

**PENGEMBANGAN DESAIN SISTEM *SENSITIVITY-BASED
RESOURCE ALLOCATOR* UNTUK MENINGKATKAN AKURASI
PADA APLIKASI *VIDEO ANALYTICS***

TUGAS AKHIR

**Karya tulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana dari
Institut Teknologi Bandung**

Oleh

FAISHAL ZHARFAN

NIM: 18119002

(Program Studi Teknik Telekomunikasi)



INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

Mei 2024

ABSTRAK

PENGEMBANGAN DESAIN SISTEM *SENSITIVITY-BASED RESOURCE ALLOCATOR* UNTUK MENINGKATKAN AKURASI PADA APLIKASI *VIDEO ANALYTICS*

Oleh

Faishal Zharfan

NIM: 18119002

(Program Studi Teknik Telekomunikasi)

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Kata kunci: pertama, kedua, ketiga.

ABSTRACT

THE DEVELOPMENT OF SENSITIVITY-BASED RESOURCE ALLOCATOR SYSTEM TO ENHANCE VIDEO ANALYTICS APPLICATIONS ACCURACY

By

Faishal Zharfan

NIM: 18119002

(Telecommunication Engineering Program)

LaTeX Lorem ipsum (Du dkk., 2020), (Zhang dkk., 2017), (Huang dkk., 2024) Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Keywords: first, second, third.

**PENGEMBANGAN DESAIN SISTEM *SENSITIVITY-BASED*
RESOURCE ALLOCATOR UNTUK MENINGKATKAN
AKURASI PADA APLIKASI *VIDEO ANALYTICS***

Oleh
Faishal Zharfan
NIM: 18119002
(Program Studi Sarjana Teknik Telekomunikasi)

Institut Teknologi Bandung

Menyetujui
Tim Pembimbing

Tanggal 28 Mei 2024

Ketua

Prof. Ir. Hendrawan, M.Sc., Ph.D.
NIP. 196007051987021002

**PENGEMBANGAN DESAIN SISTEM *SENSITIVITY-BASED*
RESOURCE ALLOCATOR UNTUK MENINGKATKAN
AKURASI PADA APLIKASI *VIDEO ANALYTICS***

HALAMAN PENGESAHAN

Oleh
Faishal Zharfan
NIM: 18119002
(Program Studi Teknik Telekomunikasi)

Institut Teknologi Bandung

Menyetujui
Tim Pembimbing

Tanggal 28 Mei 2024

Ketua

Prof. Ir. Hendrawan, M.Sc., Ph.D.
NIP. 196007051987021002

PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir Sarjana yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Institut Teknologi Bandung, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Institut Teknologi Bandung. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kaidah ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Sitasi hasil penelitian Tugas Akhir ini dapat ditulis dalam bahasa Indonesia sebagai berikut:

Zharfan, Faishal. (2024): *Pengembangan Desain Sistem Sensitivity-based Resource Allocator untuk Meningkatkan Akurasi pada Aplikasi Video Analytics*, Tugas Akhir Program Sarjana, Institut Teknologi Bandung

dan dalam bahasa Inggris sebagai berikut:

Zharfan, Faishal. (2024): *The Development of Sensitivity-based Resource Allocator System to Enhance Video Analytics Applications Accuracy*, Undergraduate Final Year Project, Institut Teknologi Bandung

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh Tugas Akhir haruslah seizin Dekan Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung.

Jangan bingung
Tidak usah repot-repot

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya yang telah memberikan kesempatan penulis untuk menyelesaikan salah satu kewajiban dalam menempuh studi sarjana S1 pada Program Studi Teknik Telekomunikasi di Institut Teknologi Bandung yaitu Tugas Akhir berjudul “**Pengembangan Desain Sistem *Sensitivity-based Resource Allocator* untuk Meningkatkan Akurasi pada Aplikasi *Video Analytics*”**”.

Ucapan terima kasih dan rasa syukur juga tidak lupa disampaikan oleh penulis kepada seluruh orang yang telah melancarkan dan membantu dalam pelaksanaan Tugas Akhir yang telah diberikan baik dalam bentuk usaha, waktu, material dan juga dukungan. Tanpa ada dukungan dari orang-orang tersebut, penulis tidak akan mampu untuk menyelesaikan pengerjaan Tugas Akhir ini dengan baik. Maka izinkanlah penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada

1. Orang Tua penulis yang selalu memberikan dukungan finansial maupun secara moral
2. Bapak Prof. Ir. Hendrawan, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang selalu membimbing dan membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini
3. Prof. Junchen Jiang dan Prof. Haryadi S. Gunawi selaku kolaborator yang selalu memberikan masukan
4. Roy Huang selaku rekan kolaborator riset yang telah banyak membantu terkait hal teknis
5. Farhan Krishna selaku rekan TA yang kadang nyebelin

Penulisan buku tugas akhir ini tidak akan bisa dilakukan tanpa adanya orang-orang yang selalu membantu dalam penyelesaiannya. Penulis buku akhir ini hanyalah manusia yang tidak lepas dari kesalahan. Maka dari itu, penulis terbuka dan menerima kritik, saran dan diskusi sebagai bahan perbaikan dan pembelajaran agar penulis dapat menjadi pribadi yang lebih baik lagi kedepannya. Semoga Buku tugas

akhir yang penulis but mampu bermanfaat bagi pembaca, terutama teman-teman
pegiat telekomunikasi.

Bandung, 28 Mei 2024

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR GAMBAR DAN ILUSTRASI	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xiv
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan dan Manfaat	2
1.4 Lingkup Permasalahan	3
1.5 Asumsi-asumsi	3
1.6 Hipotesis	3
1.7 Sistematika Buku Tugas Akhir	3
2 PROSES DAN PENGEMBANGAN DESAIN	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.1.1 Resource Allocator	5
2.1.2 Video Analytics Application	6
2.1.3 Traffic Control	6
2.1.4 gRPC	7
2.2 Persyaratan Desain	8
2.3 Konsep Desain	10
2.4 Pengembangan Desain	10
3 ANALISIS DAN PERANCANGAN	12
3.1 Analisis Masalah	12
3.2 Solusi Umum	12

3.3	Rancangan Solusi	12
4	EVALUASI DAN PEMBAHASAN	14
4.1	Tujuan Pengujian	14
4.2	Skenario Pengujian	14
4.3	Hasil Pengujian	14
4.4	Pembahasan	15
5	PENUTUP	16
5.1	Kesimpulan	16
5.2	Saran	16
	DAFTAR PUSTAKA	17

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Instrumen Pengujian	21
Lampiran B Rincian Kasus Uji	22

DAFTAR GAMBAR DAN ILUSTRASI

Gambar II-1	Use-Case gRPC (gRPC, 2024)	7
Gambar II-2	Objective Tree	8

DAFTAR TABEL

DAFTAR SINGKATAN

SINGKATAN	NAMA	KEMUNCULAN PERTAMA
CNN	Convolutional Neural Network	5
CPU	Central Processing Unit	5
DDS	Server-Driven Video Streaming for Deep Learning Inference	6
GPU	Graphics Processing Unit	5
JCAB	Joint Configuration Adaptation and Bandwidth	5
VAP	Video Analytics Applications	2

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam 5 tahun terakhir, perkembangan teknologi telekomunikasi merupakan salah satu yang paling masif. Hal ini dibuktikan dengan kehadiran standar komunikasi mobile 5G pada tahun 2019. 5G tidak hanya dapat meningkatkan kecepatan internet menjadi 10Gb/s dari yang mulanya hanya 300Mb/s pada 4G LTE-Advanced (Khalifa, 2024a), namun 5G juga memiliki 2 *use-case* lainnya yakni *Massive Machine-Type Communication* dan *Ultra-Reliable Low-Latency Communication* (Reply, 2024).

Hadirnya *Massive Machine-Type Communication* memungkinkan banyak perangkat yang dapat terkoneksi dalam sebuah jaringan. Hal ini dapat mendukung keberlangsungan sistem IoT atau *Internet of Things*. IoT adalah sebuah teknologi komunikasi yang memungkinkan perangkat-perangkat dalam sebuah jaringan dapat berkomunikasi satu sama lainnya sehingga menciptakan sebuah sistem cerdas (Al-Fuqaha dkk., 2015). Perangkat-perangkat yang dimaksud dalam kasus ini adalah berbagai macam sensor. Data yang dikumpulkan dari berbagai macam sensor tersebut akan diproses oleh sebuah perangkat komputasi terpusat yang saat ini dikenal dengan istilah *cloud computing*

Cloud computing memiliki beberapa keterbatasan yakni lokasi yang terbatas sehingga memiliki waktu respon yang cukup lama dan tidak cocok diterapkan pada sistem yang real-time. Untuk mengatasi masalah ini, lahirlah sebuah istilah baru, yakni *Edge Computing* (Satyanarayanan, 2017). *Edge Computing* adalah sebuah paradigma dalam cloud computing yang bertujuan untuk mendekatkan proses komputasi pada perangkat *edge* sehingga pemrosesan dapat dilakukan dalam waktu singkat (Khalifa, 2023).

Masalah yang sering ditemukan pada *Edge Computing* adalah keterbatasan *bandwidth* dan waktu pemrosesan yang relatif lama terutama pada perangkat *edge* yang memiliki ukuran data yang relatif besar. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan sumber daya komputasi yang dimiliki oleh *edge computing* (Mao dkk., 2017).

Contohnya adalah kamera keamanan, kamera akan mengirimkan video pada server untuk dilakukan proses deteksi objek (kendaraan, orang, objek lainnya). Untuk mengatasi masalah tersebut, maka diperlukan lah sebuah sistem cerdas yang dapat mengalokasikan *resource* secara periodik yang bergantung pada kebutuhan tiap kamera sehingga tidak ditemukan *backlog* pada sistem dan juga dapat memperoleh hasil yang maksimal (Cao dkk., 2020).

Dari perumusan masalah tersebut, pada tugas akhir ini akan dirancang sebuah sistem *resource allocator* pada yang berfokus pada *bandwidth* yang berbasis sensitivitas sehingga dapat meminimalkan trade-off antara alokasi bandwidth dan akurasi deteksi pada tiap kamera.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah penelitian yang dirumuskan adalah apakah penggunaan *sensitivity-based resource allocator* yang diajukan dapat meningkatkan rata-rata akurasi dari sistem *video analytics applications* (Video Analytics Applications (VAP)) seperti DDS (Du dkk., 2020) dan lebih baik dari pendahulunya seperti VideoStorm (Zhang dkk., 2017)?

1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan tugas akhir ini adalah untuk menghasilkan sebuah *sensitivity-based resource allocator* yang dapat meningkatkan rata-rata akurasi dari sistem *video analytics applications*

Hadirnya konsep smart city yang mengintegrasikan berbagai macam teknologi seperti kecerdasan buatan pada ekosistem perkotaan yang dapat membuat hidup lebih aman dan nyaman (Khalifa, 2019). Salah satu sistem yang sudah diterapkan adalah sistem untuk mendeteksi plat nomor kendaraan untuk kemudahan identifikasi kendaraan apabila terjadi sebuah pelanggaran. Beberapa tahun terakhir Kepolisian Indonesia menetapkan aturan warna terbaru plat nomor kendaraan menjadi putih, hal ini dilakukan karena warna putih dapat lebih mudah dideteksi oleh model object detection dibandingkan dengan warna hitam (Khalifa, 2024b). Dengan pengimplementasian *resource allocator*, kami berharap performa, yakni akurasi,

yang dihasilkan dari sistem tersebut dapat maksimal sehingga tidak terdapat pelanggar yang bebas tilang.

1.4 Lingkup Permasalahan

Pada topik *Enhancing Video Analytics Accuracy via Real-time Automated Video Compression Parameter Tuning as well as Enabling Resource Allocator*, secara garis besar terdiri dari 2 buah subsistem, yakni *video analytics applications* dan *resource allocator*. Fokus penulis adalah untuk mengembangkan dan menguji *resource allocator*. Selain itu, karena keterbatasan waktu yang diberikan dan alasan keamanan, *resource allocator* hanya dapat bekerja dalam jaringan lokal.

1.5 Asumsi-asumsi

Dalam pengerjaan tugas akhir ini terdapat asumsi-asumsi yang digunakan antara lain:

1. Protokol komunikasi yang digunakan adalah HTTP
2. Kondisi jaringan yang stabil sehingga komunikasi data dapat terus terjalin
3. *Resource allocator* hanya dapat dijalankan pada sistem operasi berbasis kernel Linux
4. Jumlah *client* atau kamera yang dapat terkoneksi adalah sebanyak 3 buah

1.6 Hipotesis

Penggunaan *resource allocator* yang diintegrasikan dengan gRPC dan *self-adaptive VAP* dapat memberikan gambaran kondisi kebutuhan bandwidth tiap kamera sehingga alokasi bandwidth ideal akan diperoleh yang berakibat pada peningkatan akurasi

1.7 Sistematika Buku Tugas Akhir

Pada bab 2 menjelaskan hal-hal terkait pengembangan dan perancangan *resource allocator* yang dimulai dari tinjauan pustaka, persyaratan desain, konsep desain, dan pengembangan desain.

Pada bab 3 menjelaskan hal-hal terkait model desain dan implementasi dari *resource allocator*.

Pada bab 4 menjelaskan hal-hal terkait pengujian desain dan analisis hasil pengujian dari *resource allocator* yang telah dibuat.

Pada bab 5 menjelaskan kesimpulan dari seluruh pengerjaan tugas akhir dan saran untuk pengembangan topik kedepannya.

BAB II PROSES DAN PENGEMBANGAN DESAIN

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Resource Allocator

Kehadiran sebuah *resource allocator* merupakan hal yang sangat krusial pada keberlangsungan sistem *edge computing*. Keterbatasan sumber daya komputasi merupakan motivasi utama dibalik kebutuhan sistem ini. Sumber daya komputasi harus secara cerdas dan tepat dialokasikan sesuai dengan kebutuhan perangkat *edge* sehingga tidak terdapat *backlog* yang dapat menurunkan performansi (Cao dkk., 2020). Sumber daya komputasi yang bisa dialokasikan berupa Central Processing Unit (CPU), Graphics Processing Unit (GPU), *bandwidth*, *memory*, dan *storage* (Mao dkk., 2017).

Beberapa peneliti sudah mengajukan sistem *resource allocator*, diantaranya adalah VideoStorm (Zhang dkk., 2017), Joint Configuration Adaptation and Bandwidth (JCAB) (Wang dkk., 2020), dan AutoML *for VAP* (Galanopoulos dkk., 2021). JCAB melakukan alokasi berdasarkan *bandwidth* dan model Convolutional Neural Network (CNN), artinya pada suatu sistem, terdapat beberapa model yang di-*deploy* berdasarkan resolusi video masukan. Tiap kumpulan video akan didistribusikan pada model CNN yang berbeda-beda mengikuti konfigurasi video yang sudah ditentukan sebelumnya.

Sementara AutoML *for VAP* adalah sebuah *framework* AutoML yang sengaja dibuat untuk memilih konfigurasi yang teroptimasi untuk VAP dan pembuatan model CNN. VideoStorm, di lain sisi adalah sebuah *resource allocator* yang melakukan alokasi terhadap *bandwidth*. Cara kerja VideoStorm adalah pertama-tama kamera-kamera akan mengirimkan video kepada server. Lalu pada suatu periode tertentu, VideoStorm akan melakukan alokasi *bandwidth* dengan menganalisis hasil dari beberapa detik sebelumnya dan menentukan *bandwidth* yang sesuai dengan kebutuhannya.

2.1.2 Video Analytics Application

Faktor utama keberhasilan sebuah sistem *Video Analytics* selaras dengan *Video Analytics Application* (VAP) yang digunakan. Semakin cerdas VAP maka akan semakin baik performansi yang dihasilkan oleh sistem. (Ananthanarayanan dkk., 2017) mengatakan bahwa VAP merupakan sistem yang sangat kompleks jika ingin diterapkan pada jaringan *edge*. Hal ini diakibatkan oleh video yang memiliki ukuran data yang relatif besar dan waktu pemrosesan yang cukup lama. Sehingga diperlukan pertimbangan yang sangat matang dalam mendesain sebuah VAP.

Sebuah sistem VAP terdiri dari *client*, *middleware*, dan *server*. *Client* biasanya berupa kamera yang digunakan untuk menangkap video dan melakukan beberapa proses seperti *encoding* untuk dikirimkan kepada *server*. *Middleware* adalah sebuah sistem yang menghubungkan *client* dengan *server* yang berfungsi untuk menjamin keberlangsungan transmisi data antar keduanya (IBM, 2021). Sementara *server* berguna untuk memproses data seperti melakukan deteksi objek, mengklasifikasikan objek, atau melakukan kegiatan komputasi lainnya.

Beberapa VAP sudah diajukan diantaranya adalah Server-Driven Video Streaming for Deep Learning Inference (DDS) (Du dkk., 2020), AWSStream (Zhang dkk., 2018), Reducto (Li dkk., 2020), dan Glimpse (Chen dkk., 2015). DDS adalah sebuah VAP yang bekerja dengan cara mengirim video menggunakan 2 kali iterasi sehingga dapat diperoleh hasil yang baik. Salah satu persyaratan dalam mendesain VAP adalah *self-adaptability* (Jiang dkk., 2018), hal ini bermakna bahwa VAP dapat beradaptasi dengan kondisi lingkungannya dengan cara mengubah konfigurasi videonya.

2.1.3 Traffic Control

Traffic control atau lebih dikenal dengan *tc* adalah sebuah *tools* pada linux yang dapat digunakan untuk memegang kendali atas trafik pada kernel linux (The Linux Documentation Project, 2024). Beberapa fungsi utama dari *tc* adalah *SHAPING*, *SCHEDULING*, *POLICING*, dan *DROPPING*.

Salah satu *use-case* yang paling sering digunakan yakni *tc* akan digunakan sebagai alat yang dapat mengontrol transmisi dari sebuah *interface* jaringan, salah satunya

adalah untuk menurunkan atau mengelompokkan *ingress bandwidth* ke beberapa *virtual interface* sehingga kelakuannya dapat dikontrol.

2.1.4 gRPC

gRPC adalah sebuah *framework* RPC atau *Remote Procedure Call open source* universal yang dikembangkan oleh Google (gRPC, 2024). gRPC digunakan sebagai *tools* penghubung antar perangkat atau perangkat dengan *server* yang dapat dicopot pasang secara mudah.



Gambar II-1. Use-Case gRPC (gRPC, 2024)

gRPC adalah *framework* RPC yang universal, hal ini bermakna bahwa gRPC mendukung komunikasi data menggunakan bahasa pemrograman yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar II-1. gRPC menggunakan *Protocol Buffers* atau protobuf sebagai struktur data pada pesan yang dikirimkan, secara sekilas, protobuf mirip seperti JSON, namun protobuf universal, lebih ringan, dan lebih cepat dari segi performansi.

gRPC mendukung berbagai macam jenis komunikasi yakni

1. *Unary RPC* yaitu *client* akan mengirimkan sebuah *request* dan *server* akan mengirimkan sebuah respon. Pada komunikasi ini, hanya *server* yang dapat mengirimkan respon, tidak berlaku sebaliknya

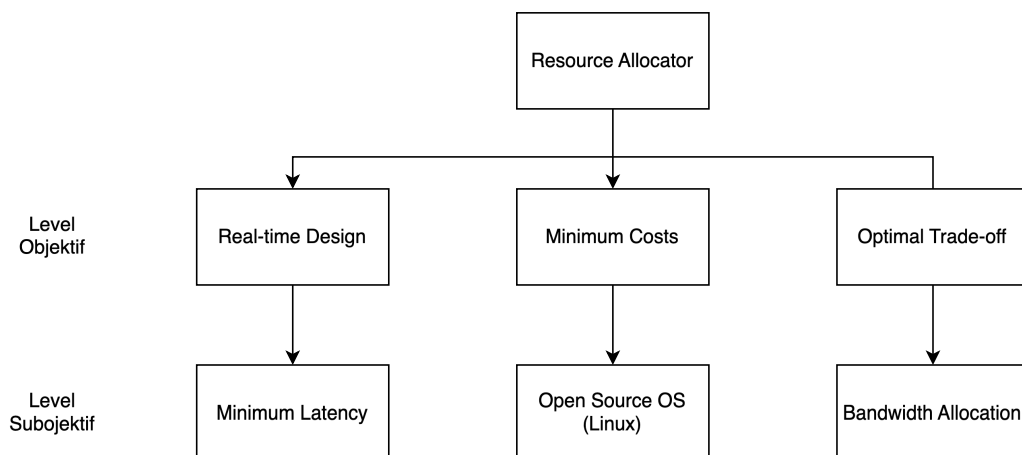
2. *Server streaming RPC* yaitu *client* akan mengirimkan sebuah *request* dan *server* akan mengirimkan respon yang tak henti hingga pesannya selesai.
3. *Client streaming RPC* yaitu kebalikannya dari *Server streaming RPC*, yakni *server* yang akan melakukan *request* dan *client* yang akan mengirimkan pesan tak henti.
4. *Bidirectional streaming RPC* yaitu *client* dan *server* dapat mengirim *request* dan mendapat respon dari satu sama lain

2.2 Persyaratan Desain

Resource allocator yang dirancang akan diintegrasikan dengan sebuah VAP terbaik dari segi performansi yakni DDS. Berdasarkan II.x, harus bisa memenuhi rancangan sebagai berikut. Ini nanti dielaborasi lagi. Diturunin objektif seperti berikut

1. *Resource allocator* bersifat real-time (*Real-time design*)
2. *Resource allocator* harus bisa melakukan tradeoff yang minimal antara bandwidth dan akurasi (*Optimal Trade-off*)
3. *Resource allocator* memiliki harga pengembangan yang minimal (*Minimum Costs*)

Dari objektif tersebut, diturunkan subobjektif sebagai berikut. Bla Bla



Gambar II-2. Objective Tree

- Objektif 1: *Real-time Design*
 - Subobjektif 1: Latensi Minimum
- Objektif 2: *Trade-off* optimal
 - Subobjektif 2: Alokasi *bandwidth* terhadap akurasi *inference*
- Objektif 3: Harga minimum
 - Subobjektif 3: Sistem operasi yang bersifat *open source*

Dari subobjektif tersebut, lahirlah constraint sebagai berikut

- Objektif 1: *Real-time Design*
 - Subobjektif 1: Latensi Minimum
 - *Constraint*: Latensi E2E tidak melebihi 1 detik
- Objektif 2: *Trade-off* optimal
 - Subobjektif 2: Alokasi *bandwidth* terhadap akurasi *inference*
 - *Constraint*: Ketersediaan *bandwidth* yang terbatas untuk klien sumber video
- Objektif 3: Harga minimum
 - Subobjektif 3: Sistem operasi yang bersifat *open source*
 - *Constraint*: Harus menggunakan sistem operasi Linux

trs lahir ini deh Fungsional

Subobjektif dan <i>Constraint</i>	Persyaratan Fungsional	Fungsi
<p>Subobjektif 1: Latensi Minimum</p> <p><i>Constraint:</i> Latensi E2E tidak melebihi 1 detik</p> <p>Subobjektif 2: Alokasi <i>bandwidth</i> terhadap akurasi <i>inference</i></p> <p><i>Constraint:</i> Ketersediaan <i>bandwidth</i> yang terbatas untuk klien sumber video</p> <p>Subobjektif 3: Sistem operasi yang bersifat <i>open source</i></p> <p><i>Constraint:</i> Harus menggunakan sistem operasi Linux</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Latensi E2E (end-to-end) pada sistem tidak lebih dari 1 detik untuk menghindari terjadinya backlog saat pengukuran overhead 2. Kebutuhan alokasi efisien terhadap ketersediaan <i>bandwidth</i> yang terbatas untuk mencapai nilai akurasi inferensi yang terbaik 3. Linux digunakan sebagai operating system karena beberapa program hanya dapat berjalan pada OS tersebut (contohnya: TC) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. lorem

2.3 Konsep Desain

2.4 Pengembangan Desain

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue,

a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

BAB III ANALISIS DAN PERANCANGAN

3.1 Analisis Masalah

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

3.2 Solusi Umum

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

3.3 Rancangan Solusi

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies

vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

BAB IV EVALUASI DAN PEMBAHASAN

4.1 Tujuan Pengujian

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

4.2 Skenario Pengujian

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

4.3 Hasil Pengujian

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies

vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

4.4 Pembahasan

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

5.2 Saran

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., and Ayyash, M. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4):2347–2376.
- Ananthanarayanan, G., Bahl, P., Bodík, P., Chintalapudi, K., Philipose, M., Ravindranath, L., and Sinha, S. (2017). Real-time video analytics: The killer app for edge computing. *Computer*, 50(10):58–67.
- Cao, K., Liu, Y., Meng, G., and Sun, Q. (2020). An overview on edge computing research. *IEEE Access*, 8:85714–85728.
- Chen, T. Y.-H., Ravindranath, L., Deng, S., Bahl, P., and Balakrishnan, H. (2015). Glimpse: Continuous, real-time object recognition on mobile devices. In *Proceedings of the 13th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, SenSys '15*, page 155–168, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Du, K., Pervaiz, A., Yuan, X., Chowdhery, A., Zhang, Q., Hoffmann, H., and Jiang, J. (2020). Server-driven video streaming for deep learning inference. In *Proceedings of the Annual Conference of the ACM Special Interest Group on Data Communication on the Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communication, SIGCOMM '20*, page 557–570, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Galanopoulos, A., Ayala-Romero, J. A., Leith, D. J., and Iosifidis, G. (2021). Automl for video analytics with edge computing. In *IEEE INFOCOM 2021 - IEEE Conference on Computer Communications*, pages 1–10.
- gRPC (2024). grpc - a high performance, open source universal rpc framework.
- Huang, Y., Zharfan, F., Hendrawan, Gunawi, H. S., and Jiang, J. (2024). Concierge: Towards accuracy-driven bandwidth allocation for video analytics applications in

- edge network. In *2024 IEEE International Conference on Edge Computing & Communications (EDGE 24)*. IEEE.
- IBM (2021).
- Jiang, J., Ananthanarayanan, G., Bodik, P., Sen, S., and Stoica, I. (2018). Chameleon: scalable adaptation of video analytics. In *Proceedings of the 2018 Conference of the ACM Special Interest Group on Data Communication, SIGCOMM '18*, page 253–266, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Khalifa, E. (2019). Smart cities: Opportunities, challenges, and security threats. *Journal of Strategic Innovation and Sustainability*, 14(3).
- Khalifa, E. (2023).
- Khalifa, E. (2024a).
- Khalifa, E. (2024b).
- Li, Y., Padmanabhan, A., Zhao, P., Wang, Y., Xu, G. H., and Netravali, R. (2020). Reducto: On-camera filtering for resource-efficient real-time video analytics. In *Proceedings of the Annual Conference of the ACM Special Interest Group on Data Communication on the Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communication, SIGCOMM '20*, page 359–376, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Mao, Y., You, C., Zhang, J., Huang, K., and Letaief, K. B. (2017). A survey on mobile edge computing: The communication perspective. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(4):2322–2358.
- Reply, T. (2024). What is 5g - an introduction to the technology.
- Satyanarayanan, M. (2017). The emergence of edge computing. *Computer*, 50(1):30–39.
- The Linux Documentation Project (2024). tc - tool for controlling traffic in linux.
- Wang, C., Zhang, S., Chen, Y., Qian, Z., Wu, J., and Xiao, M. (2020). Joint configuration adaptation and bandwidth allocation for edge-based real-time

video analytics. In *IEEE INFOCOM 2020 - IEEE Conference on Computer Communications*, pages 257–266.

Zhang, B., Jin, X., Ratnasamy, S., Wawrzynek, J., and Lee, E. A. (2018). Awstream: adaptive wide-area streaming analytics. In *Proceedings of the 2018 Conference of the ACM Special Interest Group on Data Communication, SIGCOMM '18*, page 236–252, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.

Zhang, H., Ananthanarayanan, G., Bodik, P., Philipose, M., Bahl, P., and Freedman, M. J. (2017). Live video analytics at scale with approximation and Delay-Tolerance. In *14th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI 17)*, pages 377–392, Boston, MA. USENIX Association.

LAMPIRAN

Lampiran A Instrumen Pengujian

Lampiran B Rincian Kasus Uji