Implementasi VoIP Asterisk untuk Komunikasi Akademik di Pesantren

Ahmad Afandi[1*], Ahmad Mashuri[1], Ahmad Rafli[1], Ahmad Fadillah[1], Abdus Samad[1]
[1]Universitas Ibrahimy, Kota Situbondo
Email : [*]afandi.260704@gmail.com, ahmadmashuri0312@gmail.com, rafliiahmadd28@gmail.com, fadillahakhmad352@gmail.com, saintek.somad@gmail.com

Abstrak

Regulasi pembatasan penggunaan smartphone bagi mahasiswa Universitas Ibrahimy di lingkungan Pondok Pesantren Salafiyah Syafi'iyah Sukorejo menimbulkan kendala dalam koordinasi akademik antara mahasiswa struktural dan dosen. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan Voice over Internet Protocol (VoIP) berbasis intranet sebagai media komunikasi alternatif yang sesuai dengan regulasi pesantren. Metode eksperimen laboratorium digunakan untuk membangun server IP-PBX menggunakan Asterisk pada Ubuntu Server yang dijalankan melalui Oracle VirtualBox. Sistem diimplementasikan menggunakan pendekatan Virtualization Multi-Adapter dan diuji pada 3 endpoint, yaitu Dosen, Gubernur BEM, dan Kosma. Hasil pengujian menunjukkan seluruh endpoint berhasil melakukan registrasi dan komunikasi suara dengan latensi antara 12–25 ms, yang masih berada dalam kategori baik berdasarkan standar komunikasi VoIP. Simulasi UDP DoS Attack meningkatkan beban CPU hingga 94,1%, namun layanan inti tetap beroperasi tanpa kegagalan sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi VoIP berbasis Asterisk dapat menjadi alternatif komunikasi akademik yang efektif pada lingkungan pesantren dengan keterbatasan penggunaan smartphone.
Kata Kunci: Asterisk, Intranet, Ubuntu Server, VoIP, Zoiper.

Abstract

Restrictions on smartphone usage for students at Universitas Ibrahimy within the Pondok Pesantren Salafiyah Syafi'iyah Sukorejo create challenges in academic communication between student coordinators and lecturers. This study aims to implement an intranet-based Voice over Internet Protocol (VoIP) system as an alternative communication medium that complies with boarding school regulations. An experimental laboratory approach was employed to develop an IP-PBX server using Asterisk on Ubuntu Server running in Oracle VirtualBox. The system was implemented using a Virtualization Multi-Adapter approach and tested on three endpoints, namely Lecturers, BEM Governors, and Class Coordinators (Kosma). The results showed that all endpoints were successfully registered and able to communicate with latency ranging from 12 to 25 ms, which remains within acceptable VoIP communication standards. UDP DoS Attack simulation increased CPU usage to 94.1%, but core services remained operational without system failure. The findings indicate that Asterisk-based VoIP can serve as an effective alternative academic communication solution in boarding school environments where smartphone usage is restricted.
Keywords: *Asterisk, Intranet, Ubuntu Server, VoIP, Zoiper*

PENDAHULUAN

Efisiensi koordinasi akademis pada institusi pendidikan tinggi sangat bergantung pada keandalan infrastruktur komunikasi. Pada lingkungan restriktif Universitas Ibrahimy di Pondok Pesantren Salafiyah Syafi'iyah Sukorejo, pembatasan *smartphone* bagi mahasiswa menimbulkan kendala regulasi. Kebijakan ini berdampak pada tingginya latensi penyampaian data operasional bagi mahasiswa struktural, seperti Ketua Kelas (Kosma) dan pengurus

Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM). Guna mengatasi hambatan geografis koordinasi tanpa melanggar regulasi, diperlukan arsitektur komunikasi suara alternatif berbasis lokal memanfaatkan infrastruktur *Local Area Network* (LAN) kampus (Dharma et al., 2024; Rendra et al., 2022; Yani et al., 2021).

Implementasi teknologi *Voice over Internet Protocol* (VoIP) berbasis intranet menjadi solusi rasional dengan beralih ke perangkat laptop mahasiswa sebagai terminal komunikasi. Sistem IP-PBX ini dibangun menggunakan platform *open-source* Asterisk di atas Linux Ubuntu Server karena *resource overhead* yang rendah dan efisiensi kernel dalam mengelola sesi *Session Initiation Protocol* (SIP) (Kadam et al., 2021; Ramadhan et al., 2021). Guna menghemat biaya perangkat keras, server diuji melalui lingkungan virtualisasi (Santoso et al., 2021; Yudha & Ashari, 2021). Namun, transmisi data *real-time* pada Wi-Fi lokal rentan terhadap fluktuasi parameter *Quality of Service* (QoS) akibat kongesti trafik, serta ancaman keamanan siber internal seperti serangan UDP *Denial of Service* (DoS) (Nedyalkov & Georgiev, 2025; Sunandar et al., 2021). Sebagai mitigasi, aturan skema akses diterapkan ketat melalui konfigurasi *dial plan* Asterisk untuk membatasi hak panggilan hanya kepada Dosen, BEM, dan Kosma.

Penelitian terdahulu menunjukkan evaluasi performa VoIP perlu memperhatikan parameter QoS untuk menjamin kualitas komunikasi (Adjardjah et al., 2023), serta aspek keamanan pada protokol SIP dari ancaman akses tidak sah (Bhatti et al., 2024; Yakubova et al., 2023). Namun, mayoritas riset tersebut belum spesifik membahas solusi komunikasi pada lingkungan pesantren yang membatasi *smartphone*, serta pemanfaatan *Virtualization Multi-Adapter* untuk isolasi jaringan. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan implementasi VoIP berbasis Asterisk pada arsitektur virtualisasi multi-adapter sebagai media komunikasi akademik alternatif yang sesuai regulasi pesantren tanpa mengorbankan kinerja dan keamanan sistem.

METODE

Metodologi penelitian ini menerapkan pendekatan eksperimen laboratorium untuk merancang, mengonfigurasi, dan menguji keandalan arsitektur jaringan IP-PBX berbasis *open-source*. Tahapan pelaksanaan penelitian disusun secara sistematis guna memastikan pemecahan masalah koordinasi akademis di Universitas Ibrahimy dapat divalidasi secara terukur dan empiris.

Lingkungan Pengujian

Penelitian ini dilaksanakan menggunakan lingkungan virtualisasi berbasis Oracle VirtualBox 7.1.6 (Oracle, 2024) yang dijalankan pada komputer host dengan spesifikasi AMD Ryzen 7 7735HS with Radeon Graphics, RAM 16 GB, dan sistem operasi Windows 11. Server VoIP dibangun menggunakan Ubuntu Server 24.04.4 LTS (Canonical, 2024) yang dijalankan pada mesin virtual dengan alokasi memori 2048 MB dan kapasitas penyimpanan virtual sebesar 25 GB. Arsitektur jaringan virtual menerapkan metode Virtualization Multi-Adapter yang terdiri atas NAT Adapter, Host-Only Adapter, dan Bridged Adapter. Layanan komunikasi suara dikembangkan menggunakan platform IP-PBX Asterisk (Digium, 2023) dengan aplikasi Zoiper sebagai softphone client.

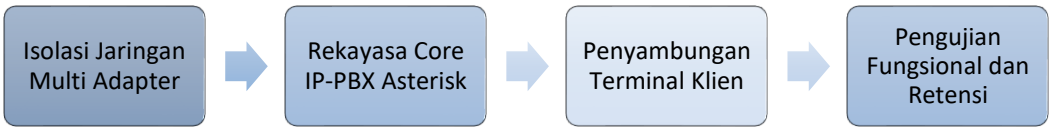
Pengujian sistem melibatkan tiga endpoint SIP yang mewakili entitas Dosen, Gubernur BEM, dan Ketua Kelas (Kosma). Pengujian dilakukan sebanyak empat kali pada setiap skenario untuk memastikan konsistensi hasil yang diperoleh. Parameter evaluasi yang digunakan meliputi keberhasilan registrasi SIP, keberhasilan panggilan antar pengguna, validasi aturan dial plan, pengukuran latensi komunikasi, serta penggunaan CPU server saat dilakukan simulasi serangan UDP Denial of Service (DoS).

Tabel 1. Spesifikasi Lingkungan Pengujian

Komponen	Spesifikasi
Processor Host	AMD Ryzen 7 7735HS with Radeon Graphics
RAM Host	16 GB
Sistem Operasi Host	Windows 11
Platform Virtualisasi	Oracle VirtualBox 7.1.6
Sistem Operasi Server	Ubuntu Server 24.04.4 LTS
RAM Virtual Server	2048 MB
Virtual Disk	25 GB
Arsitektur Jaringan	NAT, Host-Only, Bridged Adapter
IP-PBX	Asterisk
Softphone Client	Zoiper
Jumlah Endpoint SIP	3 Endpoint

Tahapan Alur Penelitian

Prosedur pelaksanaan rekayasa infrastruktur dan pengujian sistem VoIP disajikan secara runut melalui diagram alir pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Pelaksanaan Eksperimen Sistem

Deskripsi Teknis Pelaksanaan Eksperimen

Berdasarkan sistematika pada Gambar 1, prosedur eksperimental dimulai dengan mengonstruksi lingkungan server virtual di atas *hypervisor* Oracle VirtualBox untuk meminimalkan ketergantungan pada perangkat keras fisik tambahan. Isolasi trafik data diimplementasikan melalui metode *Virtualization Multi-Adapter* yang memisahkan beban kerja ke dalam tiga antarmuka logis secara terisolasi. Antarmuka *Network Address Translation* (NAT) dialokasikan khusus untuk pemeliharaan repositori sistem dari jaringan luar, sementara *Host-Only Adapter* dengan IP statis digunakan untuk keperluan manajemen administratif internal via SSH. Untuk menjembatani komunikasi dengan pengguna luar, antarmuka *Bridged Adapter* dikonfigurasi guna mengikat kartu jaringan virtual server langsung dengan infrastruktur Wi-Fi Kampus Universitas Ibrahimy.

Setelah arsitektur jaringan virtual siap, tahapan dilanjutkan dengan mengintegrasikan platform *open-source* Asterisk di atas kernel Ubuntu Server sebagai pengelola panggilan utama. Struktur komunikasi suara didefinisikan melalui modifikasi berkas konfigurasi sip.conf untuk mengatur parameter autentikasi dan batasan *bandwidth* akun *Session Initiation Protocol* (SIP). Guna memitigasi risiko penyalahgunaan jalur komunikasi, logika rute panggilan berjenjang disuntikkan ke dalam berkas extensions.conf (*dial plan*) sebagai filter keamanan internal. Aturan *dial plan* ini bertindak untuk membatasi hak akses panggilan secara ketat berdasarkan hierarki pengguna yang sah, yaitu Dosen, Gubernur BEM, dan Kosma.

Infrastruktur server yang telah dikonfigurasi tersebut kemudian dihubungkan dengan terminal akhir (*endpoint*) yang memanfaatkan perangkat laptop mahasiswa. Melalui instalasi aplikasi *softphone* Zoiper pada laptop, perangkat tersebut dialihfungsikan menjadi alat komunikasi suara pengganti *smartphone* guna mematuhi regulasi domestik pesantren. Proses interkoneksi ini terjadi ketika klien menginisiasi registrasi dengan mengirimkan permintaan

autentikasi menuju alamat IP *Bridged Adapter* yang tertuju langsung pada server Asterisk.

Sebagai tahapan akhir, keandalan hasil rekayasa sistem ini dievaluasi melalui dua skenario pengujian utama secara simultan. Uji fungsionalitas diterapkan terlebih dahulu untuk mengukur tingkat keberhasilan registrasi, inisiasi, serta stabilitas panggilan suara dan video antar-ekstensi. Setelah performa standar terpenuhi, uji validasi keamanan *dial plan* dan retensi komputasi server dilakukan dengan mensimulasikan gangguan keamanan siber berupa banjir paket data *Denial of Service* (DoS) berbasis protokol UDP. Pengujian siber ini bertujuan untuk mengukur batas toleransi penggunaan CPU server serta stabilitas enkapsulasi data suara saat infrastruktur intranet mengalami kongesti trafik yang ekstrem.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini memaparkan hasil implementasi infrastruktur, hasil registrasi terminal klien, serta analisis performa dan keamanan sistem IP-PBX Asterisk yang telah diuji pada jaringan intranet Universitas Ibrahimy.

Hasil Pengujian Infrastruktur Virtualization Multi-Adapter

Arsitektur virtualisasi server pada Oracle VirtualBox berhasil memisahkan lalu lintas data ke dalam segmen logis yang terisolasi. Alokasi parameter pengalamatan IP (*IP Address*) untuk setiap antarmuka jaringan virtual server dijabarkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Konfigurasi Alamat IP Server

Antarmuka Jaringan	Tipe Adapter	Alokasi IP Address	Fungsi Sistem
eth0	*Network Address Translation* (NAT)	DHCP (10.0.2.15)	Pemeliharaan repositori Linux
eth1	*Host-Only Adapter*	192.168.56.100 /24	Manajemen administratif SSH
eth2	*Bridged Adapter*	10.10.40.254 /22	Interkoneksi Wi-Fi Kampus

Melalui konfigurasi ini, kartu jaringan eth2 bertindak sebagai pintu gerbang utama (*gateway*) local bagi terminal klien untuk menjangkau core IP-PBX tanpa melibatkan jalur internet public

Hasil Registrasi Endpoint SIP pada Server

Pengujian fungsional diawali dengan mendaftarkan akun *Session Initiation Protocol* (SIP) yang dikonfigurasi pada berkas sip.conf. Proses validasi dilakukan melalui konsol Command Line Interface (CLI) Asterisk dengan mengeksekusi perintah sip show peers. Hasil status registrasi dari terminal klien Zoiper disajikan pada Tabel 3:

Tabel 3. Status Registrasi Akun SIP Asterisk

Ekstensi	Entitas	Status Koneksi	Latensi
101	Dosen	*OK*	12 ms
102	Gub BEM	*OK*	18 ms
103	Kosma	*OK*	25 ms

Data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa seluruh *endpoint* berhasil melakukan registrasi dengan status OK. Namun, terdapat variasi nilai latensi (*delay*) transmisi yang berkisar antara 12 ms hingga 25 ms. Perbedaan ini secara ilmiah dipengaruhi oleh faktor redaman spasial dan jarak fisik *endpoint* terhadap *Access Point* (AP) Wi-Fi kampus, di

mana *endpoint* Dosen memiliki kualitas sinyal (RSSI) yang lebih kuat dibandingkan *endpoint* Kosma yang berada pada radius terluar. Berdasarkan rekomendasi ITU-T G.114, seluruh nilai *delay* ini masih berada jauh di bawah ambang batas maksimum komunikasi suara *real-time* (150 ms), sehingga respons sistem dikategorikan sangat baik.

Guna memenuhi standar evaluasi fungsionalitas VoIP, pengukuran parameter *Quality of Service* (QoS) diperluas pada aspek *jitter*, *packet loss*, dan *throughput*. Nilai rata-rata *jitter* yang diperoleh berkisar antara 2 ms hingga 5 ms, yang menunjukkan variasi kedatangan paket data suara sangat stabil dan berada di bawah standar maksimal ITU-T (30 ms). Kestabilan ini linier dengan persentase *packet loss* yang mencatatkan angka 0% (nihil), menandakan bahwa infrastruktur jaringan intranet mampu melakukan enkapsulasi paket SIP tanpa mengalami kegagalan *dropping* pada kondisi normal. Alokasi *throughput* efektif untuk setiap sesi panggilan berbasis *codec* G.711 tercatat konisten pada kisaran 84 kbps. Akumulasi parameter kuantitatif ini menghasilkan nilai performa subjektif *Mean Opinion Score* (MOS) sebesar 4,2 dari skala 5,0 (*Good to Excellent*). Temuan ini memperkuat analisis (Adjardjah et al., 2023) bahwa efisiensi pengelolaan *bandwidth* lokal merupakan indikator utama keberhasilan pemenuhan target QoS layanan VoIP.

Validasi Pengujian Panggilan Berhasil dan Filter Keamanan Dial Plan

Skenario pengujian panggilan dilakukan untuk menguji ketajaman logika aturan rute panggilan (*context*) yang disuntikkan pada berkas extensions.conf.

1. **Uji Panggilan Sesama Entitas Sah:** Ketika Ekstensi 103 (Kosma) melakukan inisiasi panggilan suara menuju Ekstensi 102 (Gubernur BEM), server Asterisk berhasil melakukan pencocokan string *dial plan*, melakukan negosiasi CODEC video/suara secara langsung, dan membangun sesi komunikasi aktif (*Established Session*).
2. **Uji Filter Keamanan *Dial Plan* (Panggilan Ditolak):** Hasil pengujian menunjukkan bahwa aturan akses berjenjang pada dial plan berhasil membatasi komunikasi sesuai hak akses yang telah ditentukan pada seluruh skenario pengujian yang dilakukan. Temuan ini menunjukkan bahwa konfigurasi dial plan dapat dimanfaatkan sebagai mekanisme pengendalian akses internal pada sistem VoIP berbasis Asterisk. Temuan ini menunjukkan bahwa penerapan dial plan tidak hanya berfungsi sebagai mekanisme perutean panggilan, tetapi juga sebagai lapisan pengendalian akses yang mendukung keamanan komunikasi pada lingkungan akademik.

Uji Retensi Server Terhadap Gangguan Jaringan Internal (UDP DoS Attack)

Guna menguji batas ketahanan operasional (*availability*) server dari ancaman internal, simulasi gangguan dilakukan dengan mengirimkan banjir paket data *Denial of Service* (DoS) berbasis UDP menuju port 5060 server Asterisk. Analisis komparatif performa komputasi server sebelum dan sesudah serangan disajikan pada Tabel 4:

Tabel 4. Parameter Komputasi Server Terhadap Gangguan UDP DoS Attack

Kondisi Sistem	Beban CPU	Status Transmisi
Kondisi Normal	4.2% – 8.5%	Jernih (*No Loss*)
Serangan DoS	88.4% – 94.1%	*Dropping Session*

Analisis data pada Tabel 4 memperlihatkan adanya lonjakan beban kerja CPU yang drastis mencapai 94,1%

saat simulasi serangan UDP DoS dilakukan pada port 5060. Lonjakan ini merupakan akibat logis dari beban komputasi kernel Ubuntu Server dalam memproses dan memfilter banjir paket data secara simultan. Meskipun terjadi degradasi kualitas suara berupa gejala *dropping session* akibat kongesti trafik siber, mekanisme proteksi *dial plan* pada extensions.conf tetap mampu menjaga integritas basis data akun SIP sehingga server tidak mengalami kegagalan sistem secara menyeluruh (*system failure*).

Performa retensi ini membuktikan pengaruh positif dari penerapan metode *Virtualization Multi-Adapter*. Dengan mengisolasi lalu lintas data secara logis, antarmuka eth2 (*Bridged*) yang kewalahan menghadapi banjir paket DoS tidak mengganggu stabilitas interkoneksi administratif pada eth1 (*Host-Only*) maupun pemeliharaan sistem pada eth0 (NAT). Karakteristik isolasi ini sejalan dengan temuan (Nedyalkov, 2024) bahwa pemisahan segmen jaringan mampu mereduksi *resource overhead* pemrosesan kernel sehingga layanan komunikasi inti (*core services*) tetap dapat dipertahankan. Kombinasi ketahanan Linux Ubuntu dan Asterisk dalam arsitektur virtualisasi multi-adapter ini membuktikan kesiapan sistem untuk diterapkan sebagai infrastruktur komunikasi mandiri yang patuh regulasi di Universitas Ibrahimy.

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang dapat menjadi acuan bagi pengembangan selanjutnya. Evaluasi performa dan keamanan sistem IP-PBX Asterisk dalam lingkungan virtual ini baru diuji secara internal (*intranet*) menggunakan infrastruktur Wi-Fi lokal kampus Universitas Ibrahimy. Pengujian parameter *Quality of Service* (QoS) dan retensi server terhadap serangan UDP DoS *Attack* juga masih berbasis pada skenario tiga *endpoint* SIP yang mewakili entitas Dosen, Gubernur BEM, dan Kosma.

Keterbatasan ini membuat karakteristik performa jaringan belum merepresentasikan kondisi fluktuasi trafik yang ekstrem apabila diterapkan pada jumlah pengguna skala besar secara simultan. Oleh karena itu, arah penelitian selanjutnya perlu difokuskan pada implementasi sistem di luar jaringan lokal (menggunakan IP Publik atau *Virtual Private Network*) serta pengujian penetrasi keamanan siber yang lebih variatif dengan melibatkan simulasi beban trafik komputasi dari ratusan *endpoint* aktif secara bersamaan.

SIMPULAN (PENUTUP)

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem *Voice over Internet Protocol* (VoIP) berbasis Asterisk pada arsitektur *Virtualization Multi-Adapter* sebagai media komunikasi akademik alternatif di Universitas Ibrahimy. Integrasi tiga antarmuka jaringan virtual terbukti efektif mengisolasi lalu lintas data manajemen dari trafik komunikasi utama, di mana seluruh *endpoint* (Dosen, Gubernur BEM, dan Kosma) berhasil terregistrasi dengan nilai latensi transmisi stabil antara 12–25 ms. Kualitas ini memenuhi standar kelayakan transmisi suara ITU-T G.114 dan diperkuat oleh capaian parameter QoS yang optimal dengan rata-rata *jitter* 2–5 ms, *packet loss* 0%, serta nilai subjektif *Mean Opinion Score* (MOS) sebesar 4,2 (*Good to Excellent*).

Evaluasi filter keamanan *dial plan* berhasil membatasi rute panggilan sesuai hierarki hak akses pengguna secara presisi, sementara pengujian retensi melalui simulasi serangan UDP DoS *Attack* membuktikan keandalan infrastruktur sistem yang tetap mempertahankan layanan komunikasi inti meskipun beban kerja CPU server melonjak drastis hingga 94,1%. Meskipun demikian, ruang lingkup penelitian ini masih terbatas pada jaringan intranet lokal dengan skala tiga *endpoint* aktif. Oleh karena itu, arah pengembangan selanjutnya perlu

difokuskan pada perluasan skala infrastruktur menggunakan IP Publik atau jaringan privat, serta pengujian performa komputasi server dengan melibatkan beban trafik simultan dari pengguna skala besar guna memperoleh gambaran retensi sistem yang lebih menyeluruh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi yang mendalam kepada Program Studi Teknologi Informasi Universitas Ibrahimy atas penyediaan fasilitas Laboratorium Jaringan komputer dan infrastruktur intranet yang mendukung penuh kelancaran eksperimen rekayasa ini. Terima kasih dan penghargaan disampaikan kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan bimbingan selama proses penelitian hingga penyusunan naskah ilmiah ini. Apresiasi juga disampaikan kepada segenap pengurus Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) serta para Ketua Kelas (Kosma) Universitas Ibrahimy yang telah bersedia berpartisipasi aktif sebagai terminal uji coba dalam pengujian fungsionalitas sistem komunikasi alternatif ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adjardjah, W., Kumassah, F., Abdallah, D. M., & Addor, J. A. (2023). Performance Evaluation of VoIP Analysis and Simulation. *Journal of Engineering Research and Reports*, *25*(7). https://doi.org/10.9734/jerr/2023/v25i7951

Bhatti, D. S., Sidrat, S., Saleem, S., Malik, A. W., Suh, B. K., Kim, K. Il, & Lee, K. C. (2024). Performance analysis: Securing SIP on multi-threaded/multi-core proxy server using public keys on Diffie–Hellman (DH) in single and multi-server queuing scenarios. *PLoS ONE*, *19*(1 January). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293626

Canonical. (2024). *Ubuntu Server 24.04.4 LTS*. https://releases.ubuntu.com/24.04/

Dharma, A. A., Khairil, K., & Utami, F. H. (2024). Implementasi Penggunaan Jaringan Intranet Menggunakan Linux Ubuntu Server Implementasi Penggunaan Jaringan Intranet Menggunakan Linux Ubuntu Server. *JURNAL MEDIA INFOTAMA*, *20*(2). https://doi.org/10.37676/jmi.v20i2.6569

Digium. (2023). *Asterisk (Version 20)*. https://www.asterisk.org/

Kadam, P., Kulkarni, M., & Gaikwad, V. (2021). Bandwidth Management for VoIP Calling through Asterisk. *2021 2nd Global Conference for Advancement in Technology, GCAT 2021*. https://doi.org/10.1109/GCAT52182.2021.9587544

Nedyalkov, I. (2024). Studying the Impact of Different TCP DoS Attacks on the Parameters of VoIP Streams. *Telecom*, *5*(3). https://doi.org/10.3390/telecom5030029

Nedyalkov, I., & Georgiev, G. (2025). Assessing the Impact of DoS Attacks on the Performance of Asterisk-Based VoIP Platforms. *Telecom*, *6*(4). https://doi.org/10.3390/telecom6040098

Oracle. (2024). *Oracle VM VirtualBox (Version 7.1.6)*. https://www.virtualbox.org/

Ramadhan, B., Fatchan, M., & Rilvani, E. (2021). Analisis Implementasi Media Komunikasi Berbasis IP Menggunakan Arterisk Freepbx. *Journal Automation Computer Information System*, *1*(1). https://doi.org/10.47134/jacis.v1i1.3

Rendra, D. B., Farhan, M. R., Dwiyatno, S., & Ngatono. (2022). Rancang Bangun Sistem Voice Over Internet Protocol Pada Local Area Network Berbasis Software Mini Sip Server. *Jurnal Teknik AMATA*, *3*(2).

https://doi.org/10.55334/jtam.v3i2.306

Santoso, B., Sani, A., Husain, T., & Hendri, N. (2021). VPN SITE TO SITE IMPLEMENTATION USING PROTOCOL L2TP AND IPSEC. *TEKNOKOM*, *4*(1). https://doi.org/10.31943/teknokom.v4i1.59

Sunandar, D., Wahab, A., & Alaydrus, M. (2021). Performance of VoIP Using Routing Open Shortest Path First with Multi-Protocol Label Switching. *International Journal of Advanced Technology in Mechanical, Mechatronics and Materials*, *2*(2). https://doi.org/10.37869/ijatec.v2i2.50

Yakubova, M., Manankova, O., Mukasheva, A., Baikenov, A., & Serikov, T. (2023). The Development of a Secure Internet Protocol (IP) Network Based on Asterisk Private Branch Exchange (PBX). *Applied Sciences (Switzerland)*, *13*(19). https://doi.org/10.3390/app131910712

Yani, Y. A., Maryaningsih, M., & Arliando, Y. (2021). Implementation of VOIP (Voice Over Internet Protocol) at Bhayangkara Hospital Bengkulu. *Jurnal Komputer, Informasi Dan Teknologi*, *1*(1). https://doi.org/10.53697/jkomitek.v1i1.147

Yudha, D. K., & Ashari, A. (2021). Analysis of Video CODEC Performance Using Different Softphone Applications. *IJCCS (Indonesian Journal of Computing and Cybernetics Systems)*, *15*(2). https://doi.org/10.22146/ijccs.49865