

**LAPORAN PROJECT AKHIR SISTEM OPERASI**

**IMPLEMENTASI MAIL SERVER MENGGUNAKAN POSTFIX,  
DOVECOT DAN ROUNDUBE PADA UBUNTU UNTUK LAYANAN  
SMTP DAN IMAP DI JARINGAN LOKAL BERBASIS VIRTUAL BOX**

Disusun untuk memenuhi Tugas Akhir Mata Kuliah Sistem Operasi

Dosen Pengampu:

Ferdy Chahyadi, S.Kom., M.Cs



Disusun oleh:

Juan Prattycha Tazira	:	2401020005
Naurah Nadhif Shahada	:	2401020014
Pitria	:	2401020026

**PRODI TEKNIK INFORMATIKA**

**FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI KEMARITIMAN**

**UNIVERSITAS MARITIM RAJA ALI HAJI**

**2025/2026**

## **ABSTRAK**

### **IMPLEMENTASI MAIL SERVER MENGGUNAKAN POSTFIX, DOVECOT DAN ROUNDcube PADA UBUNTU UNTUK LAYANAN SMTP DAN IMAPDI JARINGAN LOKAL BERBASIS VIRTUAL BOX**

Mail server merupakan salah satu layanan jaringan komputer yang berfungsi untuk menangani proses pengiriman, penerimaan, dan penyimpanan surat elektronik (email). Dalam mata kuliah Sistem Operasi, implementasi mail server menjadi penting karena melibatkan pengelolaan layanan sistem berbasis Linux serta pemahaman terhadap mekanisme kerja layanan jaringan pada lingkungan server. Oleh karena itu, proyek akhir ini difokuskan pada pembangunan mail server sederhana di jaringan lokal sebagai media pembelajaran.

Proyek akhir ini bertujuan untuk mengimplementasikan mail server berbasis Ubuntu Server menggunakan Postfix sebagai Mail Transfer Agent (MTA), Dovecot sebagai Mail Delivery Agent (MDA) sekaligus penyedia layanan IMAP, serta Roundcube sebagai webmail client. Sistem dibangun pada lingkungan virtualisasi Oracle VirtualBox dan dioperasikan dalam jaringan lokal. Protokol SMTP digunakan untuk proses pengiriman email, sedangkan protokol IMAP digunakan untuk proses pengambilan dan pengelolaan email oleh pengguna.

Implementasi sistem ini tidak menggunakan mekanisme keamanan tambahan seperti enkripsi TLS/SSL maupun autentikasi SASL. Akses webmail dilakukan menggunakan protokol HTTP dan sistem mail server difokuskan pada fungsi dasar pengiriman dan penerimaan email dalam jaringan lokal. Tahapan pengerjaan meliputi perancangan jaringan virtual, konfigurasi sistem operasi Ubuntu Server, instalasi dan konfigurasi Postfix, Dovecot, dan Roundcube, pembuatan akun pengguna email, serta pengujian pengiriman dan penerimaan email antar pengguna.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa mail server yang dibangun mampu menjalankan fungsi pengiriman dan penerimaan email dengan baik dalam jaringan lokal. Setiap pengguna dapat mengakses mailbox masing-masing melalui webmail Roundcube maupun klien email tanpa kendala. Implementasi ini diharapkan dapat memberikan pemahaman dasar mengenai arsitektur mail server dan pengelolaan layanan email berbasis Linux.

Kata Kunci: Mail Server, Postfix, Dovecot, Roundcube, SMTP, IMAP, Ubuntu Server, VirtualBox, Jaringan Lokal

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan karunia-Nya kami dapat menyelesaikan Laporan Akhir Proyek mata kuliah Sistem Operasi dengan judul “Implementasi Mail Server Menggunakan Postfix, Dovecot, dan Roundcube pada Ubuntu Server untuk Layanan SMTP dan IMAP di Jaringan Lokal Berbasis VirtualBox”. Laporan ini disusun sebagai kelanjutan dan penyempurnaan dari proposal serta laporan progres yang telah disusun pada tahap-tahap sebelumnya.

Laporan akhir ini bertujuan untuk mendokumentasikan secara menyeluruh proses perancangan, implementasi, serta pengujian sistem mail server yang dibangun. Sistem mail server diimplementasikan menggunakan Ubuntu Server dengan Postfix sebagai layanan pengiriman email (SMTP), Dovecot sebagai layanan penerimaan dan pengelolaan email (IMAP), serta Roundcube sebagai webmail client. Seluruh layanan tersebut dijalankan dalam lingkungan virtualisasi Oracle VirtualBox dan diujikan pada jaringan lokal sesuai dengan skenario yang telah direncanakan sejak tahap proposal.

Melalui proyek ini, mahasiswa diharapkan mampu memahami konsep sistem operasi dan layanan jaringan tidak hanya secara teori, tetapi juga secara praktis, mulai dari konfigurasi sistem Linux, pengelolaan service server, hingga integrasi beberapa layanan dalam satu sistem yang saling terhubung.

Kami menyadari bahwa keberhasilan pelaksanaan proyek akhir ini tidak terlepas dari bimbingan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, kami mengucapkan terima kasih kepada:

1. **Bapak Ferdi Chahyadi, S.Kom., M.Cs**, selaku dosen pengampu mata kuliah Sistem Operasi, yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta landasan teori terkait manajemen sistem operasi Linux selama proses perkuliahan dan pengerjaan proyek akhir.
2. **Rekan-rekan anggota Kelompok 4** yang telah bekerja sama dan berkontribusi dalam proses perancangan sistem, konfigurasi server, hingga penyusunan laporan akhir ini.

Kami menyadari bahwa laporan akhir ini masih memiliki keterbatasan dan kemungkinan terdapat kekurangan, baik dari segi penulisan maupun penyajian materi. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan guna perbaikan di masa mendatang. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi referensi pembelajaran dalam memahami implementasi mail server berbasis Linux.

Tanjungpinang, 26 Desember 2025

Kelompok TryTry

## DAFTAR ISI

<b>LAPORAN PROJECT AKHIR SISTEM OPERASI.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>8</b>
1.1 Latar Belakang .....	8
1.2 Rumusan Masalah .....	9
1.3 Batasan Masalah.....	9
1.4 Tujuan Penelitian.....	10
1.5 Sistematika Penulisan.....	10
<b>BAB II LANDASAN TEORI .....</b>	<b>11</b>
2.1 Konsep Dasar Mail Server .....	11
2.2 Protokol SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) .....	11
2.3 Protokol IMAP (Internet Message Access Protocol) .....	12
2.4 Postfix sebagai Mail Transfer Agent (MTA) .....	12
2.5 Dovecot sebagai Mail Delivery Agent (MDA) .....	13
2.6 Roundcube sebagai Webmail Client .....	13
2.7 Virtualisasi menggunakan Oracle VirtualBox .....	14
2.8 Sistem Operasi Ubuntu Server .....	14
<b>BAB III PERANCANGAN SISTEM .....</b>	<b>15</b>
3.1 Gambaran Umum Perancangan Sistem.....	15
3.2 Arsitektur Sistem Mail Server.....	15
3.3 Perancangan Topologi Jaringan .....	16
3.4 Perancangan Jaringan Virtual.....	17
3.5 Spesifikasi Sistem dan Layanan .....	18
<b>BAB IV IMPLEMENTASI SISTEM.....</b>	<b>20</b>
4.1 Menyiapkan Fondasi Dasar untuk Instalasi Mail Server .....	20
4.2 Mengaktifkan layanan inti SMPT & IMAP .....	22
4.3 Implementasi dan Konfigurasi Webmail Roundcube pada Mail Server Lokal .....	23
<b>BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS.....</b>	<b>26</b>

5.1 Gambaran Umum Implementasi Sistem .....	26
5.2 Analisis Infrastruktur Jaringan .....	26
5.3 Kinerja Layanan Mail Server .....	27
5.4 Kendala dan Batasan Implementasi .....	27
<b>BAB VI PENUTUP .....</b>	<b>29</b>
6.1 Kesimpulan.....	29
6.2 Saran.....	29
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>31</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 menunjukkan rancangan topologi jaringan mail server berbasis VirtualBox. ....	17
Gambar 4.1 1 .....	20
Gambar 4.1 2 .....	20
Gambar 4.1 3 .....	20
Gambar 4.1 4 .....	21
Gambar 4.1 5 .....	21
Gambar 4.2 1 .....	22
Gambar 4.2 2 .....	22
Gambar 4.2 3 .....	23
Gambar 4.3 1 .....	23
Gambar 4.3 2 .....	25
Gambar 4.3 3 .....	25

## DAFTAR TABEL

Table 1 Spesifikasi Sistem Mail Server .....	18
--	----

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi saat ini mendorong meningkatnya kebutuhan akan layanan pertukaran informasi yang cepat, andal, dan terintegrasi. Salah satu layanan komunikasi yang masih memiliki peranan penting hingga saat ini adalah surat elektronik (email). Email digunakan secara luas dalam berbagai bidang, mulai dari lingkungan akademik, pemerintahan, hingga dunia industri, sebagai sarana komunikasi formal maupun informal.

Di balik kemudahan penggunaan email, terdapat sebuah sistem yang kompleks yang dikenal sebagai mail server. Mail server berfungsi untuk menangani proses pengiriman, penerimaan, penyimpanan, serta pengelolaan email antar pengguna. Dalam praktiknya, banyak pengguna hanya memanfaatkan layanan email publik tanpa memahami bagaimana sistem tersebut bekerja di sisi server. Padahal, pemahaman mengenai cara kerja mail server sangat penting bagi mahasiswa bidang Teknologi Informasi, khususnya dalam mata kuliah Sistem Operasi, karena berkaitan langsung dengan pengelolaan layanan sistem, manajemen proses, serta konfigurasi jaringan pada sistem operasi berbasis Linux.

Pada lingkungan pembelajaran, implementasi mail server secara mandiri memberikan nilai edukatif yang tinggi karena mahasiswa dituntut untuk memahami keterkaitan antara sistem operasi, layanan jaringan, dan aplikasi server. Dengan membangun mail server sendiri, mahasiswa dapat mempelajari secara langsung peran Mail Transfer Agent (MTA), Mail Delivery Agent (MDA), serta mekanisme akses email melalui protokol standar seperti SMTP dan IMAP. Selain itu, implementasi webmail memungkinkan pengguna untuk mengakses layanan email melalui antarmuka berbasis web tanpa bergantung pada aplikasi klien tertentu.

Dalam proyek akhir ini, sistem mail server dibangun menggunakan Ubuntu Server sebagai sistem operasi utama, Postfix sebagai Mail Transfer Agent (MTA), Dovecot sebagai Mail Delivery Agent (MDA) sekaligus penyedia layanan IMAP, serta Roundcube sebagai webmail client. Seluruh sistem diimplementasikan dalam lingkungan virtualisasi



menggunakan Oracle VirtualBox. Pemanfaatan VirtualBox memungkinkan simulasi jaringan lokal dilakukan secara fleksibel tanpa memerlukan perangkat keras tambahan, sehingga sangat sesuai untuk kebutuhan praktikum dan pembelajaran.

Berdasarkan latar belakang tersebut, proyek akhir ini diharapkan dapat memberikan gambaran nyata mengenai proses perancangan dan implementasi mail server berbasis Linux di jaringan lokal, serta meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap konsep sistem operasi dan layanan jaringan secara praktis.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam proyek ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara mengimplementasikan mail server berbasis Ubuntu Server menggunakan Postfix dan Dovecot pada jaringan lokal?
2. Bagaimana proses konfigurasi layanan SMTP dan IMAP agar dapat digunakan oleh pengguna dalam jaringan lokal?
3. Bagaimana mengintegrasikan Roundcube sebagai webmail client untuk mempermudah akses email melalui browser?
4. Bagaimana hasil pengujian pengiriman dan penerimaan email pada sistem mail server yang dibangun?

## **1.3 Batasan Masalah**

Agar pembahasan dalam laporan ini lebih terarah dan sesuai dengan tujuan pembelajaran, maka ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Sistem operasi yang digunakan adalah Ubuntu Server.
2. Lingkungan implementasi menggunakan virtualisasi Oracle VirtualBox.
3. Layanan mail server yang digunakan meliputi Postfix, Dovecot, dan Roundcube.
4. Protokol yang digunakan adalah SMTP untuk pengiriman email dan IMAP untuk pengambilan email.
5. Implementasi dilakukan pada jaringan lokal dan tidak mencakup pengiriman email ke jaringan publik/internet.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari pelaksanaan proyek akhir ini adalah:

1. Mengimplementasikan mail server berbasis Linux menggunakan Postfix, Dovecot, dan Roundcube.
2. Memahami proses konfigurasi layanan SMTP dan IMAP pada sistem operasi Ubuntu Server.
3. Menguji fungsi pengiriman dan penerimaan email dalam jaringan lokal.
4. Meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap konsep sistem operasi dan layanan jaringan melalui praktik langsung.

## **1.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan laporan akhir ini disusun untuk memudahkan pembaca dalam memahami isi laporan secara terstruktur. Bab I Pendahuluan berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, serta sistematika penulisan. Bab II membahas landasan teori yang berkaitan dengan mail server, protokol SMTP dan IMAP, Postfix, Dovecot, Roundcube, serta virtualisasi VirtualBox. Bab III menjelaskan perancangan sistem dan topologi jaringan yang digunakan. Bab IV membahas tahapan implementasi dan konfigurasi sistem mail server. Bab V menyajikan hasil pengujian dan analisis sistem yang telah dibangun. Bab VI berisi kesimpulan dan saran sebagai penutup laporan.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Konsep Dasar Mail Server**

Mail server merupakan sebuah sistem dalam jaringan komputer yang berfungsi untuk menangani layanan surat elektronik (email), mulai dari proses pengiriman, penerimaan, hingga penyimpanan pesan. Dalam konteks sistem informasi modern, mail server menjadi salah satu layanan jaringan yang paling fundamental karena mendukung komunikasi formal dan pertukaran data antar pengguna secara asinkron.

Secara arsitektural, mail server tidak bekerja sebagai satu entitas tunggal, melainkan sebagai kumpulan komponen perangkat lunak yang saling berinteraksi. Komponen-komponen tersebut dirancang untuk memisahkan fungsi pengguna, pengiriman pesan, dan penyimpanan data agar sistem dapat bekerja secara efisien, aman, dan terstruktur. Pemisahan fungsi ini juga memudahkan proses pengelolaan, pengembangan, serta pemeliharaan sistem.

Dalam sistem mail server, terdapat tiga komponen utama, yaitu Mail User Agent (MUA), Mail Transfer Agent (MTA), dan Mail Delivery Agent (MDA). MUA merupakan antarmuka yang digunakan oleh pengguna untuk berinteraksi dengan sistem email, baik dalam bentuk aplikasi desktop maupun berbasis web. MTA berperan sebagai komponen yang bertanggung jawab atas pengiriman pesan dari pengirim ke server tujuan. Sementara itu, MDA berfungsi untuk menerima pesan dari MTA dan menyimpannya ke dalam mailbox pengguna agar dapat diakses kembali.

Pada proyek akhir ini, arsitektur mail server dibangun berdasarkan pemisahan peran tersebut, sehingga setiap komponen memiliki tanggung jawab yang jelas dalam keseluruhan sistem.

#### **2.2 Protokol SMTP (Simple Mail Transfer Protocol)**

Simple Mail Transfer Protocol (SMTP) merupakan protokol standar yang digunakan untuk proses pengiriman email dalam jaringan komputer. SMTP bekerja pada lapisan aplikasi dalam model OSI dan menggunakan mekanisme komunikasi client-server. Protokol ini dirancang untuk memastikan pesan email dapat dikirim dari satu sistem ke sistem lain dengan format dan struktur yang sesuai dengan standar internet.

SMTP menggunakan pendekatan komunikasi berbasis teks, di mana perintah dan respons dikirimkan dalam bentuk string yang telah didefinisikan oleh standar protokol. Mekanisme ini memungkinkan interoperabilitas antar berbagai sistem mail server yang berbeda. SMTP juga mengatur proses validasi alamat pengirim dan penerima, pengelolaan antrian pesan, serta mekanisme pengiriman ulang apabila terjadi kegagalan.

Dalam praktiknya, SMTP tidak dirancang untuk membaca atau mengelola email, melainkan hanya berfokus pada proses pengiriman. Oleh karena itu, SMTP selalu dipasangkan dengan protokol lain yang menangani akses pesan oleh pengguna. Pada proyek akhir ini, SMTP digunakan sebagai protokol utama dalam proses pengiriman email antar pengguna dalam jaringan lokal.

### **2.3 Protokol IMAP (Internet Message Access Protocol)**

Internet Message Access Protocol (IMAP) merupakan protokol yang digunakan untuk mengakses dan mengelola email yang tersimpan pada server. IMAP memungkinkan pengguna untuk membaca, menghapus, memindahkan, serta mengorganisasi email secara langsung di sisi server. Dengan demikian, data email tetap tersimpan secara terpusat dan dapat diakses dari berbagai perangkat.

Keunggulan utama IMAP terletak pada kemampuannya untuk melakukan sinkronisasi antara klien dan server. Setiap perubahan status pesan, seperti pesan yang telah dibaca atau dihapus, akan tercermin secara konsisten di seluruh perangkat pengguna. Hal ini menjadikan IMAP sangat sesuai untuk lingkungan kerja modern yang menuntut mobilitas dan akses multi-perangkat.

Dalam konteks akademik dan pembelajaran, IMAP memberikan gambaran yang jelas mengenai konsep penyimpanan terpusat dan manajemen data pada server. Pada proyek akhir ini, IMAP digunakan sebagai protokol utama untuk mengakses mailbox pengguna yang dikelola oleh server.

### **2.4 Postfix sebagai Mail Transfer Agent (MTA)**

Postfix merupakan salah satu perangkat lunak Mail Transfer Agent yang banyak digunakan pada sistem operasi Linux. Postfix dikenal memiliki performa yang baik, konfigurasi yang fleksibel, serta tingkat keamanan yang tinggi. Postfix dirancang sebagai pengganti Sendmail dengan tujuan meningkatkan keamanan dan kemudahan administrasi.

Dalam sistem mail server, Postfix bertanggung jawab untuk menerima email dari Mail User Agent melalui protokol SMTP dan meneruskannya ke Mail Delivery Agent. Postfix juga menangani proses antrian email, pengaturan domain, serta validasi pengiriman pesan.

Pada proyek akhir ini, Postfix digunakan untuk mengelola pengiriman email dalam jaringan lokal. Konfigurasi Postfix difokuskan pada pengaturan hostname, domain, jaringan yang diizinkan, serta integrasi dengan Dovecot sebagai MDA.

## **2.5 Dovecot sebagai Mail Delivery Agent (MDA)**

Dovecot merupakan perangkat lunak open source yang berfungsi sebagai Mail Delivery Agent sekaligus server IMAP dan POP3. Dovecot dikenal memiliki performa tinggi, penggunaan sumber daya yang efisien, serta tingkat keamanan yang baik. Dovecot bertugas menerima email dari MTA dan menyimpannya ke dalam mailbox pengguna.

Dovecot menggunakan struktur penyimpanan Maildir, di mana setiap email disimpan sebagai file terpisah. Metode ini dianggap lebih aman dan stabil dibandingkan format lama seperti mbox, karena mengurangi risiko kerusakan data saat terjadi akses bersamaan.

Dalam proyek akhir ini, Dovecot digunakan untuk mengelola penyimpanan email pengguna serta menyediakan layanan IMAP agar email dapat diakses melalui klien email maupun webmail.

## **2.6 Roundcube sebagai Webmail Client**

Roundcube merupakan aplikasi webmail berbasis open source yang memungkinkan pengguna mengakses email melalui browser. Roundcube berfungsi sebagai Mail User Agent (MUA) yang berkomunikasi dengan mail server menggunakan protokol IMAP untuk membaca email dan SMTP untuk mengirim email.

Roundcube dibangun menggunakan bahasa pemrograman PHP dan membutuhkan web server serta database untuk menyimpan konfigurasi dan data pendukung. Antarmuka Roundcube dirancang menyerupai aplikasi email desktop sehingga mudah digunakan oleh pengguna.

Pada proyek akhir ini, Roundcube digunakan untuk memberikan kemudahan akses email bagi pengguna dalam jaringan lokal tanpa memerlukan aplikasi email tambahan di sisi klien.

## **2.7 Virtualisasi menggunakan Oracle VirtualBox**

Virtualisasi merupakan teknologi yang memungkinkan satu perangkat keras fisik menjalankan beberapa sistem operasi secara bersamaan. Oracle VirtualBox merupakan salah satu perangkat lunak virtualisasi yang banyak digunakan dalam lingkungan pembelajaran karena bersifat gratis dan mudah digunakan.

Dalam proyek akhir ini, Oracle VirtualBox digunakan untuk menjalankan Ubuntu Server sebagai mail server. Penggunaan VirtualBox memungkinkan simulasi jaringan lokal dilakukan secara fleksibel, serta memudahkan proses pengujian dan konfigurasi sistem tanpa memerlukan perangkat keras server khusus.

## **2.8 Sistem Operasi Ubuntu Server**

Ubuntu Server merupakan distribusi Linux yang dirancang khusus untuk kebutuhan server. Ubuntu Server dikenal memiliki stabilitas tinggi, dukungan komunitas yang luas, serta dokumentasi yang lengkap. Sistem operasi ini banyak digunakan dalam implementasi server jaringan, termasuk mail server.

Pada proyek akhir ini, Ubuntu Server digunakan sebagai sistem operasi utama untuk menjalankan layanan Postfix, Dovecot, dan Roundcube. Pemilihan Ubuntu Server didasarkan pada kemudahan konfigurasi, ketersediaan paket perangkat lunak, serta kesesuaian dengan kebutuhan pembelajaran pada mata kuliah Sistem Operasi.

## **BAB III**

### **PERANCANGAN SISTEM**

#### **3.1 Gambaran Umum Perancangan Sistem**

Sistem yang dirancang pada proyek akhir ini merupakan sistem mail server berbasis Linux yang beroperasi pada jaringan lokal. Sistem mail server berfungsi untuk menyediakan layanan pengiriman dan penerimaan email antar pengguna dalam satu jaringan lokal tanpa terhubung ke jaringan internet publik. Layanan email disediakan melalui protokol SMTP untuk pengiriman pesan dan protokol IMAP untuk pengambilan serta pengelolaan pesan.

Mail server dibangun menggunakan sistem operasi Ubuntu Server yang dijalankan pada mesin virtual. Pemanfaatan mesin virtual memungkinkan simulasi lingkungan server dilakukan secara fleksibel dan efisien. Dalam sistem ini, mail server berperan sebagai pusat layanan yang menangani seluruh proses pengiriman, penerimaan, dan penyimpanan email pengguna.

Selain layanan mail server inti, sistem ini juga menyediakan layanan webmail berbasis web menggunakan Roundcube. Webmail memungkinkan pengguna mengakses email melalui browser tanpa memerlukan aplikasi klien email tambahan, sehingga mempermudah penggunaan layanan email dalam lingkungan jaringan lokal.

#### **3.2 Arsitektur Sistem Mail Server**

Arsitektur sistem mail server pada proyek akhir ini dirancang dengan menerapkan konsep pemisahan fungsi antar komponen utama penyusun sistem email. Pendekatan ini bertujuan untuk menciptakan sistem yang terstruktur, mudah dikelola, serta sesuai dengan konsep teoretis mail server yang telah dibahas pada landasan teori.

Komponen pertama dalam arsitektur sistem adalah **Mail User Agent (MUA)**. MUA berfungsi sebagai antarmuka yang digunakan oleh pengguna untuk mengirim, menerima, dan mengelola email. Pada sistem ini, MUA direpresentasikan oleh aplikasi webmail Roundcube yang diakses melalui browser pada sisi klien. Roundcube berkomunikasi dengan mail server menggunakan protokol SMTP untuk mengirim email dan protokol IMAP untuk mengambil serta mengelola email yang tersimpan di server.

Komponen kedua adalah **Mail Transfer Agent (MTA)**. MTA berperan dalam menangani proses pengiriman email dari pengirim ke penerima. Pada proyek akhir ini, Postfix digunakan sebagai MTA. Postfix bertanggung jawab menerima email dari MUA, mengelola antrian email, serta meneruskan email ke komponen berikutnya sesuai dengan alamat tujuan yang ditentukan.

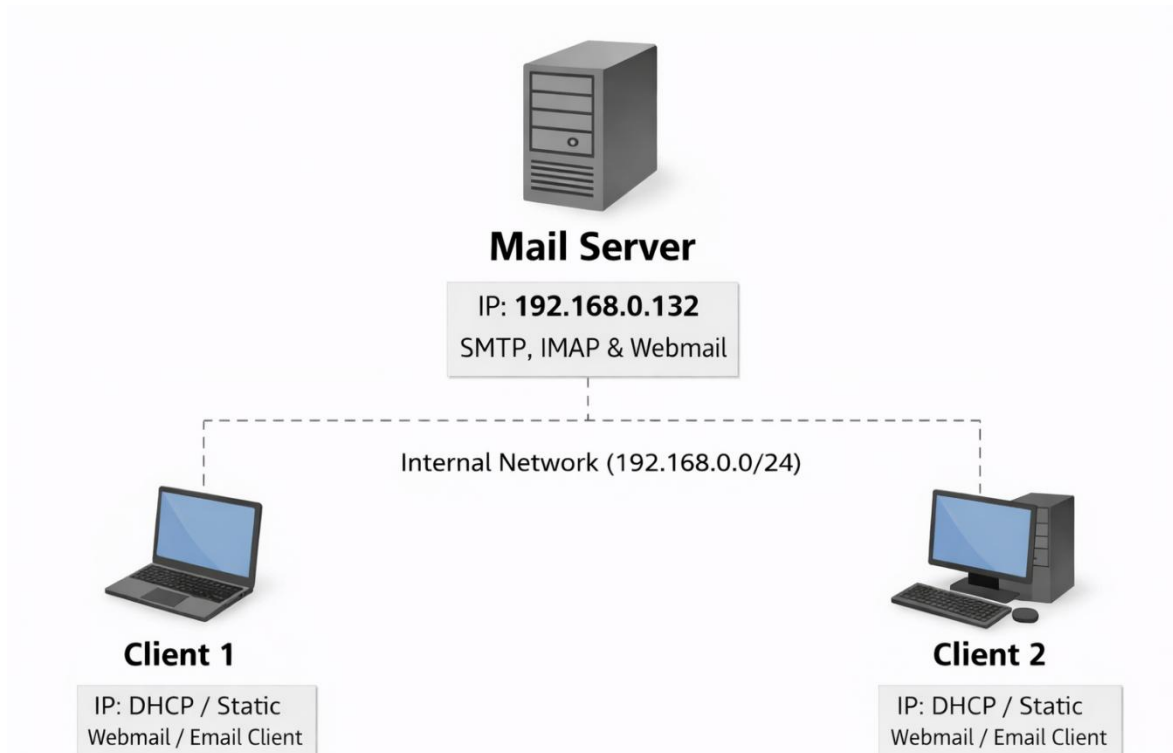
Komponen ketiga adalah **Mail Delivery Agent (MDA)**. MDA berfungsi untuk menerima email dari MTA dan menyimpannya ke dalam mailbox masing-masing pengguna. Dovecot digunakan sebagai MDA sekaligus penyedia layanan IMAP. Dengan demikian, Dovecot berperan penting dalam pengelolaan penyimpanan email dan penyediaan akses email bagi pengguna.

Arsitektur sistem ini memungkinkan setiap komponen bekerja sesuai dengan fungsinya masing-masing namun tetap terintegrasi dalam satu sistem mail server yang utuh dan berjalan dalam jaringan lokal.

### **3.3 Perancangan Topologi Jaringan**

Topologi yang saya gunakan adalah Topologi Bridged. Di sini, VirtualBox bertindak sebagai jembatan yang membuat Mail Server di Ubuntu memiliki identitas jaringan yang sama dengan komputer host(windows). Dengan pemetaan domain trytrymail.com pada file hosts Windows, komputer host dapat mengakses layanan mail server seolah-olah mengakses server di internet, padahal semuanya berjalan di infrastruktur virtual lokal.





*Gambar 3.1 menunjukkan rancangan topologi jaringan mail server berbasis VirtualBox.*

Berdasarkan Gambar 3.1, sistem jaringan dirancang sebagai berikut:

- Satu mesin virtual menjalankan **Ubuntu Server** yang berfungsi sebagai mail server.
- Mail server menyediakan layanan:
  - **SMTP (Postfix)** untuk pengiriman email,
  - **IMAP (Dovecot)** untuk pengambilan dan pengelolaan email,
  - **Roundcube** sebagai webmail client berbasis web.
- Mesin klien digunakan untuk mengakses layanan email melalui browser atau klien email.
- Seluruh mesin virtual berada dalam satu jaringan lokal virtual sehingga komunikasi email dapat dilakukan tanpa hambatan.

Topologi ini memungkinkan proses pengujian alur komunikasi SMTP dan IMAP dilakukan secara optimal serta memberikan pemahaman yang jelas mengenai peran server dan klien dalam sistem mail server.

### 3.4 Perancangan Jaringan Virtual

Perancangan jaringan virtual dilakukan menggunakan fitur **Host-Only Adapter** atau **Internal Network** pada Oracle VirtualBox. Mode jaringan ini memungkinkan seluruh mesin virtual saling terhubung dalam satu segmen jaringan tanpa akses langsung ke jaringan internet publik.

Mail server dikonfigurasi menggunakan **alamat IP statis** agar dapat diakses secara konsisten oleh klien. Alamat IP statis juga memudahkan proses konfigurasi layanan mail server dan webmail karena tidak berubah saat sistem dijalankan ulang. Mesin klien dapat menggunakan alamat IP dinamis atau statis sesuai kebutuhan pengujian.

Dengan rancangan jaringan virtual ini, sistem mail server dapat diuji secara aman dan terisolasi, serta sesuai dengan tujuan pembelajaran yang berfokus pada pemahaman konsep dasar layanan jaringan.

### 3.5 Spesifikasi Sistem dan Layanan

Spesifikasi sistem dan layanan yang digunakan dalam proyek akhir ini dirancang agar sesuai dengan kebutuhan implementasi mail server pada jaringan lokal. Spesifikasi tersebut mencakup perangkat lunak utama yang digunakan pada sisi server dan klien.

*Table 1 Spesifikasi Sistem Mail Server*

No	Komponen	Spesifikasi
1	Sistem Operasi	Ubuntu Server 24.04 LTS
2	Alamat IP Server	192.168.0.132/24
3	Mail Transfer Agent	Postfix (SMTP)
4	Mail Delivery Agent	Dovecot (IMAP)
5	Web Server	Apache2
6	Database Server	MariaDB
7	Bahasa Pemrograman	PHP
8	Webmail Client	Roundcube

9	Lingkungan Virtual	Oracle VirtualBox
---	--------------------	-------------------

Spesifikasi tersebut dipilih karena stabil, mudah dikonfigurasi, serta sesuai dengan kebutuhan pembelajaran mata kuliah Sistem Operasi. Dengan spesifikasi ini, sistem mail server mampu menjalankan fungsi pengiriman dan penerimaan email secara optimal dalam jaringan lokal.

## BAB IV

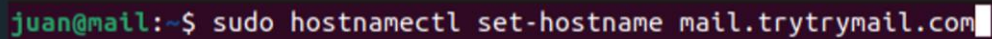
### IMPLEMENTASI SISTEM

#### 4.1 Menyiapkan Fondasi Dasar untuk Instalasi Mail Server

##### 4.1.1 Set Hostname

Menggunakan mail.trytrymail.com sebagai domain email yang akan dibangun. Dengan:

```
sudo hostnamectl set-hostname mail.trytrymail.com
```

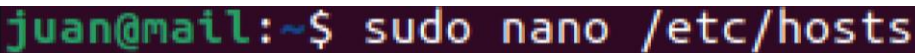


```
juan@mail:~$ sudo hostnamectl set-hostname mail.trytrymail.com
```

*Gambar 4.1 1*

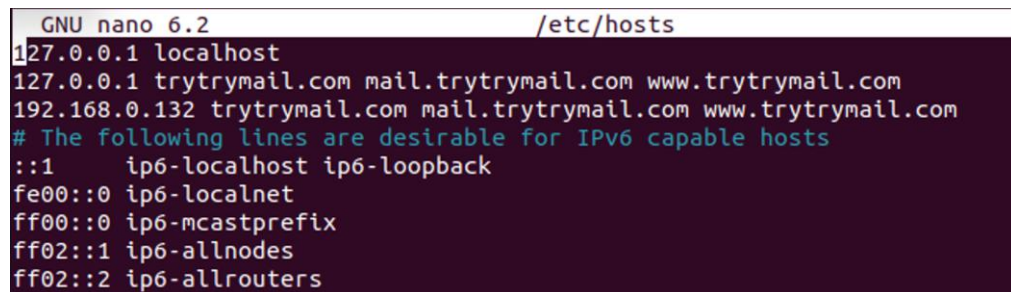
Lalu memetakan alamat IP ke nama domain. Berfungsi agar system mengenali domain local tanpa perlu menggunakan DNS server eksternal. Dengan:

```
sudo nano /etc/hosts
```



```
juan@mail:~$ sudo nano /etc/hosts
```

*Gambar 4.1 2*



```
GNU nano 6.2 /etc/hosts
127.0.0.1 localhost
127.0.0.1 trytrymail.com mail.trytrymail.com www.trytrymail.com
192.168.0.132 trytrymail.com mail.trytrymail.com www.trytrymail.com
# The following lines are desirable for IPv6 capable hosts
::1 ip6-localhost ip6-loopback
fe00::0 ip6-localnet
ff00::0 ip6-mcastprefix
ff02::1 ip6-allnodes
ff02::2 ip6-allrouters
```

*Gambar 4.1 3*

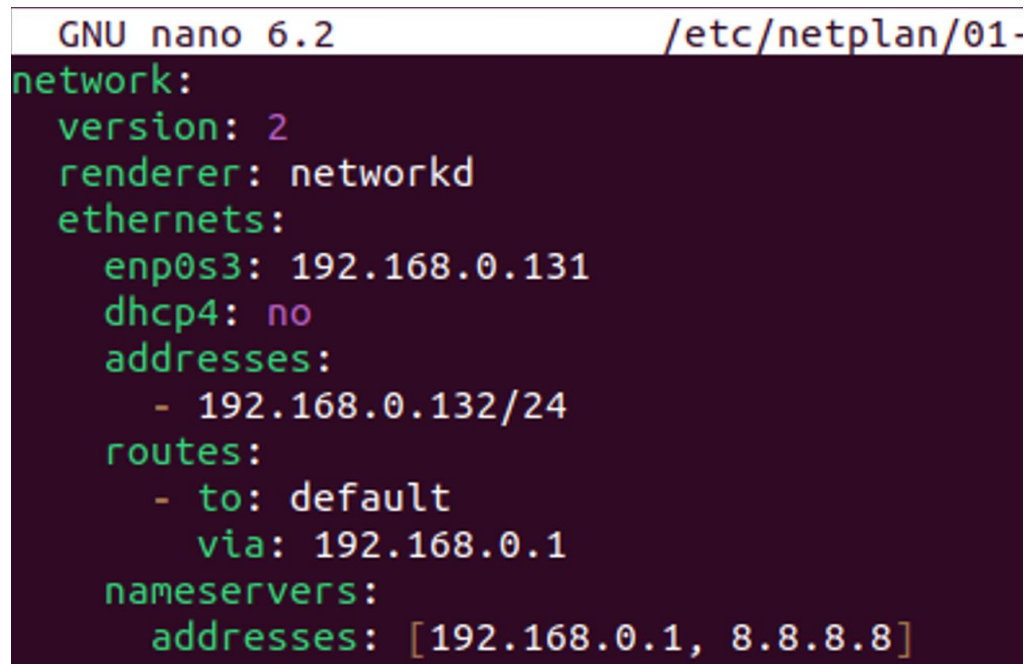
Pastikan alamat IP static yang digunakan sesuai dengan network interface VM ubuntu. Konfigurasi ini penting agar sistem dapat mengenali domain mail.trytrymail.com dan mengarahkannya ke IP server lokal.

##### 4.1.2 Konfigurasi IP Static

IP static diperlukan agar alamat IP server tidak berubah setiap kali sistem restart. Sangat penting untuk memastikan mail server dapat diakses secara konsisten dalam jaringan lokal. Dengan:

```
sudo nano /etc/netplan/01-netcfg.yaml
```

Lalu isi dengan:



```
GNU nano 6.2 /etc/netplan/01-  
network:  
  version: 2  
  renderer: networkd  
  ethernets:  
    enp0s3: 192.168.0.131  
    dhcp4: no  
    addresses:  
      - 192.168.0.132/24  
    routes:  
      - to: default  
        via: 192.168.0.1  
    nameservers:  
      addresses: [192.168.0.1, 8.8.8.8]
```

**Gambar 4.1 4**

Pada bagian ini kira harus menyesuaikan enp0s3 dengan nama interface yang digunakan. Dimana kita menyesuaikan IP address, gateway, dan netmask dengan konfigurasi jaringan local. Lalu terapkan konfigurasi dengan:

```
sudo netplan apply
```

Dan verifikasi menggunakan:

```
ip a
```

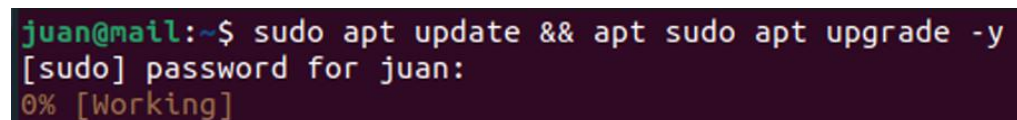
dan

```
ping google.com
```

### 4.1.3 Update dan Upgrade Sistem

Sebelum melakukan instalasi paket mail server, sistem perlu diperbarui terlebih dahulu agar seluruh paket dalam repository berada pada versi terbaru dan tidak menimbulkan masalah dependensi. Dengan:

```
sudo apt update && apt sudo apt updrage -y
```



```
juan@mail:~$ sudo apt update && apt sudo apt updrage -y  
[sudo] password for juan:  
0% [Working]
```

**Gambar 4.1 5**

Perintah `apt update` digunakan untuk memperbarui daftar paket dari repository tanpa melakukan instalasi, sedangkan `apt upgrade -y` berfungsi untuk meningkatkan semua paket yang sudah terpasang ke versi terbaru dengan konfirmasi otomatis melalui opsi `-y`.

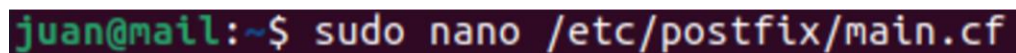
## 4.2 Mengaktifkan layanan inti SMPT & IMAP

### 4.2.1 Instalasi dan Konfigurasi Postfix dan Dovecot

Postfix diinstal melalui package manager pada sistem Ubuntu. Selama proses instalasi, konfigurasi dipilih sebagai Internet Site, dengan penyesuaian *system mail name* sesuai domain mail server yang telah ditetapkan.

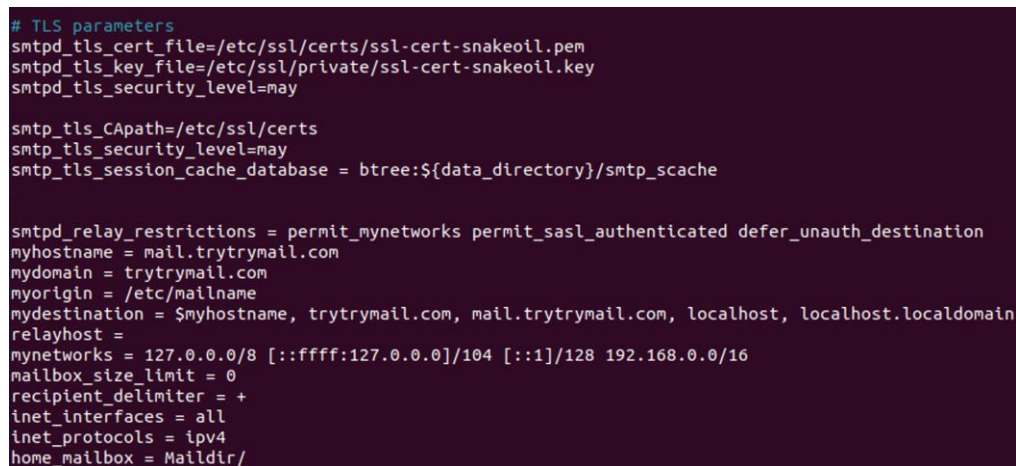
```
sudo apt install postfix -y
```

Usai proses instalasi, konfigurasi inti Postfix dilakukan dengan mengubah file **main.cf**. Pengaturan tersebut meliputi hostname server, domain email, serta direktori mailbox agar Postfix mampu menangani pengiriman email secara tepat.



```
juan@mail:~$ sudo nano /etc/postfix/main.cf
```

Gambar 4.2 1



```
# TLS parameters
smtpd_tls_cert_file=/etc/ssl/certs/ssl-cert-snakeoil.pem
smtpd_tls_key_file=/etc/ssl/private/ssl-cert-snakeoil.key
smtpd_tls_security_level=may

smtp_tls_CApath=/etc/ssl/certs
smtp_tls_security_level=may
smtp_tls_session_cache_database = btree:${data_directory}/smtp_scache

smtpd_relay_restrictions = permit_mynetworks permit_sasl_authenticated defer_unauth_destination
myhostname = mail.trytrymail.com
mydomain = trytrymail.com
myorigin = /etc/mailname
mydestination = $myhostname, trytrymail.com, mail.trytrymail.com, localhost, localhost.localdomain
relayhost =
mynetworks = 127.0.0.0/8 [::ffff:127.0.0.0]/104 [::1]/128 192.168.0.0/16
mailbox_size_limit = 0
recipient_delimiter = +
inet_interfaces = all
inet_protocols = ipv4
home_mailbox = Maildir/
```

Gambar 4.2 2

### 4.2.2 Instal Dovecot

Selanjutnya adalah menginstal Dovecot. Dimana Dovecot diinstal menggunakan package manager pada Ubuntu, dengan paket yang menyertakan layanan IMAP sehingga pengguna dapat mengakses email yang tersimpan di server.

```
sudo apt install dovecot-imapd dovecot-pop3d -y.
```

Setelah berhasil menginstal Dovecot, langkah selanjutnya adalah konfigurasi inti pada Dovecot. Konfigurasi inti pada Dovecot dilakukan dengan menetapkan lokasi penyimpanan email menggunakan format **Maildir**, sehingga setiap pengguna memiliki direktori mailbox tersendiri di dalam *home directory* masing-masing.

```
sudo nano /etc/dovecot/conf.id/10-mail.conf.d/10-mail.conf
```

A screenshot of a terminal window with a dark background. It shows the command 'See doc/wiki/Variables.txt for full list. Some examples:' followed by three lines of configuration: 'mail\_location = maildir:~/Maildir', 'mail\_location = mbox:~/mail:INBOX=/var/mail/%u', and 'mail\_location = mbox:/var/mail/%d/%1n/%n:INDEX=/var/indexes/%>'.

```
See doc/wiki/Variables.txt for full list. Some examples:
mail_location = maildir:~/Maildir
mail_location = mbox:~/mail:INBOX=/var/mail/%u
mail_location = mbox:/var/mail/%d/%1n/%n:INDEX=/var/indexes/%>
```

**Gambar 4.2 3**

Sesudah konfigurasi selesai, layanan **Dovecot** dijalankan ulang, dengan:

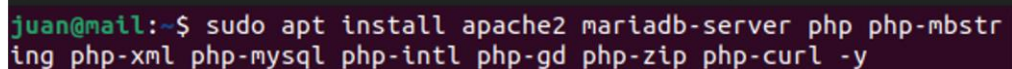
```
sudo systemctl restart dovecot
```

kemudian dilakukan pemeriksaan status untuk memastikan bahwa layanan tersebut aktif dan siap berfungsi sebagai **IMAP server**.

## **4.3 Implementasi dan Konfigurasi Webmail Roundcube pada Mail Server Lokal**

### **4.3.1 Instalasi LAMP stack (Apache, MySQL, MariaDB, PHP)**

Instalasi dilakukan melalui package manager Ubuntu Server dengan memasang Apache sebagai web server, MariaDB sebagai database server, dan PHP sebagai interpreter aplikasi web. Setelah instalasi, seluruh layanan aktif dan siap digunakan.

A screenshot of a terminal window showing the command to install the LAMP stack: 'sudo apt install apache2 mariadb-server php php-mbstring php-xml php-mysql php-intl php-gd php-zip php-curl -y'.

```
juan@mail:~$ sudo apt install apache2 mariadb-server php php-mbstring php-xml php-mysql php-intl php-gd php-zip php-curl -y
```

**Gambar 4.3 1**

### **4.3.2 Setup Database Roundcube**

Database dibuat khusus untuk **Roundcube Webmail**, lengkap dengan user yang memiliki hak akses penuh agar data konfigurasi dan email dapat tersimpan serta dikelola dengan baik.

```
sudo mysql
```

dan ketik perbaris

```

CREATE DATABASE roundcubedb;

CREATE USER 'roundcubeuser'@'localhost' IDENTIFIED BY
'password123';

GRANT ALL PRIVILEGES ON roundcubedb.* TO
'roundcubeuser'@'localhost';

FLUSH PRIVILEGES;

EXIT;

```

Tujuannya adalah agar **Roundcube** mampu menyimpan data sesi, preferensi pengguna, serta pengaturan internal secara optimal.

#### 4.3.3 Konfigurasi Database Roundcube

Setelah web server dan database tersedia, Roundcube Webmail diinstal melalui package manager Ubuntu. Pada proses instalasi, sistem meminta konfigurasi database; opsi database dipilih dan password dimasukkan sesuai yang telah disiapkan. Setelah selesai, Roundcube siap digunakan sebagai antarmuka webmail.

```
sudo apt install roundcube -y
```

#### 4.3.4 Konfigurasi Koneksi IMAP dan SMTP (Bypass SSL Lokal)

```
sudo nano /etc/roundcube/config.inc.php
```

```

// --- Config trytryMail ---
$config['imap_host'] = 'localhost:143';
$config['smtp_host'] = 'localhost:25';
$config['product_name'] = 'TryTry Webmail';

// Matikan Validasi SSL (Wajib untuk lokal)
$config['imap_conn_options'] = [
    'ssl' => [
        'verify_peer'          => false,
        'verify_peer_name'     => false,
        'allow_self_signed'     => true,
    ],
];
$config['smtp_conn_options'] = [
    'ssl' => [
        'verify_peer'          => false,
        'verify_peer_name'     => false,
        'allow_self_signed'     => true,
    ],
];

```



**Gambar 4.3 2**

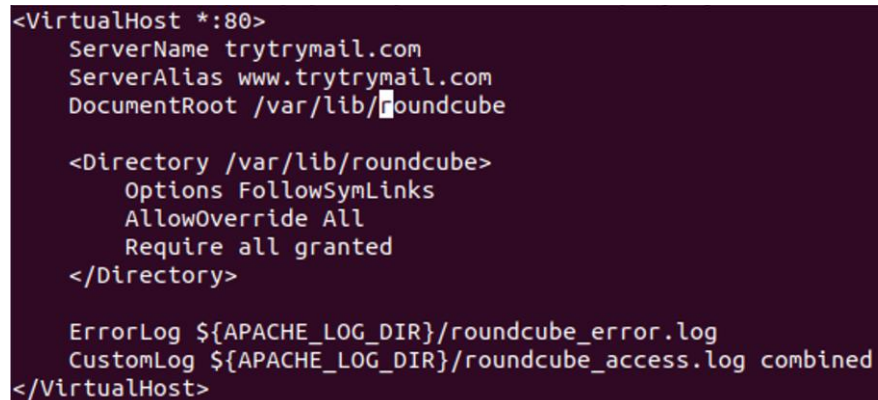
Konfigurasi koneksi IMAP dan SMTP pada Roundcube disesuaikan untuk lingkungan lokal dengan melakukan *bypass* SSL. Langkah ini bertujuan mencegah kegagalan koneksi akibat verifikasi sertifikat, sehingga Roundcube dapat terhubung langsung ke layanan Postfix dan Dovecot melalui penyesuaian parameter pada file konfigurasi.

#### **4.3.5 Konfigurasi Apache dan Domain**

Supaya **Roundcube** bisa diakses melalui nama domain, dilakukan konfigurasi **VirtualHost** pada Apache. VirtualHost ini berfungsi mengarahkan domain ke direktori instalasi Roundcube. Dengan:

```
sudo nano /etc/apache/sites-available/trytry.conf
```

Lalu isi dengan:



```
<VirtualHost *:80>
    ServerName trytrymail.com
    ServerAlias www.trytrymail.com
    DocumentRoot /var/lib/roundcube

    <Directory /var/lib/roundcube>
        Options FollowSymLinks
        AllowOverride All
        Require all granted
    </Directory>

    ErrorLog ${APACHE_LOG_DIR}/roundcube_error.log
    CustomLog ${APACHE_LOG_DIR}/roundcube_access.log combined
</VirtualHost>
```

**Gambar 4.3 3**

## **BAB V**

### **PENGUJIAN DAN ANALISIS**

#### **5.1 Gambaran Umum Implementasi Sistem**

Bab ini membahas hasil akhir dari proses implementasi dan pengujian sistem mail server yang telah dirancang pada bab sebelumnya. Sistem mail server dibangun sebagai satu kesatuan layanan yang terdiri dari Postfix sebagai Mail Transfer Agent (MTA), Dovecot sebagai Mail Delivery Agent (MDA) sekaligus penyedia layanan IMAP, serta Roundcube sebagai webmail client.

Seluruh layanan dijalankan pada sistem operasi Ubuntu Server 24.04 LTS yang beroperasi di lingkungan virtualisasi Oracle VirtualBox dan diimplementasikan dalam jaringan lokal. Sistem ini tidak menggunakan perangkat jaringan eksternal seperti router Mikrotik, melainkan memanfaatkan jaringan virtual bawaan VirtualBox untuk menghubungkan server dan klien dalam satu segmen jaringan yang sama.

Keberhasilan implementasi sistem diverifikasi melalui pengujian langsung terhadap layanan mail server. Pengujian meliputi pengecekan status layanan, konektivitas jaringan antar mesin virtual, serta simulasi pengiriman dan penerimaan email antar pengguna. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, sistem mail server dapat berfungsi sesuai dengan tujuan perancangan.

#### **5.2 Analisis Infrastruktur Jaringan**

Infrastruktur jaringan pada implementasi mail server ini dirancang secara sederhana dan terisolasi menggunakan fitur jaringan virtual pada Oracle VirtualBox. Seluruh mesin virtual, baik server maupun klien, ditempatkan dalam satu jaringan lokal virtual sehingga komunikasi data dapat berlangsung tanpa ketergantungan pada jaringan internet publik.

Server Ubuntu dikonfigurasi menggunakan **alamat IP statis** untuk menjamin kestabilan akses layanan mail server dan webmail. Penetapan IP statis juga mempermudah proses konfigurasi Postfix, Dovecot, dan Roundcube karena alamat server tidak berubah saat sistem dijalankan ulang.

Selain itu, pemetaan nama domain lokal dilakukan melalui konfigurasi file `/etc/hosts`, sehingga pengguna dapat mengakses layanan mail server menggunakan nama

domain tanpa memerlukan DNS server eksternal. Pendekatan ini terbukti efektif untuk kebutuhan pengujian dan pembelajaran dalam lingkungan jaringan lokal.

### **5.3 Kinerja Layanan Mail Server**

Berdasarkan hasil pengujian teknis yang telah dilakukan, diperoleh beberapa hasil sebagai berikut:

#### **1. Postfix**

Postfix mampu menjalankan fungsi pengiriman email menggunakan protokol SMTP dengan baik dalam jaringan lokal. Proses pengiriman email antar pengguna berjalan lancar tanpa adanya pesan gagal (mail delivery failure). Antrian email dapat diproses dengan normal sesuai konfigurasi yang diterapkan.

#### **2. Dovecot**

Dovecot berfungsi dengan baik sebagai layanan IMAP dan pengelola mailbox pengguna. Autentikasi user berjalan sesuai dengan akun sistem yang telah dibuat pada Ubuntu Server. Penggunaan format Maildir memungkinkan penyimpanan email yang lebih terstruktur dan memudahkan pengelolaan mailbox masing-masing pengguna.

#### **3. Roundcube**

Roundcube berhasil berfungsi sebagai antarmuka webmail yang memudahkan pengguna dalam mengakses layanan email melalui browser. Pengguna dapat melakukan login, membaca email, mengirim, serta membalas pesan tanpa memerlukan konfigurasi tambahan pada sisi klien. Integrasi antara Roundcube, Postfix, dan Dovecot berjalan dengan baik dalam lingkungan jaringan lokal.

Secara keseluruhan, ketiga layanan tersebut saling terintegrasi dengan baik dan mampu menyediakan layanan mail server yang stabil sesuai dengan kebutuhan proyek akhir.

### **5.4 Kendala dan Batasan Implementasi**

Selama proses implementasi dan pengujian sistem mail server, terdapat kendala dan batasan yang ditemui. Yakni sistem mail server ini belum menerapkan mekanisme keamanan lanjutan seperti enkripsi TLS/SSL dan autentikasi tambahan. Akses webmail dilakukan menggunakan protokol HTTP dan konfigurasi koneksi IMAP serta SMTP dilakukan tanpa enkripsi. Hal ini disadari sebagai batasan sistem, namun masih dapat

diterima karena implementasi difokuskan pada fungsi dasar mail server dalam jaringan lokal dan tujuan pembelajaran.

Meskipun terdapat beberapa keterbatasan tersebut, sistem mail server tetap dapat beroperasi dengan baik dan seluruh fungsi utama, yaitu pengiriman dan penerimaan email antar pengguna, dapat dijalankan tanpa kendala berarti.

## **BAB VI**

### **PENUTUP**

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, serta pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem mail server berbasis Ubuntu Server yang dibangun pada proyek akhir ini berhasil diimplementasikan dengan baik dalam lingkungan jaringan lokal. Sistem mail server yang terdiri dari Postfix sebagai Mail Transfer Agent (MTA), Dovecot sebagai Mail Delivery Agent (MDA) sekaligus penyedia layanan IMAP, serta Roundcube sebagai webmail client mampu menjalankan fungsi pengiriman dan penerimaan email sesuai dengan tujuan perancangan.

Pengujian menunjukkan bahwa layanan SMTP dan IMAP dapat berjalan secara stabil dan saling terintegrasi. Pengguna dapat mengirim, menerima, membaca, serta membalas email antar akun dalam jaringan lokal tanpa mengalami kendala berarti. Penggunaan format Maildir pada Dovecot juga terbukti memberikan pengelolaan mailbox yang lebih terstruktur dan mudah dikelola.

Selain itu, pemanfaatan Oracle VirtualBox sebagai lingkungan virtualisasi memungkinkan proses implementasi dan pengujian mail server dilakukan secara fleksibel tanpa memerlukan perangkat keras server khusus. Dengan demikian, proyek akhir ini berhasil memberikan gambaran praktis mengenai konsep mail server serta keterkaitan antara sistem operasi Linux dan layanan jaringan, khususnya dalam konteks pembelajaran mata kuliah Sistem Operasi.

#### **6.2 Saran**

Meskipun sistem mail server telah berjalan dengan baik, terdapat beberapa hal yang dapat dikembangkan dan ditingkatkan pada implementasi selanjutnya. Beberapa saran yang dapat dipertimbangkan antara lain:

1. Implementasi mekanisme keamanan tambahan seperti enkripsi TLS/SSL pada layanan SMTP, IMAP, dan webmail untuk meningkatkan keamanan komunikasi data.
2. Penggunaan sertifikat SSL resmi atau internal Certificate Authority (CA) agar akses webmail dapat dilakukan tanpa peringatan keamanan pada browser.

3. Pengujian sistem pada skala jaringan yang lebih luas atau terhubung ke jaringan publik untuk memahami mekanisme mail server secara lebih mendalam.

Diharapkan dengan adanya pengembangan tersebut, sistem mail server yang dibangun dapat memiliki tingkat keamanan, keandalan, serta kelengkapan dokumentasi yang lebih baik di masa mendatang.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. J. (2011). Computer Networks (5th Edition).  
<https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/computer-networks/P200000003295>
  
- [2] Forouzan, B. A. (2013). Data Communications and Networking (5th Edition).  
<https://www.mheducation.com/highered/product/data-communications-networking-forouzan/M9780073376226.html>
  
- [3] Stallings, W. (2018). Operating Systems: Internals and Design Principles (9th Edition).  
<https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/operating-systems-internals-and-design-principles/P200000003364>
  
- [4] Postel, J. (2008). RFC 5321: Simple Mail Transfer Protocol (SMTP).  
<https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5321>
  
- [5] Crispin, M. (2003). RFC 3501: Internet Message Access Protocol (IMAP).  
<https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc3501>
  
- [6] Venema, W. (2024). Postfix Documentation.  
<https://www.postfix.org/documentation.html>
  
- [7] Dovecot Community. (2024). Dovecot Documentation.  
<https://doc.dovecot.org/>
  
- [8] Roundcube Community. (2024). Roundcube Documentation.  
<https://docs.roundcube.net/>
  
- [9] Canonical Ltd. (2024). Ubuntu Server Documentation.  
<https://ubuntu.com/server/docs>

- [10] Oracle Corporation. (2024). Oracle VM VirtualBox User Manual.  
<https://www.virtualbox.org/manual/>