

Integrasi Wireless Fidelity (WiFi) pada jaringan Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)

Endah Budi Purnomowati

Abstrak – *Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)* merupakan sistem telekomunikasi generasi ketiga (3G) hasil pengembangan jaringan *Global System for Mobile Communication (GSM)* yang memiliki laju data paket 2 Mbps untuk perangkat yang diam di tempat, 384 kbps untuk kecepatan orang berjalan serta 144 kbps untuk kecepatan orang berkendara. *Wireless Fidelity (WiFi)* merupakan teknologi WLAN standar pengembangan dari IEEE 802.11. IEEE 802.11b paling banyak digunakan saat ini, karena cepat dan mudah diimplementasikan. Berdasarkan keuntungan yang diberikan oleh jaringan UMTS dan WiFi dilakukan analisis integrasi WiFi pada jaringan UMTS terhadap parameter *delay end-to-end* dan *throughput*.

Dalam integrasinya terdapat *mobile IPv6* yang mendukung sebuah *mobile station* untuk dapat tetap berkomunikasi tanpa terputus meskipun berpindah dari jaringan yang satu ke jaringan yang lain. *Delay end-to-end* terbesar pada paket 4000 kB dengan faktor utilisasi 0,9 yakni sebesar 162,315 s. Sedangkan *delay end-to-end* terkecil pada paket data 10 kB dengan faktor utilisasi 0,1 sebesar 0,339 s. Saat *user* berada pada jaringan UMTS, *throughput* terbesar pada paket data 10 kB yaitu sebesar 335951,531 bps. Sedangkan *throughput* terkecil saat paket data 4000 kB yakni sebesar 332160,607 bps. Pada jaringan *Wi-Fi* *throughput* terbesar pada paket data 10 kB sebesar 10869563,05 bps. Sedangkan *throughput* terkecil saat paket data 4000 kB yakni sebesar 10868860,39 bps

Index Term: UMTS, GSM, WIFI

I. PENDAHULUAN

Salah satu sistem komunikasi bergerak yang sedang berkembang adalah *Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)*. UMTS merupakan sistem telekomunikasi generasi ketiga (3G) hasil pengembangan dari jaringan *Global System for Mobile Communication (GSM)* yang menggunakan teknologi *Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA)* sebagai *air interface*-nya.

Teknologi lain yang juga sedang berkembang saat ini

Endah Budi Purnomowati adalah dosen jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang. Penulis dapat dikontak di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang, Jl. MT. Haryono 167 Malang. Telp 0341554166

adalah *Wireless Fidelity (WiFi)*. WiFi merupakan bentuk pemanfaatan teknologi *Wireless Local Area Network (WLAN)* pada lokasi-lokasi publik dengan standar pengembangan IEEE 802.11 antara lain IEEE 802.11.b; 802.11.a; dan 802.11.g. Pada awal perkembangannya teknologi WiFi identik dengan standar IEEE 802.11.b yang memiliki kemampuan transmisi data sampai 11 Mbps pada pita frekuensi 2,4 GHz, hal ini dikarenakan teknologi dengan standar ini yang berkembang sangat pesat. Teknologi WiFi memiliki keterbatasan dalam hal *coverage area* yaitu sebesar *radius* 100 m.

Pada penelitian ini, penulis merumuskan pokok permasalahan sebagai berikut:

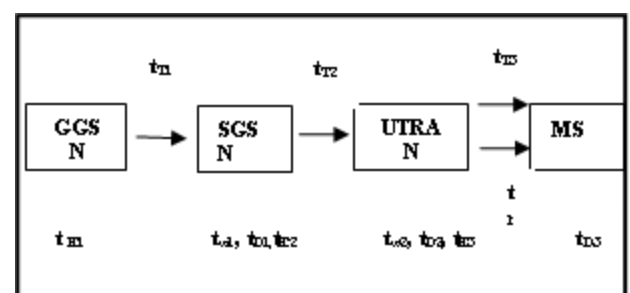
1. Bagaimana arsitektur jaringan untuk integrasi WiFi pada jaringan UMTS?
2. Bagaimana arsitektur protokol untuk integrasi WiFi pada jaringan UMTS?
3. Berapa besar nilai *delay end-to-end* dan *throughput* untuk integrasi WiFi pada jaringan UMTS?

II. MODEL ANALISIS JARINGAN

Model yang digunakan dalam analisis integrasi WiFi pada jaringan UMTS adalah model *user-server* yang diterapkan untuk transmisi *downlink*. Terdapat dua kondisi *downlink* yang akan dianalisis, yakni saat *user* berada pada jaringan UMTS dan saat *user* berada pada jaringan WiFi.

A. User berada pada Jaringan UMTS

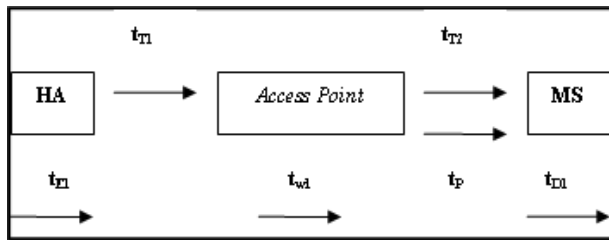
Analisis *delay* saat *user* berada dalam jaringan UMTS untuk transmisi *downlink* bermula dari *Gateway GPRS Support Node (GGSN)*, *Serving GPRS Support Node (SGSN)*, *UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)* dan berakhir di MS.



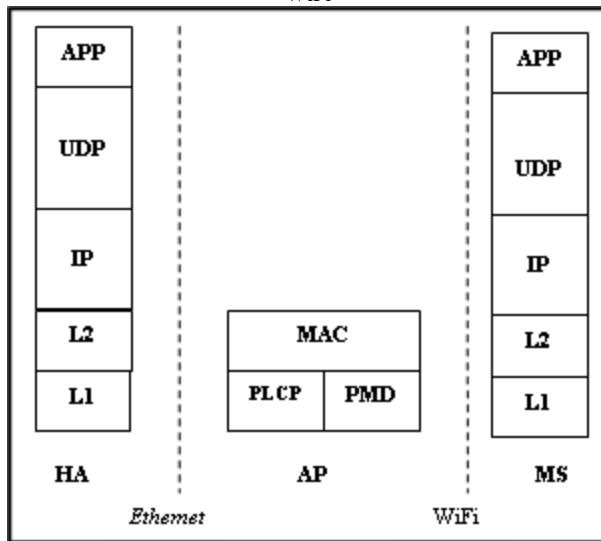
Gambar 1 Model Analisis Jaringan saat *User* berada pada Jaringan UMTS

B. User berada pada Jaringan WiFi

Analisis *delay* saat *user* berada pada jaringan WiFi bermula dari *Home Agent* (HA), *Access Point* (AP) dan berakhir di MS.



Gambar 2 Model Analisis Jaringan saat *User* berada pada Jaringan WiFi



Gambar 3 Konfigurasi Protokol saat *User* berada pada Jaringan WiFi

III. ANALISIS DELAY

Salah satu unjuk kerja suatu jaringan adalah *delay* yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari sumber ke tujuannya. Analisis *delay* yang akan dilakukan pada penelitian ini dimulai dari GGSN hingga MS.

A. User berada pada Jaringan UMTS

Pada kondisi ini mode transmisi yang digunakan adalah mode transmisi *downlink* saat *user* berada pada jaringan UMTS dan yang akan dianalisis meliputi perhitungan *delay* enkapsulasi/dekapsulasi, *delay* transmisi, *delay* propagasi, *delay* antrian, dan *delay* total mulai dari titik GGSN hingga mencapai MS.

1) Delay Enkapsulasi dan Dekapsulasi

Delay enkapsulasi dan dekapsulasi untuk masing-masing *node* sesuai dengan model jaringan untuk data adalah:

Total *delay* enkapsulasi dari GGSN hingga MS dihitung dari *delay* enkapsulasi pada GGSN (t_{E1}) ditambah *delay* enkapsulasi pada SGSN (t_{E2}) ditambah *delay* enkapsulasi pada UTRAN (t_{E3}). Untuk data sebesar 10 kB adalah:

$$t_{E\ total} = t_{E1} + t_{E2} + t_{E3}$$

$$= (8,141 \cdot 10^6) + (7,271 \cdot 10^5) + (7,013 \cdot 10^4) = 7,822 \cdot 10^4 \text{ s}$$

Total *delay* dekapsulasinya:

$$t_{D\ total} = t_{D1} + t_{D2} + t_{D3} = (6,513 \cdot 10^{-5}) + (5,844 \cdot 10^{-4}) + (0,284) = 0,284 \text{ s}$$

TABEL 1 HASIL ANALISIS DELAY ENKAPSULASI TOTAL DAN DELAY DEKAPSULASI TOTAL

Paket Data (kB)	$t_{E\ total}$ (s)	$t_{D\ total}$ (s)
10	$7,822 \cdot 10^{-4}$	0,284
40	$3,091 \cdot 10^{-3}$	1,125
60	$4,628 \cdot 10^{-3}$	1,685
100	$7,707 \cdot 10^{-3}$	2,805
2000	0,154	56,036
4000	0,308	112,069

Dari hasil perhitungan *delay* enkapsulasi total dan dekapsulasi total di atas dapat disimpulkan bahwa semakin besar paket data yang dikirimkan maka nilai total *delay* enkapsulasi dan dekapsulasi juga akan semakin besar.

2) Delay Transmisi

Analisis *delay* transmisi untuk paket data 10 kB dengan melakukan perhitungan *delay* transmisi pada hubungan antara GGSN–SGSN (*Gn Interface*), SGSN–RNC (*Iu Interface*), *Remote Network Controller* (RNC)–*Node B* (*Iub Interface*) dan *Node B*–MS (*Uu Interface*).

Delay transmisi total merupakan gabungan dari *delay* transmisi pada *Gn interface* (t_{T1}), *delay* transmisi pada *Iu interface* (t_{T2}), *delay* transmisi pada *Iub interface* (t_{T3}) dan *delay* transmisi pada *Uu interface* (t_{T4}). Untuk paket data 1000 *byte*:

$$t_{T\ total} = t_{T1} + t_{T2} + t_{T3} + t_{T4} = (8,141 \cdot 10^{-5}) + (9,088 \cdot 10^{-5}) + (7,013 \cdot 10^{-4}) + (0,019) = 0,020 \text{ s}$$

TABEL 2 HASIL ANALISIS DELAY TRANSMISI TOTAL

Paket Data (<i>byte</i>)	$t_{T\ total}$ (s)
10	0,020
40	0,078
60	0,117
100	0,196
2000	3,899
4000	7,798

Dari hasil perhitungan *delay* transmisi di atas dapat disimpulkan bahwa semakin panjang paket data yang dikirimkan maka *delay* transmisi yang terjadi akan semakin besar.

3) Delay Propagasi

Delay propagasi dihitung antara *node B* dan MS dengan jarak yang digunakan adalah untuk tipe sel *micro* dengan daerah operasi urban dan pusat kota sesuai daerah operasi UMTS yaitu sebesar 0,4 km

dengan kecepatan data sebesar 384 kbps. *Delay* propagasi antara *node* B ke MS:

$$t_p = \frac{N_{frame\ MAC} \times d}{c}$$

$$= \frac{284,035 \times 400\ m}{3.10^8\ m/s}$$

$$= 3,787.10^{-4}\ s$$

TABEL 3 HASIL ANALISIS *DELAY* PROPAGASI

Paket Data (kB)	t_p (s)
10	$3,787.10^{-4}$
40	$1,496.10^{-3}$
60	$2,241.10^{-3}$
100	$3,731.10^{-3}$
2000	0,075
4000	0,149

Dari hasil perhitungan *delay* propagasi di atas dapat disimpulkan bahwa semakin panjang paket data yang dikirimkan maka *delay* propagasi yang terjadi akan semakin besar.

4) *Delay* Antrian

Delay antrian yang dianalisis adalah *delay* yang terjadi pada SGSN dan UTRAN dengan menggunakan model antrian M/M/1.

Delay antrian total untuk paket data 10 kB dengan utilisasi 0,1:

$$t_{W\ total} = t_{W1} + t_{W2}$$

$$= 8,079.10^{-5}\ s + 7,792.10^{-4}\ s$$

$$= 8,600.10^{-4}\ s$$

TABEL 4 HASIL ANALISIS *DELAY* ANTRIAN

utilisasi	<i>Delay</i> Antrian total (s) untuk masing-masing paket data (kB)				
	(ρ)	40	60	100	2000
0,1	0,003	0,005	0,008	0,169	0,338
0,2	0,003	0,005	0,009	0,190	0,380
0,3	0,004	0,006	0,010	0,217	0,435
0,4	0,005	0,007	0,012	0,253	0,507
0,5	0,006	0,009	0,015	0,304	0,609
0,6	0,007	0,011	0,019	0,380	0,761
0,7	0,010	0,015	0,025	0,507	1,015
0,8	0,015	0,022	0,038	0,761	1,523
0,9	0,030	0,045	0,076	1,523	3,047

Dari hasil perhitungan *delay* antrian di atas dapat disimpulkan dengan penambahan faktor utilisasi dan semakin besar paket data maka mengakibatkan nilai *delay* antrian juga semakin meningkat.

5) *Delay* Total

Perhitungan *delay* ini menggunakan panjang paket data sebesar 10 kB dan faktor utilitasnya adalah 0,1. Nilai *delay* totalnya:

$$t_{tot} = t_E + t_D + t_T + t_P + t_W$$

$$= (7,822.10^{-4}) + (0,285) + (0,020) + (3,787.10^{-4}) + (8,600.10^{-4})$$

$$= 0,307\ s$$

TABEL 5 HASIL ANALISIS *DELAY* TOTAL

utilisasi	<i>Delay</i> total (s) untuk masing-masing paket data (byte)				
	10000	60000	100000	200000	400000
0,1	0,307	1,813	3,020	60,333	120,662
0,2	0,307	1,814	3,021	60,354	120,704
0,3	0,307	1,815	3,023	60,381	120,759
0,4	0,307	1,816	3,025	60,417	120,831
0,5	0,307	1,818	3,027	60,468	120,933
0,6	0,308	1,820	3,031	60,544	121,085
0,7	0,308	1,824	3,037	60,671	121,339
0,8	0,310	1,831	3,050	60,925	121,847
0,9	0,313	1,854	3,088	61,687	123,371

Dari hasil analisis *delay* total di atas, dapat disimpulkan bahwa semakin besar paket data dan dengan penambahan faktor utilisasi, maka *delay* total yang terjadi semakin bertambah pula.

B. *User* berada pada Jaringan WiFi

Pada kondisi ini mode transmisi yang digunakan adalah mode transmisi *downlink* saat *user* berada pada jaringan WiFi mulai dari titik HA hingga mencapai MS.

1) *Delay* Enkapsulasi dan Dekapsulasi

Pada saat *user* berada dalam jaringan WiFi, proses enkapsulasi dan dekapsulasi dilakukan mulai dari HA hingga tujuan yaitu MS. *Delay* enkapsulasi/dekapsulasi untuk masing-masing *node* di bawah ini yang digunakan untuk contoh perhitungan adalah paket data 10 kB.

Delay enkapsulasi yang terjadi pada HA:

$$t_{E1} = \frac{W_{frame\ HA} \times 8}{V_{Ethernet}}$$

$$= \frac{10176,672\ byte \times 8}{100.10^6\ bps}$$

$$= 8,135.10^{-4}\ s$$

TABEL 6 HASIL ANALISIS *DELAY* ENKAPSULASI PADA HA

Paket Data (kB)	t_E (s)
10	$8,135.10^{-4}$
40	$3,242.10^{-3}$
60	$4,861.10^{-3}$
100	$8,102.10^{-3}$
2000	0,162
4000	0,324

Data dari HA akan ditransmisikan ke MS melewati AP menggunakan kecepatan transmisi WiFi sebesar 11 Mbps, *delay* dekapsulasinya:

$$t_D = \frac{W_{frame\ total} \times 8}{V_{WiFi}}$$

$$= \frac{1066\ byte \times 8}{11.10^6\ bps}$$

$$= 7,753.10^{-4}\ s$$

TABEL 7 HASIL ANALISIS DELAY DEKAPSULASI PADA MS

Paket Data (kB)	t_D (s)
10	$7,396.10^{-3}$
40	0,029
60	0,044
100	0,074
2000	1,473
4000	2,946

Dari hasil perhitungan *delay* enkapsulasi dan dekapsulasi di atas dapat disimpulkan bahwa semakin panjang paket data yang dikirimkan maka nilai total *delay* enkapsulasi dan dekapsulasi juga akan semakin besar.

2) *Delay Transmisi*

Analisis *delay* transmisi yang dihitung berikut ini untuk paket data 10 kB dengan melakukan perhitungan *delay* transmisi pada hubungan antara HA-AP dan AP-MS.

Delay transmisi total untuk paket data 1000 byte :

$$t_{T\ total} = t_{T1} + t_{T2}$$

$$= (8,135.10^{-4}) + (7,396.10^{-3})$$

$$= 8,210.10^{-3}\ s$$

TABEL 8 HASIL ANALISIS DELAY TRANSMISI TOTAL

Paket Data (kB)	$t_{T\ total}$ (s)
10	$8,210.10^{-3}$
40	0,032
60	0,049
100	0,082
2000	1,635
4000	3,27

Dari hasil perhitungan *delay* transmisi di atas dapat disimpulkan bahwa semakin panjang paket data yang dikirimkan maka *delay* transmisi yang terjadi akan semakin besar.

3) *Delay Propagasi*

Delay propagasi yang dianalisis saat *user* berada dalam jaringan WiFi adalah antara AP dan MS yang berjarak 100 m dan mempunyai kecepatan transmisi 11 Mbps. Sehingga *delay* propagasi yang terjadi:

$$t_P = \frac{d}{c} + \frac{(L + L') \times 8}{C}$$

$$= \frac{100}{3.10^8} + \frac{10169,082 \times 8}{11.10^6}$$

$$= 7,396.10^{-3}\ s$$

TABEL 9 HASIL ANALISIS DELAY PROPAGASI

Paket Data (kB)	t_P (s)
10	$7,396.10^{-3}$
40	0,029
60	0,044
100	0,074
2000	1,473
4000	2,946

Dari hasil perhitungan *delay* propagasi di atas dapat disimpulkan bahwa semakin panjang paket data yang dikirimkan maka *delay* transmisi yang terjadi akan semakin besar.

4) *Delay Antrian*

Delay antrian yang dianalisis saat *user* berada dalam jaringan WiFi adalah *delay* antrian pada AP dengan menggunakan model antrian M/M/1. Laju pelayanan paket data di AP:

$$\mu_{AP} = \frac{C_{WiFi}}{m}$$

$$= \frac{11.10^6}{10169,082 \times 8}$$

$$= 135,214\ \text{paket/s}$$

Untuk nilai utilisasi (ρ) sebesar 0,1 maka laju kedatangan paket (λ) dan *delay* antrian (t_w) yang terjadi:

$$\lambda_{AP} = \rho \times \mu_{AP}$$

$$= 0,1 \times 135,214$$

$$= 13,521\ \text{paket/s}$$

$$t_w = \frac{\lambda_{AP}}{\mu_{AP}(\mu_{AP} - \lambda_{AP})} + \frac{1}{\mu_{AP}}$$

$$= \frac{13,521}{135,214(135,214 - 13,521)} + \frac{1}{135,214}$$

$$= 8,217.10^{-3}\ s$$

TABEL 10 HASIL ANALISIS DELAY ANTRIAN TOTAL

utilisasi	<i>Delay</i> Antrian total (s) untuk masing-masing paket data (kB)				
	40	60	100	2000	4000
0,1	0,032	0,049	0,081	1,636	3,273
0,2	0,036	0,055	0,092	1,841	3,682
0,3	0,042	0,063	0,105	2,104	4,208
0,4	0,049	0,073	0,122	2,454	4,909
0,5	0,058	0,088	0,147	2,945	5,891
0,6	0,073	0,110	0,184	3,682	7,364
0,7	0,098	0,147	0,245	4,909	9,819
0,8	0,147	0,220	0,368	7,364	14,728
0,9	0,294	0,441	0,736	14,728	29,457

Dari hasil perhitungan *delay* antrian di atas dapat disimpulkan dengan penambahan faktor utilisasi dan semakin besar paket data mengakibatkan nilai *delay* antrian juga semakin meningkat.

5) Delay Total

Perhitungan *delay* ini menggunakan panjang paket data sebesar 10 kB dan faktor utilitasnya adalah 0,1. Nilai *delay* totalnya:

$$\begin{aligned}
 t_{tot} &= t_E + t_D + t_T + t_P + t_W \\
 &= (8,135 \cdot 10^{-4}) + (7,396 \cdot 10^{-3}) + \\
 &= (8,210 \cdot 10^{-3}) + (7,396 \cdot 10^{-3}) + (8,217 \cdot 10^{-3}) = \\
 &0,032 \text{ s}
 \end{aligned}$$

TABEL 11 HASIL ANALISIS DELAY

Utilisasi	Delay total (s) untuk masing-masing paket data (kB)				
	40	60	100	2000	4000
0,1	0,125	0,190	0,319	6,379	12,759
0,2	0,130	0,197	0,330	6,584	13,168
0,3	0,135	0,204	0,343	6,847	13,694
0,4	0,142	0,215	0,360	7,197	14,395
0,5	0,152	0,230	0,385	7,688	15,377
0,6	0,166	0,252	0,422	8,425	16,850
0,7	0,191	0,289	0,483	9,652	19,305
0,8	0,240	0,362	0,606	12,107	24,214
0,9	0,387	0,583	0,974	19,471	38,943

Dari hasil analisis *delay* total di atas, dapat disimpulkan bahwa semakin panjang paket data dan dengan penambahan faktor utilisasi, maka *delay* total yang terjadi semakin bertambah pula.

6) Analisis Delay End-to-end

Delay end-to-end merupakan perhitungan *delay* total dari *user* yang berada di jaringan UMTS sampai dengan *user* yang berada pada jaringan WiFi. Perhitungan berikut ini digunakan paket data 10 kB dengan faktor utilisasi 0,1.

$$\begin{aligned}
 t_{end-to-end} &= t_{tot1} + t_{tot2} \\
 &= 0,307 + 0,032 \\
 &= 0,339 \text{ s}
 \end{aligned}$$

TABEL 12 HASIL ANALISIS DELAY END-TO-END

Utilisasi	Delay End-to-end (s) untuk masing-masing paket data (kB)				
	40000	60000	100000	2000000	4000000
0,1	1,336	2,004	3,340	66,712	133,421
0,2	1,341	2,011	3,352	66,938	133,873
0,3	1,347	2,020	3,366	67,228	134,453
0,4	1,355	2,032	3,386	67,615	135,227
0,5	1,365	2,048	3,413	68,157	136,310
0,6	1,382	2,072	3,453	68,970	137,936
0,7	1,409	2,113	3,521	70,324	140,644
0,8	1,463	2,194	3,656	73,033	146,062
0,9	1,626	2,438	4,063	81,159	162,3149

Dari analisis di atas dapat disimpulkan bahwa dengan pertambahan faktor utilisasi, maka *delay end-to-end* akan bertambah besar. Semakin besar paket data, dengan

faktor utilisasi yang sama, *delay end-to-end* yang terjadi semakin besar.

C. Analisis Throughput

Throughput merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui jumlah data yang diterima dalam keadaan baik terhadap waktu transmisi yang dibutuhkan dari sumber ke penerima.

1) Throughput saat User berada pada Jaringan UMTS

Perhitungan *throughput* di bawah ini menggunakan paket data sebesar 10 kB.

Sehingga nilai *throughput* :

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{1}{t_v} = \frac{(1 - \rho)}{t_f [1 + (\alpha - 1)\rho]} \\
 &= \frac{(1 - 3,84 \cdot 10^{-5})}{1 \cdot 10^{-3} [1 + (3,757 - 1) 3,84 \cdot 10^{-5}]} \\
 &= 999,8557465 \text{ paket/s} \\
 &= 999,8557465 \times 42 \times 8 \\
 &= 335951,531 \text{ bps}
 \end{aligned}$$

TABEL 13 HASIL ANALISIS THROUGHPUT UNTUK USER BERADA PADA JARINGAN UMTS

Paket Data (kB)	Throughput (λ)
10	335951,531
40	335922,704
60	335903,488
100	335865,064
2000	334037,388
4000	332160,607

Berdasarkan hasil analisis di atas maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar paket data, maka *throughput* yang terjadi semakin kecil.

2) Throughput saat User berada pada Jaringan WiFi

Perhitungan *throughput* di bawah ini menggunakan paket data sebesar 10 kB.

Nilai *throughput*:

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{1}{t_v} = \frac{(1 - \rho)}{t_f [1 + (\alpha - 1)\rho]} \\
 &= \frac{(1 - 1,214 \cdot 10^{-8})}{1,104 \cdot 10^{-3} [1 + (16,399 - 1) 1,214 \cdot 10^{-8}]} \\
 &= 905,7969211 \text{ paket/s} \\
 &= 905,7969211 \times 1500 \times 8 \\
 &= 10869563,05 \text{ bps}
 \end{aligned}$$

TABEL 14 HASIL ANALISIS THROUGHPUT UNTUK USER BERADA PADA JARINGAN WIFI

Paket Data (kB)	Throughput (λ)
10	10869563,05
40	10869557,89
60	10869554,3
100	10869547,13
2000	10869212,59
4000	10868860,39

Dari hasil perhitungan di atas dengan dua keadaan *user* yang berbeda dapat dianalisis bahwa *throughput* saat *user* berada di jaringan WiFi lebih besar dibandingkan saat *user* berada di jaringan UMTS, sehingga dengan integrasi WiFi pada jaringan UMTS akan didapatkan *throughput* yang lebih besar.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan semua analisis yang telah dilakukan baik secara matematis maka dapat disimpulkan:

1. *Delay* total terbesar pada jaringan UMTS dicapai saat faktor utilisasi sebesar 0,9 untuk paket data 4000 kB yaitu sebesar 123,371 s. Sedangkan *delay* total terkecil dicapai saat faktor utilisasi sebesar 0,1 untuk paket data 10 kB yakni sebesar 0,307 s.
2. *Delay* total terbesar pada jaringan Wi-Fi dicapai saat faktor utilisasi sebesar 0,9 untuk paket data 4000 kB yaitu sebesar 38,944 s. Sedangkan *delay* total terkecil dicapai saat faktor utilisasi sebesar 0,1 untuk paket data 10 kB yakni sebesar 0,032 s.
3. *Delay end-to-end* (delay antara jaringan UMTS sampai jaringan Wi-Fi) terbesar dicapai pada paket 4000 kB dengan faktor utilisasi 0,9 yakni sebesar 162,315 s. Sedangkan *delay end-to-end* terkecil dicapai pada paket data 10 kB dengan faktor utilisasi 0,1 yaitu sebesar 0,339 s.
4. *Throughput* terbesar pada jaringan UMTS dicapai pada paket data 10 kB yaitu sebesar 335951,531 bps. Sedangkan *throughput* terkecil dicapai saat paket data 4000 kB yakni sebesar 332160,607
5. *Throughput* terbesar pada jaringan Wi-Fi dicapai pada paket data 10 kB yaitu sebesar 10869563,05 bps. Sedangkan *throughput* terkecil dicapai saat paket data 4000 kB yakni sebesar 10868860,39 bps.

B. Saran

Perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut untuk menggunakan teknologi WiFi dengan standarisasi yang lain yakni WiFi dengan standarisasi IEEE 802.11.a dan 802.11.g.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. 2004. Understanding Mobile IPv6. Microsoft Corporation
- [2] Anonim. 2006. Modul 12 b. Standar WCDMA. www.stttelkom.ac.id. (diakses 13 Maret 2009).
- [3] Anonim. 2009. WI-FI. <http://id.wikipedia.org>. (diakses 5 Maret 2009).
- [4] Anonim. 2009. Wireless LAN (Local Area Network). <http://www.itttelkom.ac.id>. (diakses 5 Maret 2009).
- [5] Anonim. 2006. Perjalanan Teknologi 1G ke 3G. Sriwijaya Post. 22 Januari. hlm 7.
- [6] Anonim. <http://www.wlana.org>. (diakses 5 Maret 2009).
- [7] Bannister, J., Mather, Paul & Coope, Sebastian. 2005. Convergence Technologies for 3G Network: IP, UMTS, EGPRS and ATM. England: Jhon Wiley & Sons, Ltd.
- [8] Braithwaite, Chris & Scott, Mike. 2004. UMTS Network Planning and Development. Burlington: An imprint of Elsevier.
- [9] Bertsekas, D & Gallager, R. 1992. Data Network Second Edition. New Jersey: Prentice Hall.
- [10] Correia, Luis M. Mobile Communications Technologies. Portugal: Technical University of Lisbon. http://in3.dem.ist.utl.pt/master/03telecompolicy/lec_3.pdf, (diakses 22 Juni 2009).
- [11] Ennis, Greg. 1996. 802.11 Architecture. www.ieee802.org/11/Tutorial/archit.pdf. (diakses 13 Maret 2009).
- [12] Holma, Harri & Toskala, Antti. 2004. WCDMA for UMTS. England: Jhon Wiley & Sons, Ltd.
- [13] Lescuyer, Pierre & Bott, Frank. 2004. UMTS Origins, Architecture and the Standard. London: Springer.
- [14] Marzuki, Marza I & Supangkat, Suhono H. Perancangan dan Model Bisnis Teknologi WiFi. Jakarta: Auditorium Universitas Gunadarma, <http://ejournal.gunadarma.ac.id/files/E12.pdf>. (diakses 5 Maret 2009).
- [15] O'Hara, Bob & Petrick, Al. 2005. IEEE 802.11 Handbook: A Designer's Companion Second Edition. USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- [16] Palunsu, Jenny. E. 2004. Kajian Sistem Keamanan Jaringan 3G dan CDMA 2000 1x EV-DV. Bandung: Institut Teknologi Bandung. www.cert.or.id/~budi/courses/ec7010/dikmenjur-2004/jenny-report.pdf. (diakses 26 Maret 2009).
- [17] Schawrtz, Misca. 1987. Telecommunication Network: Protocols, Modelling and Analysis. USA: Addison Weley Publishing Company.
- [18] Stallings, William. 1997. Data an Computer Communications Faith Edition. New Jersey: Prentice Hall.