

Analisis Pengaruh *Handover* Terhadap Kinerja *Video Streaming* Menggunakan Protokol LTE

Ryan Eko Listyanto¹, Primantara Hari Trisnawan², Reza Andria Siregar³

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya
Email: ¹ryan_e_1@student.ub.ac.id, ²prima@ub.ac.id, ³reza.jalin@ub.ac.id

Abstrak

LTE (*Long Term Evolution*) menjadi teknologi yang mendominasi perkembangan jaringan seluler untuk *mobile node* saat ini. LTE mampu melakukan *handover* untuk meningkatkan kapasitas jaringan dan mendukung layanan kepada *mobile node*. Di sisi lain, saat ini *video streaming* menjadi layanan populer dengan dukungan *mobile node* yang mampu mengakses video kualitas tinggi dan dukungan LTE sebagai jaringan berkecepatan tinggi hingga 150Mbps. Namun mekanisme *handover* pada LTE dapat berpengaruh terhadap kualitas layanan karena terjadi perpindahan *cell* antar eNodeB yang dipengaruhi berbagai hal, misalnya jumlah *node* yang dilayani, paket yang dikirim, atau penurunan sinyal yang terjadi pada kedua eNodeB. Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap beberapa skenario yang merepresentasikan kondisi nyata pada daerah urban dengan menggunakan *micro cell*. Simulasi dilakukan dengan empat skenario yaitu kecepatan *node*, kepadatan *node*, jarak dua eNodeB, dan ukuran paket yang dikirim menggunakan simulator Omnet++. Pada simulasi, *node* akan bergerak linier di antara dua eNodeB selama 1000 sekon untuk mendapatkan hasil *end-to-end delay*, *jitter*, *packet loss*, dan *throughput*. Dari pengujian tersebut didapatkan bahwa *node* yang bergerak terlalu lambat justru memiliki hasil yang tidak optimal. Beban jaringan yang semakin tinggi pada pengujian kepadatan *node* dan ukuran paket menurunkan kualitas layanan namun masih dalam kondisi yang baik untuk *video streaming*. Sedangkan penurunan kekuatan sinyal justru dapat meningkatkan kualitas layanan pada titik tertentu.

Kata kunci: LTE, *handover*, *video streaming*, eNodeB, Omnet++

THE EFFECT OF HANDOVER ANALYSIS ON VIDEO STREAMING PERFORMANCE BY USING LTE PROTOCOL

Abstract

LTE (*Long Term Evolution*) is a technology that dominates the cellular network developments for mobile nodes currently. LTE can carry out handovers to increase network capacity and support services to mobile nodes. On the other hand, at this time, *video streaming* is becoming a popular service with mobile nodes support capable of accessing high-quality video and support for LTE as a high-speed network of up to 150 Mbps. However, the *handover* mechanism on LTE can affect service quality due to channel shifting between eNodeB that is influenced by various things, for example, the number of nodes served, packets sent, or a drop in the signal that occurs on both eNodeB. This research is conducted a *handover* simulation with several scenarios using a *micro cell*. The simulation is carried out with four scenarios, namely *node speed*, *node density*, the distance of two eNodeB, and the size of packets sent. In the simulation, the nodes will move linearly between two eNodeB for 1000 seconds to get the results of *end-to-end delay*, *jitter*, *packet loss*, and *throughput*. From this test, it was found that nodes that were moving too slowly had suboptimal results. The higher network load on testing *node density* and *packet size* decreases service quality but it is still in good condition for *video streaming*. Meanwhile, the decrease in signal strength can improve service quality at some point.

Keywords: LTE, *handover*, *video streaming*, eNodeB, Omnet++

1. PENDAHULUAN

Layanan jaringan seluler pada perangkat bergerak saat ini didominasi oleh LTE (*Long Term Evolution*) untuk mendukung perkembangannya. Jaringan seluler tersebut bertujuan memenuhi kebutuhan jangkauan, *data rate*, dan kapasitas untuk masa mendatang. *Third Generation Partnership Program* (3GPP) telah menentukan LTE sebagai teknologi untuk memenuhi tujuan-tujuan tersebut. Peningkatan kemampuan mobilitas LTE adalah aspek yang penting karena harus mampu memenuhi kebutuhan mobilitas perangkat hingga 350 km/jam (Chavarría, 2014).

Untuk mengontrol *mobile node* di satu atau lebih *cell*, LTE memerlukan sebuah komponen sebagai *Base Transceiver Station* (BTS) yang disebut eNodeB (Cox, 2012). Setiap *cell* memiliki ukuran terbatas yang ditentukan oleh rentang maksimum sejauh mana penerima dapat menerima sinyal. *Macrocell* menyediakan cakupan area yang luas di daerah pedesaan atau pinggiran kota dan memiliki jangkauan hingga 30 kilometer. Sedangkan *microcell* memiliki ukuran beberapa ratus meter dan memberikan kapasitas kolektif lebih besar yang cocok untuk daerah perkotaan dan padat penduduk hingga kurang lebih 2 kilometer. Namun karena jangkauan yang lebih kecil, *micro cell* memiliki tingkat *handover* yang lebih tinggi.

Dari banyaknya aplikasi saat ini, *video streaming* menjadi layanan dengan lalu lintas terbesar. Statista (2018) menunjukkan bahwa pengguna aplikasi *video streaming* di Amerika Serikat pada bulan September 2018 mencapai 152 juta pengguna untuk *Google Sites*, dan *Facebook* sebanyak 58 juta pengguna. Lalu lintas pada jaringan sebagian besar terdiri dari layanan video pada tahun 2018 sebesar 90%.

Node dalam sebuah *cell* memiliki pergerakan yang berbeda baik dari jumlah maupun kecepatan pergerakannya. Pada kondisi jalan raya dalam kota, kecepatan *node* mampu mencapai 50 km/jam sesuai dengan Permen No 111/2015 yang menyebutkan bahwa batas kecepatan maksimal untuk daerah dalam kota di Indonesia adalah 50 km/jam atau 13,8 mps dan tidak ada batas kecepatan minimal.

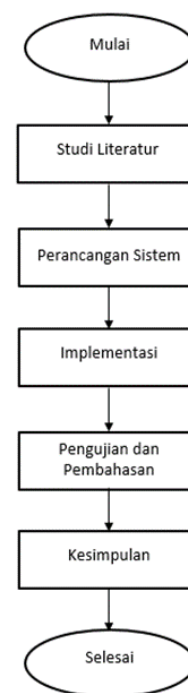
Kondisi lalu lintas jaringan yang tinggi dapat mengakibatkan peningkatan *handover* dan penurunan kualitas jaringan yang berdampak pada layanan aplikasi, misalnya *end-to-end delay* dan *jitter* yang meningkat pada layanan

video streaming akan menyebabkan UE menunggu paket berikutnya sehingga proses *video streaming* berhenti. Hal tersebut dapat terjadi karena pada saat *handover*, paket akan disimpan oleh S-GW (*serving gateway*) sampai UE terhubung dengan eNodeB yang baru (Helenius, 2011). Sedangkan paket yang hilang mengakibatkan *video* yang ditampilkan menjadi rusak karena proses *encoding* yang tidak sempurna.

Penelitian ini menganalisis bagaimana dampak *handover* yang disebabkan oleh peningkatan pengguna layanan *mobile*. Layanan yang diuji adalah aplikasi *video streaming* karena layanan *video* merupakan layanan yang paling populer digunakan saat ini (Babiker & Idris, 2016). Sedangkan parameter lain yang diuji adalah variasi kecepatan *node*, kepadatan *node*, jarak antara dua eNodeB, dan ukuran paket *video*.

Tujuan dilakukan penelitian pada skripsi ini adalah untuk mengetahui bagaimana dampak *handover* terhadap kinerja *video streaming* dengan beberapa skenario yaitu kecepatan *node*, kepadatan *node*, jarak antara dua eNodeB, dan ukuran paket. Sedangkan parameter QoS yang digunakan sebagai bahan analisis adalah *end-to-end delay*, *jitter*, *packet loss*, dan *throughput*

2. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Gambar 1 merupakan diagram alir bagaimana penelitian akan dilakukan dimulai dari studi literatur, perancangan, implementasi, pengujian dan pembahasan, hingga kesimpulan.

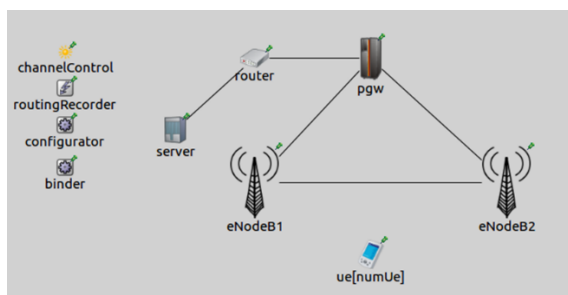
Studi literatur merupakan seluruh dasar teori yang ada serta menjadi pendukung dalam perancangan sistem yang akan diuji. Dasar teori sebagai materi pendukung meliputi LTE, *video streaming*, *handover*, Omnet++, dan bagaimana hasil simulasi diperoleh.

Perancangan simulasi meliputi konfigurasi umum dan konfigurasi skenario pengujian. Konfigurasi umum merupakan pengaturan-pengaturan yang menjadi dasar simulasi yang nantinya membentuk lingkungan pengujian meliputi pensinyalan, pengaturan *interface* antar eNodeB, dan parameter-parameter lain yang dibutuhkan sebagai dasar pengujian. Sedangkan perancangan skenario pengujian merupakan perancangan untuk skenario-skenario yang akan dilakukan meliputi kecepatan *node*, kepadatan *node*, jarak antara dua eNodeB, dan ukuran paket.

Implementasi merupakan tahap penerapan dari perancangan simulasi dan skenario pengujian. Tahap ini dilakukan untuk memperoleh hasil penelitian yang nantinya akan disimpulkan sebagai hasil.

Pengumpulan data dilakukan pada saat simulasi sedang berlangsung, data tersebut merupakan data yang nantinya akan dianalisis dan diambil kesimpulan. Data diperoleh dari pengujian pada Omnet++ sesuai dengan skenario yang telah dibuat sebelumnya. Parameter hasil yang diambil pada pengujian adalah *end-to-end delay*, *jitter*, *packet loss*, dan *throughput*. Data-data pengujian akan terekam ketika simulasi sedang berlangsung dan akan dikonversi dalam bentuk informasi grafik.

3. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI



Gambar 2. Topologi Jaringan

Skenario menerapkan topologi pada Gambar 2 dengan *mobile node* yang akan

bergerak di antara dua eNodeB sehingga terjadi proses *handover*. Skenario kecepatan akan menguji kecepatan nod 2mps, 6mps, 10mps, dan 14mps. Skenario kepadatan akan menguji jumlah node 40, 60, 80, dan 100. Skenario jarak antar eNodeB akan menguji jarak 1000 m, 1500 m, 2000 m, dan 2500 m. Skenario ukuran paket akan menguji ukuran paket 752B, 940B, 1128B, dan 1316B. Komponen-komponen pada Gambar 2 mengimplementasi *library* SimuLte sebagai *library* untuk layanan LTE.

Tabel 1 Konfigurasi eNodeB

Konfigurasi eNodeB omnetpp.ini	
**channelControl.carrierFrequency	= 2.3GHz
# Enable <i>handover</i> & Power Control	
**lteNic.phy.handoverLatency	= 0,05s
**lteNic.phy.relayTxPower	= 20
**lteNic.phy.txAngle	= 0
**lteNic.phy.txDirection	= "Omni"
**lteNic.phy.eNodeBTxPower	= 46
**lteNic.phy.enableHandover	= true
**lteNic.phy.microTxPower	= 36
**lteNic.phy.ueTxPower	= 23
# X2 configuration	
.eNodeB.numX2Apps	= 1
.eNodeB.x2App[*].server.localPort	= 5000 + ancestorIndex(1)
*.eNodeB1.x2App[0].client.connectAddress	s = "eNodeB2%x2ppp0"
*.eNodeB2.x2App[0].client.connectAddress	s = "eNodeB1%x2ppp0"

Tabel 1 merupakan konfigurasi eNodeB mulai dari pengaturan frekuensi, *handover*, dan *interface* X2 yang digunakan untuk berkomunikasi dengan eNodeB lain.

Tabel 2 Konfigurasi *microcell*

Konfigurasi <i>micro cell</i> LteDeployer.ned	
bool microCell	= true;

Tabel 2 menunjukkan konfigurasi penggunaan *microcell*. Jika parameter diberi nilai false maka jaringan akan menggunakan *macrocell*.

Tabel 3 Konfigurasi *Video Streaming*

Konfigurasi <i>Video streaming</i> omnetpp.ini	
[Config VideoStreaming]	
extends=Handover-General	
**ue[*].udpApp[*].typename	= "UDPVideoStreamCli"
**ue[*].udpApp[*].serverAddress	= "server"
**ue[*].udpApp[*].localPort	= 9999
**ue[*].udpApp[*].serverPort	= 3088
**ue[*].udpApp[*].startTime	= 0.01s
**server.udpApp[*].typename	= "UDPVideoStreamSvr"
**server.udpApp[*].videoSize	= 100MB
**server.udpApp[*].localPort	= 3088
**server.udpApp[*].sendInterval	= 2ms

<pre> **server.udpApp[*].packetLen = \${packetLen = 1316B} </pre>

Tabel 3 merupakan konfigurasi untuk *video streaming*. Di sini diatur *port* yang digunakan baik *server* maupun *client*, ukuran paket dan interval pengiriman.

Tabel 4 Konfigurasi Kecepatan Node

Konfigurasi Kecepatan Node omnetpp.ini	
1	<pre>*.ue*.mobility.speed = 2mps</pre>

Tabel 4 menunjukkan konfigurasi untuk mengatur kecepatan *node*. Kecepatan tersebut dapat diatur pada variabel *speed*.

Tabel 5 Konfigurasi Kepadatan Node

Kepadatan Node omnetpp.ini	
1	<pre>**numUe = \${numUEs = 1,40,60,80,100}</pre>

Tabel 5 menunjukkan konfigurasi untuk kepadatan *node*. Jumlah *node* akan dipilih sebelum proses runing dilakukan.

Tabel 6 Konfigurasi Ukuran Paket

Konfigurasi Jarak Antar eNodeB omnetpp.ini	
1	<pre>*.eNodeB1.mobility.initialX = 1000m</pre>
2	<pre>*.eNodeB2.mobility.initialX = 2000m</pre>

Tabel 6 menunjukkan konfigurasi jarak antar dua eNodeB. Keduanya diatur secara terpisah baik eNodeB pertama maupun kedua sehingga jarak dapat ditentukan.

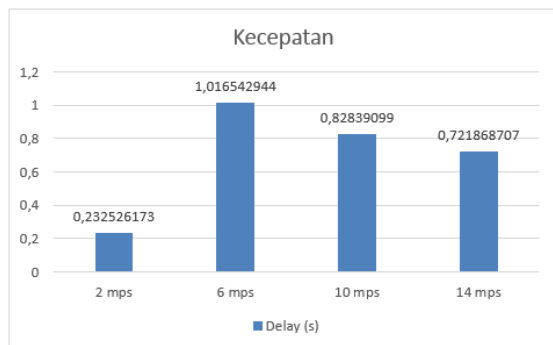
Tabel 7 Konfigurasi Ukuran Paket

Konfigurasi ukuran paket omnetpp.ini	
1	<pre>**server.udpApp[*].packetLen = \${packetLen = 752B}</pre>

Tabel 7 menunjukkan konfigurasi ukuran paket. Pengaturan tersebut terdapat pada variabel *packetLen*.

4. HASIL DAN ANALISIS

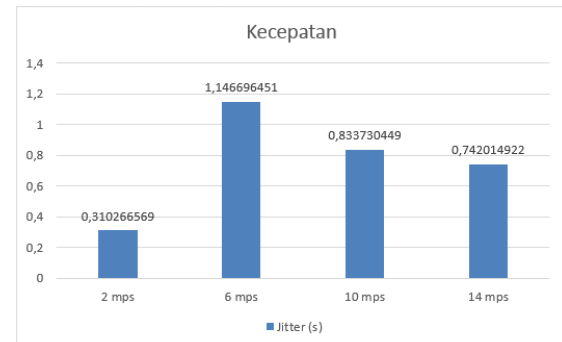
4.1 Skenario Kecepatan Node



Gambar 3 Grafik *end-to-end delay* skenario kecepatan *node*

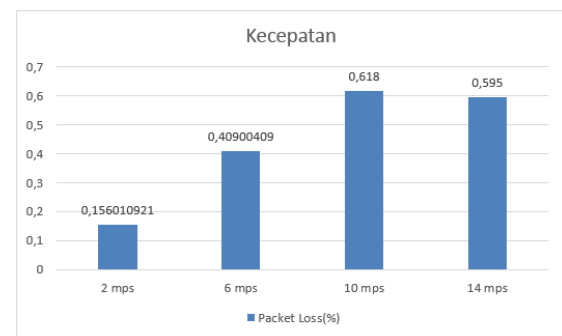
Gambar 3 merupakan nilai *end-to-end delay* dari hasil pengujian kecepatan *node* dengan nilai yang bervariasi yaitu 2 mps, 6 mps,

10 mps, dan 14 mps. Pada tabel tersebut ditunjukkan nilai yang diperoleh pada masing-masing percobaan yaitu 0,23 sekon, 1,01 sekon, 0,82 sekon, dan 0,72 sekon.



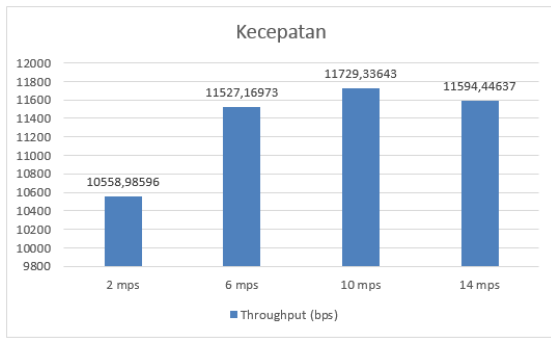
Gambar 4 Grafik *jitter* skenario kecepatan *node*

Gambar 4 merupakan nilai *jitter* dari hasil pengujian kecepatan *node* dengan nilai yang bervariasi yaitu 2 mps, 6 mps, 10 mps, dan 14 mps. Pada tabel tersebut ditunjukkan nilai yang diperoleh pada masing-masing percobaan yaitu 0,31 sekon, 1,14 sekon, 0,83 sekon, dan 0,74 sekon.



Gambar 5 Grafik *packet loss* skenario kecepatan *node*

Gambar 5 merupakan nilai *packet loss* dari hasil pengujian kecepatan *node* dengan nilai yang bervariasi yaitu 2 mps, 6 mps, 10 mps, dan 14 mps. Pada tabel tersebut ditunjukkan nilai yang diperoleh pada masing-masing percobaan yaitu 0,15 %, 0,1 %, 0,61 %, dan 0,59 %.

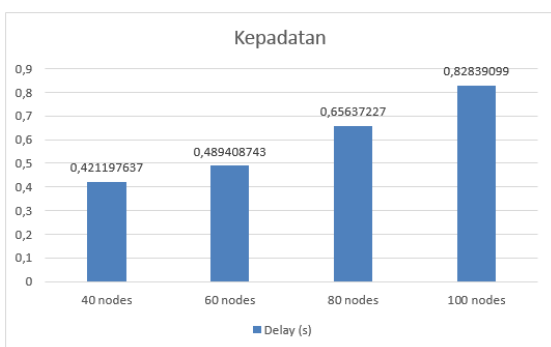


Gambar 6 Grafik *throughput* skenario kecepatan *node*

Gambar 6 merupakan nilai *throughput* dari hasil pengujian kecepatan *node* dengan nilai yang bervariasi yaitu 2 mps, 6 mps, 10 mps, dan 14 mps. Pada tabel tersebut ditunjukkan nilai yang diperoleh pada masing-masing percobaan yaitu 10558,98 bps, 11527,16 bps, 11729,33 bps, dan 11594,44 bps.

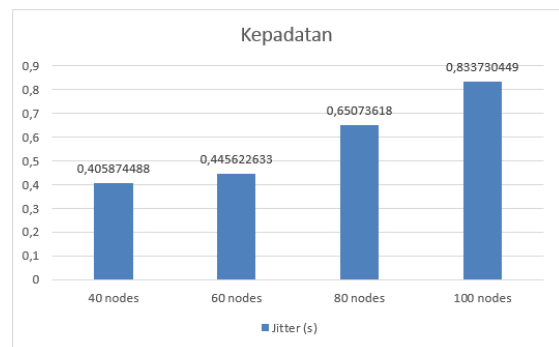
Pada skenario kecepatan *node*, hasil *end-to-end delay*, *packet loss*, dan *throughput* memiliki nilai yang baik untuk layanan *video streaming*. Peningkatan kecepatan yang terjadi mempengaruhi seberapa cepat terjadinya perubahan kondisi *node* di tiap eNodeB. *Node* yang bergerak terlalu lambat justru dapat mengurangi kualitas layanan karena akan berada pada titik *handover* lebih lama, ini terjadi pada kecepatan 6mps. Sedangkan pada kecepatan 2 mps, *delay* cenderung rendah karena hanya terjadi sedikit *handover*.

4.2 Skenario Kepadatan Node



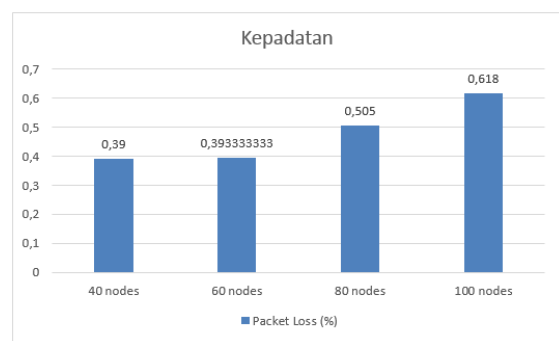
Gambar 7 Grafik *end-to-end delay* skenario kepadatan *node*

Gambar 7 merupakan nilai *end-to-end delay* dari hasil pengujian kepadatan *node* dengan nilai yang bervariasi yaitu 40, 60, 80, dan 100. Pada tabel tersebut ditunjukkan nilai yang diperoleh pada masing-masing percobaan yaitu 0,42 sekon, 0,48 sekon, 0,65 sekon, dan 0,82 sekon



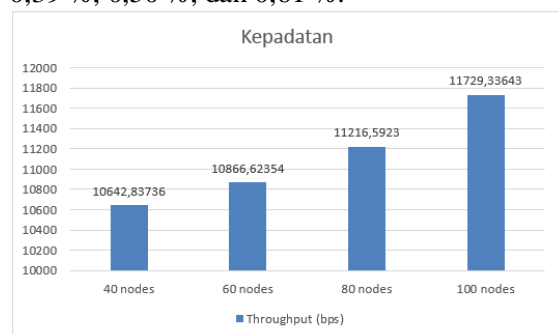
Gambar 8 Grafik *jitter* skenario kepadatan *node*

Gambar 8 merupakan nilai *jitter* dari hasil pengujian kepadatan *node* dengan nilai yang bervariasi yaitu 40, 60, 80, dan 100. Pada tabel tersebut ditunjukkan nilai yang diperoleh pada masing-masing percobaan yaitu 0,40 sekon, 0,44 sekon, 0,65 sekon, dan 0,83 sekon.



Gambar 9 Grafik *packet loss* skenario kepadatan *node*

Gambar 9 merupakan nilai *packet loss* dari hasil pengujian kepadatan *node* dengan nilai yang bervariasi yaitu 40, 60, 80, dan 100. Pada tabel tersebut ditunjukkan nilai yang diperoleh pada masing-masing percobaan yaitu 0,39 %, 0,39 %, 0,50 %, dan 0,61 %.



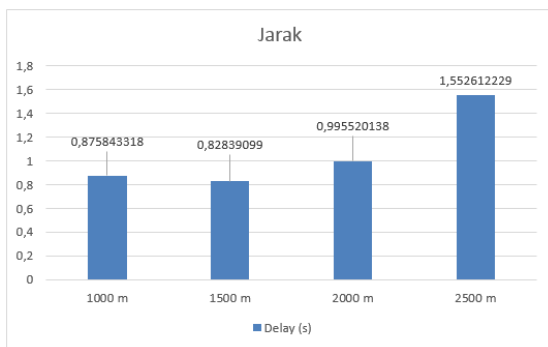
Gambar 10 Grafik *throughput* skenario kepadatan *node*

Gambar 10 merupakan nilai *end-to-end delay* dari hasil pengujian kepadatan *node*

dengan nilai yang bervariasi yaitu 40, 60, 80, dan 100. Pada tabel tersebut ditunjukkan nilai yang diperoleh pada masing-masing percobaan yaitu 10642,8 bps, 10866,62 bps, 11216,59 bps, 11729,33 bps.

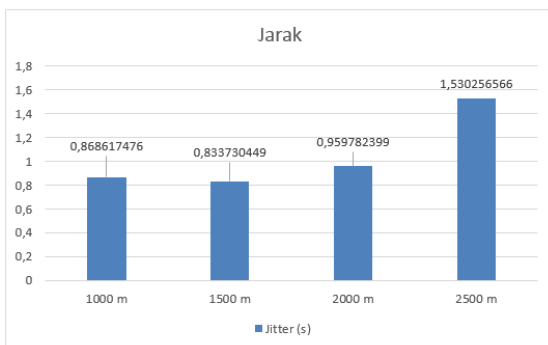
Pada skenario tersebut, *hasil end-to-end delay*, *packet loss*, dan *throughput* memiliki nilai yang baik untuk layanan *video streaming*. Peningkatan nilai *delay*, *jitter*, dan *packet loss* terjadi karena peningkatan beban jaringan. Namun hal itu diikuti dengan nilai *throughput* yang juga semakin meningkat yang berarti proses pengiriman paket juga meningkat.

4.3 Skenario Jarak Antara Dua eNodeB



Gambar 11 Grafik *end-to-end delay* skenario jarak antara dua eNodeB

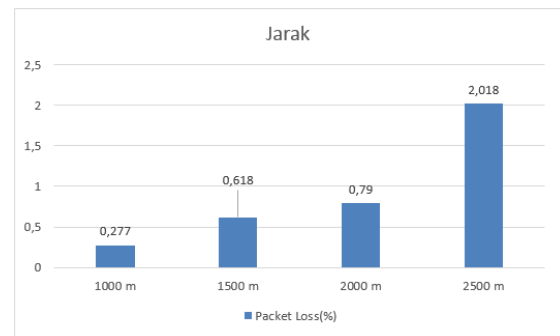
Gambar 11 merupakan nilai *end-to-end delay* dari hasil pengujian jarak antar eNodeB dengan nilai yang bervariasi yaitu 1000 m, 1500 m, 2000 m, dan 2500 m. Pada tabel tersebut ditunjukkan nilai yang diperoleh pada masing-masing percobaan yaitu 0,87 sekon, 0,82 sekon, 0,99 sekon, dan 1,55 sekon.



Gambar 12 Grafik *jitter* skenario jarak antar eNodeB

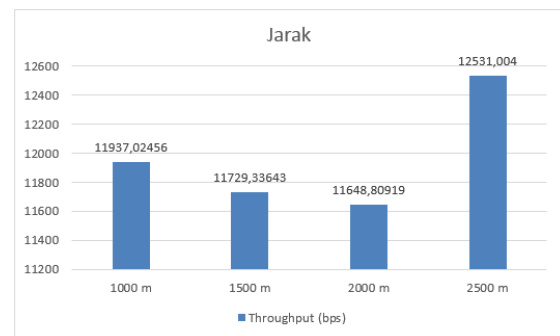
Gambar 12 merupakan nilai *jitter* dari hasil pengujian jarak antar eNodeB dengan nilai yang bervariasi yaitu 1000 m, 1500 m, 2000 m, dan 2500 m. Pada tabel tersebut ditunjukkan nilai yang diperoleh pada masing-masing

percobaan yaitu 0,86 sekon, 0,83 sekon, 0,95 sekon, 1,53 sekon



Gambar 13 Grafik *packet loss* skenario jarak antar eNodeB

Gambar 13 merupakan nilai *packet loss* dari hasil pengujian jarak antar eNodeB dengan nilai yang bervariasi yaitu 1000 m, 1500 m, 2000 m, dan 2500 m. Pada tabel tersebut ditunjukkan nilai yang diperoleh pada masing-masing percobaan yaitu 0,27 %, 0,61 %, 0,79 %, dan 2,01 %.

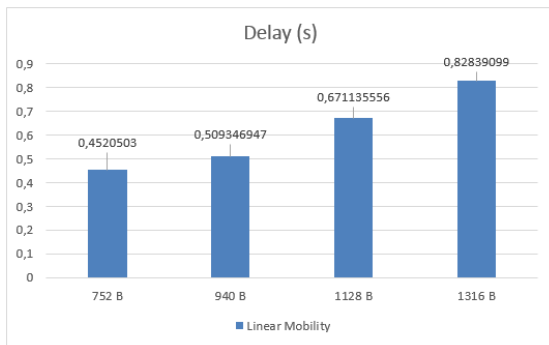


Gambar 14 Grafik *throughput* skenario jarak antar eNodeB

Gambar 14 merupakan nilai *throughput* dari hasil pengujian jarak antar eNodeB dengan nilai yang bervariasi yaitu 1000 m, 1500 m, 2000 m, dan 2500 m. Pada tabel tersebut ditunjukkan nilai yang diperoleh pada masing-masing percobaan yaitu 11937,02 bps, 11729,33 bps, 11648,80 bps, 12531 bps.

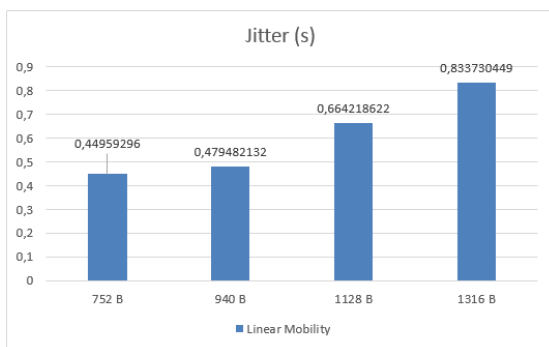
Pada skenario tersebut, hasil *end-to-end delay*, *packet loss*, dan *throughput* memiliki nilai yang baik untuk layanan *video streaming*. Hasil *delay* dan *jitter* menunjukkan nilai yang optimal pada simulasi 1500 meter. Jarak eNodeB yang terlalu dekat akan menyebabkan node kesulitan untuk menentukan eNodeB mana yang akan memberikan layanan karena sinyal sama-sama kuat. Namun *throughput* yang terjadi akan optimal pada jarak 2500 meter ruang pergerakan yang luas akan mengurangi kerapatan dan mengurangi terjadinya *handover*.

4.4 Skenario Ukuran Paket



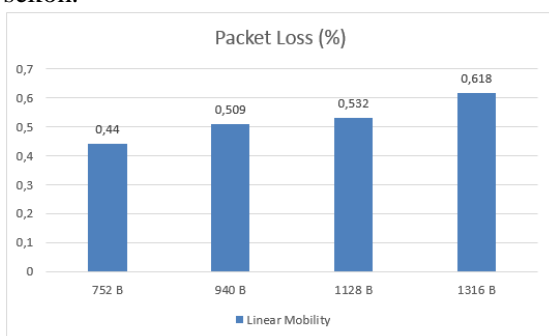
Gambar 15 Grafik *end-to-end-delay* skenario ukuran paket

Gambar 15 merupakan nilai *end-to-end delay* dari hasil pengujian ukuran paket dengan nilai yang bervariasi yaitu 752 B, 940 B, 1128 B, 1316 B. Pada tabel tersebut ditunjukkan nilai yang diperoleh pada masing-masing percobaan yaitu 0,45 sekon, 0,50 sekon, 0,67 sekon, dan 0,82 sekon.



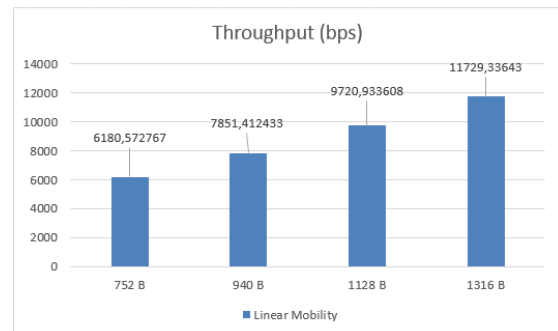
Gambar 16 Grafik *jitter* skenario ukuran paket

Tabel 16 merupakan nilai *jitter* dari hasil pengujian ukuran paket dengan nilai yang bervariasi yaitu 752 B, 940 B, 1128 B, 1316 B. Pada tabel tersebut ditunjukkan nilai yang diperoleh pada masing-masing percobaan yaitu 0,44 sekon, 0,47 sekon, 0,66 sekon, dan 0,83 sekon.



Gambar 17 Grafik *packet loss* skenario ukuran paket

Tabel 17 merupakan nilai *packet loss* dari hasil pengujian ukuran paket dengan nilai yang bervariasi yaitu 752 B, 940 B, 1128 B, 1316 B. Pada tabel tersebut ditunjukkan nilai yang diperoleh pada masing-masing percobaan yaitu 0,44 %, 0,50 %, 0,53 %, dan 0,61 %.



Gambar 18 Grafik *throughput* skenario ukuran paket

Gambar 18 merupakan nilai *throughput* dari hasil pengujian ukuran paket dengan nilai yang bervariasi yaitu 752 B, 940 B, 1128 B, 1316 B. Pada tabel tersebut ditunjukkan nilai yang diperoleh pada masing-masing percobaan yaitu 6180,57 bps, 7851,41 bps, 9720,93 bps, 11729,33 bps.

Pada skenario ukuran paket, hasil *end-to-end delay*, *packet loss*, dan *throughput* memiliki nilai yang baik untuk layanan *video streaming*. Hasil menunjukkan peningkatan *delay*, *jitter*, dan *packet loss* yang disebabkan oleh peningkatan beban jaringan. Namun nilai *throughput* juga mengalami peningkatan yang berarti jaringan mampu menangani beban layanan yang semakin besar.

5. KESIMPULAN

Pada skenario kecepatan *node*, pergerakan 6 mps justru dapat meningkatkan *end-to-end delay* dan *jitter* karena akan berada pada titik *handover* lebih lama daripada *node* dengan pergerakan 14 mps sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan sinyal yang memenuhi *threshold handover* juga lebih lama. Pada skenario kepadatan *node*, peningkatan nilai *end-to-end delay*, *jitter*, dan *packet loss* terjadi karena peningkatan beban jaringan. Namun hal itu diikuti dengan nilai *throughput* yang juga semakin meningkat yang berarti proses pengiriman paket juga meningkat. Pada skenario jarak antara dua eNodeB, hasil *end-to-end delay* dan *jitter* menunjukkan nilai yang optimal pada simulasi 1500 meter. Jarak eNodeB yang terlalu dekat akan menyebabkan *node* kesulitan untuk

menentukan eNodeB mana yang akan memberikan layanan karena sinyal sama-sama kuat dengan *threshold handover* yang besar sehingga *node* perlu melakukan perhitungan terus-menerus terhadap kedua sinyal yang diperoleh. Namun *throughput* yang terjadi akan optimal pada jarak 2500 meter ruang pergerakan yang luas akan mengurangi kepadatan dan mengurangi terjadinya *handover*. Pada skenario ukuran paket, hasil menunjukkan peningkatan *end-to-end delay*, *jitter*, dan *packet loss* yang disebabkan oleh peningkatan beban jaringan. Namun nilai *throughput* juga mengalami peningkatan yang berarti jaringan mampu menangani beban layanan yang semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Babiker, Mohamed Hassan & Hala Eldaw Idris. 2016. Video steaming Throughput Performance Analysis over LTE. Neelain University, Faculty of Engineering.
- Chavarría, José Bruno Iñiguez. (2014). LTE Handover Performance Evaluation Based on Power Budget Handover Algorithm. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Cox, C. (2012). An introduction to LTE : LTE, LTE-advanced, SAE and 4G mobile communications. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.
- Helenius, Atte. (2011). Performance of Handover in Long Term Evolution. Espoo: Aalto University.
- Statista. (2019). Most popular online video properties in the United States as of September 2018. <https://www.statista.com/statistics/265924/us-video-properties-ranked-by-unique-video-viewers>. (4 Oktober 2019).