

# **Analisis Komparasi Performa *Content Delivery Network (Cdn)* Dalam Implementasi *Video On Demand* Dan *Live Server* Berbasiskan Teknologi *Cloud Computing***

## ***Comparative Analysis Of Content Delivery Network (Cdn) Performance In Video On Demand And Live Server Implementation Based On Cloud Computing Technology***

1<sup>st</sup> Risyaf Fawwaz Pradipta  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
risyaffp@student.telkomuniversity.ac.id

2<sup>nd</sup> Rendy Munadi  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
rendymunadi@telkomuniversity.ac.id

3<sup>rd</sup> Asep Mulyana  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
asepmulyana@telkomuniversity.ac.id

### **Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk optimalisasi jaringan server khususnya web application dengan menggunakan distribusi Content Delivery Network (CDN) dan edge location pada cloud. Terdapat 2 aplikasi yang akan diimplementasikan sebagai parameter pengujian yaitu aplikasi website Video on Demand (VoD) untuk melihat dan menganalisa data berupa video data serta platform komunikasi (communication platform) yang akan diterapkan berbasiskan docker dan container pada cloud untuk melihat dan menganalisa data berupa file objek.

Fokus penelitian ini adalah untuk melihat perbandingan komparatif Quality of Service (QoS) antara penggunaan CDN dan tanpa penggunaan CDN yang mana dalam aplikasi VoD akan memiliki arsitektur Infrastructure as a Service (IaaS) dengan 2 master application server dan 1 master database server dalam satu cloud region yang terintegrasi dengan load balancing. Sedangkan pada penerapan aplikasi

komunikasi akan memiliki arsitektur Platform as a Service (PaaS) yang hanya memiliki 1 master server dan terintegrasi dengan docker dan container.

Hasil penelitian yang diperoleh pada perbandingan sistem VoD didapatkan bahwa QoS keseluruhan data pada sistem VoD menunjukkan kenaikan throughput sebesar 50,4%, kenaikan jitter sebesar 44% dan RTT sebesar 74,8% serta diimbangi kestabilan yang lebih baik. Pada sistem live chat, didapatkan hasil QoS yang menunjukkan kenaikan throughput sebesar 99,9%, jitter sebesar 83,6% dan RTT sebesar 50,7%. Oleh karenanya penggunaan CDN terhadap data video streaming maupun data berbentuk file objek terbukti dapat meningkatkan performansi yang lebih baik dan stabil.

**Kata Kunci:** *cloud computing, content delivery network, CDN, data traffic, computer resources, network, database, IaaS, PaaS.*

### **Abstract**

*This study aims to optimize server networks, especially web applications by using Content Delivery Network (CDN) distribution and edge location in the cloud. There are 2 applications that will be implemented as testing parameters, namely the Video on Demand (VoD) website application to view and analyze data in the form of video data and a communication platform (communication platform) which will be applied based on docker and container in the cloud to view and analyze data in the form of object files.*

*The focus of this study is to see a comparative comparison of Quality of Service (QoS) between CDN usage and no CDN usage where in VoD applications will have an Infrastructure as a Service (IaaS) architecture with 2 master application servers and 1 master database server in one cloud region integrated with load balancing. Meanwhile, the implementation of the communication application will have a Platform as a Service (PaaS) architecture which only has 1 master server and is integrated with docker and containers.*

*The results of the study obtained in the comparison of VoD systems found that the QoS of all data on the VoD system showed an increase in throughput of 50.4%, an increase in jitter by 44% and RTT of 74.8% and was offset by better stability. In the live chat system, QoS results were obtained which showed an increase in throughput by 99.9%, jitter by 83.6% and RTT by 50.7%. Therefore, the use of CDN for streaming video data and data in the form of object files is proven to be able to improve better and more stable performance.*

**Key Words:** *cloud computing, content delivery network, CDN, data traffic, computer resources, network, database, IaaS, PaaS.*

### **I. PENDAHULUAN**

Perkembangan teknologi telah membuat banyak sekali perubahan di dalam kehidupan manusia, khususnya perkembangan di bidang telekomunikasi. Internet menjadi salah satu teknologi yang saat ini sudah menjadi kebutuhan primer manusia, hal ini turut berpengaruh pada pertumbuhan traffic jaringan komunikasi data yang semakin tinggi khususnya data

dalam format video. Saat ini video streaming menjadi salah satu penyumbang traffic data terbesar dibandingkan dengan format data lain, secara global di tahun 2020 traffic data internet dalam format video sudah mencapai 127.8 Exabytes per bulan [1] dan dalam 1 Tahun, traffic data internet dalam format video sudah mencapai 1.55 Zettabytes. Pertumbuhan traffic data tersebut tentu akan sangat mempengaruhi kualitas dari konten yang dikirimkan, baik dari sisi bandwidth maupun server load, hal ini tentu menjadi perhatian utama karena akan sangat berdampak pada Quality of Service (QoS) penyedia layanan, terlebih dengan banyaknya komunikasi data di seluruh dunia yang saling berkesinambungan.

Edge computing merupakan terminologi baru yang mana sumber daya komputer (computing resources) ditempatkan di “tepi” (edge) jaringan internet dengan jarak yang lebih dekat dengan pengguna [2] baik dalam bentuk mobile application, web application, Video on Demand, IoT Sensors hingga arsitektur 5G yang menggunakan cloud – edge. Penggunaan edge computing memungkinkan developer untuk melakukan running dan debugging code langsung atau melakukan caching pada edge dengan jarak yang lebih dekat dengan user.

Content Delivery Network (CDN) on the cloud merupakan salah satu teknologi yang termasuk ke dalam edge computing dalam penerapan mobile application, web application hingga arsitektur telekomunikasi. CDN memungkinkan layanan untuk meningkatkan performa jaringan, memaksimalkan bandwidth, dan aksesibilitas melalui replikasi konten dan distribusi konten [3].

Indonesia sebagai negara kepulauan juga masih banyak memiliki daerah yang disebut dengan istilah 3T (Terdepan, Terpencil, dan Tertinggal), yang mana di beberapa daerah 3T hanya memiliki konektivitas 3G, 2G atau bahkan tidak terdapat konektivitas sama sekali. Permasalahan ini juga merupakan tantangan bagi penyedia layanan di Indonesia untuk dapat memberikan akses terhadap wilayah tersebut. Dengan semakin masifnya data traffic secara global maupun nasional, diharapkan dengan perancangan, implementasi percobaan, dan analisa pada riset ini, penyedia layanan dapat meningkatkan QoS dan dapat memberikan akses layanan secara maksimal terhadap

pengguna yang memiliki konektivitas terbatas di wilayah tersebut.

Dengan permasalahan tersebut pula, maka dalam penelitian ini akan dilakukan perancangan, implementasi, dan analisa perbandingan terhadap performansi video on demand (VoD) beserta live chat server dengan menggunakan CDN on the edge dan tanpa menggunakan CDN on the edge berbasis teknologi cloud.

## II. KAJIAN TEORI

### 2.1 Cloud Computing

Cloud Computing atau dalam Bahasa Indonesia disebut komputasi awan, merupakan layanan on demand yang menyediakan sumber daya computer system (server/data center), storage, database, jaringan, dan perangkat lunak yang dapat diakses serta digunakan melalui jaringan internet tanpa ada kontak fisik secara langsung dengan user. [4]

#### 2.1.1 Edge Computing

Peneliti sendiri memiliki berbagai macam definisi mengenai edge computing salah satunya menyatakan bahwa “Edge Computing merupakan sebuah model komputasi baru yang dapat menjalankan komputasi pada tepi jaringan (edge). Downlink data pada edge computing merepresentasikan cloud service dan uplink data pada edge computing merepresentasikan Internet of Everything sedangkan arti “Edge” dalam edge computing mengarah kepada segala sesuatu mengenai sumber daya komputasi dan jaringan (computing and network resources) yang berjalan di antara sumber data (source) dan tujuan data dari cloud computing center” [7] [8] [9]. Dalam penelitian ini penulis sendiri juga ingin mengajukan definisi mengenai edge computing, seperti namanya “Edge” yang jika diartikan dalam bahasa Indonesia berarti “Tepi” adalah sebuah computing framework terdistribusi yang memungkinkan aplikasi atau data (network data, storage data, dan sumber daya lainnya) untuk dapat ditempatkan lebih dekat secara geografis (di tepi) terhadap pengguna atau user.

### 2.2 Virtualisasi

Pada cloud, virtualisasi digunakan sebagai salah satu dasar teknologi untuk pelayanan compute engine, virtualisasi merupakan sebuah proses berbasis software atau virtual, representasi dari sesuatu baik itu aplikasi virtual, server, ruang penyimpanan

(storage), maupun sebuah jaringan (network).

### 2.2.1 Content Delivery Network (CDN)

CDN merupakan infrastruktur terdistribusi yang bertujuan untuk mengirimkan konten lebih dekat ke pengguna dengan performa yang tinggi [12].

### 2.3 Docker & Container

Arsitektur yang akan digunakan pada penerapan rocket chat adalah Platform as a Service (PaaS) yang mana pada sistem ini akan menggunakan docker dan container sebagai dasar aplikasinya. Docker sendiri merupakan layanan yang menyediakan kemampuan untuk mengemas dan menjalankan aplikasi dalam suatu lingkungan terisolasi (container).

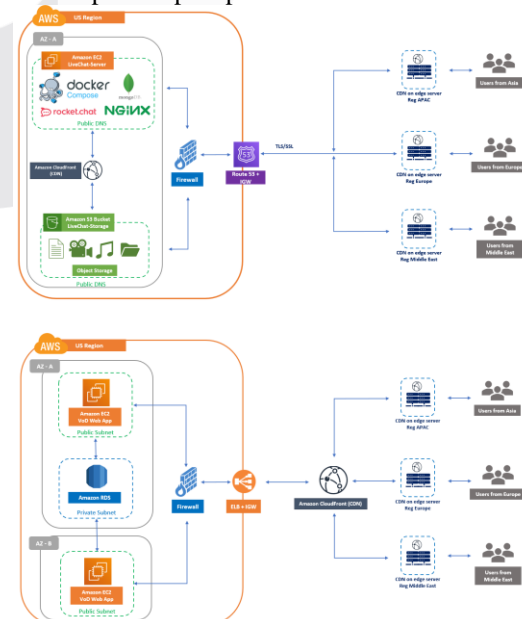
### 2.3 Quality of Service (QoS)

QoS dalam sebuah jaringan merupakan sebuah komponen alat ukur yang digunakan untuk memastikan kemampuan perangkat jaringan dalam memberikan layanan secara maksimal terhadap limitasi kemampuan perangkat jaringan tersebut [15]. Dengan kata lain QoS dapat didefinisikan sebagai parameter kualitas layanan pada suatu jaringan.

## III. METODE

### 3.1 Desain arsitektur sistem

Pada gambar 3.1 dibawah menjelaskan desain arsitektur sistem terhadap 2 sampel aplikasi



Gambar 3.1 Desain arsitektur sistem Live Chat & VoD

### 3.2 Spesifikasi komponen penyusun

Spesifikasi *Hardware* dalam perancangan sistem ini adalah sebagai berikut :

1. EC2 dan Storage Disk :

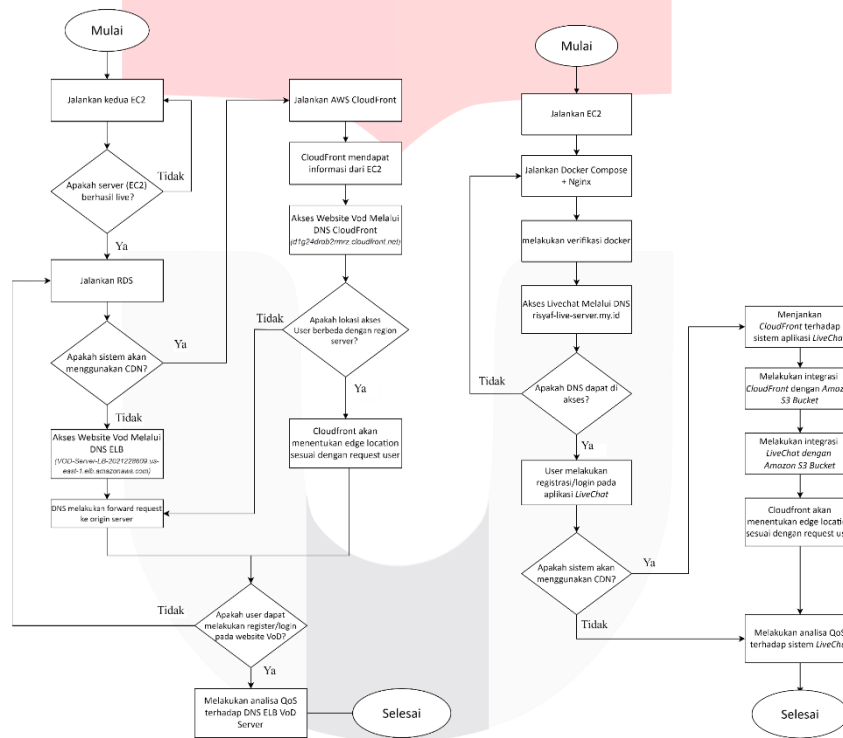
Instance Type Class	T2.micro
vCPUs	2
Architecture	X86_64
Memory	1 GB
Network Performance	Up to 5 Gigabit
Storage Disk	EBS 8 GB (GP2 SSD)

### 2. RDS

Instance Type Class	T2.micro
vCPUs	2
Engine	MySQL_Community
Memory	1 GB
Network Performance	Up to 5 Gigabit
Storage Disk	EBS 8 GB (GP2 SSD)

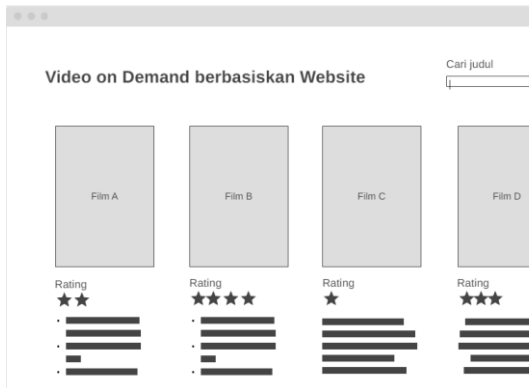
### 3.4 Diagram alir cara kerja sistem

Berikut dijelaskan pada gambar 3.2 mengenai perancangan diagram alir cara kerja sistem yang dibuat :



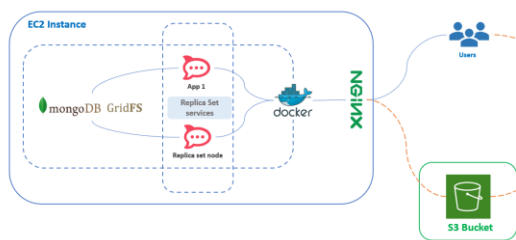
Gambar 3.2 Diagram alir cara kerja sistem VoD (kiri) dan Live Chat (kanan)

### 3.5 Desain Aplikasi



Gambar 3.3 Perancangan sistem interface aplikasi

Gambar 3.3 menjelaskan *interface* atau tampilan perancangan sistem aplikasi pada website yang akan dilakukan percobaan. Data video akan di capture dan di analisa dengan melakukan perbandingan antara menggunakan CDN dan tanpa CDN. Gambar 3.4 dibawah menunjukan desain aplikasi pada sistem live chat.



Gambar 3.4 Perancangan sistem interface aplikasi

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat 3 skenario pengujian utama dalam pengerjaan tugas akhir ini. Pertama adalah pengujian fungsionalitas pada website aplikasi VoD dan live chat server EC2, kedua pengukuran QoS terhadap aplikasi Video on Demand dengan parameter throughput, jitter dan RTT (latency) pada saat menggunakan CDN dan tanpa menggunakan CDN. Skenario terakhir adalah pengukuran QoS terhadap live chat server saat menggunakan CDN dan tanpa menggunakan CDN.

4.1 Pengujian QoS terhadap VoD

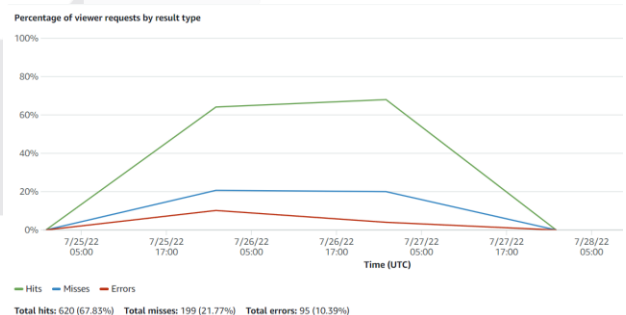
Pengujian QoS pada sistem VoD dilakukan dengan menggunakan beberapa tools, seperti Wireshark, Thousandeyes by Cisco, WebPageTest by Catchpoint dan CloudFront monitoring tools by AWS. Berikut merupakan tabel hasil pengujian QoS terhadap sistem VoD dengan dan tanpa CDN:

Pengujian Ke -	VoD QoS dengan CDN		
	Throughput (Kb/s)	Jitter (ms)	RTT (Latency) (ms)
1	1209	6,3	12,6
2	1226	6,3	12,6
3	1205	6,5	12,8
4	1211	6,4	12,8
5	1198	6,5	12,9
6	1262	6,2	12,6
7	1245	6,3	12,6
8	1262	6,1	12,5
9	1252	6,2	12,5
10	1294	5,9	12,1
Rata-rata	1236,4	6,27	12,6

Tabel 4.1 Perbandingan QoS VoD tanpa CDN (kiri) dan dengan CDN (kanan)

Pengujian Ke -	VoD QoS tanpa CDN		
	Throughput (Kb/s)	Jitter (ms)	RTT (Latency) (ms)
1	381	25	50,1
2	672	60	120,3
3	933	10,5	22,2
4	1058	9,3	20,1
5	1016	9,6	20,4
6	577	100	203,2
7	942	10,5	22,3
8	973	10	20,2
9	688	11,5	23,6
10	978	10	20,1
Rata-rata	821,8	20,5	50,03

Adapun hasil CHR yang didapat melalui CloudFront monitoring tools pada gambar 4.1 di bawah untuk sistem VoD adalah sebesar 75%. Rasio ini disebabkan adanya keterbatasan pada sistem caching CDN yang mana sistem caching ini bersifat sementara dan akan tersimpan berdasarkan banyaknya user yang melakukan request akses.



Gambar 4.1 CHR VoD

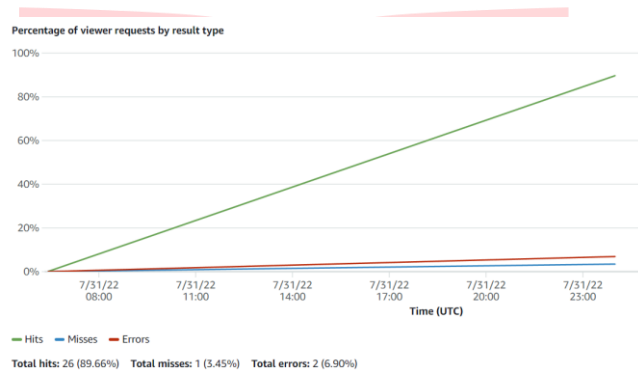
4.2 Pengujian QoS terhadap Live Chat

Berikut merupakan table perbandingan QoS terhadap sistem Live Chat Server dengan menggunakan CDN dan tanpa CDN:

Pengujian Ke -	LiveChat dengan CDN			Pengujian Ke -	LiveChat tanpa CDN		
	Throughput (Kb/s)	Jitter (ms)	RTT (Latency) (ms)		Throughput (Kb/s)	Jitter (ms)	RTT (Latency) (ms)
1	1564	5,1	10,1	1	813	7,2	14,5
2	1791	4,4	8,9	2	1215	6,2	12,6
3	1546	5,1	10,2	3	1194	6,9	14,2
4	1679	4,5	9,2	4	623	13,2	26,6
5	1843	3,9	8,1	5	1107	6,7	13,5
6	1558	5	10,1	6	401	16	32,2
7	1542	5,1	10,1	7	396	16	32,1
8	1684	4,5	9,2	8	1105	6,7	14,1
9	1811	4	8,1	9	970	8,1	16,4
10	1538	5,1	10,2	10	455	15,5	31,3
Rata-rata	1655,6	4,67	9,42	Rata-rata	827,9	10,25	19,11

Tabel 4.3 Perbandingan QoS Live Chat tanpa CDN (kiri) dan dengan CDN (kanan)

Adapun hasil CHR yang didapat melalui CloudFront monitoring tools pada sistem Live Chat adalah sebesar 96%.

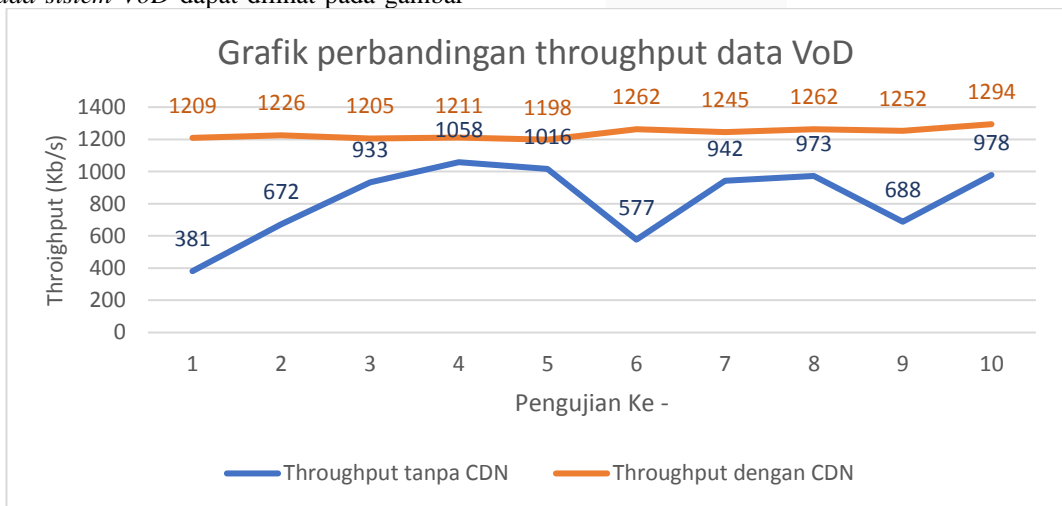


Gambar 4.2 CHR VoD

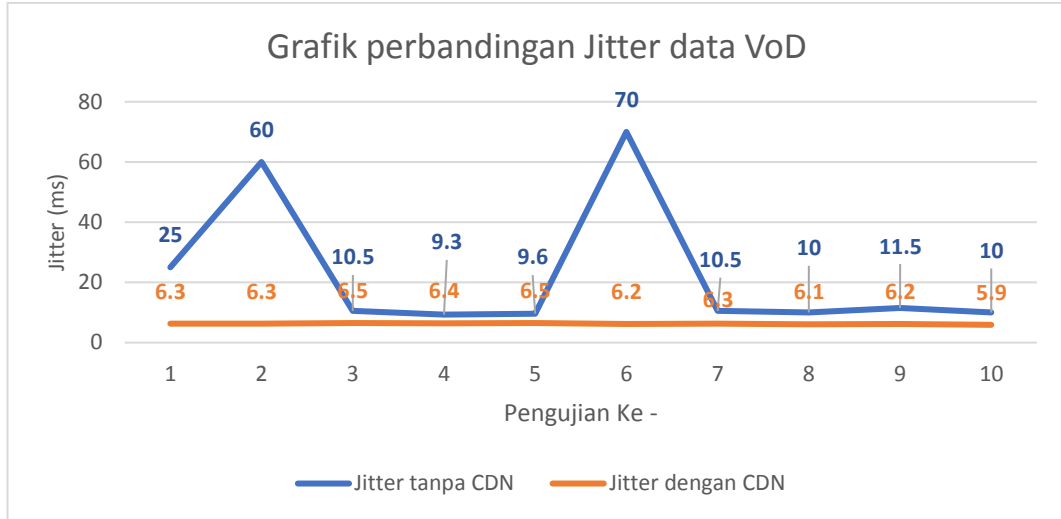
berikut, dimana ada perbedaan yang cukup signifikan pada parameter QoS meliputi Throughput, Jitter dan RTT.

**4.3 Analisis Perbandingan**

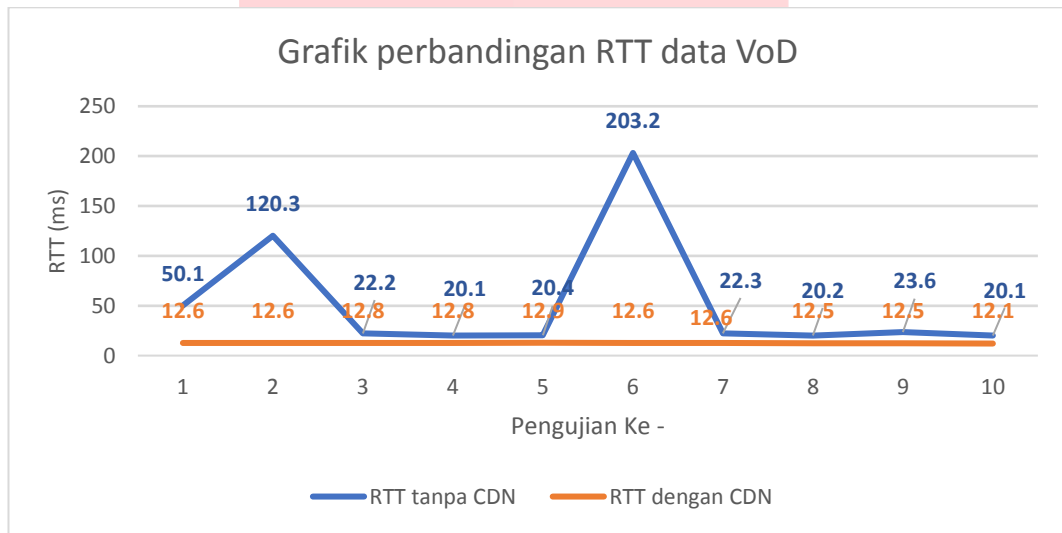
Pengujian Analisis perbandingan pada sistem VoD dapat dilihat pada gambar



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Throughput pada VoD



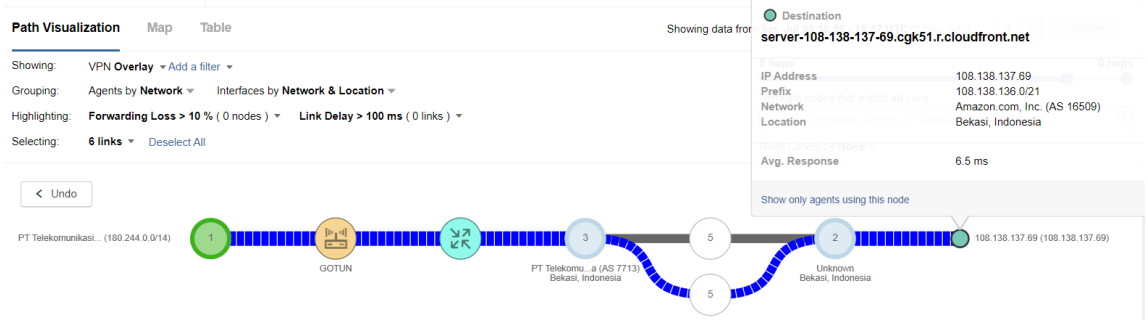
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Jitter pada VoD



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan RTT pada VoD

Adapun perbandingan diagram hops penggunaan CDN dan tanpa CDN adalah sebagai berikut:





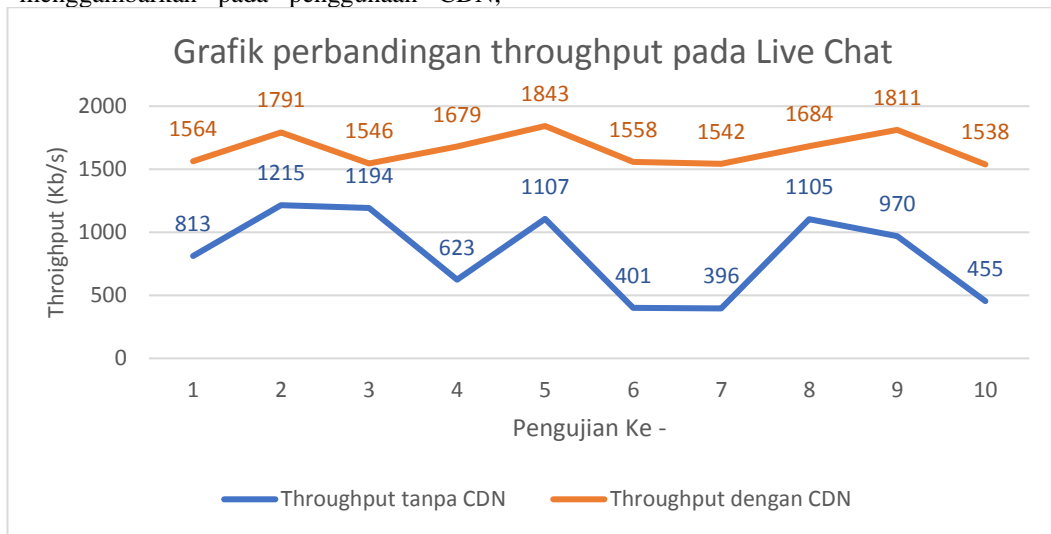
Gambar 4.4 Perbandingan Hops Sistem tanpa CDN (atas) & dengan CDN (bawah)

Dapat terlihat dari grafik perbandingan QoS dengan menggunakan CDN dan tanpa CDN pada gambar 4.1-4.3 bahwa penggunaan CDN menunjukkan performansi yang lebih baik dan lebih efisien terhadap video streaming data. Pada penggunaan CDN, QoS keseluruhan data menunjukkan kenaikan throughput sebesar 50,4%, kenaikan jitter sebesar 44% dan RTT sebesar 74,8% serta diimbangi kestabilan yang lebih baik. Hal ini tentu dipengaruhi juga oleh banyaknya hops yang dilalui, terlihat jaringan hops pada gambar 4.4 di atas menggambarkan pada penggunaan CDN,

user melakukan request data yang langsung direspon oleh server terdekatnya (dalam hal ini adalah edge server AWS yang ada di Bekasi, Indonesia), berbeda dengan tanpa menggunakan CDN, hops yang digunakan jauh lebih banyak untuk bisa sampai ke server asal. Hal inilah yang menyebabkan tingginya RTT yang di dapat.

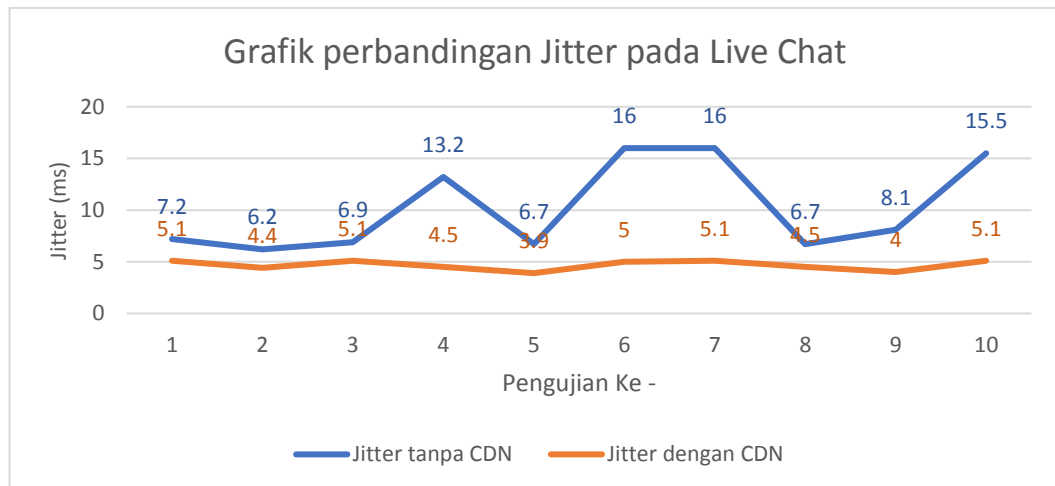
### 4.3.2 Analisis perbandingan QoS terhadap Live Chat Server

Berikut hasil analisis perbandingan QoS terhadap Live Chat server berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan.

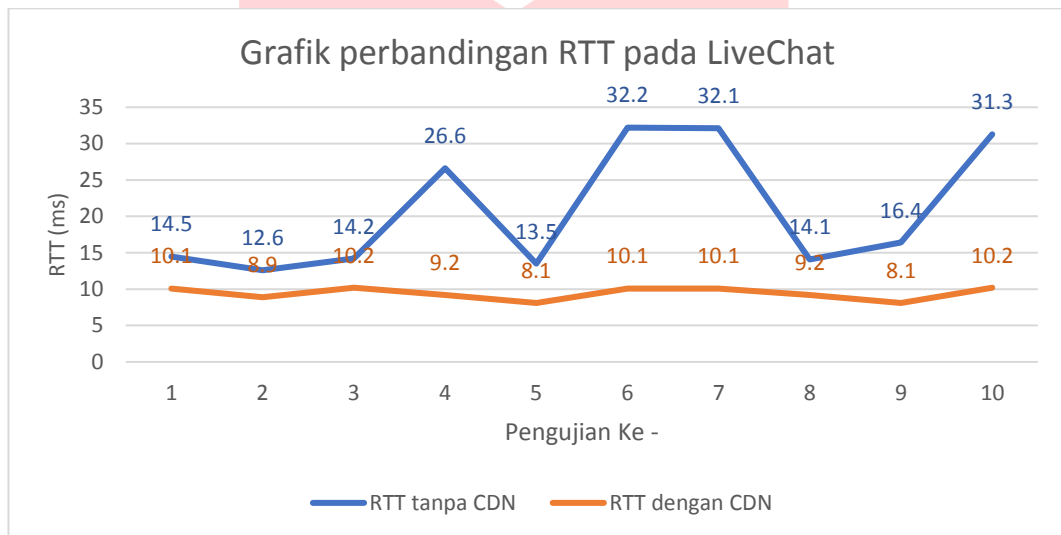


Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Throughput pada Live Chat





Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Jitter pada Live Chat



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan RTT pada Live Chat

Sama halnya dengan analisa pada sistem *video streaming data* sebelumnya, gambar 4.7-4.9 menjelaskan grafik perbandingan QoS dengan menggunakan CDN dan tanpa CDN pada sistem *Live Chat*. Grafik menunjukkan performansi penggunaan CDN juga lebih baik dan lebih efisien terhadap data berbasis *file* objek. QoS keseluruhan data menunjukan kenaikan *throughput* sebesar 99,9%, kenaikan *jitter* sebesar 83,6% dan RTT sebesar 50,7%. Hal ini menunjukan bahwa performa *download* pada aplikasi *Live Chat* memiliki performa 2 kali lipat dibandingkan dengan tanpa CDN. Akurasi terhadap jumlah sampel citra adalah pengujian yang dilakukan ketika proses *Pre-processing* citra yang mana pada proses ini terjadi pengambilan citra dari RGB secara realtime untuk diproses menjadi *greyscale*, *cropping* dan *scaling*, jumlah hasil citra ini lah yang akan dijadikan sampel pengujian terhadap algoritma LBPH, pengujian ini dilakukan pada jarak 50 cm sampai 100 cm. Pada tabel pengujian digunakan angka 1 yang

merepresentasikan bahwa pengujian berhasil dan dapat dideteksi oleh sistem dan angka 0 merepresentasikan pengujian tidak berhasil terdeteksi oleh sistem. Tabel 4.3 menunjukan hasil pengujian yang dilakukan.

## V. KESIMPULAN

1. CDN pada AWS yaitu CloudFront dapat berfungsi sesuai dengan fungsinya untuk melakukan distribusi konten ke edge location,
2. ELB (Elastic Load Balancer) pada AWS dapat berfungsi sesuai dengan fungsinya terhadap sistem untuk memberikan high availability pada server.
3. Sistem VoD dapat terintegrasi dengan Load Balancer pada AWS dan RDS server sebagai server database,
4. Web Application beserta perintah-perintah pada website dapat berjalan sesuai dengan fungsinya,
5. Sistem Live Chat beserta perintah-perintah di dalamnya dapat berjalan sesuai dengan fungsinya,
6. Berdasarkan hasil analisis perbandingan pada sistem VoD, diperoleh hasil terbaik ada pada

sistem VoD yang menggunakan CDN. QoS keseluruhan data menunjukkan kenaikan throughput sebesar 50,4%, kenaikan jitter sebesar 44% dan RTT sebesar 74,8% serta diimbangi kestabilan yang lebih baik,

7. Berdasarkan hasil analisis perbandingan pada sistem Live Chat, diperoleh hasil terbaik ada pada sistem Live Chat yang menggunakan CDN. QoS keseluruhan data menunjukkan kenaikan throughput sebesar 99,9%, kenaikan jitter sebesar 83,6% dan RTT sebesar 50,7%. Hal ini menunjukkan bahwa performa download pada aplikasi Live Chat memiliki performa 2 kali lipat dibandingkan dengan tanpa CDN,
8. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan terbukti bahwa penggunaan CDN terhadap data berbasis video streaming dan data berbentuk file objek dapat meningkatkan Quality of Service terutama pada parameter Round Trip Time, dan
9. Penyedia layanan berbasis website dapat menggunakan CDN untuk meningkatkan performansi jaringan pada website-nya, terutama jika layanan tersebut bersifat global.

#### REFERENSI

- [1] CISCO, "Internet Video Data Traffic Global 2020 Forecast Highlights," *VNI Complete Forecast Highlights*, pp. 1 - 5, 2020.
- [2] W. Shi, G. Pallis and Z. Xu, "Edge Computing (Scanning the issues)," *Proceeding of IEEE*, vol. 107, no. 10.1109/JPROC.2019.2928287, pp. 1474 - 1481, 2019.
- [3] G. Pallis and A. Vakali, "Insight and Perspectives for Content Delivery Networks," *Communications of the ACM*, vol. 49, no. 1, pp. 101-106, 2006.
- [4] Amazon Web Services Inc, "AWS Whitepaper," 2021. [Online]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/whitepapers/latest/aws-overview/what-is-cloud-computing.html>. [Accessed 6 December 2021].
- [5] S. Vennam and IBM, "IBM Cloud Learn Hub - Cloud Computing," 2021. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/cloud/learn/cloud-computing>. [Accessed 7 December 2021].
- [6] Amazon Web Services Inc, "AWS Global Infrastructure," 2021. [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/about-aws/global-infrastructure/>. [Accessed 6 12 2021].
- [7] S. Weisong, S. Hui, C. Jie, Z. Quan and L. Wei, "Edge computing: State-of-the-art and future directions," *J. Comput. Res. Develop*, vol. 56, pp. 1-21, 2019.
- [8] W. Shi, J. Cao, Q. Zhang, Y. Li and L. Xu, "Edge computing: Vision and challenges," *IEEE Internet Things J*, vol. 3, no. 5, pp. 637-646, 2016.
- [9] S. Weisong, S. Hui, C. Jie, Z. Quan and L. Wei, "Edge computing-an emerging computing model for the Internet of everything era," *J. Compute. Res. Develop*, vol. 54, no. 5, pp. 907-924, 2017.
- [10] M. Satyanarayanan, "The emergence of edge computing," *Computer*, vol. 50, no. 1, pp. 30-39, 2017.
- [11] D. Sarkar and N. Rakesh, "Content Delivery Networks: Insights and Recent Advancement," *IEEE 2016 Fourth International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC)*, pp. 1-5, 2016.
- [12] M. Ghaznavi, E. Jalaipour, M. A. Salahuddin and R. Boutaba, "Content Delivery Network Security : A Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 23, no. 4, pp. 1-3, 2021.
- [13] N. F. Mir, M. M. Nataraja and S. Ravikrishnan, "A Performance Evaluation Study of Video-on-Demand Traffic over IP Networks," *2011 IEEE Workshops of International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, pp. 757-762, 2011.
- [14] T. M. Team, "Minetest," 2021. [Online]. Available: <https://www.minetest.net/>. [Accessed 7 December 2021].
- [15] Paloaltonetworks, "What is Quality of Service?," Paloaltonetworks, 2021. [Online]. Available: <https://www.paloaltonetworks.com/cyberpedia/what-is-quality-of-service-qos>. [Accessed 6 December 2021].
- [16] F. Taketo, I. Masamitsu, H. Kouji and Y. Miki, "Popularity-based content cache management for in-network caching," *IEEE 2019 International Conference on Information Networking (ICOIN) Kuala Lumpur, Malaysia*, pp. 411-413, 2019.
- [17] W. E. Shabrina, D. W. Sudiharto, E. Ariyanto and M. A. Makky, "The Usage of CDN for Live Video Streaming to Improve QoS. Case Study: 1231 Provider," *Journal of Communications*, vol. 15, p. 359, 2020.
- [18] C. Yi, J. Cai, T. Zhang, K. Zhu, B. Chen and Q. Wu, "Workload Re-Allocation for Edge Computing with Server Collaboration: A Cooperative Queueing Game Approach," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2021.
- [19] H. Zhu, Y. Li, Z. Chen and L. Song, "Mobile Edge Resource optimization for Multiplayer Interactive Virtual Reality Game," in *2021 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Nanjing, China, 2021.
- [20] J. N. Plumb and R. Stutsman, "Exploiting Google's Edge Network for Massively Multiplayer Online Games," in *2018 IEEE 2nd International Conference on Fog and Edge Computing (ICFEC)*, Washington DC, USA, 2018.
- [21] L. A. Ali, H. Huia, M. K. Ali, L. R. Ali, H. I. Ali and K. Asiya, "Quality of experience (QoE) in cloud Live Chat models: A review," *Multiagent and Grid Systems - An International Journal of Cloud Computing and*

*Artificial Intelligence*, vol. 15, no. 3, pp. 289-304, 2019.

Networks: A New Game Theoretic Model," *IEEE Systems Journal*, vol. 15, no. 2, 2020.

- [22] C. Fang, C. Liu, Z. Wang, Y. Sun, W. Ni, P. Li and S. Guo, "Cache-Assisted Content Delivery in Wireless

