.48.

```

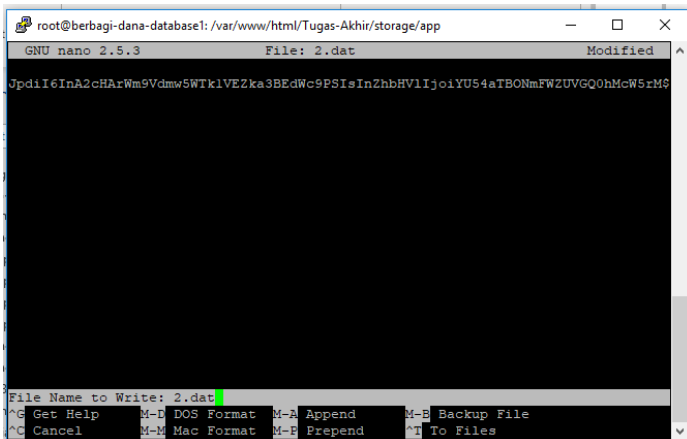
root@berbagi-dana-database1: /var/www/html/Tugas-Akhir/storage/app# rm 1.dat
root@berbagi-dana-database1: /var/www/html/Tugas-Akhir/storage/app# ls
2.dat 3.dat 4.dat public
root@berbagi-dana-database1: /var/www/html/Tugas-Akhir/storage/app# nano 2.dat

```

Gambar 5.48 Perintah yang digunakan untuk menghapus dan mengubah file



Gambar 5.49 File 2.dat sebelum dirubah



Gambar 5.50 File 2.dat setelah dirubah

```
root@berbagi-dana-databasel:/var/www/html/Tugas-Akhir# python3 audit.py
```

Gambar 5.51 Perintah yang digunakan untuk menjalankan script audit

No.	User	File	Size (KB)	Durasi (ms)	Aktivitas
11	admin	bg.jpeg	95.306	2.529052734375	Download
12	admin	Arsitektur.png	252.609	15.738037109375	Upload
13	admin	Arsitektur.png	252.609	8.80517578125	Download
14	System	bg.jpeg	95.306	-	Found: lost
15	System	ChromeSetup.exe	1129.816	-	Found: modified

Gambar 5.52 Hasil yang didapat setelah proses audit

5.2.1.4 Pengujian Pengembalian File

Pengujian Pengembalian File ini dilakukan hanya dengan menjalankan script yang berada di server backup yang bisa dilihat pada gambar 5.53.

```
root@berbagi-dana-server1:/var/www/html/backup# python3 recovery.py
```

Gambar 5.53 Perintah untuk menjalankan script recovery
Setelah menjalankan script recovery dapat dilihat hasilnya bahwa Pengujian ini berhasil pada gambar 5.54 dan 5.55

No.	User	File	Size (KB)	Durasi (ms)	Aktivitas
11	admin	bg.jpeg	95.306	2.529052734375	Download
12	admin	Arsitektur.png	252.609	15.738037109375	Upload
13	admin	Arsitektur.png	252.609	8.80517578125	Download
14	System	bg.jpeg	95.306	-	Found: lost
15	System	ChromeSetup.exe	1129.816	-	Found: modified
16	System	bg.jpeg	95.306	-	recovery: lost
17	System	ChromeSetup.exe	1129.816	-	recovery: modified

Gambar 5.54 Tampilan pada Aplikasi Apabila Telah Melakukan Pengembalian Data ke Server Aplikasi

```
root@berbagi-dana-databasel:/var/www/html/Tugas-Akhir/storage/app# ls
1.dat 2.dat 3.dat 4.dat public
root@berbagi-dana-databasel:/var/www/html/Tugas-Akhir/storage/app#
```

Gambar 5.55 File yang dihapus dan dimodifikasi telah berhasil dikembalikan pada server aplikasi

5.2.1.5 Pengujian Pencadangan Basis Data

Pengujian Pencadangan Basis Data dilakukan dengan dua langkah yaitu menjalankan perintah untuk pencadangan basis data dan menjalankan script untuk mengirimkan file cadangan tersebut ke server backup.

Perintah yang digunakan untuk mencadangkan basis data adalah:

1. `mysqldump -u [user] --password=[password] [database] > /path/to/save/[filename].sql`

Langkah berikutnya setelah menjalankan perintah untuk mencadangkan basis data adalah menjalankan script seperti pada gambar 5.56.

```
root@aryafajarprod-server1:/var/www/html/backup# python3 send-sql.py
```

Gambar 5.56 Perintah untuk menjalankan script pengiriman backup basis data

```
root@berbagi-dana-server1:/var/www/html/backup/sql/backup# ls
backup_ta_150719_03:27.sql bb.sql dump2.sh dump.sh send-sql.py
```

Gambar 5.57 File telah tersimpan pada server backup

5.2.2 Pengujian Performa Sistem

Pengujian dilakukan dengan membandingkan performa enkripsi dan dekripsi pada berbagai jenis format file, ukuran file dan akun pengguna. Setiap file diuji sebanyak lima kali lalu dihitung rata-rata dari waktu lima percobaan tersebut. Tabel Performa dapat dilihat pada table 5.6, 5.7 dan 5.8.

Tabel 5.6 Uji Coba Performa Pengguna 1

File	Format	Size (KB)	Waktu Enkripsi (ms)	Waktu Dekripsi (ms)
Gambar 1	jpeg	250	6.253	7.344
Gambar 2	jpeg	500	14.796	14.134
Gambar 3	jpeg	750	16.783	20.223

Tabel 5.7 Uji Coba Performa Pengguna 2

File	Format	Size (KB)	Waktu Enkripsi (ms)	Waktu Dekripsi (ms)
Gambar 1	jpeg	250	6.313	7.060
Gambar 2	jpeg	500	11.868	16.332
Gambar 3	jpeg	750	17.328	21.230

Tabel 5.8 Uji Coba Performa Pengguna 3

File	Format	Size (KB)	Waktu Enkripsi (ms)	Waktu Dekripsi (ms)
Gambar 1	jpeg	250	8.510	7.829
Gambar 2	jpeg	500	10.801	14.459
Gambar 3	jpeg	750	18.321	20.658

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas mengenai kesimpulan yang diperoleh dari tugas akhir yang telah dikerjakan dan saran terkait pengembangan dari tugas akhir ini yang dapat dilakukan pada masa yang akan datang.

5.3 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil uji coba dan evaluasi pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Telah diterapkan algoritma enkripsi AES-256 pada aplikasi berbasis *website* dengan menggunakan kerangka kerja Laravel
2. Telah dihasilkan *secret hash key* dengan menggunakan algoritma SHA-256 untuk mengaudit setiap file.
3. Telah diterapkan Sistem yang memiliki server aplikasi, server basis data dan server backup.
4. Kecepatan enkripsi dan dekripsi berbanding lurus dengan besarnya ukuran file.

5.4 Saran

Saran yang diberikan dari hasil uji coba dan evaluasi pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk meningkatkan kredibilitas diperlukan audit pada basis data.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. A. d. S. T. Hall, Audit Teknologi Informasi dan Assurance, Jakarta: Penerbit Salemba Empat, 2007.
- [2] B. Halpert, Auditing Cloud Computing: A Security and Privacy Guide, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2011.
- [3] Y. Yudhanto, Panduan Mudah Belajar Framework Laravel, Jakarta: Gramedia, 2018.
- [4] S. Anhar, PHP & MySQL Secara Otodidak, Jakarta: Mediakita, 2010.
- [5] Jubilee Enterprise, Python untuk Programmer Pemula, Elexmedia Komputindo, 2019.
- [6] W. Stallings, The Advanced Encryption Standard., San Jose: The Internet Protocol Journal, 2001.
- [7] V. Yuniati, Enkripsi Dan Dekripsi Dengan Algoritma Aes 256 Untuk Semua Jenis File, Jurnal Informatika Universitas Kristen Duta Wacana, 2009.
- [8] R. Munir, Digital Signature Standard (DSS), Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2004.
- [9] A. Y. Insani, Proteksi Akses File Executable Menggunakan Sistem Keamanan Teknologi USB Flash Disk, Bandung: Universitas Komputer Indonesia, 2008.
- [10] F. Rodriguez-Henriquez, Cryptographic Algorithms on Reconfigurable Hardware, New York: Springer, 2006.
- [11] A. Sebastian, Implementasi dan Perbandingan Performa Algoritma Hash SHA-1, SHA-256 dan SHA-512, Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2007.
- [12] R. d. N. S. I. Mankar, Implementation of SHA-256 Algorithm, Pune: Pune University, 2013.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Muhammad Fajri Salam lahir di Bojonegoro pada tanggal 28 September 1996. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Bustanul Athfal Sumberrejo (2001-2003), MI Muhammadiyah Sumberrejo Bojonegoro (2003-2009), SMP Plus Ar-Rahmat Bojonegoro (2009-2012), SMAN Model Terpadu Bojonegoro (2012-2015), dan Informatika ITS Surabaya (2015-2019). Bidang studi yang diambil oleh penulis saat berkuliah di Departemen Informatika ITS adalah Arsitektur Jaringan Komputer (AJK). Penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Computer-Informatika 2017-2018 di Departemen Kesejahteraan Mahasiswa dan Keluarga Muslim Informatika 2017-2018 di Departemen Keilmuan. Penulis juga aktif dalam kegiatan kepanitiaan seperti SCHEMATICS 2016-2017 divisi Kamzin, Kegiatan Mentoring dari Keluarga Muslim Informatika 2016-2017 dan Kegiatan Mentoring dari Jamaah Masjid Manarul Ilmi 2017-2018. Penulis juga pernah menjadi admin dan *developer* di *admindt.net* dan menjadi *developer* *ppdbriau.net*. Penulis dapat dihubungi melalui nomor handphone 08970427472 atau melalui email fajrisalam289@gmail.com