

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Konfigurasi Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

##### 4.1.1 Perangkat Keras

Sebelum melakukan konfigurasi jaringan pada tiap topologi, perlu diuraikan spesifikasi perangkat keras yang akan digunakan dan fungsi dari tiap perangkat dalam penelitian ini, sebagaimana tertera dalam Tabel 4.1 sebagai berikut :

Tabel 4.1 Perangkat Keras Beserta Fungsinya

No	Perangkat Keras	Fungsi
1	<i>Media Server</i>	Penyedia layanan <i>streaming Video on Demand (VoD)</i>
2	<b>ISP (Internet Service Provider)</b>	Penyedia layanan koneksi <i>internet</i>
3	<i>Router</i>	Mengatur atau merutekan jalannya data
4	<i>Switch</i>	Meneruskan paket data dalam komunikasi data dan menyediakan dan mengatur fitur <i>port mirroring</i>
5	<b>Laptop</b>	Sebagai <i>PC Client</i>
6	<i>Media Converter</i>	Merubah sinyal listrik menjadi sinyal optik
7	<b>Kabel Serat Optik</b>	Mentransmisikan sinyal informasi berupa optik (cahaya) pada sistem jaringan
8	<b>Kabel UTP (Unshielded Twisted Pair)</b>	Mentransmisikan sinyal informasi berupa sinyal elektrik pada sistem jaringan dengan konektor RJ-45

##### a. *Server*

*Server* yang digunakan adalah *Google Cloud Computing*. Perangkat lunak yang digunakan sebagai *server VoD (Video on Demand)* adalah *Wowza*. Spesifikasi *server Google Cloud Computing* ada pada Lampiran 1.

##### b. **ISP (Internet Service Provider)**

Jaringan internet yang digunakan di lingkup Gedung C Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

##### c. *Router*

Jenis *router* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Mikrotik Routerboard RB750*. Spesifikasi dan gambar perangkat Spesifikasi *Mikrotik Routerboard RB750* dapat dilihat pada Lampiran 1.

#### d. *Switch Manageable*

*Switch manageable* adalah *switch* yang dapat dikonfigurasi. Pada penelitian ini menggunakan *Switch Manageable* ZyXEL ES-2108 G. Spesifikasi dan gambar perangkat ZyXEL ES-2108 G telah terlampir pada Lampiran 1.

#### e. *Komputer Client*

Pada penelitian ini komputer *client* digunakan untuk *streaming Video on Demand* (VoD). Spesifikasi komputer *client* yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Spesifikasi Minimum Komputer *Client*

Spesifikasi	Keterangan
<i>Processor</i>	Intel® Core™ i3
<i>Standard Memory</i>	2 GB
<i>Hard Drive Type</i>	500 GB HDD
<i>Screen Resolution</i>	1366 x 768
<i>Network Card</i>	Integrated 10/100 BASE-T Ethernet LAN
<i>Network Interface</i>	RJ-45

#### f. *Media Converter*

*Media Converter* merupakan perangkat yang berfungsi untuk mengubah sinyal elektrik menjadi optik (cahaya). Jenis *media converter* yang digunakan dalam penelitian ini adalah TP-LINK MC-111CS dan MC-112CS. Spesifikasi dan gambar perangkat *media converter* ada pada Lampiran 1.

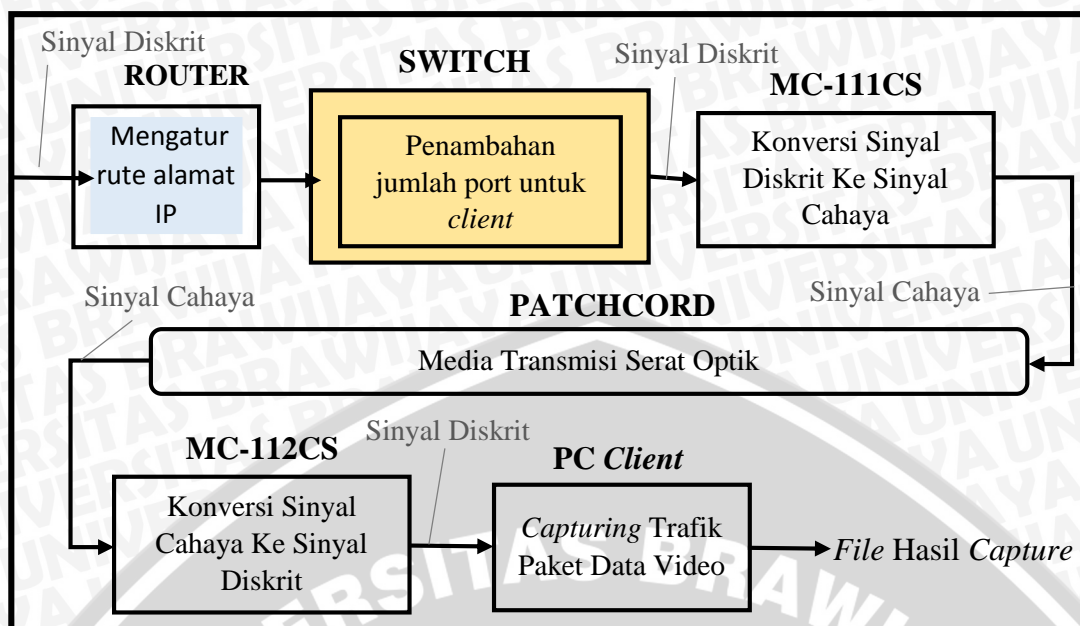
#### g. *Kabel Serat Optik (Patchcord)*

*Patch Cord* merupakan kabel serat optik yang dikhususkan untuk pemakaian *indoor*. Spesifikasi dan gambar perangkat ada pada Lampiran 1.

#### h. *Kabel UTP (Unshielded Twisted Pair)*

Kabel UTP yang digunakan dalam penelitian ini adalah kabel UTP Cat 5e. Spesifikasi dan gambar perangkat ada pada Lampiran 1.

Setelah spesifikasi perangkat sudah dipahami, maka disesuaikan dengan blok diagram konfigurasi jaringan topologi *star* dan opologi *tree* yang ditampilkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Blok Diagram Instalasi Perangkat Jaringan untuk Topologi *Star* dan Topologi *Tree* dengan Media Serat Optik

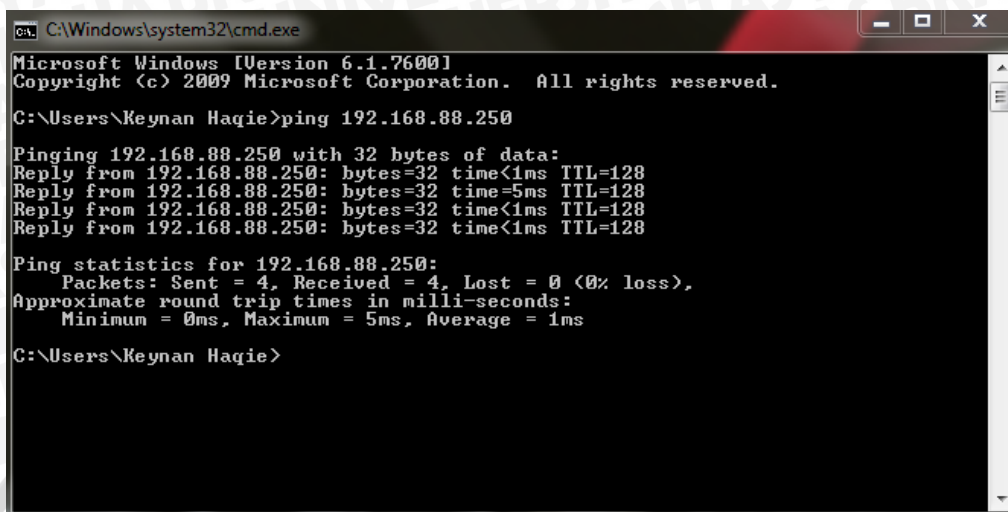
#### 4.1.2 Pengujian Sistem

Setelah penyusunan perangkat sebagai konfigurasi jaringan topologi *star* dan topologi *tree*, maka dilakukan pengujian sistem terlebih dahulu sebelum melakukan pengambilan data. Pengujian sistem pada penelitian ini ada dua tahap, yaitu menguji koneksi jaringan dengan cara *ping*. Setelah koneksi jaringan tersambung dengan internet, maka menguji layanan VoD apakah dapat melakukan *streaming*. Bila *streaming video* telah berjalan, maka dapat dilakukan uji coba *capturing* pada Wireshark.

##### A. Pengujian Koneksi Jaringan

Pengujian koneksi jaringan dapat tersambung atau tidak, dan waktu yang dibutuhkan agar PC *client* dapat tersampaikan pada internet dapat dilakukan dengan cara perintah *ping*. *Ping (Packet Internet Gopher)* adalah sebuah program yang dapat digunakan untuk memeriksa koneksi jaringan berbasis protokol (TCP/IP). *Ping* juga dapat mengetahui apakah PC *client* satu dapat saling berkomunikasi dengan PC *client* yang lain dan internet atau tidak. *Ping* dilakukan dengan memasukkan IP alamat PC yang akan dituju. Langkah awal sebelum melakukan *ping*, membuka *command prompt*. Ketik “cmd” dan masukkan alamat IP PC *client* lain, lalu tunggu *replay* pada *command*.

Gambar 4.2 merupakan tampilan salah satu PC *client* yang melakukan *ping* dan telah terkoneksi dengan PC *client* yang lain dapat saling berkomunikasi.



```

C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 6.1.7600]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\Keynan Haqie>ping 192.168.88.250

Pinging 192.168.88.250 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.88.250: bytes=32 time<1ms TTL=128
Reply from 192.168.88.250: bytes=32 time=5ms TTL=128
Reply from 192.168.88.250: bytes=32 time<1ms TTL=128
Reply from 192.168.88.250: bytes=32 time<1ms TTL=128

Ping statistics for 192.168.88.250:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 5ms, Average = 1ms

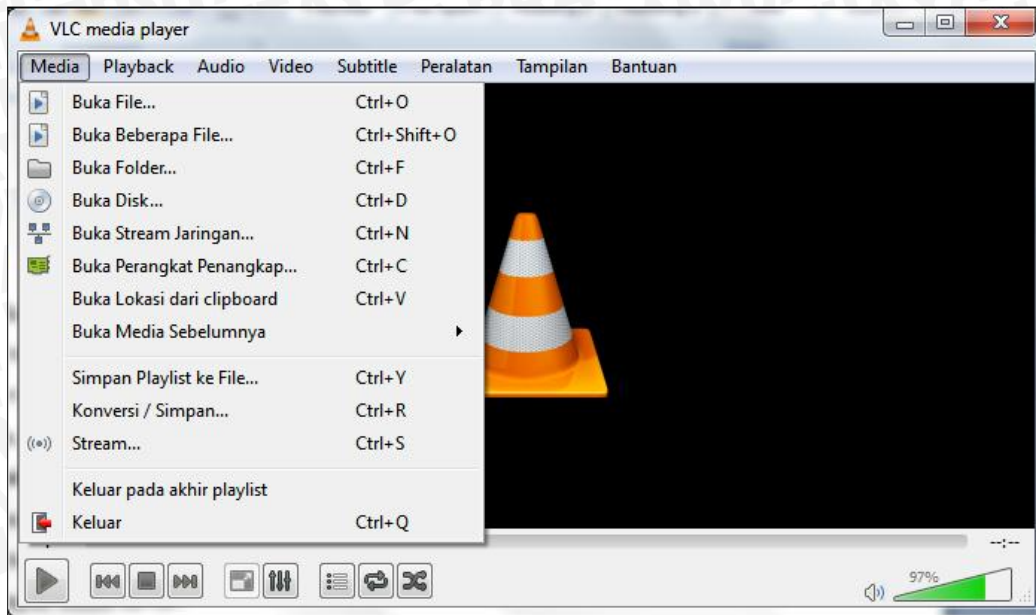
C:\Users\Keynan Haqie>
  
```

Gambar 4.2 Tampilan *Ping* yang Menandakan Koneksi Jaringan telah Berhasil

## B. Pengujian *Streaming VoD* pada PC *Client*

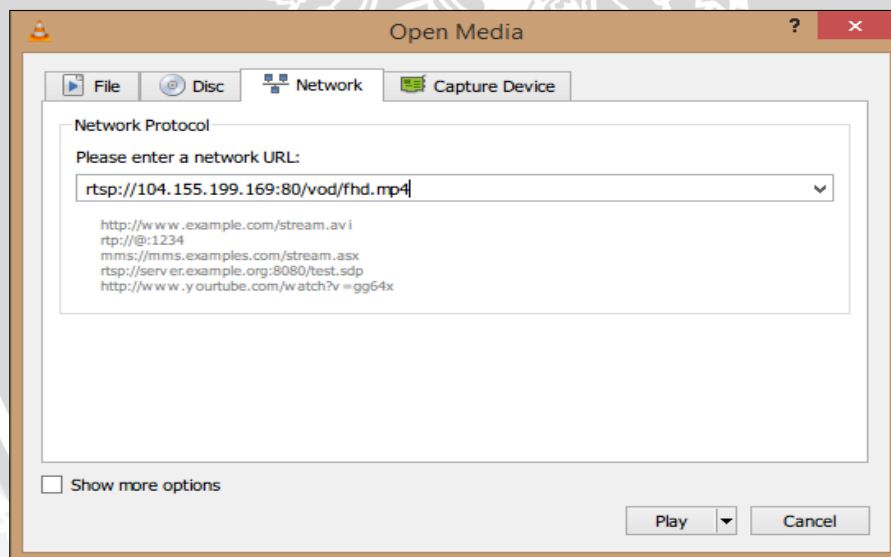
Sebelum melakukan *streaming VoD*, pada PC *client* telah dilakukan instalasi perangkat lunak VLC *Media Player*. Instalasi dilakukan agar *client* dapat melakukan *streaming VoD* melalui internet dengan perangkat lunak VLC *media player*. Berikut langkah untuk melakukan *streaming video* dengan VLC *Media Player*.

1. Membuka perangkat lunak VLC *Media Player*. Klik 'Media' kemudian pilih 'Open Network Stream' seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.3.



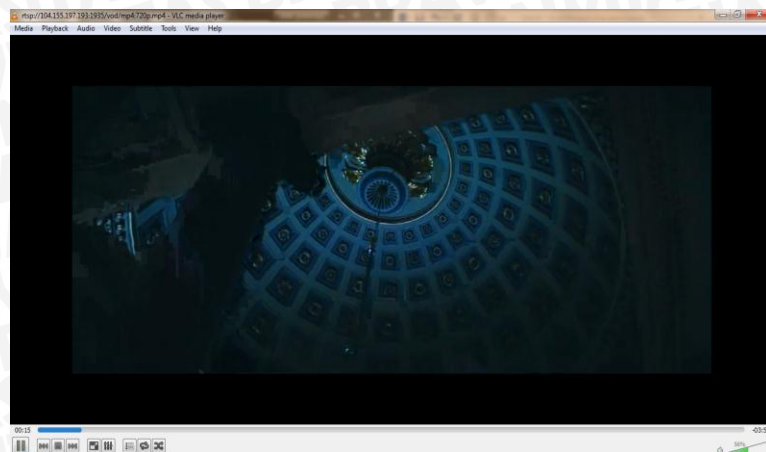
Gambar 4.3 Home screen VLC Media Player

2. Menulis URL (*Uniform Resource Locator*) file video yang terdapat di server, seperti pada Gambar 4.6. Setelah itu klik 'Play'.



Gambar 4.4 URL file video

3. VLC Media Player kemudian memutar file video tersebut, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5.

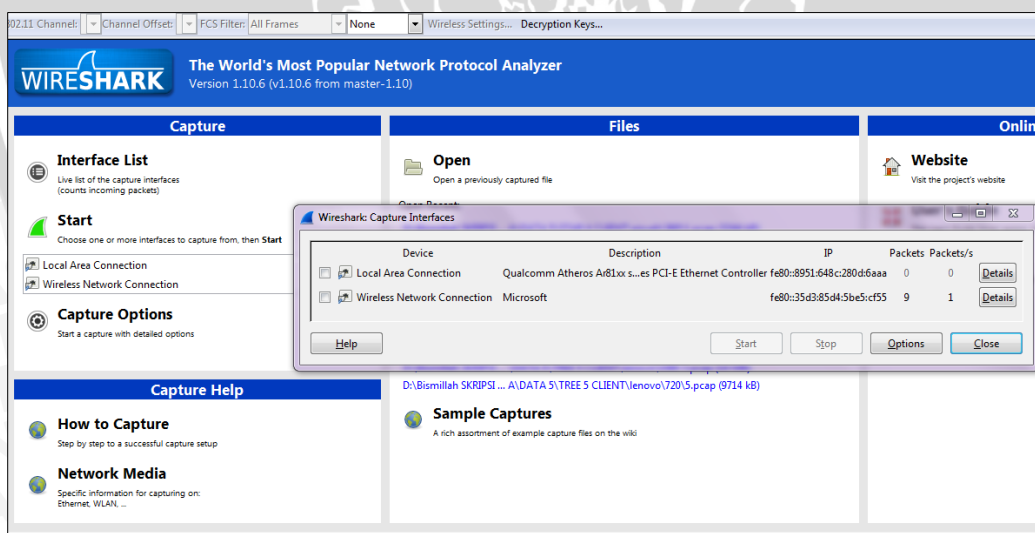


Gambar 4.5 Tampilan *streaming video* pada VLC Media Player

### C. Posedur *Capturing data trafik* pada PC Client

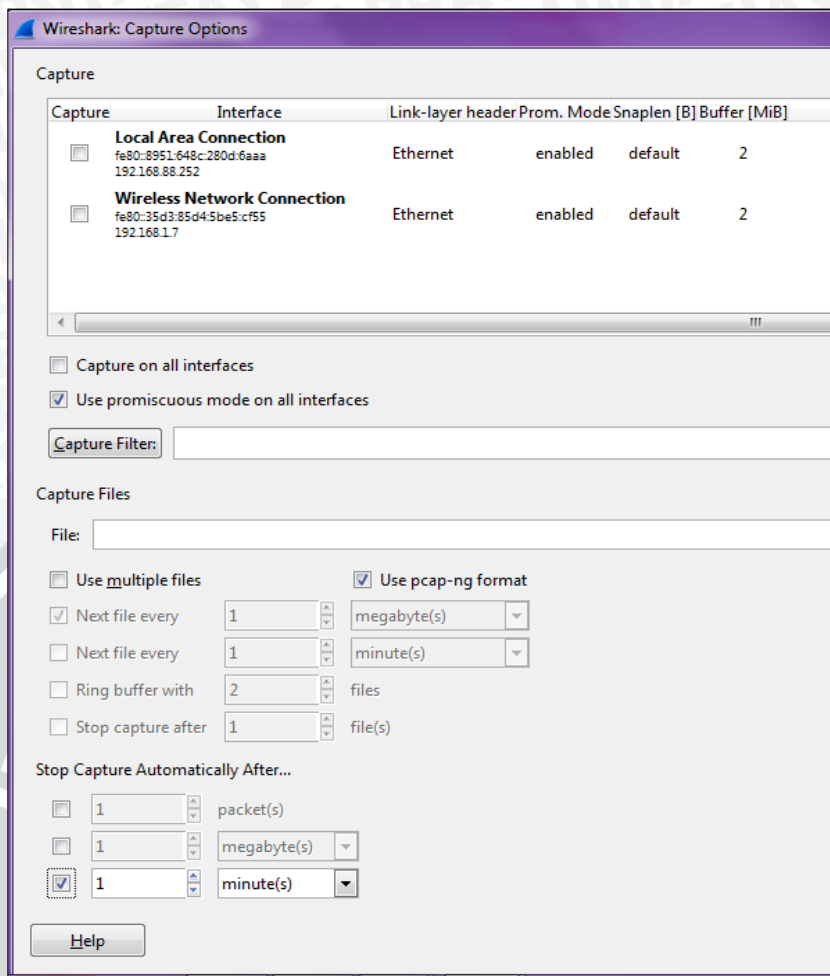
Pada PC *client* dilakukan instalasi *Network Protocol Analyzer Wireshark*. Instalasi dilakukan agar PC *client* dapat dengan *capturing data trafik* dan penyimpanan hasil *file capture*. Berikut merupakan langkah-langkah untuk *capturing data trafik* dan penyimpanan hasil *capture* menggunakan Wireshark.

1. Membuka perangkat lunak Wireshark. Gambar 4.6 menunjukkan tampilan utama Wireshark.



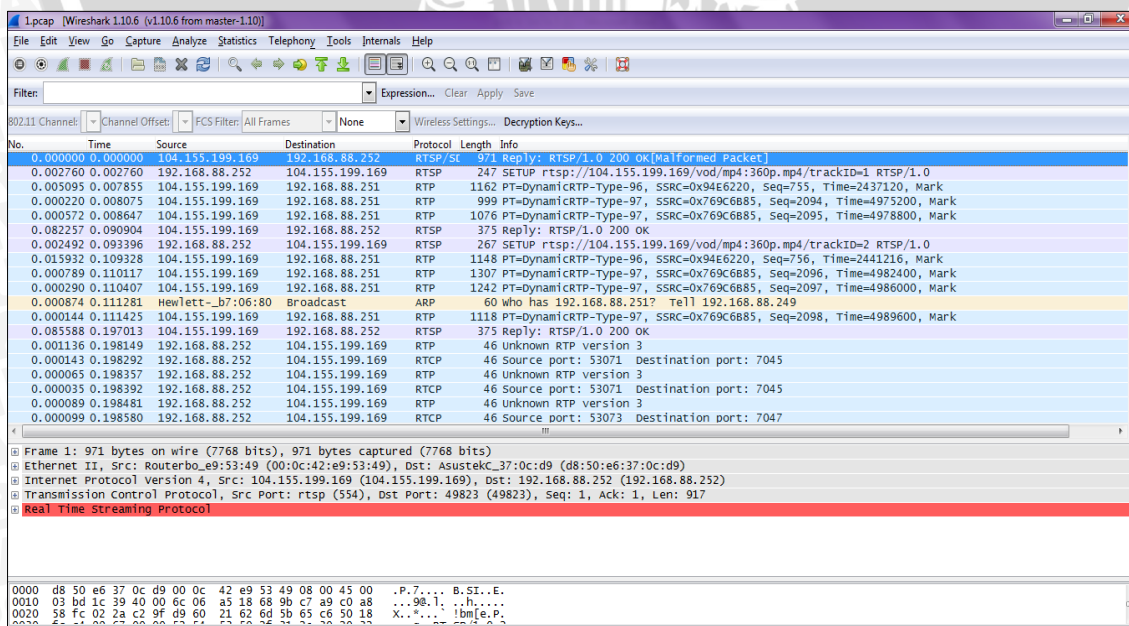
Gambar 4.6 Tampilan Utama Wireshark

2. Kemudian klik '*Interface List*'. Muncul kotak dialog *Wireshark: Capture Options* dan *checklist* seperti pada Gambar 4.7. Setelah itu klik '*Start*' maka Wireshark akan mulai *capture data trafik* selama 60 detik.



Gambar 4.7 Kotak Dialog Wireshark: *Capture Options*

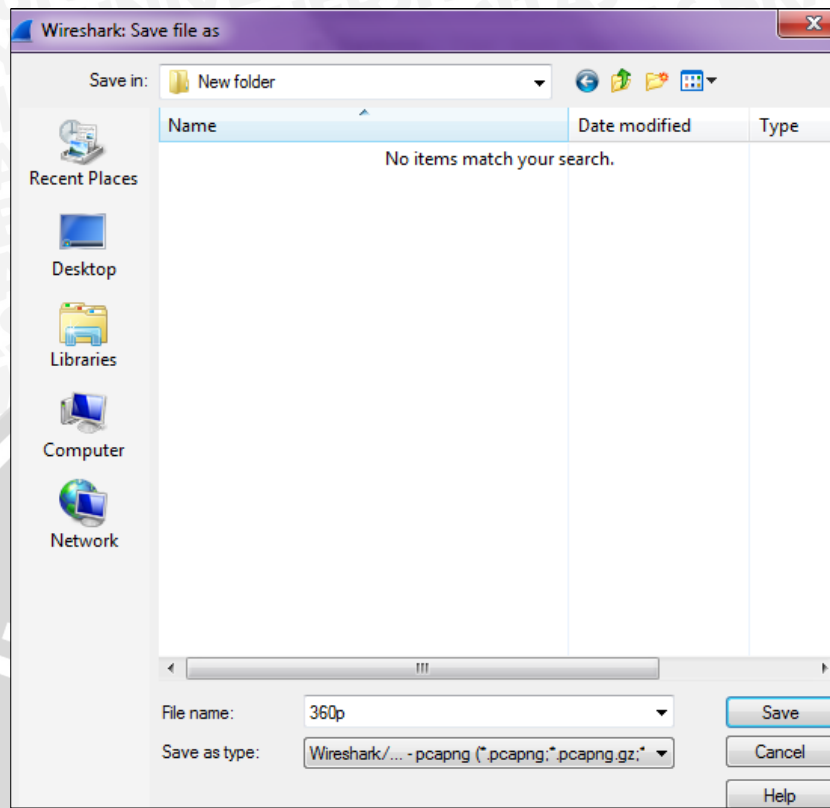
3. Hasil *Capturing* data trafik seperti pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Hasil *Capturing* Data Trafik pada Wireshark



4. Menyimpan hasil *capture* data trafik pada Wireshark. Klik 'File' kemudian 'Save As'. Pilih *save as type* menjadi *\*pcap* seperti yang ditunjukkan Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Menyimpan hasil *capture* Wireshark

## 4.2 Hasil dan Pembahasan Performansi Jaringan Topologi *Star*

### 4.2.1 *Throughput*

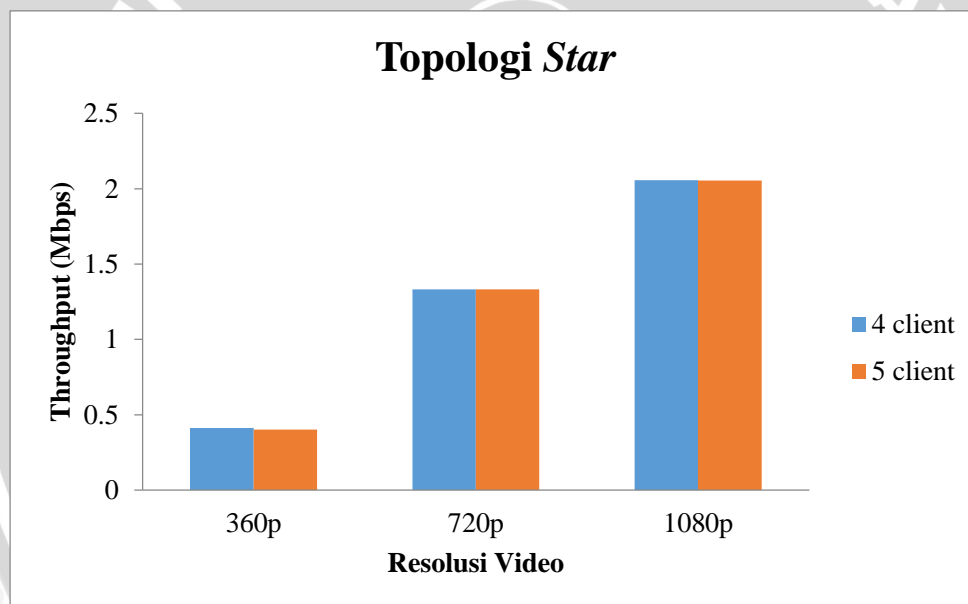
*Throughput* menunjukkan kecepatan selama transmisi paket dalam keadaan benar yang telah diterima oleh pengguna. *Throughput* memiliki satuan *byte/second*. Hasil pengamatan terhadap parameter *throughput* menggunakan Wireshark pada setiap PC *client* untuk konfigurasi jaringan topologi *star* telah dilampirkan pada Lampiran 2. Tabel 4.3 menunjukkan nilai rata-rata nilai *throughput* dari semua PC *client*.



Tabel 4.3 Nilai Rata-rata *Throughput*

Percobaan Ke-	<i>Throughput (Mbps)</i>					
	Resolusi 360p		Resolusi 720p		Resolusi 1080p	
	4 Client	5 Client	4 Client	5 Client	4 Client	5 Client
1	0.4265	0.4082	1.331	1.3308	2.0555	2.0526
2	0.4075	0.3724	1.331	1.3312	2.06025	2.0552
3	0.407	0.4078	1.33125	1.332	2.0535	2.0564
4	0.408	0.4074	1.33025	1.3316	2.052	2.0574
5	0.40775	0.4076	1.3315	1.3298	2.05525	2.0548
<b>Rata-Rata</b>	<b>0.41135</b>	<b>0.40068</b>	<b>1.331</b>	<b>1.33108</b>	<b>2.0553</b>	<b>2.05528</b>

Tabel 4.3 dapat direpresentasikan ke dalam bentuk grafik hubungan antara resolusi *video* dengan *throughput* yang diterima oleh PC *client*, ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik Hubungan antara Resolusi *Video* dan Jumlah *Client* dengan Nilai *Throughput*

Grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.12 merupakan hasil pengukuran untuk memperoleh nilai *throughput* pada jaringan topologi *star* dengan resolusi berbeda. Berdasarkan hasil pengamatan, dapat dikatakan bahwa ketika melakukan *streaming* VoD dengan resolusi semakin besar, maka akan didapatkan nilai *throughput* yang semakin besar. Untuk kondisi 4 *client* dan 5 *client* pada topologi *star*, dengan resolusi *video* 360p nilai *throughput* bernilai 0.411 Mbps, saat resolusi *video* 720p nilai *throughput* adalah 1.331 Mbps dan pada resolusi 1080p nilai *throughput* sebesar 2.05 Mbps.

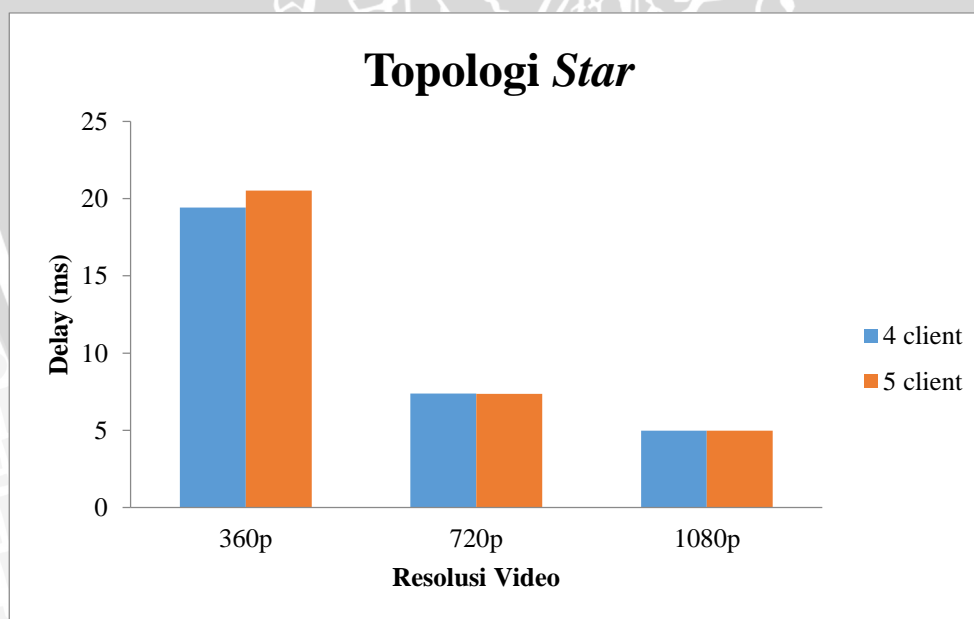
#### 4.2.2 Delay

*Delay* menunjukkan besarnya waktu yang diperlukan oleh data yang ditransmisikan dari *server* hingga sampai kepada *client*. *Delay* yang didapatkan untuk konfigurasi jaringan topologi *star* ditunjukkan pada Tabel 4.4 yang didapatkan dari hasil *capturing* trafik menggunakan Wireshark..

Tabel 4.4 Nilai Rata-rata *Delay*

Percobaan Ke-	<i>Delay</i> (ms)					
	Resolusi 360p		Resolusi 720p		Resolusi 1080p	
	4 <i>Client</i>	5 <i>Client</i>	4 <i>Client</i>	5 <i>Client</i>	4 <i>Client</i>	5 <i>Client</i>
1	18.76102	19.57536	7.378491	7.377277	4.977634	4.989476
2	19.59471	24.30954	7.376168	7.369999	4.967889	4.980015
3	19.61587	19.56718	7.371752	7.362858	4.981513	4.980705
4	19.58398	19.59647	7.394617	7.362885	4.984743	4.975347
5	19.58949	19.5727	7.37495	7.361835	4.979083	4.980914
<b>Rata-Rata</b>	<b>19.42902</b>	<b>20.52425</b>	<b>7.379195</b>	<b>7.366971</b>	<b>4.978172</b>	<b>4.981291</b>

Data primer yang telah didapatkan dari hasil pengamatan dengan Wireshark pada Tabel 4.4, maka dapat direpresentasikan dalam bentuk grafik hubungan antara resolusi *video* dengan *delay* yang diterima, ditunjukkan oleh Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Grafik Hubungan antara Resolusi *Video* dan Jumlah *Client* dengan Nilai *Delay*

Hasil pengukuran nilai *delay* yang telah diperoleh untuk jaringan topologi *star* dengan jumlah 4 *client* dan 5 *client*, terdapat penurunan nilai *delay* ketika resolusi semakin tinggi. ketika resolusi *video* 360p diperoleh nilai *delay* sebesar 19.5 ms pada

kondisi 4 *client*, dan 20.5 ms, saat kondisi 5 *client* atau selisih keduanya adalah 1 ms dan tidak terlalu signifikan. Hal ini dapat dikarenakan adanya penambahan jumlah *client*, sehingga adanya penambahan jalur transmisi pada *router*. Sedangkan nilai *delay* pada resolusi 720 adalah 7,3 ms dan saat 1080p diperoleh nilai *delay* 4.9 ms. Pada resolusi 720p dan 1080p ketika *client* berjumlah 4 ataupun 5 tidak mengalami perbedaan nilai *delay* yang signifikan, bahkan mendekati sama. Hal ini dapat dipengaruhi oleh jumlah paket yang ditransmisikan serta pengaruh dari perangkat yang digunakan.

#### 4.2.3 Packet Loss

*Packet loss* pada penelitian ini menunjukkan nilai rasio dalam persen (%). *Packet loss* dapat didefinisikan sebagai jumlah paket yang hilang selama pentransmisian data. Nilai persentase *packet loss* menggunakan persamaan 2.2 dengan data primer yang dibutuhkan adalah jumlah paket yang diterima dan jumlah paket yang hilang. Data primer didapatkan dari hasil pengamatan yang telah di *capture* oleh Wireshark dilampirkan pada Lampiran 2. Tabel 4.5, 4.6, dan 4.7 menunjukkan nilai rata-rata jumlah paket yang diterima dan jumlah paket yang hilang dari setiap PC *client*, dengan kondisi resolusi dan jumlah *client* yang berbeda.

Tabel 4.5 Data Primer Jumlah Paket yang Diterima dan Hilang untuk Resolusi Video 360p

Percobaan Ke-	Payload RTP	Resolusi 360p			
		4 Client		5 Client	
		N(paket)	L(paket)	N(paket)	L(paket)
1	Type-97	2189.25	2	2181.4	0
	Type-96	794.5	0	792.6	0.2
2	Type-97	2196.25	0	1973.8	0.6
	Type-96	797	0	718	0.2
3	Type-97	2194	0	2180.8	0.6
	Type-96	795.25	0	791.2	0.2
4	Type-97	2194.25	0	2181.8	0.6
	Type-96	795.5	0	792.4	0.4
5	Type-97	2188.5	0	2185.2	0.2
	Type-96	793.5	0	796.8	0.2
Rata - rata	Type-97	2192.45	0.4	2140.6	0.4
	Type-96	795.15	0	778.2	0.24

Tabel 4.6 Data Primer Jumlah Paket yang Diterima dan Hilang untuk Resolusi Video 720p

Percobaan Ke-	Payload RTP	Resolusi 720p			
		4 Client		5 Client	
		N(paket)	L(paket)	N(paket)	L(paket)
1	Type-97	6538	2.75	6550.8	1
	Type-96	1376.75	0.25	1385.4	0.4
2	Type-97	6548.75	1	6530.2	0.2
	Type-96	1379	0.25	1383.2	0
3	Type-97	6599.5	1.25	6519.4	1.4
	Type-96	1389.75	0.25	1381	0.6
4	Type-97	6562	1	6568.2	1.6
	Type-96	1382.75	0	1396.2	0.4
5	Type-97	6579.25	2.25	6536.8	0.2
	Type-96	1386	0	1386.6	0.2
Rata - rata	Type-97	<b>6565.5</b>	<b>1.65</b>	<b>6541.08</b>	<b>0.88</b>
	Type-96	<b>1382.85</b>	<b>0.15</b>	<b>1386.48</b>	<b>0.32</b>

Tabel 4.7 Data Primer Jumlah Paket yang Diterima dan Hilang untuk Resolusi Video 1080p

Percobaan Ke-	Payload RTP	Resolusi 1080p			
		4 Client		5 Client	
		N(paket)	L(paket)	N(paket)	L(paket)
1	Type-97	10649.75	27	10657.8	38.8
	Type-96	1114.5	2.5	1104	3.8
2	Type-97	10655.25	12.5	10604.4	27.4
	Type-96	1112.25	0.5	1107	0.6
3	Type-97	10632	26.25	10646	22.8
	Type-96	1110.75	1.75	1101.4	1.6
4	Type-97	10676.75	27.5	10559.8	37.6
	Type-96	1118.75	2.5	1102.2	2
5	Type-97	10671.75	26.5	10636.4	19.8
	Type-96	1115.75	1.75	1111.75	1.4
Rata - rata	Type-97	<b>10657.1</b>	<b>23.95</b>	<b>10620.88</b>	<b>29.28</b>
	Type-96	<b>1114.4</b>	<b>1.8</b>	<b>1105.27</b>	<b>1.88</b>

Maka, jika seluruh data primer tersebut dihitung ke dalam persamaan 2.2, akan diperoleh nilai rata-rata *packet loss* pada tiap rasolusinya. Maka analisis hubungan antara nilai *packet loss* dengan variasi resolusi *video* dan jumlah *client* yang berbeda pada topologi *star*, dapat diperoleh sebagai berikut:

- 1) Perhitungan *packet loss* untuk resolusi 360p dengan 4 *client*

*Payload Type-97 (Video):*

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{0.4}{2192.45 + 0.4} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = \mathbf{0.018241\%}$$

*Payload Type-96 (Audio):*

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{0}{795.15 + 0} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = \mathbf{0\%}$$

- 2) Perhitungan *packet loss* untuk resolusi 360p dengan 5 *client*

*Payload Type-97 (Video):*

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{0.4}{2140.6 + 0.4} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = \mathbf{0.018683\%}$$

*Payload Type-96 (Audio):*

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{0.24}{778.2 + 0.24} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = \mathbf{0.030831\%}$$

- 3) Perhitungan *packet loss* untuk resolusi 720p dengan 4 *client*

*Payload Type-97 (Video):*

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{1.65}{6565.5 + 1.65} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = \mathbf{0.025125\%}$$

*Payload Type-96 (Audio):*

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{0.15}{1382.85 + 0.15} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = \mathbf{0.010846\%}$$

- 4) Perhitungan *packet loss* untuk resolusi 720p dengan 5 *client*

*Payload Type-97 (Video):*

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{0.88}{6541.08 + 0.88} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = \mathbf{0.018683\%}$$

*Payload Type-96 (Audio):*

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{0.32}{1386.48 + 0.32} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = \mathbf{0.023075\%}$$

- 5) Perhitungan *packet loss* untuk resolusi 1080p dengan 4 *client*

*Payload Type-97 (Video):*

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{23.95}{10657.1 + 23.95} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = \mathbf{0.224229\%}$$

*Payload Type-96 (Audio):*

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{1.3}{1114.4 + 1.3} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = \mathbf{0.161261\%}$$

- 6) Perhitungan *packet loss* untuk resolusi 1080p dengan 5 *client*

*Payload Type-97 (Video):*

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{29.28}{10620 + 29.28} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = \mathbf{0.274925\%}$$

*Payload Type-96 (Audio):*

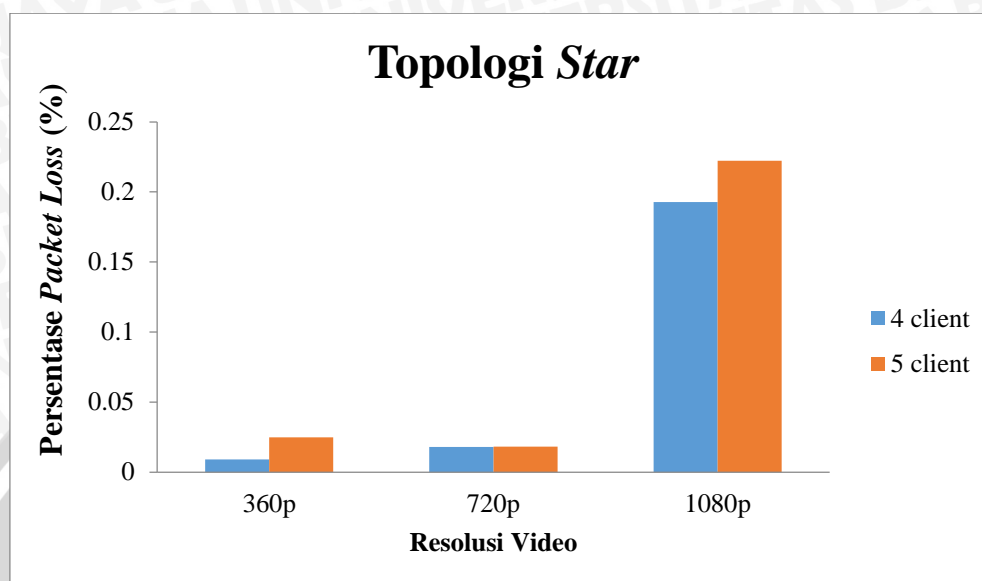
$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{1.88}{1105.27 + 1.88} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = \mathbf{0.169805\%}$$

Tabel 4.8 Nilai Rata-rata *Packet Loss*

Resolusi Video	Packet Loss (%)				
	Payload RTP	4 client	Rata-rata	5 client	Rata-rata
360p	Type-97	0.018241	0.009121	0.018683	0.020757
	Type-96	0		0.030831	
720p	Type-97	0.025125	0.017986	0.013452	0.018263
	Type-96	0.010846		0.023075	
1080p	Type-97	0.224229	0.192745	0.274925	0.222365
	Type-96	0.161261		0.169805	

Nilai rata-rata *packet loss* pada Tabel 4.8 merupakan nilai rata-rata dari kedua RTP-payload, dan direpresentasikan dalam bentuk grafik hubungan anantara resolusi *video* dengan *packet loss* pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik Hubungan antara Resolusi *Video* dan Jumlah *Client* dengan Nilai *Packet Loss*

Dapat dianalisis untuk nilai persentase *packet loss* akan semakin meningkat ketika resolusi *video* semakin tinggi. Pada resolusi 360p diperoleh nilai *packet loss* sebesar 0.0091% untuk kondisi 4 *client* dan 0.0207% saat kondisi 5 *client*. Pada resolusi 720p nilai *packet loss* untuk kedua kondisi adalah 0.017% dan 0.018% dimana nilai *packet loss* memiliki nilai hampir sama. Sedangkan pada resolusi 1080p diperoleh nilai *packet loss* pada kondisi 4 *client* dan 5 *client* adalah 0.192% dan 0.223% atau memiliki selisih sebesar 0.031%. Secara keseluruhan selisih nilai *packet loss* tidak lebih dari 0.03% dan tidak terlalu signifikan. Hal ini dapat disebabkan karena ketika resolusi *video* semakin besar, maka jumlah paket yang ditransmisikan tiap detik juga akan semakin besar, sehingga kemungkinan terjadinya *packet loss* semakin besar. Namun nilai persentase *packet loss* yang telah diperoleh masih dibawah batas maksimum berdasarkan ITU-T G.1010 yaitu  $PLR < 1\%$ .

### 4.3 Hasil dan Pembahasan Performansi Jaringan Topologi *Tree*

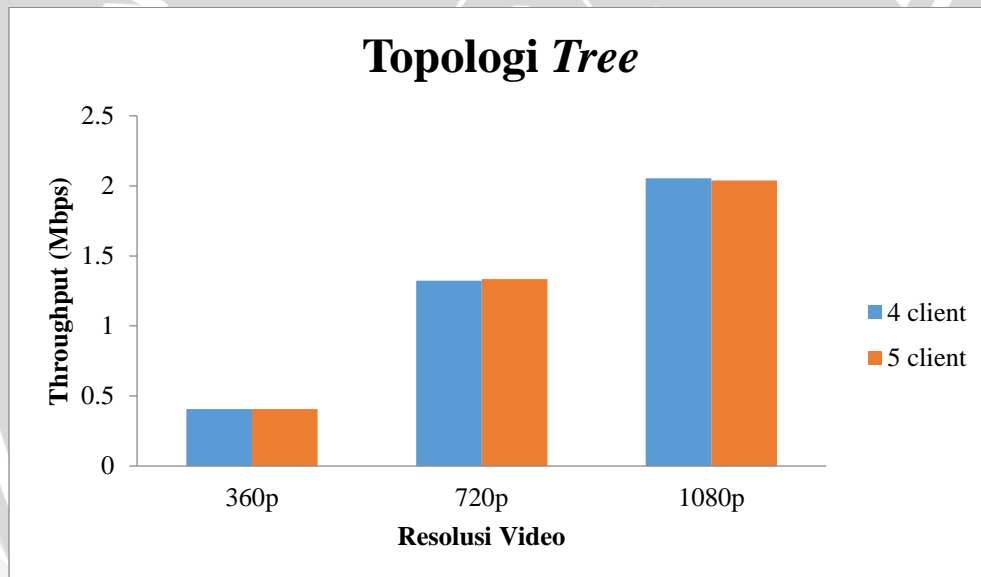
#### 4.3.1 *Throughput*

Hasil pengamatan terhadap parameter *throughput* menggunakan Wireshark pada setiap PC *client* untuk konfigurasi jaringan topologi *tree* telah terlampir pada lampiran 2. Tabel 4.9 menunjukkan nilai rata-rata nilai *throughput* dari semua PC *client*.

Tabel 4.9 Nilai Rata-rata *Throughput*

Percobaan Ke-	<i>Throughput (Mbps)</i>					
	Resolusi 360p		Resolusi 720p		Resolusi 1080p	
	4 Client	5 Client	4 Client	5 Client	4 Client	5 Client
1	0.4075	0.408	1.331	1.3338	2.055	2.0502
2	0.408	0.4084	1.331	1.3332	2.053	1.9784
3	0.408	0.4076	1.31225	1.33	2.05475	2.0526
4	0.40725	0.4076	1.32925	1.3352	2.05525	2.0576
5	0.408	0.4076	1.30675	1.3358	2.0515	2.0488
<b>Rata-Rata</b>	<b>0.40775</b>	<b>0.40784</b>	<b>1.32205</b>	<b>1.3336</b>	<b>2.0539</b>	<b>2.03752</b>

Tabel 4.9 dapat direpresentasikan ke dalam bentuk grafik hubungan antara resolusi *video* dengan *throughput* yang diterima PC *client* ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Grafik Hubungan antara Resolusi *Video* dan Jumlah *Client* dengan Nilai *Throughput*

Grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.15 merupakan hasil pengukuran untuk memperoleh nilai *throughput* pada jaringan topologi *tree* dengan resolusi berbeda. Berdasarkan hasil pengamatan, dapat dikatakan bahwa ketika melakukan *streaming* VoD dengan resolusi semakin besar, maka akan didapatkan nilai *throughput* yang semakin besar. Untuk kondisi 4 *client* dan 5 *client* pada topologi *tree*, dengan resolusi *video* 360p nilai *throughput* bernilai 0.407 Mbps, saat resolusi *video* 720p nilai *throughput* adalah 1.33Mbps dan pada resolusi 1080p nilai *throughput* 2.04 Mbps.



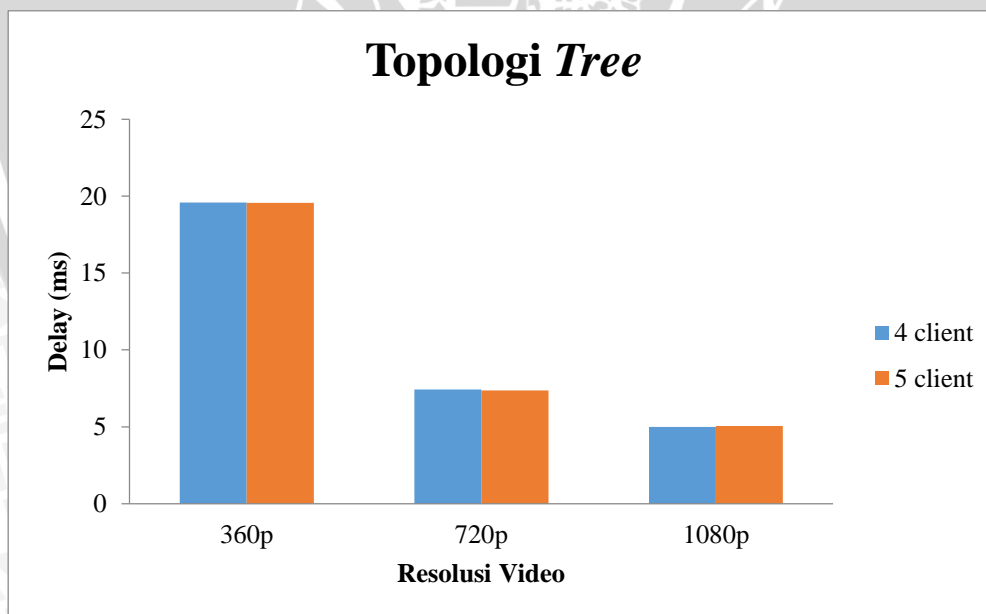
### 4.3.2 Delay

*Delay* menunjukkan besarnya waktu yang diperlukan oleh data yang ditransmisikan dari *server* hingga sampai kepada *client*. *Delay* yang diperoleh untuk konfigurasi jaringan topologi *tree* ditunjukkan pada Tabel 4.10 yang didapatkan dari hasil *capturing* trafik menggunakan Wireshark.

Tabel 4.10 Nilai Rata-rata *Delay*

Percobaan Ke-	<i>Delay</i> (ms)					
	Resolusi 360p		Resolusi 720p		Resolusi 1080p	
	4 Client	5 Client	4 Client	5 Client	4 Client	5 Client
1	19.60656	19.58003	7.379728	7.364235	4.976077	5.000106
2	19.5651	19.54299	7.380178	7.36192	4.982107	5.343258
3	19.56898	19.58342	7.484926	7.38067	4.978091	4.988847
4	19.61503	19.57629	7.395073	7.35145	4.976854	4.978125
5	19.58275	19.57551	7.524266	7.358262	4.985828	5.001031
<b>Rata-Rata</b>	<b>19.58768</b>	<b>19.57165</b>	<b>7.432834</b>	<b>7.363307</b>	<b>4.979791</b>	<b>5.062274</b>

Data primer yang telah didapatkan dari hasil pengamatan dengan Wireshark pada Tabel 4.10, dapat direpresentasikan dalam bentuk grafik hubungan antara resolusi *video* dengan *delay* yang diterima, ditunjukkan oleh Gambar 4.12.



Gambar 4.14 Grafik Hubungan antara Resolusi *Video* dan Jumlah *Client* dengan Rata-rata Nilai *Delay*

Hasil pengukuran nilai *delay* yang telah diperoleh untuk jaringan topologi *tree* dengan jumlah 4 *client* dan 5 *client*, nilai *delay* yang diperoleh semakin rendah ketika

resolusi semakin tinggi. ketika resolusi *video* 360p diperoleh nilai *delay* sebesar 19.5 ms pada kondisi 4 *client* dan kondisi 5 *client*. Sedangkan nilai *delay* pada resolusi 720 adalah 7.3 ms dan saat 1080p diperoleh nilai *delay* 4.9 ms. Pada resolusi 720p dan 1080p ketika *client* berjumlah 4 ataupun 5 tidak mengalami perbedaan nilai *delay* yang signifikan, bahkan mendekati sama. Hal ini dapat dipengaruhi oleh jumlah paket yang ditransmisikan serta pengaruh dari perangkat yang digunakan.

#### 4.3.3 Packet Loss

*Packet loss* sebagai data primer yang dibutuhkan adalah jumlah paket yang diterima dan jumlah paket yang hilang. Data primer didapatkan dari hasil pengamatan yang telah di *capture* oleh Wireshark dan Tabel 4.11, 4.12, dan 4.13 menunjukkan nilai rata-rata jumlah paket yang diterima dan jumlah paket yang hilang pada setiap PC *client*, dengan kondisi resolusi dan jumlah *client* yang berbeda. Untuk nilai jumlah paket keseluruhan hasil *capturing* dari setiap PC *client* pada kondisi jaringan topologi *tree* telah dilampirkan pada Lampiran 2.

Tabel 4.11 Data Primer Jumlah Paket yang Diterima dan Hilang untuk Resolusi *Video* 360p

Percobaan Ke-	Payload RTP	Resolusi 360p			
		4 Client		5 Client	
		N(paket)	L(paket)	N(paket)	L(paket)
1	Type-97	2165.5	0.75	2192	0
	Type-96	785.25	0	796.2	0.4
2	Type-97	2186	0	2168.6	0
	Type-96	793.25	0	789.8	0
3	Type-97	2178	0	2179	0
	Type-96	790.5	0	791.6	0
4	Type-97	2197.75	0.25	6139	0
	Type-96	798.5	0	794.8	0
5	Type-97	2194	0.5	2175.2	0
	Type-96	796.5	0	790.6	0
Rata - rata	Type-97	2184.25	0.3	2970.76	0
	Type-96	792.8	0	792.6	0.08

Tabel 4.12 Data Primer Jumlah Paket yang Diterima dan Hilang untuk Resolusi Video 720p

Percobaan Ke-	Payload RTP	Resolusi 720p			
		4 Client		5 Client	
		N(paket)	L(paket)	N(paket)	L(paket)
1	Type-97	6514.25	3.75	6432.8	1.8
	Type-96	1366.75	0.25	1354.8	0.4
2	Type-97	6536.75	3.25	6426.2	1.2
	Type-96	1376.25	0	1355.8	0.2
3	Type-97	6520.75	1.75	6490.4	2.2
	Type-96	1373.25	1	1370	0
4	Type-97	6539	5.25	6450.6	1.4
	Type-96	1370.75	0	1359.8	0.4
5	Type-97	6396.25	2.25	6500.4	0.6
	Type-96	1368.5	1.75	1369.8	0.6
Rata - rata	Type-97	<b>6501.4</b>	<b>3.25</b>	<b>6460.08</b>	<b>1.44</b>
	Type-96	<b>1371.1</b>	<b>0.6</b>	<b>1362.04</b>	<b>0.32</b>

Tabel 4.13 Data Primer Jumlah Paket yang Diterima dan Hilang untuk Resolusi Video 1080p

Percobaan Ke-	Payload RTP	Resolusi 1080p			
		4 Client		5 Client	
		N(paket)	L(paket)	N(paket)	L(paket)
1	Type-97	10623.5	27.25	10588.2	21.2
	Type-96	1121.5	2	1086	2.4
2	Type-97	10656	24.25	10059	10.6
	Type-96	1120	2	1032.6	1.2
3	Type-97	10676.75	2	10563.8	35.6
	Type-96	1120.25	0.5	1097.4	2.4
4	Type-97	10638.75	21.25	10544	27
	Type-96	1116.5	1.25	1090.6	4.4
5	Type-97	10694	25.5	10583.4	46.2
	Type-96	1122	2.5	1093.75	5.6
Rata - rata	Type-97	<b>10657.8</b>	<b>20.05</b>	<b>10467.68</b>	<b>28.12</b>
	Type-96	<b>1120.05</b>	<b>1.65</b>	<b>1080.07</b>	<b>3.2</b>

Data primer berupa jumlah paket yang diterima dan hilang yang kemudian dimasukkan kedalam persamaan 2.2, dan akan diperoleh nilai rata-rata *packet loss* pada

tiap rasolusinya yang dirangkum pada Tabel 4.14. Berikut perhitungan untuk mendapatkan nilai *packet loss*.

- 1) Perhitungan *packet loss* untuk resolusi 360p dengan 4 *client*

*Payload Type-97 (Video):*

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{0.3}{2184.25 + 0.3} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = \mathbf{0.013733\%}$$

*Payload Type-96 (Audio):*

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{0}{792.8 + 0} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = \mathbf{0\%}$$

- 2) Perhitungan *packet loss* untuk resolusi 360p dengan 5 *client*

*Payload Type-97 (Video):*

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{0}{2970.76 + 0} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = \mathbf{0\%}$$

*Payload Type-96 (Audio):*

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{0.08}{792.6 + 0.08} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = \mathbf{0.010092\%}$$

- 3) Perhitungan *packet loss* untuk resolusi 720p dengan 4 *client*

*Payload Type-97 (Video):*

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{3.25}{6501.5 + 3.25} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = \mathbf{0.049964\%}$$

*Payload Type-96 (Audio):*

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{0.6}{1371.1 + 0.6} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = \mathbf{0.043741\%}$$

- 4) Perhitungan *packet loss* untuk resolusi 720p dengan 5 *client*

*Payload Type-97 (Video):*

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{1.44}{6460.08 + 1.44} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = 0.022286\%$$

Payload Type-96 (Audio):

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{0.32}{1362.04 + 0.32} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = 0.023489\%$$

- 5) Perhitungan *packet loss* untuk resolusi 1080p dengan 4 *client*

Payload Type-97 (Video):

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{20.05}{10423.25 + 20.05} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = 0.187772\%$$

Payload Type-96 (Audio):

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{1.65}{1120.05 + 1.65} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = 0.147098\%$$

- 6) Perhitungan *packet loss* untuk resolusi 1080p dengan 5 *client*

Payload Type-97 (Video):

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{28.12}{10467.68 + 28.12} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = 0.267917\%$$

Payload Type-96 (Audio):

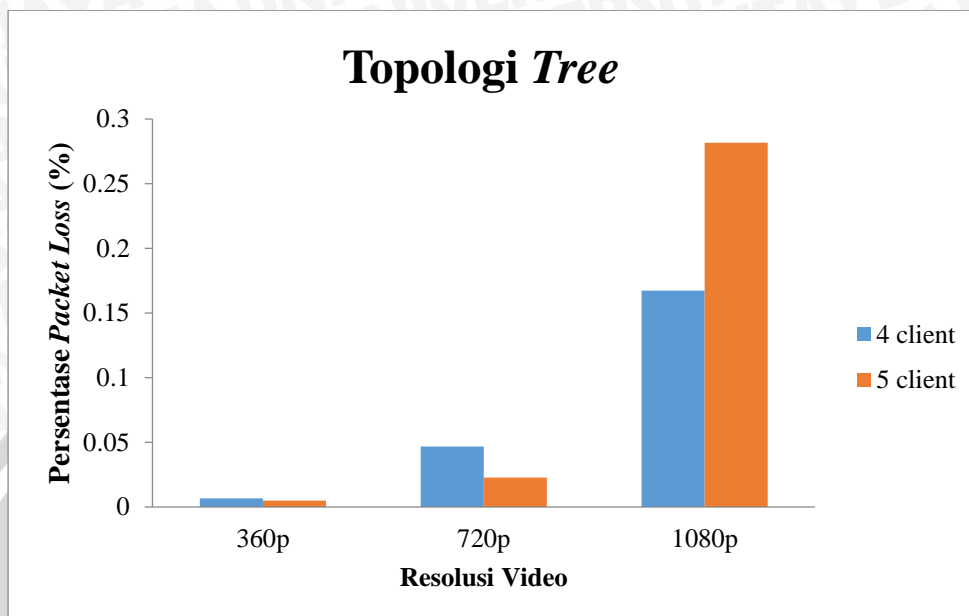
$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{3.2}{1080.07 + 3.2} \times 100\%$$

$$\text{Packet loss (\%)} = 0.295402\%$$

Tabel 4.14 Nilai Rata-rata *Packet Loss*

Resolusi	Packet Loss (%)				
	RTP payload	4 client	Rata-rata	5 client	Rata-rata
360p	Type-97	0.013733	0.006866	0	0.005046
	Type-96	0		0.010092	
720p	Type-97	0.049964	0.046853	0.022286	0.022887
	Type-96	0.043741		0.023489	
1080p	Type-97	0.187772	0.167435	0.267917	0.281659
	Type-96	0.147098		0.295402	

Nilai rata-rata *packet loss* pada Tabel 4.14 merupakan nilai rata-rata dari kedua RTP-payload, dan jika direpresentasikan dalam bentuk grafik hubungan antara resolusi *video* dengan nilai *packet loss*, maka grafik ditampilkan pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Grafik Hubungan antara Resolusi *Video* dan Jumlah *Client* dengan Nilai *Packet Loss*

Dapat dianalisis untuk nilai *packet loss* akan semakin meningkat ketika resolusi *video* semakin tinggi. Pada resolusi 360p diperoleh nilai *packet loss* sebesar 0.006% untuk kondisi 4 *client* dan 0.005 % saat kondisi 5 *client*. Pada resolusi 720p nilai *packet loss* untuk kedua kondisi adalah 0.047% dan 0.02% dimana nilai *packet loss* memiliki selisih 0.02%. Sedangkan pada resolusi 1080p diperoleh nilai *packet loss* pada kondisi 4 *client* dan 5 *client* adalah 0.16% dan 0.28% atau memiliki selisih sebesar 0.08%. Secara keseluruhan selisih nilai *packet loss* tidak lebih dari 0.08% dan tidak terlalu signifikan. Hal ini dapat disebabkan karena ketika resolusi *video* semakin besar, maka jumlah paket yang ditransmisikan tiap detik akan semakin besar, sehingga kemungkinan terjadinya *packet loss* semakin besar. Namun nilai persentase *packet loss* yang telah diperoleh masih dibawah batas maksimum berdasarkan ITU-T G.1010 yaitu  $PLR < 1\%$ .

#### 4.4 Analisis Performansi Layanan VoD pada Topologi *Star* dan Topologi *Tree*

Analisis performansi Layanan VoD pada jaringan topologi *star* dan topologi *tree* merupakan hasil dari pengamatan parameter dengan Wireshark yang meliputi

*throughput*, *delay* dan *packet loss*. Dengan 5 kali pengujian pada tiap resolusi *video* yang berbeda (360p, 720p, dan 1080p) dan jumlah *client*, maka didapatkan nilai tiap parameter yang diamati.

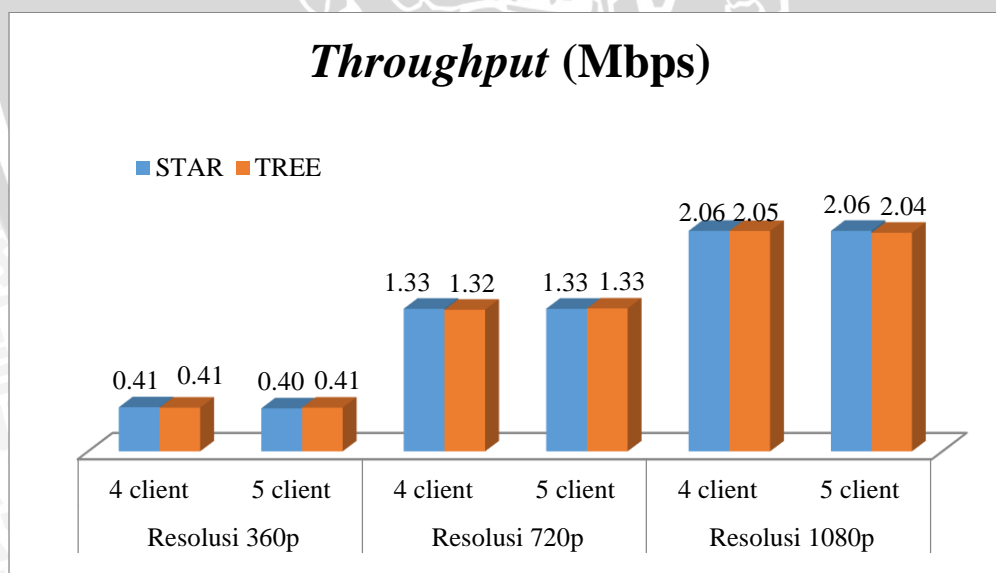
#### 4.4.1 Throughput

Nilai rata-rata *throughput* yang telah diperoleh dari kondisi jaringan topologi *star* dan topologi *tree* dapat dibandingkan dan dianalisis dengan disesuaikan pada kondisi jumlah *client*. Pada Tabel 4.15 merupakan nilai rata-rata *throughput* secara keseluruhan dari kedua topologi.

Tabel 4.15 Nilai *Throughput*

No.	Topologi	<i>Throughput</i> (Mbps)					
		Resolusi 360p		Resolusi 720p		Resolusi 1080p	
		4 client	5 client	4 client	5 client	4 client	5 client
1	STAR	0.41	0.40	1.33	1.33	2.06	2.06
2	TREE	0.41	0.41	1.32	1.33	2.05	2.04

Gambar 4.16 merupakan representasi grafik berdasar Tabel 4.15 yaitu hubungan antara nilai *throughput* pada topologi *star* dan topologi *tree* dengan resolusi *video* yang berbeda .



Gambar 4.16 Grafik Hubungan antara Resolusi *Video* dan Jumlah *Client* dengan Nilai *Throughput* pada Kondisi Topologi *Star* dan *Tree*

Kondisi dengan jumlah 4 *client*, didapatkan nilai *throughput* pada resolusi *video* 360p untuk topologi *star* adalah 0.4113 Mbps dan pada topologi *tree* adalah 0.40775 Mbps. Nilai *throughput* pada resolusi *video* 720p untuk topologi *star* dan topologi *tree* secara berurutan adalah 1.331 Mbps dan 1.322 Mbps. Pada resolusi 1080p diperoleh nilai *throughput* untuk topologi *star* adalah 2.055 Mbps dan topologi *tree* 2.053 Mbps. Kemudian untuk kondisi 5 *client* nilai *throughput* dengan resolusi *video* 360p, pada topologi *star* adalah 0.40068 Mbps dan pada topologi *tree* adalah 0.40784 Mbps. Nilai *throughput* pada resolusi *video* 720p untuk topologi *star* dan topologi *tree* secara berurutan adalah 1.331 Mbps dan 1.3336 Mbps. Pada resolusi 1080p diperoleh nilai *throughput* untuk topologi *star* adalah 2.05528 Mbps dan topologi *tree* 2.03752 Mbps.

Nilai *throughput* dari kedua topologi pada kondisi resolusi *video* yang sama tidak memiliki hasil yang berbeda jauh atau hampir sama. Hal ini dikarenakan ketika menggunakan resolusi *video* yang semakin besar maka *throughput* yang dibutuhkan akan semakin besar.

#### 4.4.2 Delay

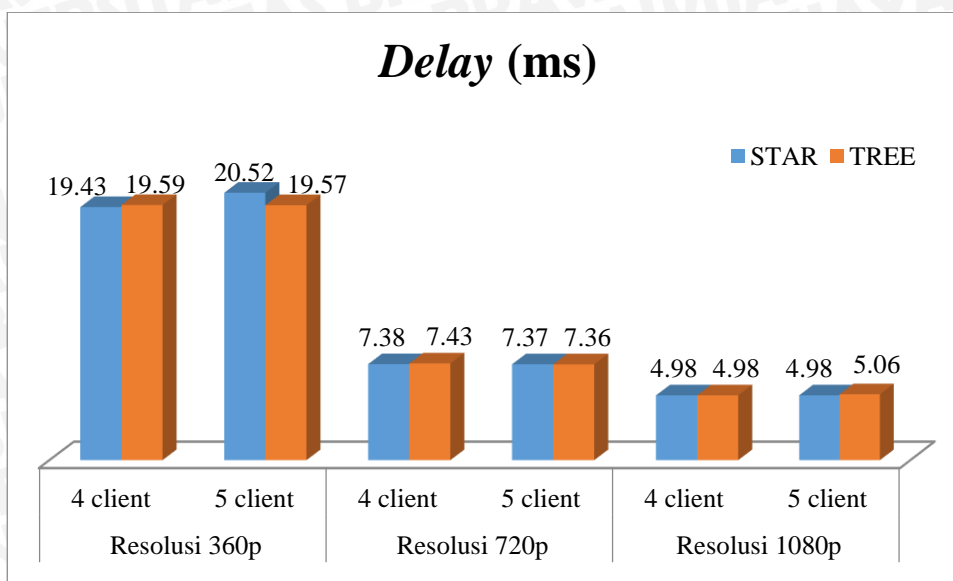
Nilai rata-rata *delay* yang telah diperoleh dari kondisi jaringan topologi *star* dan topologi *tree* dapat dibandingkan dan dianalisis dengan disesuaikan pada kondisi jumlah *client*. Pada *Delay* yang dibahas pada penelitian ini, merupakan *delay frame* atau *delay* yang menghitung jarak antar paket saat pengiriman data. Tabel 4.16 merupakan nilai rata-rata *delay* secara keseluruhan dari kedua topologi.

Tabel 4.16 Nilai *Delay*

No.	Topologi	Delay (ms)					
		Resolusi 360p		Resolusi 720p		Resolusi 1080p	
		4 client	5 client	4 client	5 client	4 client	5 client
1	STAR	19.43	20.52	7.38	7.37	4.98	4.98
2	TREE	19.59	19.57	7.43	7.36	4.98	5.06

Gambar 4.17 merupakan bentuk grafik dari untuk merepresentasikan nilai *delay* dari Tabel 4.16 yang menunjukkan perbandingan nilai *delay* pada jaringan topologi *star* dan topologi *tree* dengan kondisi jumlah *client* yang berbeda.





Gambar 4.17 Grafik Hubungan antara Resolusi Video dan Jumlah Client dengan Nilai Delay pada Kondisi Topologi Star dan Tree

. Saat kondisi 4 *client* ataupun 5 *client* nilai *delay* pada topologi *star* dan topologi *tree* akan semakin kecil ketika menggunakan resolusi *video* yang semakin besar. Hal ini mengindikasikan bahwa nilai *delay* yang semakin kecil karena waktu yang dibutuhkan paket pada resolusi *video* yang semakin besar atau pendek. Nilai *delay* yang semakin kecil akan dipengaruhi oleh nilai *throughput* yang semakin besar, sehingga nilai *delay* akan menurun.

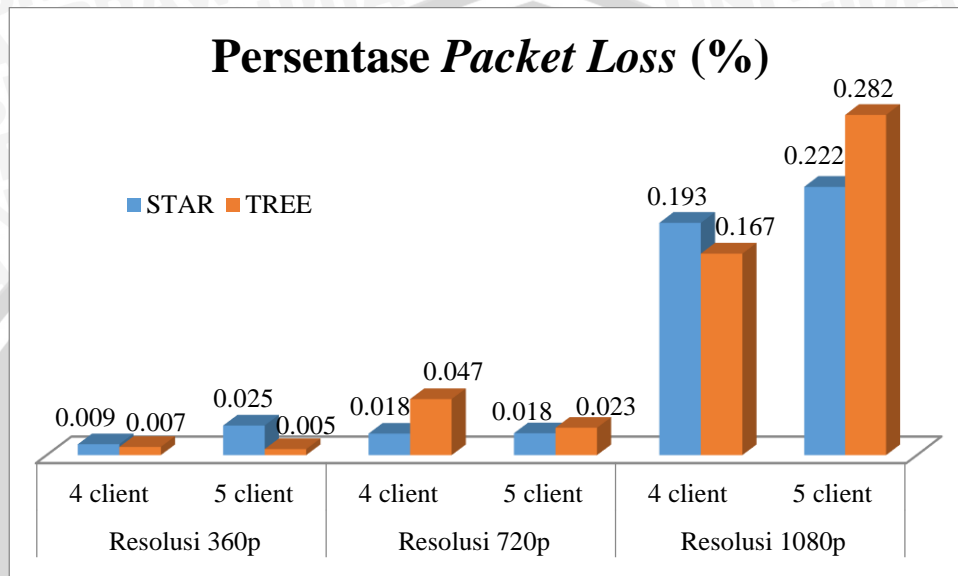
Secara keseluruhan, untuk nilai *delay* yang telah diperoleh memiliki nilai kurang dari 150 ms, hal ini menunjukkan untuk layanan VoD pada kedua jaringan topologi sesuai standart ITU-T G.114 yang menyatakan bahwa layanan multimedia memiliki nilai *delay* kurang dari 150 ms dinyatakan sangat baik.

#### 4.4.3 Packet Loss

Nilai rata-rata *packet loss* yang telah diperoleh dari kondisi jaringan, yaitu topologi *star* dan topologi *tree* dapat dibandingkan dan dianalisis dengan disesuaikan pada kondisi jumlah *client*. Tabel 4.17 merupakan nilai rata-rata persentase *packet loss* secara keseluruhan dari kedua topologi.

Tabel 4.17 Nilai *Packet Loss*

No.	Topologi	<i>Packet Loss (%)</i>					
		Resolusi 360p		Resolusi 720p		Resolusi 1080p	
		4 client	5 client	4 client	5 client	4 client	5 client
1	STAR	0.009	0.025	0.018	0.018	0.193	0.222
2	TREE	0.007	0.005	0.047	0.023	0.167	0.282



Gambar 4.18 Grafik Hubungan antara Resolusi *Video* dan Jumlah *Client* dengan Nilai *Packet Loss* pada Kondisi Topologi *Star* dan *Tree*

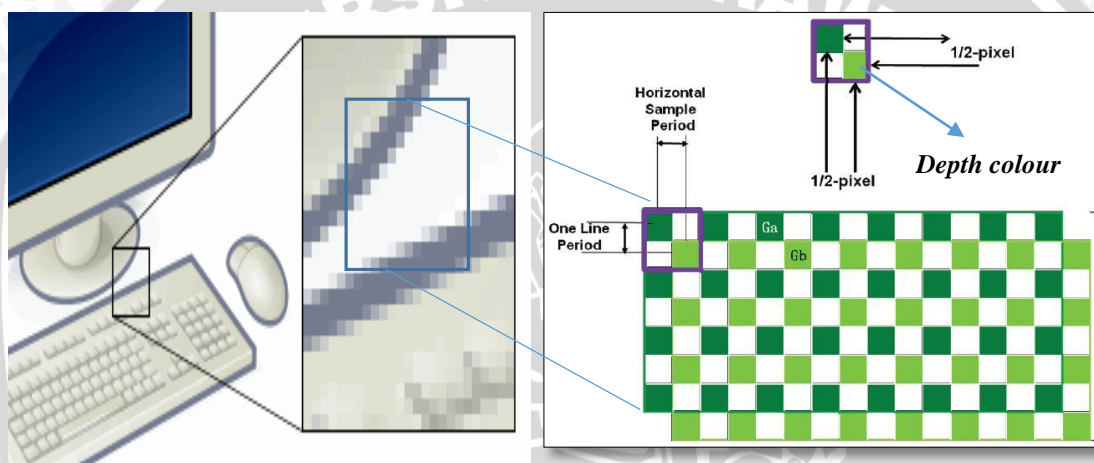
Gambar 4.18 menunjukkan nilai persentase *packet loss* pada jaringan topologi *star* dan topologi *tree* dengan kondisi jumlah *client* yang berbeda. Dari kedua kondisi jaringan topologi yang berbeda, maka didapatkan nilai *packet loss* akan semakin besar ketika resolusi *video* yang digunakan semakin besar. Untuk setiap kondisi resolusi yang sama dengan jaringan topologi yang berbeda, didapatkan nilai persentase *packet loss* yang tidak jauh berbeda atau memiliki perbedaan yang tidak signifikan. Hal ini dapat dipengaruhi oleh sistem *switching* yang berbeda, kondisi *server*, dan kondisi pengambilan data yang dilakukan pada kondisi jam tidak sibuk. Secara keseluruhan, nilai persentase *packet loss* yang didapatkan kurang dari 0.3%. Menurut ITU-T G.1010 nilai PLR (*Packet Loss Ratio*) pada *video streaming* memiliki nilai kurang dari 1% maka jaringan tersebut dinyatakan baik. Sehingga pada penelitian ini, untuk layanan VoD pada jaringan topologi *star* dan topologi *tree* dapat dinyatakan memenuhi kriteria persyaratan yang ditawarkan ITU-T G.1010.

## 4.5 Perhitungan Nilai *Throughput* dan *Delay End to End* Secara Teoritis

### 4.5.1 Perhitungan Jumlah Bit dan *Throughput* Secara Teoritis

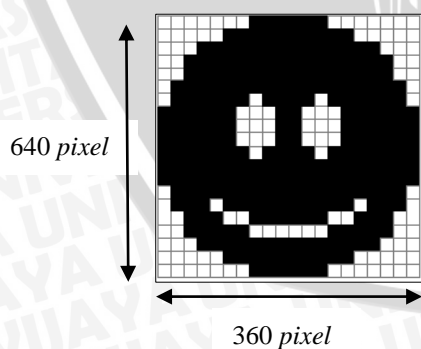
*File video* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *video* dengan resolusi 360p (terdiri dari 360x640), 720p (terdiri dari 720x1280), dan 1080p (terdiri dari 1080x1920). *frame rate* sebesar 25fps, *colour depth* sebesar 32 bit/pixel dan *motion rank* yang digunakan adalah 1. Untuk mencari jumlah bit pada tiap resolusi *video* yang digunakan adalah sebagai berikut:

Diketahui bahwa setiap resolusi memiliki jumlah *pixel* yang berbeda. Gambar 4.19 merupakan penjelasan pada sebuah resolusi gambar yang terdiri dari beberapa *pixel*. Semakin banyak *pixel* dalam satu *frame*, maka kualitas gambar akan semakin jelas.



Gambar 4.19 Jumlah *Pixel* pada Satu *Frame* Gambar

- *Video 360p*



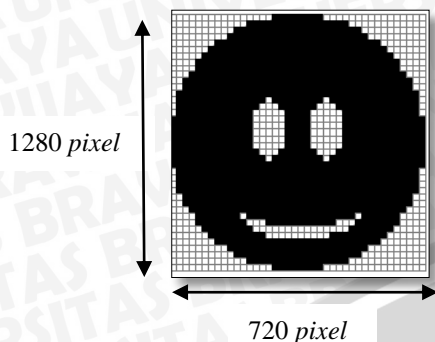
$$\text{Pixel per frame video} = 360 \times 640$$

$$= 230400 \text{ pixel}$$

$$\text{Bit per frame video} = 230400 \times 32 \text{ bit}$$

$$= 7372800 \text{ bit}$$

- Video 720p



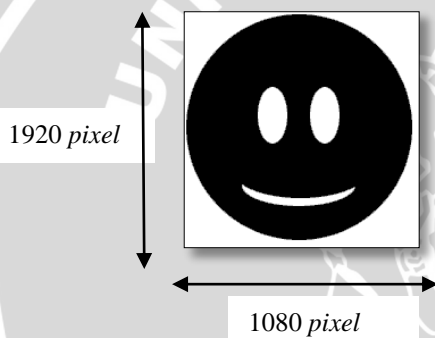
$$\text{Pixel per frame video} = 720 \times 1280$$

$$= 921600 \text{ pixel}$$

$$\text{Bit per frame video} = 921600 \times 32 \text{ bit}$$

$$= 29491200 \text{ bit}$$

- Video 1080p



$$\text{Pixel per frame video} = 1080 \times 1920$$

$$= 2073600 \text{ pixel}$$

$$\text{Bit per frame video} = 2073600 \times 32 \text{ bit}$$

$$= 66355200 \text{ bit}$$

Berdasarkan persamaan 2.1 dapat diperoleh nilai *throughput video* dengan *codec* H.264 untuk setiap resolusi yang digunakan tanpa *losses* secara teoritis sebagai berikut:

- Perhitungan *throughput* pada resolusi 360p, diketahui:

$$\text{Width: } 640 \quad \text{Height: } 360 \quad \lambda_{FL\text{Audio}}: 96$$

$$\lambda_{FL} = (\text{Width} \times \text{Height} \times \text{Frame Rate} \times 0,07 \times \text{Motion rank}) + \lambda_{FL\text{Audio}}$$

$$\lambda_{FL} = 640 \times 360 \times 25 \times 0,07 \times 1 + 96$$

$$= 403,3 \text{ kbps}$$

- Perhitungan *throughput* pada resolusi 720p, diketahui:

$$\text{Width: } 1280 \quad \text{Height: } 720 \quad \lambda_{FL\text{Audio}}: 192$$

$$\lambda_{FL} = (\text{Width} \times \text{Height} \times \text{Frame Rate} \times 0,07 \times \text{Motion rank}) + \lambda_{FL\text{Audio}}$$

$$\lambda_{FL} = 1280 \times 720 \times 25 \times 0,07 \times 1 + 192$$

$$= 1613 \text{ kbps}$$

- Perhitungan *throughput* pada resolusi 1080p, diketahui:

Width: 1920 Height: 1080  $\lambda_{FLAudio}$ : 125

$$\lambda_{FL} = (\text{Width} \times \text{Height} \times \text{Frame Rate} \times 0,07 \times \text{Motion rank}) + \lambda_{FLAudio}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{FL} &= 1920 \times 1080 \times 25 \times 0,07 \times 1 + 125 \\ &= 3756 \text{ kbps}\end{aligned}$$

#### 4.5.2 Perhitungan *Delay End-to-End* Secara Teoritis

Perhitungan *delay end-to-end* secara teoritis terdiri dari *delay* propagasi, *delay* transmisi, *delay* antrian, *delay* enkapsulasi, dan *delay* dekapsulasi. Hasil penjumlahan kelima nilai *delay* tersebut merupakan nilai *delay end-to-end*.

##### 1) *Delay Propagasi*

*Delay* propagasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk merambatkan paket *multimedia* melalui media transmisi dari *server* ke *client*. Jarak yang dibutuhkan antara *server* dengan *client* adalah  $\pm 4000$  km. Berdasarkan Persamaan 2.9 dan Tabel 2.4, maka perhitungan *delay* propagasi adalah sebagai berikut:

Panjang kabel serat optik = 4.000.000 meter

(dari *server* di Taiwan hingga *client* yang berada di Lab. Telekomunikasi TEUB)

Panjang kabel UTP = 6,6 meter

(pada Lab. Telekomunikasi TEUB)

Untuk *delay* propagasi pada kabel serat optik,

$$t_p = \frac{d_{max}}{v}$$

$$t_{p \text{ Serat Optik}} = \frac{4.000.000}{(0,66 \times 3 \times 10^8)}$$

$$t_{p \text{ Serat Optik}} = 0,0202 \text{ s}$$

$$t_{p \text{ Serat Optik}} = \mathbf{20,20 \text{ ms}}$$

Untuk *delay* propagasi pada kabel UTP,

$$t_p = \frac{d_{max}}{v}$$

$$t_{p \text{ UTP}} = \frac{6,6}{(0,64 \times 3 \times 10^8)}$$

$$t_{p \text{ UTP}} = 3,4375 \times 10^{-8} \text{ sekon}$$

$$t_{p \text{ UTP}} = \mathbf{0,000034375 \text{ ms}}$$

Jadi, perhitungan total *delay* propagasi adalah sebagai berikut:

$$t_p = t_p \text{ Serat Optik} + t_p \text{ UTP}$$

$$t_p = 20,20 \text{ ms} + 0,000034375 \text{ ms}$$

$$t_p = 20,20003438 \text{ ms}$$

### Delay Transmisi

Delay transmisi adalah waktu yang dibutuhkan untuk meletakkan sebuah paket *multimedia* ke media transmisi. Dipengaruhi ukuran paket data dan kapasitas kanal intranet.

- Panjang header IPv4 ( $L_{Header \text{ Ipv4}}$ ) = 20 byte/paket
- Panjang header NALU ( $L_{Header \text{ NALU}}$ ) = 1 byte/paket
- Panjang header UDP ( $L_{Header \text{ UDP}}$ ) = 8 byte/paket
- Panjang header RTP ( $L_{Header \text{ RTP}}$ ) = 12 byte/paket
- Panjang header Ethernet ( $L_{Header \text{ Ethernet}}$ ) = 14 byte/paket
- Panjang header CRC ( $L_{Header \text{ CRC}}$ ) = 4 byte/paket
- Panjang header VLAN ( $L_{Header \text{ VLAN}}$ ) = 4 byte/paket

Panjang header ( $L'$ ), didapatkan

$$L' = L_{Header \text{ Ipv4}} + L_{Header \text{ NALU}} + L_{Header \text{ UDP}} + L_{Header \text{ RTP}} + L_{Header \text{ Ethernet}} + L_{Header \text{ FCS}} + L_{Header \text{ VLAN}}$$

$$L' = (20 + 1 + 8 + 12 + 14 + 4 + 4) \times 8 \text{ bit}$$

$$L' = 504 \text{ bit}$$

Sedangkan diketahui dari data primer sebagai berikut:

$$\text{Jumlah data yang diterima} = 3189762 \text{ bytes}$$

$$\text{Jumlah paket yang diterima} = 3396 \text{ paket}$$

$$\text{Sehingga panjang paket data} = 3189762/3396$$

$$= 939.27031 \text{ bytes}$$

- Panjang paket data (L) 360p = (939.27031 bytes x 8)

$$= 7514.162544 \text{ bit}$$

- Kapasitas Kanal (B) = 100 Mbps

$$= 104.857.600 \text{ bps}$$

Sehingga, perhitungan *delay* transmisi adalah sebagai berikut:

$$t_t = \frac{(L + L')}{B}$$

$$t_t = \frac{(7514.162544 + 504)}{104857600}$$

$$t_t = \mathbf{0,07646715683 \text{ ms}}$$

## 2) Delay Antrian

*Delay* antrian adalah lamanya waktu yang diperlukan paket data untuk diproses pada suatu perangkat, terkait dengan pengiriman dan penerimaan paket data.

Diketahui dari data primer untuk perhitungan *delay* antrian diantaranya adalah sebagai berikut:

- Total paket data yang dikirimkan (N) = 3146 paket
- Waktu pengiriman paket rata-rata (T) = 60 sekon
- Panjang paket data ( $L_t$ ) = 1.000 byte/paket  
= 8.000 bit/paket
- Kapasitas Kanal (C) = 100 Mbps  
= 104.857.600 bps

Sehingga, perhitungan kecepatan kedatangan paket pada *server* ( $\lambda_p$ ) dan kecepatan pelayanan *server* ( $\mu$ ) adalah sebagai berikut:

$$\lambda_p = \frac{N}{T}$$

$$\lambda_p = \frac{3146}{60}$$

$$\lambda_p = \mathbf{52,4333 \text{ paket/sekon}}$$

Sedangkan,

$$\mu = \frac{C}{L_t}$$

$$\mu = \frac{104.857.600}{(1000 + 63) \times 8}$$

$$\mu = \mathbf{12.330,38 \text{ paket/sekon}}$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$\rho = \frac{52,4333}{12.330,38}$$

$$\rho = \mathbf{0,004256}$$

Jadi, perhitungan *delay* antrian adalah sebagai berikut:

$$t_{queue} = \frac{1}{\mu(1-\rho)}$$

$$t_{queue} = \frac{1}{12.330,38(1-0,00425)}$$

$$t_{queue} = 8,1446 \times 10^{-4} \text{ sekon}$$

$$t_{queue} = 0,81446 \text{ ms}$$

### 3) Delay Proses

*Delay* proses terdiri dari proses enkapsulasi dan dekapsulasi. Enkapsulasi adalah proses menambahkan *header* pada paket data, sehingga paket data tersebut dapat tepat sampai ke tujuan. *Delay* enkapsulasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk menambahkan keseluruhan *header* pada sebuah paket. Sedangkan *delay* dekapsulasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan keseluruhan *header* dari sebuah paket. Diketahui data sekunder diantaranya adalah sebagai berikut:

- Panjang *header* IPv4 ( $L_{Header\ Ipv4}$ ) = 20 byte/paket
- Panjang *header* NALU ( $L_{Header\ NALU}$ ) = 1 byte/paket
- Panjang *header* UDP ( $L_{Header\ UDP}$ ) = 8 byte/paket
- Panjang *header* RTP ( $L_{Header\ RTP}$ ) = 12 byte/paket
- Panjang *header* Ethernet ( $L_{Header\ Ethernet}$ ) = 14 byte/paket
- Panjang *header* CRC ( $L_{Header\ CRC}$ ) = 4 byte/paket
- Panjang *header* VLAN ( $L_{Header\ VLAN}$ ) = 4 byte/paket

Perhitungan *delay* enkapsulasi adalah sebagai berikut,

- Jumlah paket yang dikirim (N) = 3146 paket
- *Average Packet Size* = 1.000 byte  
= 8.000 bit
- Jumlah total data yang dikirim = 25.168.000 bit
- Waktu pengiriman total data = 60 s

Perhitungan kecepatan pemrosesan pada terminal pengirim adalah sebagai berikut,

$$C_{proses} = \frac{N_k}{T_k}$$

$$C_{proses} = \frac{25.168.000}{60}$$



$$C_{proses} = 419.466,667bps$$

Jadi, perhitungan *delay* enkapsulasi adalah sebagai berikut:

$$t_{enc} = \frac{L_{Header\ Ipv4} + L_{Header\ NALU} + L_{Header\ UDP} + L_{Header\ RTP} + L_{Header\ Ethernet} + L_{Header\ FCS} + L_{Header\ VLAN}}{C_{proses}}$$

$$t_{enc} = \frac{(20 + 1 + 8 + 12 + 14 + 4 + 4) \times 8\ bit}{419.466,667}$$

$$t_{enc} = 1,2015 \times 10^{-4}\ sekon$$

$$t_{enc} = \mathbf{0,12015\ ms}$$

Perhitungan *delay* dekapsulasi adalah sebagai berikut,

- Jumlah paket yang dikirim (N) = 3146 paket
- *Average Packet Size* = 1.000 byte  
= 8.000 bit
- Jumlah total data yang dikirim = 25.168.000 bit
- Waktu pengiriman total data = 60 s

Perhitungan kecepatan pemrosesan pada terminal pengirim adalah sebagai berikut,

$$C_{proses} = \frac{N_k}{T_k}$$

$$C_{proses} = \frac{25.168.000}{60}$$

$$C_{proses} = 419.466,667bps$$

Jadi, perhitungan *delay* dekapsulasi adalah sebagai berikut:

$$t_{dec} = \frac{L_{Header\ Ipv4} + L_{Header\ NALU} + L_{Header\ UDP} + L_{Header\ RTP} + L_{Header\ Ethernet} + L_{Header\ FCS} + L_{Header\ VLAN}}{C_{proses}}$$

$$t_{dec} = \frac{(20 + 1 + 8 + 12 + 14 + 4 + 4) \times 8\ bit}{419.466,667}$$

$$t_{enc} = 1,2015 \times 10^{-4}\ sekon$$

$$t_{enc} = \mathbf{0,12015\ ms}$$

Maka, *delay* proses diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.5, maka diperlukan nilai *delay* sebagai berikut,

$$t_{proses} = t_{enc} + t_{dec}$$

$$t_{proses} = 0,12015\ ms + 0,12105\ ms$$

$$t_{proses} = 0,24030 \text{ ms}$$

Perhitungan *delay codec* akhirnya adalah :

$$t_{codec} = t_{video} + t_{audio}$$

$$t_{codec} = 50 \text{ ms} + 60 \text{ ms}$$

$$t_{codec} = 110 \text{ ms}$$

Sehingga didapatkan nilai *delay end-to-end*,

$$t_{end-to-end} = 0,12015 \text{ ms} + 0,07646715683 \text{ ms} + 20,20003438 \text{ ms} + 0,8446 \text{ ms} \\ + 0,12105 \text{ ms} + 110 \text{ ms}$$

$$t_{end-to-end} = 131,3623015 \text{ ms}$$

Nilai *delay end-to-end* yang didapatkan untuk resolusi *video* 360p adalah 131,1663443 ms, dan untuk nilai *delay end-to-end* pada resolusi *video* 720p dan 1080p dapat dilakukan dengan perhitungan yang sama dengan memiliki jumlah paket yang digunakan adalah berbeda.

