

**INTEGRASI WIRELESS FIDELITY (WiFi) PADA JARINGAN
UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM (UMTS)**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

LILY ROSALINA

NIM. 0510630060-63

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

MALANG

2009

**INTEGRASI WIRELESS FIDELITY (WiFi) PADA JARINGAN
UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM (UMTS)**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

LILY ROSALINA

NIM. 0510630060-63

Telah Diperiksa dan Disetujui oleh:

DOSEN PEMBIMBING :

Ir. Endah Budi P., MT

NIP. 19621116 198903 2 002

Rudy Yuwono,ST.,M.Sc

NIP. 19710615 199802 1 003

repository.ub.ac.id

**INTEGRASI WIRELESS FIDELITY (WiFi) PADA JARINGAN
UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM (UMTS)**

Disusun oleh :

LILY ROSALINA

NIM. 0510630060-63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada

tanggal 12-10-2009

DOSEN PENGUJI

Dwi Fadila Kurniawan, ST., MT

NIP. 19720630 200003 2 001

Ali Mustofa, ST., MT

NIP. 19710601 200003 1 001

Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS

19580728 198701 1 001

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Rudy Yuwono, ST., M.Sc

NIP. 19710615 199802 1 003

PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah S.W.T. atas rahmat, hidayah, ridho, nikmat dan karunia-Nya serta kekuatan kepada kami sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“INTEGRASI WIRELESS FIDELITY (WiFi) PADA JARINGAN UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM (UMTS)”** dengan lancar dan baik.

Penyusunan skripsi ini diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik, dan merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa jurusan Teknik Elektro di lingkungan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Skripsi ini terdiri dari enam bab, yaitu Bab I Pendahuluan; Bab II *Wireless Fidelity (WiFi)* dan *Uiversal Mobile Telecommunication System (UMTS)*; Bab III *Integrasi Wireless Fidelity (WiFi)* pada jaringan *Uiversal Mobile Telecommunication System (UMTS)*; Bab IV Analisis *Integrasi Wireless Fidelity (WiFi)* pada jaringan *Uiversal Mobile Telecommunication System (UMTS)*; dan Bab V Penutup.

Dengan kesungguhan dan rasa rendah hati, penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Rudy Yuwono, ST, M.Sc selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang sekaligus sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, nasehat serta saran dalam penyusunan skripsi ini
2. Bapak M. Azis Muslim, ST., MT., Ph.D selaku Sekertaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Ali Mustofa, ST., MT selaku KKDK Telekomunikasi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Ibu Ir. Endah Budi P., MT selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran, motivasi, serta pengarahan dalam penyusunan skripsi.
5. Bapak, Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Kedua orang tuaku tercinta Mama dan Papa, terima kasih atas do'a, kasih sayang, perhatian serta dorongan yang telah engkau berikan padaku.

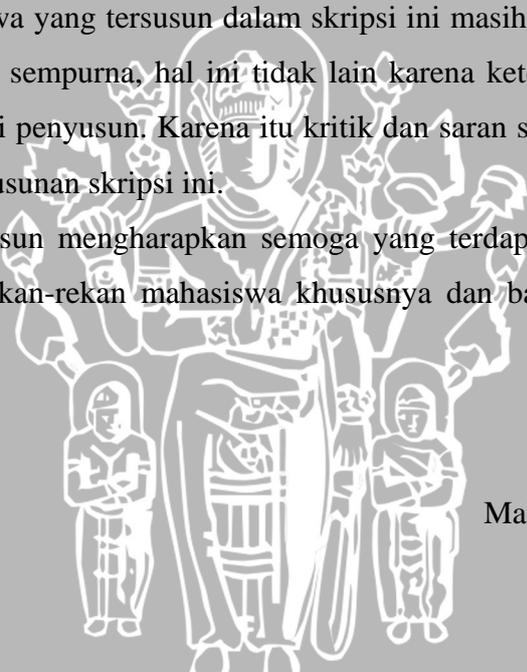
7. Adik tercinta Nasya terima kasih telah memberi dukungan pada kakak selama ini.
8. R. Hendra Nurdiansyah terima kasih atas kesabaran dan doanya yang selalu mengiringi selama pengerjaan skripsi ini.
9. Teman-teman terbaikku Hilga, Ayu, Indah, Dewi, Dita, Septi, mbak Arum, Dini, Anne yang telah banyak membantu memotivasi penyusunan skripsi.
10. Teman-teman putra dan putri di jurusan teknik elektro angkatan 2005 yang telah banyak membantu memotivasi penyusunan skripsi.
11. Teman-teman di jurusan teknik elektro maupun di fakultas teknik Universitas Brawijaya terima kasih atas support dan doanya.
12. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan sebaik – baiknya.

Penyusun menyadari bahwa yang tersusun dalam skripsi ini masih banyak kekurangan-kekurangan dan jauh dari sempurna, hal ini tidak lain karena keterbatasan materi dan pengetahuan yang dimiliki penyusun. Karena itu kritik dan saran sangat kami harapkan demi kesempurnaan penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, penyusun mengharapkan semoga yang terdapat dalam skripsi ini, dapat bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa khususnya dan bagi seluruh pembaca pada umumnya.

Malang, Oktober 2009

Penyusun



DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| LEMBAR PERSETUJUAN | i |
| KATA PENGANTAR | ii |
| DAFTAR ISI | iv |
| DAFTAR GAMBAR | vii |
| DAFTAR TABEL | viii |
| DAFTAR SINGKATAN | ix |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiii |
| ABSTRAK | xiv |
| | |
| BAB I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Ruang Lingkup | 2 |
| 1.4 Tujuan | 3 |
| 1.5 Kontribusi | 3 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 3 |
| | |
| BAB II. WIRELESS FIDELITY (WiFi) DAN UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM (UMTS) | 4 |
| 2.1 <i>Wireless Fidelity (WiFi)</i> | 4 |
| 2.1.1 Topologi Jaringan WiFi | 5 |
| 2.1.2 Arsitektur Protokol WiFi | 7 |
| 2.1.3 Model OSI dan TCP/IP | 9 |
| 2.1.3.1 Model Referensi OSI | 9 |
| 2.1.3.2 Model Referensi TCP/IP | 11 |
| 2.1.4 IPv6 | 13 |
| 2.1.4.1 Struktur Paket IPv6 | 14 |
| 2.1.4.2 <i>Header IPv6</i> | 15 |
| 2.1.4.3 <i>Maximum Transmission Unit (MTU) IPv6</i> | 16 |
| 2.2 <i>Uiversal Mobile Telecommunication System (UMTS)</i> | 16 |
| 2.2.1 Arsitektur <i>Uiversal Mobile Telecommunication System (UMTS)</i> ... | 17 |
| 2.2.2 Alokasi Frekuensi Jaringan UMTS | 21 |



2.2.3 Protokol UMTS 22

2.2.4 Daerah Layanan UMTS 23

2.2.5 Layanan UMTS 24

BAB III. INTEGRASI WIRELESS FIDELITY (WiFi) PADA JARINGAN UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM (UMTS) 26

3.1 *Mobile* IPv6 26

 3.1.1 Proses *Mobile* IPv6 28

3.2 Arsitektur Integrasi WiFi pada Jaringan UMTS 31

3.3 Analisis Integrasi WiFi pada Jaringan UMTS 37

 3.3.1 Analisis *Delay* 37

 3.3.1.1 Analisis *Delay* saat *User* berada pada Jaringan UMTS 37

 3.3.1.2 Analisis *Delay* saat *User* berada pada Jaringan WiFi 49

 3.3.1.3 *Delay* total 54

 3.3.1.4 *Delay end-to-end* 55

 3.3.2 *Throughput* 55

BAB IV. METODOLOGI 57

4.1 Metode Pengambilan Data 57

4.2 Metode Pembatasan Variabel Data 57

4.3 Metode Analisis Data 58

4.4 Penarikan Kesimpulan dan Saran 58

BAB V. ANALISIS INTEGRASI WIRELESS FIDELITY (WiFi) PADA JARINGAN UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM (UMTS) 59

5.1 Model Analisis Jaringan 59

 5.1.1 *User* berada pada Jaringan UMTS 59

 5.1.2 *User* berada pada Jaringan WiFi 60

5.2 Analisis 61

 5.2.1 Analisis *Delay* 61

 5.2.1.1 *User* berada pada Jaringan UMTS 61

 5.2.1.2 *User* berada pada Jaringan WiFi 77



| | |
|--|-----------|
| 5.2.1.3 Analisis <i>Delay End-to-end</i> | 85 |
| 5.2.2 Analisis <i>Throughput</i> | 87 |
| 5.2.2.1 <i>Throughput</i> saat User berada pada Jaringan UMTS | 87 |
| 5.2.2.2 <i>Throughput</i> saat User berada pada Jaringan WiFi | 88 |
| BAB VI. PENUTUP | 91 |
| 6.1 Kesimpulan | 91 |
| 6.2 Saran | 92 |
| DAFTAR PUSTAKA | 93 |
| LAMPIRAN | 95 |
| Diagram Alir Perhitungan <i>Delay End-to-end</i> | 95 |
| Diagram Alir Perhitungan <i>Throughput</i> | 96 |
| Analisis Integrasi WiF pada Jaringan UMTS dengan Program <i>Matlab</i> | 97 |



DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------|--|----|
| Gambar 2.1. | Topologi Mode <i>Ad hoc</i> | 6 |
| Gambar 2.2. | Topologi Mode Infrastruktur | 7 |
| Gambar 2.3. | Protokol WLAN IEEE 802.11 | 9 |
| Gambar 2.4. | Model OSI..... | 11 |
| Gambar 2.5. | <i>Layer-layer</i> dalam Arsitektur Protokol TCP/IP..... | 12 |
| Gambar 2.6. | Kesetaraan TCP/IP dan OSI | 13 |
| Gambar 2.7. | <i>Header IPv6</i> | 15 |
| Gambar 2.8. | Arsitektur UMTS | 17 |
| Gambar 2.9. | Protokol UMTS..... | 23 |
| Gambar 2.10. | Daerah Layanan UMTS | 24 |
| Gambar 3.1. | Komponen-komponen <i>Mobile IPv6</i> | 27 |
| Gambar 3.2. | <i>Mobile Node (MN)</i> menuju <i>Foreign Link</i> | 29 |
| Gambar 3.3. | CN Berkomunikasi dengan MN yang berada di <i>Foreign Link</i> | 30 |
| Gambar 3.4. | Proses <i>Mobile IPv6</i> | 30 |
| Gambar 3.5. | Arsitektur integrasi WiFi pada jaringan UMTS | 31 |
| Gambar 3.6. | Cakupan Radio pada UMTS dan WiFi..... | 31 |
| Gambar 3.7. | Model Analisis untuk <i>User</i> yang Berada pada Jaringan UMTS... .. | 31 |
| Gambar 3.8. | Konfigurasi Protokol <i>Stack</i> saat <i>User</i> berada pada Jaringan UMTS | 32 |
| Gambar 3.9. | Model Analisis saat <i>User</i> berada pada Jaringan WiFi..... | 32 |
| Gambar 3.10. | Konfigurasi Protokol <i>Stack</i> saat <i>User</i> berada pada Jaringan WiFi | 32 |
| Gambar 3.11. | Format <i>Frame Ethernet</i> | 33 |
| Gambar 3.12. | AAL5 CPCS PDU | 34 |
| Gambar 3.13. | Format Sel ATM..... | 35 |
| Gambar 3.14. | Format PDCP Data PDU | 36 |
| Gambar 5.1. | Model Analisis Jaringan saat <i>User</i> berada pada Jaringan UMTS | 59 |
| Gambar 5.2. | Konfigurasi Protokol saat <i>User</i> berada pada Jaringan UMTS..... | 60 |
| Gambar 5.3. | Model Analisis Jaringan saat <i>User</i> berada pada Jaringan WiFi | 60 |
| Gambar 5.4. | Konfigurasi Protokol saat <i>User</i> berada pada Jaringan WiFi..... | 61 |

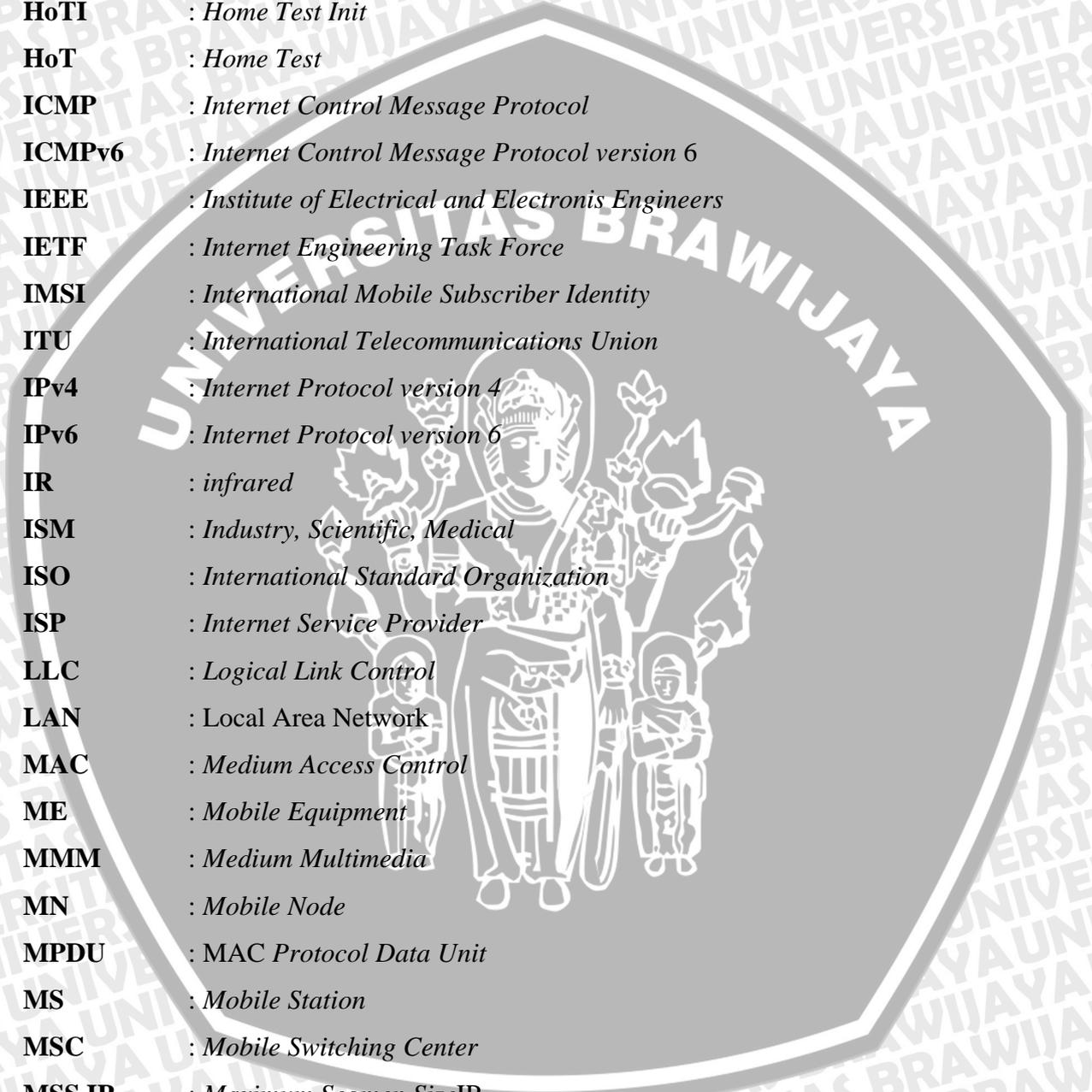
DAFTAR TABEL

| | | |
|-------------|---|----|
| Tabel 2.1. | Proses <i>Encapsulation</i> | 13 |
| Tabel 2.2. | Spesifikasi WCDMA | 17 |
| Tabel 2.3. | Karakteristik Sel | 24 |
| Tabel 2.4. | Lama Waktu Mengakses Tiap Layanan pada Jaringan UMTS | 25 |
| Tabel 3.1. | Perbandingan <i>Ethernet</i> | 34 |
| Tabel 5.1. | Hasil Analisis <i>Delay</i> Enkapsulasi pada GGSN..... | 63 |
| Tabel 5.2. | Hasil Analisis <i>Delay</i> Dekapsulasi dan Enkapsulasi pada SGSN.. | 65 |
| Tabel 5.3. | Hasil Analisis <i>Delay</i> Dekapsulasi dan Enkapsulasi pada RAN.... | 67 |
| Tabel 5.4. | Hasil Analisis <i>Delay</i> Dekapsulasi pada MS | 67 |
| Tabel 5.5. | Hasil Analisis <i>Delay</i> Enkapsulasi Total dan <i>Delay</i> Dekapsulasi Total | 68 |
| Tabel 5.6. | Hasil Analisis <i>Delay</i> Transmisi Total | 71 |
| Tabel 5.7. | Hasil Analisis <i>Delay</i> Propagasi..... | 72 |
| Tabel 5.8. | Hasil Analisis <i>Delay</i> Antrian Total..... | 75 |
| Tabel 5.9. | Hasil Analisis <i>Delay</i> Total..... | 76 |
| Tabel 5.10. | Hasil Analisis <i>Delay</i> Enkapsulasi pada HA..... | 78 |
| Tabel 5.11. | Hasil Analisis <i>Delay</i> Dekapsulasi pada MS | 79 |
| Tabel 5.12. | Hasil Analisis <i>Delay</i> Transmisi Total | 81 |
| Tabel 5.13. | Hasil Analisis <i>Delay</i> Propagasi..... | 82 |
| Tabel 5.14. | Hasil Analisis <i>Delay</i> Antrian Total..... | 83 |
| Tabel 5.15. | Hasil Analisis <i>Delay</i> Total..... | 85 |
| Tabel 5.16. | Hasil Analisis <i>Delay End-to-end</i> | 86 |
| Tabel 5.17. | Hasil Analisis <i>Throughput</i> untuk <i>User</i> berada pada Jaringan UMTS | 88 |
| Tabel 5.18. | Hasil Analisis <i>Throughput</i> untuk <i>User</i> berada pada Jaringan WiFi | 90 |



DAFTAR SINGKATAN

| | |
|--------------|---|
| AAL5 | : <i>ATM Adaptation Layer type 5</i> |
| AP | : <i>Access Point</i> |
| ARP | : <i>Address Resolution Protocol</i> |
| ATM | : <i>Asynchronous Transfer Mode</i> |
| AuC | : <i>Authentication Center</i> |
| BA | : <i>Binding Acknowledgement</i> |
| BMC | : <i>Broadcast/Multicast Control</i> |
| BS | : <i>Base Station</i> |
| BSSID | : <i>Basic Service Set Identification</i> |
| BU | : <i>Binding Update</i> |
| CAN | : <i>Correspondent Node Address</i> |
| CDMA | : <i>Code Division Multiple Access</i> |
| CLP | : <i>Cell Loss Priority</i> |
| CN | : <i>Core Network</i> |
| CN | : <i>Correspondent Node</i> |
| CoA | : <i>Care-of-Address</i> |
| CoT | : <i>Care-of-Test</i> |
| CoTI | : <i>Care-of-Test Init</i> |
| CPCS | : <i>Common Part Convergence Sublayer</i> |
| CPCH | : <i>Common Packet Channel</i> |
| CRC | : <i>Cyclic Redudancy Check</i> |
| DSSS | : <i>Direct Sequence Spread Spectrum</i> |
| EIR | : <i>Equipment Identity Register</i> |
| FCS | : <i>Frame Check Sequence</i> |
| FEC | : <i>Forward Error Correction</i> |
| FIFO | : <i>First In First Out</i> |
| FTP | : <i>File Transfer Protocol</i> |
| GFC | : <i>Generic Flow Control</i> |
| GGSN | : <i>Gateway GPRS Support Node</i> |
| GTP-U | : <i>GPRS Tunneling Protocol-User</i> |
| GSN | : <i>GPRS Support Node</i> |
| HA | : <i>Home Agent</i> |



| | |
|---------------|--|
| HEC | : <i>Header Error Control</i> |
| HIMM | : <i>High Interactive Multimedia</i> |
| HLR | : <i>Home Location Register</i> |
| HMM | : <i>High Multimedia</i> |
| HoA | : <i>Home Address</i> |
| HoTI | : <i>Home Test Init</i> |
| HoT | : <i>Home Test</i> |
| ICMP | : <i>Internet Control Message Protocol</i> |
| ICMPv6 | : <i>Internet Control Message Protocol version 6</i> |
| IEEE | : <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> |
| IETF | : <i>Internet Engineering Task Force</i> |
| IMSI | : <i>International Mobile Subscriber Identity</i> |
| ITU | : <i>International Telecommunications Union</i> |
| IPv4 | : <i>Internet Protocol version 4</i> |
| IPv6 | : <i>Internet Protocol version 6</i> |
| IR | : <i>infrared</i> |
| ISM | : <i>Industry, Scientific, Medical</i> |
| ISO | : <i>International Standard Organization</i> |
| ISP | : <i>Internet Service Provider</i> |
| LLC | : <i>Logical Link Control</i> |
| LAN | : <i>Local Area Network</i> |
| MAC | : <i>Medium Access Control</i> |
| ME | : <i>Mobile Equipment</i> |
| MMM | : <i>Medium Multimedia</i> |
| MN | : <i>Mobile Node</i> |
| MPDU | : <i>MAC Protocol Data Unit</i> |
| MS | : <i>Mobile Station</i> |
| MSC | : <i>Mobile Switching Center</i> |
| MSS IP | : <i>Maximum Segment Size IP</i> |
| MT | : <i>Mobile Terminal</i> |
| MTU | : <i>Maximum Transmission Unit</i> |
| OFDM | : <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i> |
| OSI | : <i>Open System Interconnection</i> |
| PCH | : <i>Paging Channel</i> |

| | |
|---------------|--|
| PDA | : <i>Personal Digital Assistant</i> |
| PDN | : <i>Packet Data Network</i> |
| PDP | : <i>Packet Data Protocol</i> |
| PLCP | : <i>Physical Layer Convergence Procedure</i> |
| PMD | : <i>Physical Media Dependent</i> |
| PSDU | : <i>PHY sub layer Service Data Unit</i> |
| PT | : <i>Payload Type</i> |
| QoS | : <i>Quality of Service</i> |
| RA | : <i>Router Advertisement</i> |
| RAN | : <i>Radio Access Network</i> |
| RF | : <i>Radio Frequency</i> |
| RLC | : <i>Radio Link Control</i> |
| RNS | : <i>Radio Network Subsystem</i> |
| RNC | : <i>Remote Network Controller</i> |
| RRC | : <i>Radio Resource Control</i> |
| RS | : <i>Router Solicitation</i> |
| SARS | : <i>Segmentation and Reassembly Sublayer</i> |
| SAP | : <i>Service Access Point</i> |
| SCH | : <i>Downlink Shared Channel D</i> |
| SD | : <i>Switched Data</i> |
| SEAL | : <i>Simple and Easy Adaptation Layer</i> |
| SGSN | : <i>Serving GPRS Support Node</i> |
| SM | : <i>Simple Messaging</i> |
| SMTP | : <i>Simple Mail Transfer Protocol</i> |
| SNMP | : <i>Simple Network Management Protocol</i> |
| TE | : <i>Terminal Equipment</i> |
| TEID | : <i>Tunnel Endpoint Identifier</i> |
| TCP | : <i>Transmission Control Protocol</i> |
| TCP/IP | : <i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i> |
| UDP | : <i>User Datagram Protocol</i> |
| UE | : <i>User Equipment</i> |
| UMTS | : <i>Universal Mobile Telecommunication System</i> |
| USIM | : <i>UMTS Subscriber Identity Module</i> |
| UTRAN | : <i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i> |

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



- VLR** : *Visitor Location Register*
- VPI/VCI** : *Virtual Path Identifier/ Virtual Channel Identifier*
- WCDMA** : *Wideband Code Division Multiple Access*
- WiFi** : *Wireless Fidelity*
- WLAN** : *Wireless Local Area Network*
- 3G** : *Third Generation*



DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| LAMPIRAN 1: Diagram Alir Perhitungan <i>Delay End-to-end</i> | 95 |
| LAMPIRAN 2: Diagram Alir Perhitungan <i>Throughput</i> | 96 |
| LAMPIRAN 3: Analisis Integrasi WiF pada Jaringan UMTS dengan Program <i>Matlab</i> | 97 |



ABSTRAK

LILY ROSALINA, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Oktober 2009, Integrasi *Wireless Fidelity* (WiFi) pada jaringan *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS).

Dosen Pembimbing: Ir. Endah Budi P., MT dan Rudy Yuwono ST., M.Sc.

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 pada lokasi-lokasi publik standar pengembangan dari IEEE 802.11. IEEE 802.11b paling banyak digunakan saat ini, karena cepat dan mudah diimplementasikan, dan tersedia banyak sekali produk yang tersedia dipasaran serta mendukung kecepatan transmisi data sampai 11 Mbps pada pita frekuensi 2,4 GHz. Berdasarkan keuntungan yang diberikan oleh jaringan UMTS dan WiFi maka pada skripsi ini 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. Besar ukuran data yang digunakan dalam perhitungan adalah 10 kB untuk *email*, 40 kB untuk teks, 60 kB untuk musik, 100 kB foto, 2000 kB untuk *report*, dan 4000 kB untuk *video*.

Delay end-to-end 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. Saat *user* berada pada jaringan UMTS, *throughput* terbesar dicapai pada paket data 10 kB yaitu sebesar 335951,531 bps. Sedangkan *throughput* terkecil dicapai saat paket data 4000 kB yakni sebesar 332160,607 bps. *Throughput* terbesar 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. Pada dua keadaan *user* yang berbeda, *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.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan masyarakat akan teknologi informasi yang semakin lama semakin meningkat telah mendorong teknologi telekomunikasi bergerak untuk maju dalam waktu yang singkat. Perkembangan teknologi telekomunikasi yang dirasakan semakin kompetitif dapat dilihat dari semakin beragamnya teknologi yang mampu menyediakan berbagai macam layanan informasi pada masyarakat yang dapat digunakan kapan saja dan dimana saja dengan biaya akses informasi yang relatif murah.

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. Laju data jaringan telekomunikasi generasi ketiga (3G) ini mencapai 2 Mbps jika pengguna dalam keadaan diam. Jika pengguna bergerak dengan kecepatan orang berjalan, laju datanya mencapai 384 kbps. Sedangkan untuk pengguna dengan kecepatan orang berkendara, laju datanya mencapai 144 kbps. Dengan laju data sebesar itu maka layanan data *broadband* seperti internet, *video on demand*, *music on demand*, *games on demand*, dan bahkan *video conference* dan *video streaming* dapat dinikmati. (Sriwijaya Post, 2006)

Berdasarkan area pelayanannya, UMTS mampu menyediakan beragam layanan dan dapat memenuhi permintaan *user* dimanapun berada karena UMTS terbagi atas tiga tipe cakupan sel, yakni sel piko, sel mikro dan sel makro. Sel piko dengan radius sel < 100 m digunakan secara luas di dalam gedung yang menawarkan layanan-layanan UMTS. Sel mikro dengan radius sel < 1 km digunakan pada daerah yang memiliki lalu lintas komunikasi dengan kepadatan tinggi. Sedangkan sel makro dengan radius sel < 35 km digunakan untuk menyediakan cakupan seluler dalam daerah yang luas. (www.elektroindonesia.com, 1998)

Teknologi lain yang juga sedang berkembang saat ini adalah *Wireless Fidelity* (WiFi). WiFi merupakan bentuk pemanfaatan teknologi *Wireless Local Area Network* (WLAN) pada lokasi-lokasi publik seperti taman, perpustakaan, restoran ataupun bandara 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. Dengan pemanfaatan teknologi ini, *user* dapat mengakses informasi kapanpun dari internet di lokasi-lokasi dimana *hotspot* disediakan dengan *coverage area* tertentu. (Marza Ihsan Marzuki & Subono H.S, 2004)

Berdasarkan keunggulan yang diberikan, maka diharapkan integrasi WiFi pada jaringan UMTS dapat memenuhi kebutuhan masyarakat untuk mengakses informasi di mana saja dan kapan saja dengan kecepatan tinggi serta dengan biaya yang minimum tanpa mengkhawatirkan perbedaan jaringan yang ada.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya maka penulisan skripsi ini akan ditekankan pada pembahasan masalah 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?

1.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Standarisasi WLAN yang dipakai pada WiFi adalah IEEE 802.11b dengan kecepatan 11 Mbps pada frekuensi 2,4 GHz.
2. Pembahasan tentang UMTS berdasarkan rekomendasi *International Mobile Telephony* 2000 (IMT-2000) dan 3GPP (*3rd Generation Poartnership Project*) dengan frekuensi *uplink* (1885 MHz-2025 MHz) dan frekuensi *downlink* (2110 MHz-2200 MHz).
3. Kecepatan data yang dipakai pada jaringan UMTS adalah 384 kbps.
4. *Interface* yang dipakai dalam integrasi WiFi pada jaringan UMTS antara lain Uu, lub, Lu-PS, Gn, *Ethernet* dengan kecepatan 100 Mbps, dan *air interface* WLAN tipe 802.11b dengan kecepatan 11 Mbps.
5. Perhitungan yang dibahas dalam integrasi WiFi pada jaringan UMTS adalah *delay end-to-end* dan *throughput* baik saat *user* berada dalam jaringan UMTS maupun saat *user* berada dalam jaringan WiFi.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah melakukan analisis terhadap integrasi WiFi pada jaringan UMTS.

1.5 Kontribusi

Hasil analisis dalam skripsi ini dapat memberikan kontribusi dalam peningkatan dan pengembangan layanan pada sistem UMTS.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini tersusun atas enam bab, yakni Bab I Pendahuluan; Bab II *Wireless Fidelity (WiFi)* dan *Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)*; Bab III Integrasi *Wireless Fidelity (WiFi)* pada jaringan *Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)*; Bab IV Analisis Integrasi *Wireless Fidelity (WiFi)* pada jaringan *Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)*; dan Bab V Penutup.

Bab I berisi latar belakang permasalahan yang merupakan dasar penyusunan skripsi ini, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika penulisan. Pada bab II akan dibahas mengenai konsep dasar WiFi, topologi jaringan WiFi, arsitektur protokol WiFi, model OSI dan TCP/IP, IPv6, arsitektur UMTS, alokasi frekuensi jaringan UMTS, protokol UMTS, Daerah Layanan UMTS, layanan UMTS. Bab III membahas *mobile IPv6*, proses *Mobile IPv6*, arsitektur integrasi WiFi pada jaringan UMTS, konfigurasi protokol integrasi WiFi pada jaringan UMTS, analisis integrasi WiFi pada jaringan UMTS yang meliputi analisis *delay* dan *throughput*. Bab IV berisi metode penelitian yang digunakan dalam skripsi ini. Pada bab V akan dibahas tentang analisis matematis integrasi WiFi pada jaringan UMTS yang meliputi *delay* proses, *delay* transmisi, *delay* propagasi, *delay* antrian, *delay* total, *delay end-to-end* dan *throughput*. Bab VI memuat kesimpulan dari keseluruhan isi skripsi yang menjawab mengenai rumusan masalah yang diambil dari hasil analisis. Selain itu juga memuat saran yang bisa digunakan untuk memperbaiki performansi integrasi WiFi pada jaringan UMTS lebih lanjut yang bisa dianalisis dan dijadikan masukan bagi pembaca lain.

BAB II

WIRELESS FIDELITY (WiFi) DAN UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM (UMTS)

WiFi dan UMTS merupakan teknologi telekomunikasi yang sedang berkembang saat ini. Kedua jaringan tersebut merupakan pengembangan dari jaringan-jaringan yang telah ada sebelumnya. WiFi merupakan jaringan *wireless* hasil pengembangan dari jaringan komunikasi berkabel. Sedangkan UMTS merupakan jaringan komunikasi bergerak hasil pengembangan dari jaringan GSM. Hal ini dimaksudkan agar kebutuhan masyarakat yang beragam akan informasi dapat terpenuhi.

2.1 Wireless Fidelity (WiFi)

Seperti yang telah kita ketahui, *Local Area Network* (LAN) merupakan jaringan yang terbentuk dari gabungan beberapa komputer yang tersambung melalui saluran fisik (kabel). Namun, seiring dengan perkembangan teknologi serta kebutuhan untuk akses jaringan yang *mobile* (bergerak) yang tidak membutuhkan kabel sebagai media transmisinya, maka muncul *Wireless Local Area Network* (Wireless LAN/WLAN).

Jaringan lokal tanpa kabel atau WLAN adalah suatu jaringan area lokal tanpa kabel dimana media transmisinya menggunakan *frekuensi radio* (RF) dan *infrared* (IR), untuk memberi sebuah koneksi jaringan ke seluruh pengguna dalam area disekitarnya. Area jangkauannya dapat berjarak dari ruangan kelas ke seluruh kampus atau dari kantor ke kantor yang lain dan berlainan gedung. Peranti yang umumnya digunakan untuk jaringan WLAN adalah PC, laptop, PDA, telepon seluler, dan lain sebagainya. Teknologi ini memiliki kegunaan yang sangat banyak. Contohnya, pengguna *mobile* bisa menggunakan telepon seluler mereka untuk mengakses *e-mail*. Sementara itu para *user* dengan laptopnya bisa terhubung ke internet ketika mereka sedang di bandara, kafe, kereta api dan tempat publik lainnya.

WiFi merupakan teknologi komunikasi dan informasi yang bekerja pada jaringan dan perangkat WLAN atau jaringan komputer tanpa kabel yang merupakan pengembangan dari jaringan komputer dengan menggunakan kabel. Teknologi internet berbasis WiFi dibuat dan dikembangkan sekelompok insinyur Amerika Serikat yang bekerja pada *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE). Dengan kata lain, WiFi merupakan bentuk pemanfaatan teknologi WLAN yang sedang berkembang pesat yang menggunakan standar pengembangan dari IEEE 802.11 yaitu : 802.11.b; 802.11.a;

dan 802.11.g dan sudah memenuhi kualitas *interoperability* yang dipersyaratkan. IEEE 802.11b paling banyak digunakan saat ini, karena cepat dan mudah diimplementasikan, dan tersedia banyak sekali produk yang tersedia dipasaran. Mendukung kecepatan transmisi data sampai 11 Mbps pada pita frekuensi 2,4 GHz.

Dasar dari pengembangan teknologi nirkabel ini adalah untuk mengatasi permasalahan jarak antara satu komputer yang berjauhan sehingga dapat kita hubungkan sebagai satu jaringan komputer. Perangkat WiFi ini banyak digunakan oleh *Internet Service Provider* (ISP) untuk memberikan akses internet tanpa kabel. Pada penerapannya teknologi WiFi memiliki keterbatasan dalam hal *coverage area* yaitu sebesar radius 100 m dan sangat tepat digunakan untuk menjadi solusi akses internet secara cepat tanpa kabel dengan kelebihan biaya infrastruktur murah dan sangat tepat untuk digunakan dalam lingkungan *public hotspot*.

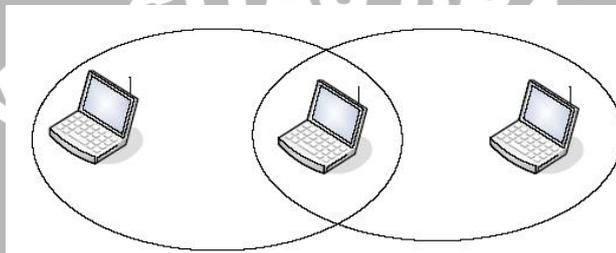
2.1.1 Topologi Jaringan WiFi

Jaringan WiFi memiliki dua mode yang dapat digunakan yaitu infrastruktur dan *ad hoc*. Konfigurasi infrastruktur adalah komunikasi antar masing-masing PC melalui sebuah *access point*. Komunikasi *ad hoc* adalah komunikasi secara langsung antara masing-masing komputer dengan menggunakan piranti *wireless*. Penggunaan kedua mode ini tergantung dari kebutuhan untuk berbagi data atau kebutuhan yang lain dengan jaringan berkabel.

a) Mode *ad hoc*

Topologi jaringan *ad hoc* terdiri dari beberapa *mobile node* yang dapat saling berkomunikasi secara *peer-to-peer* tanpa menggunakan infrastruktur seperti *access point* maupun *base station*. Setiap *mobile node* memiliki *wireless network interface* dan saling berkomunikasi dengan memanfaatkan media radio atau infra merah. Contoh *node* pada jaringan *ad hoc* adalah *laptop* dan *Personal Digital Assistant* (PDA) yang dapat berkomunikasi secara langsung satu dengan yang lainnya. *Node-node* pada konfigurasi jaringan *ad hoc* dapat bergerak dengan bebas atau diam pada posisinya. Setiap *node* pada konfigurasi *ad hoc* memiliki *coverage area* tertentu. Setiap *node* dapat saling bertukar data apabila masih berada di dalam *coverage area* atau dapat pula menggunakan *node* lain untuk mem-forward data menuju *node* tujuan. Sehingga dapat dikatakan bahwa setiap *node* pada konfigurasi *ad hoc* dapat berperan sebagai suatu *host* dan sebagai *router* yang dapat meroutingkan data menuju *node* tujuan.

Setiap *host* atau *mobile node* pada jaringan ini memiliki kedudukan yang sama dan tidak ada administrator pusat seperti pada jaringan seluler atau pada WLAN mode infrastruktur. Pada jaringan ini setiap *node* dapat bergerak dengan bebas keluar dan masuk jaringan setiap saat tetapi dibatasi oleh cakupan daerah transmisi jaringan. Sehingga diperlukan beberapa *node* untuk dapat saling menghubungkan *node* dalam jaringan. Jika dibandingkan dengan jaringan lokal dengan kabel, jaringan *ad hoc* tidak memerlukan *access point* sebagai *router* dan kabel sebagai penghubung untuk komunikasinya. Jaringan *ad hoc* hanya dapat berkomunikasi dengan sesama jaringan *ad hoc*, tidak dapat berkomunikasi dengan mode infrastruktur maupun jaringan yang menggunakan kabel.

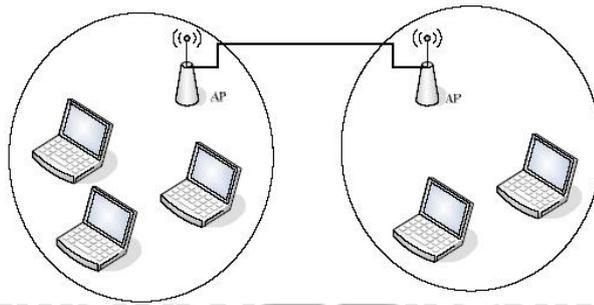


Gambar 2.1 Topologi Mode *Ad hoc*
Sumber : <http://www.itelkom.ac.id>

b) Mode infrastruktur

Topologi jaringan jenis ini dibangun dengan *fixed infrastruktur* yang terdiri atas *Base Station* (BS) atau *Access Point* (AP). *Base station* atau *access point* berfungsi memberikan *service* dan kontrol pada *mobile node* yang berada di cakupan areanya. Pada topologi ini setiap BS atau AP saling dihubungkan dengan media kabel dan setiap *mobile node* dikoneksikan dengan *base station* melalui media *wireless*. *Base station* dapat berkomunikasi dengan semua *mobile node* yang berada di *coverage area* yang dimilikinya.

Access point berlaku seperti *hub* atau *switch* pada jaringan kabel, sehingga *access point* akan menjadi pusat dari jaringan WLAN. *Access point* pada jaringan WLAN dapat berupa *dedicated access point* dan *PC access point*. *Dedicated access point* adalah *access point* yang dibuat oleh pabrik, sedangkan *PC access point* adalah komputer yang difungsikan sebagai *access point*.



Gambar 2.2 Topologi Mode Infrastruktur
Sumber : <http://www.itelkom.ac.id>

2.1.2 Arsitektur Protokol WiFi

Model *layer* yang digunakan pada standarisasi IEEE 802.11 terdiri atas lapisan *physical* (*physical layer*) dan *data link layer*. Sedangkan lapisan *data link* pada 802.11 hanya memiliki satu *sub layer* yakni dan *Medium Access Control* (MAC).

1) *Physical layer*

Physical layer pada WLAN terdiri atas *Physical Layer Convergence Procedure* (PLCP) *sub layer* dan *Physical Media Dependent* (PMD) *sub layer*.

a) PLCP *sub layer*

PLCP *frame* format adalah metode *mapping* dari 802.11 PHY *sub layer* *Service Data Unit* (PSDU) ke dalam format *frame* yang memungkinkan untuk mengirim dan menerima data antar dua perangkat yang menggunakan asosiasi *physical medium dependent system*. Format *frame* dari lapisan PHY adalah:

1. *Field Preamble* (pembukaan)
 - a. SYNC: untuk sinkronisasi penerimaan sinyal
 - b. SFD: menyatakan permulaan *frame*
2. *Field Header*
 - a. *Signal*: *field* ini menyatakan kepada lapisan PHY mengenai modulasi yang digunakan dalam pengiriman
 - b. *Service*: *field* ini untuk penggunaan yang akan datang
 - c. *Length*: menyatakan berapa mikro detik waktu yang dibutuhkan untuk mengirim *payload* (data bersifat variabel)
 - d. *Cyclic Redundancy Check* (CRC): dalam *field* ini, *field signal*, *field length* dan *field service* dikawal oleh *frame check sequence* untuk memastikan tidak terjadi kesalahan (*error*) dalam *frame*.

3. *Field Data Payload* disebut juga *MAC Protocol Data Unit*: merupakan sejumlah unit data atau *frame* MAC yang dikirimkan dari lapisan MAC ke lapisan PHY. Besarnya bervariasi tergantung besarnya data yang terdapat dalam *frame* MAC.

b) *PMD sublayer*

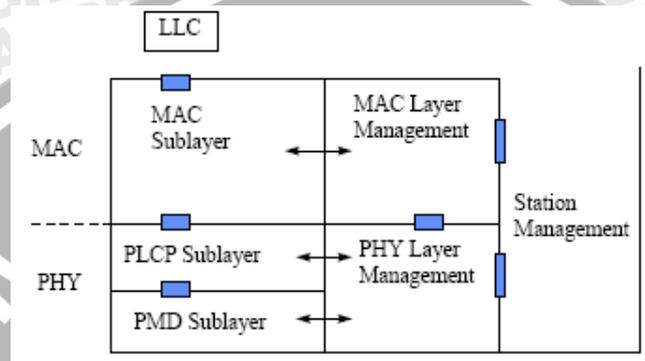
PMD melayani *wireless encoding*, yaitu berfungsi menyediakan metode pengiriman dan penerimaan proses modulasi dan demodulasi dari *frame* transmisi yang melalui media *wireless*. Bit-bit data diambil dari *PLCP sublayer* dan kemudian dimodulasikan dengan teknik *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) maupun *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) frekuensi *carrier* yang digunakan antara 2400 sampai 2483 GHz. Frekuensi ini adalah frekuensi bebas jika digunakan untuk bidang industri, pendidikan, dan kedokteran atau *Industry, Scientific, Medical* (ISM). Adapun frekuensi itu sendiri dari sebelas kanal frekuensi dengan *guard band* antara kanal sebesar 5MHz

2) *Data link layer*

Lapisan *data link* memiliki 2 *sublayer* yaitu *Logical Link Control* (LLC) dan MAC, tetapi untuk WLAN hanya memiliki satu *sublayer*, yakni MAC. MAC berfungsi menjaga validitas lalu lintas data. Paket data (*payload*) pada *frame* MAC yang dikirimkan disebut *MAC Protocol Data Unit* (MPDU). *MAC Frame* memiliki 4 *address*: *Basic Service Set Identification* (BSSID), (*Source Address*) alamat sumber, (*Recipient Address*) alamat tujuan, stasiun *transmitter* dan *receiver*. *Field* dalam *frame* MAC:

1. *Frame control*: berisi informasi kontrol *frame* dasar, termasuk tipe *frame* dan sub tipe.
2. *Durasi/ID*: *field* ini mempunyai pengertian tergantung pada tipe *frame*.
3. *Field* alamat:
 - a. Alamat 1 adalah alamat penerima.
 - b. Alamat 2 adalah alamat pengirim.
 - c. Alamat 3 adalah untuk suatu kasus yang hilang.
 - d. Alamat 4 adalah untuk kasus dimana *distribution system* tipe *wireless* digunakan dan *frame* dikirimkan dari satu *access point* ke *access point* yang lain.

4. *Sequence control*: *field* ini mewakili perintah pemecahan pada *frame* dan mengenali kembali paket *frame body*, berisi *frame payload* MAC, yang memiliki panjang 0-2312 *byte*.
5. *Frame Body*: *field* ini mempunyai variabel panjang dan membawa informasi yang berhubungan dengan *frame* yang saat itu sedang di transmisikan.
6. *CRC*: *field* ini berisi 32 bit CRC melindungi seluruh *field* yang terdapat pada MPDU dari cacat ataupun *error*.



Gambar 2.3 Protokol WLAN IEEE 802.11
 Sumber: www.ieee802.org/11/Tutorial/archit.pdf

2.1.3 Model OSI dan TCP/IP

Dalam merencanakan suatu jaringan komputer selain membutuhkan perangkat keras juga membutuhkan perangkat lunaknya. Perangkat lunak suatu jaringan komputer ini berdasarkan pada protokol yang digunakan. Protokol adalah suatu aturan yang mendefinisikan beberapa fungsi yang ada dalam sebuah jaringan komputer, misalnya mengirim pesan, data, informasi dan fungsi lain yang harus dipenuhi dari sisi pengirim (*transmitter*) dan sisi penerima (*receiver*) agar komunikasi dapat berlangsung dengan benar

2.1.3.1 Model Referensi OSI

Salah satu standar dalam protokol jaringan yang dikembangkan oleh *International Standard Organization* (ISO) adalah model referensi *Open System Interconnection* (OSI). OSI bukanlah protokol tetapi merupakan model untuk memahami dan mendesain suatu arsitektur jaringan yang fleksibel. Model ini memberikan gambaran tentang fungsi, tujuan dan kerangka kerja suatu struktur model referensi untuk proses yang bersifat logis dalam sistem komunikasi. Adapun *layer-layer* pada OSI dan fungsi dari masing-masing lapisan adalah sebagai berikut:



1. **Layer 7: Application Layer**

- a. *Layer* ini mendukung aplikasi proses pemakaian pada bagian terakhir dari *users* untuk komunikasi dan transfer data dalam suatu jaringan.
- b. Berfungsi mengenali data *syntax* dan *user authentication*. *Layer* ini menyediakan pelayanan aplikasi untuk pengiriman *file*, *e-mail* dan pelayanan *software* jaringan lainnya. FTP adalah aplikasi yang berada pada tingkat aplikasi.

2. **Layer 6: Presentation Layer**

- a. *Presentation layer* berfungsi untuk mengubah bentuk data agar bisa di baca oleh lapisan diatas maupun dibawahnya.
- b. Menentukan arsitektur sesuai dengan format transfer data.
- c. Melakukan proses enkoding dan dekoding data; enkripsi dan dekripsi data; kompresi dan dekompresi data.

3. **Layer 5: Session Layer**

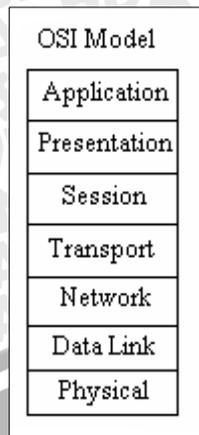
- a. Lapisan ini mengatur, menetapkan proses penyambungan dan pemutusan hubungan antar *user*.
- b. Melaporkan kesalahan lapisan diatasnya.

4. **Layer 4: Transport Layer**

- a. Mengatur pengiriman pesan/transfer data *end-to-end* dalam jaringan.
- b. Menyediakan pengiriman paket yang berurutan melalui mekanisme perbaikan *error* dan *flow control*.
- c. Menyediakan transfer data antar sistem.

5. **Layer 3: Network Layer**

- a. Lapisan ini menyediakan proses *switching* dan *routing* yang membentuk *logical path* yang disebut *virtual circuits*, untuk mentransmisikan data dari *node* ke *node*
- b. Melakukan proses *routing* dan proses selanjutnya seperti *addressing*, *internetworking*, *error handling*, *congestion control* dan *packet sequencing*
- c. Mengarahkan jalur paket sesuai dengan alamat dalam jaringan.



Gambar 2.4 Model OSI
Sumber: www.wlana.org

6. *Layer 2: Data Link Layer*

- Pada *layer* ini data di *encode* dan *decode* menjadi berupa bit-bit yang digunakan untuk mendeteksi *error* paket data yang terjadi pada *physical layer* menambahkan *flow control* dan *frame synchronization*.
- Data link layer* di bagi menjadi dua *sub layer* yaitu *MAC layer* dan *LLC layer*.

7. *Layer 1: Physical Layer*

- Tingkat ini adalah perangkat keras komunikasi, yang menetapkan karakteristik fisik jaringan seperti koneksi, pewaktuan dan level tegangan.
- Menetapkan peralatan fisik pada pengiriman data pada semua peralatan dalam jaringan.

2.1.3.2 Model Referensi TCP/IP

Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) adalah protokol yang mengatur komunikasi data komputer di internet. TCP/IP terdiri atas kumpulan *layer* yang masing-masing bertanggung jawab atas bagian-bagian tertentu komunikasi data. *Layer* yang satu tidak perlu mengetahui cara kerja *layer* yang lain, yang terpenting adalah bagaimana *layer-layer* tersebut dapat saling mengirim dan menerima data. TCP/IP terdiri atas 4 *layer* protokol, yaitu:

1. *Network Access/Interface Layer*

Layer ini bertanggung jawab mengirim dan menerima data ke dan dari media fisik. Media fisik ini dapat berupa kabel, serat optik, atau gelombang radio. Protokol pada *layer* ini harus mampu menerjemahkan sinyal listrik menjadi data digital yang dimengerti komputer.

2. *Internet Layer*

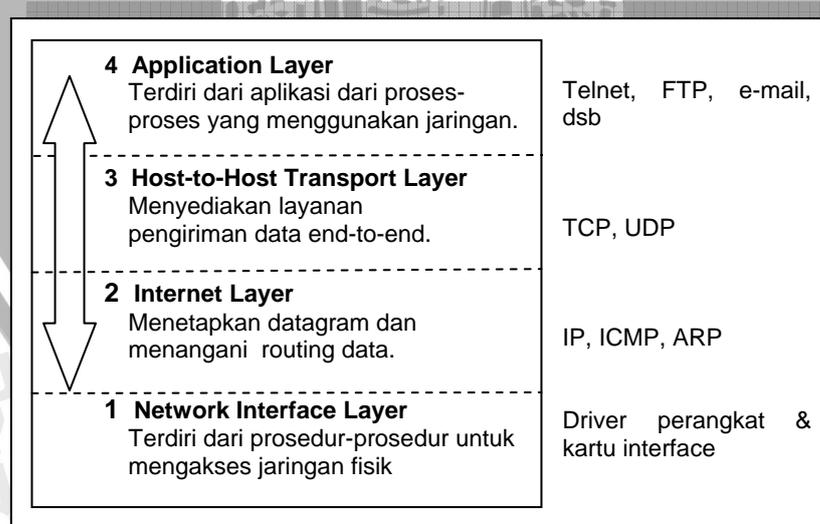
Internet layer bertanggung jawab dalam proses pengiriman paket ke alamat yang tepat. Pada sistem jaringan komputer yang digunakan saat ini, *internet layer* didukung oleh tiga macam protokol, yaitu IPv4, ARP, dan ICMP. *Internet Protocol version 4* (IPv4) berfungsi untuk menyampaikan paket data ke alamat yang tepat. *Address Resolution Protocol* (ARP) adalah protokol yang digunakan untuk menemukan alamat perangkat keras dari *host*/komputer yang terletak pada jaringan yang sama. Sedangkan *Internet Control Message Protocol* (ICMP) ialah protokol yang digunakan untuk mengirimkan pesan dan melaporkan kegagalan pengiriman data. Pada mekanisme transisi, *internet layer* hanya didukung oleh dua buah protokol, yaitu IPv6 dan ICMPv6. fungsi IPv6 sama dengan IPv4, tetapi IPv6 memuat beberapa fitur tambahan. Sedangkan ICMPv6 menggabungkan fungsi ICMP dan ARP pada sistem sebelumnya.

3. *Host-to-Host Transport Layer*

Layer ini berisi protokol-protokol yang bertanggung jawab untuk mengadakan komunikasi antara dua *host*/komputer. Kedua protokol tersebut ialah *Transmission Control Protocol* (TCP) dan *User Datagram Protocol* (UDP).

4. *Application Layer*

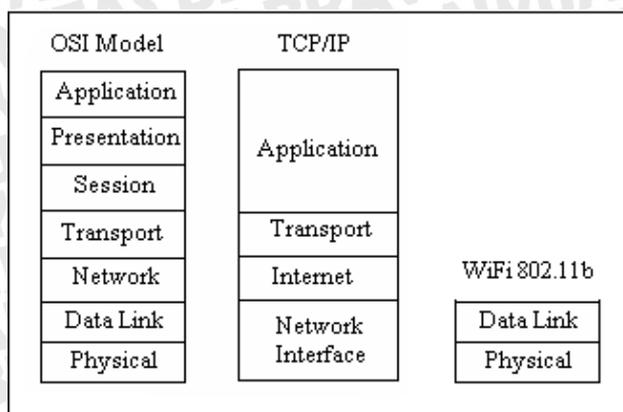
Pada *layer* ini terletak semua aplikasi yang menggunakan protokol TCP/IP seperti: *Telnet*, *File Transfer Protocol* (FTP), *Simple Mail Transfer Protocol* (SMTP), dan *Simple Network Management Protocol* (SNMP).



Gambar 2.5 *Layer-layer* dalam Arsitektur Protokol TCP/IP

Sumber: Hunt, 1992:9





Gambar 2.6 Kesetaraan TCP/IP dan OSI

Sumber : W. Richard Stevens, 1994 : 2

Tabel 2.1 Proses *Encapsulation*

| Lapisan | Proses <i>Encapsulation</i> |
|---|--|
| <i>Application, Presentation, Session</i> | Informasi diubah menjadi data |
| <i>Transport</i> | Data diubah menjadi segmen / data stream |
| <i>Network</i> | Segmen diubah menjadi paket / datagram |
| <i>Data-link</i> | Paket diubah menjadi frame |
| <i>Physical</i> | Frame diubah menjadi bit |

Sumber : Cisco Router : 4

2.1.4 Internet Protocol version 6 (IPv6)

IPv6 sebagai protokol pengganti IPv4 mulai dilaksanakan oleh *Internet Engineering Task Force (IETF)* pada awal tahun 1990-an IPv6 ini dirancang untuk memecahkan masalah keterbatasan ruang alamat IPv4. Protokol *internet layer* dalam rangkaian protocol TCP/IP yang digunakan saat ini adalah IPv4. Meskipun IPv4 dirancang dengan baik, IPv4 memiliki beberapa kekurangan, sehingga tidak cocok lagi digunakan untuk internet yang berkembang secara cepat. Rancangan IPv4 tidak mengantisipasi:

- pertumbuhan secara eksponensial kebutuhan akan internet saat ini dan kekurangan ruang alamat IPv4 masa mendatang
- kebutuhan akan konfigurasi yang lebih sederhana
- persyaratan keamanan pada tingkat IP
- kebutuhan akan dukungan yang lebih baik untuk pengiriman data *real time* yang disebut *Quality of Service (QoS)*

IPv6 menggabungkan beberapa konsep dan fungsi baru. Berikut ini merupakan fitur-fitur protokol IPv6:

- penyederhanaan format *header*
- ruang alamat yang lebih besar
- infrastruktur routing dan pengalamatan secara hierarki dan efisien
- kemampuan autografi alamat
- *Built-in security*
- Dukungan yang lebih baik dalam QoS
- Protokol baru untuk interaksi node yang berdekatan
- Ekstensibilitas
- Mobilitas jaringan dan end system

2.1.4.1 Struktur Paket IPv6

Komponen-komponen datagram IPv6 adalah sebagai berikut:

- *IPv6 base header*

IPv6 base header selalu ada dan memiliki ukuran tetap 40 *byte*

- *Extension header*

Extension header terletak di antara *header IPv6* dan *header protocol upper layer*. Nol atau lebih *extension header* dengan panjang yang berbeda-beda dapat digunakan dalam paket IPv6. *Field Next Header* dalam *base header IPv6* menunjukkan *extension header* pertama. Dalam masing-masing *extension header* terdapat *field next header* lainnya, yang menunjukkan *extension header* berikutnya. *Extension header* yang paling akhir menunjukkan *header untuk protocol upper layer*, seperti TCP, UDP, atau ICMPv6, yang termuat dalam unit data protokol *upper-layer*. Tidak seperti *option* dalam *header IPv4*, *extension header IPv6* tidak memiliki ukuran maksimum dan dapat diperluas untuk mengakomodasi seluruh data *extension* yang dibutuhkan untuk komunikasi IPv6.

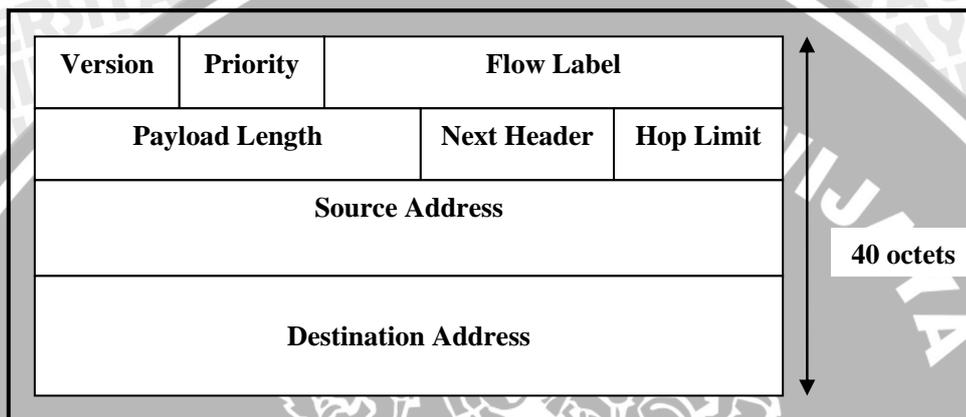
- *Data packet from upper-layer (Upper-Layer Protocol Data Unit)*

Paket data *upper-layer* biasanya terdiri atas *header protocol upper-layer* dan *payload*-nya (sebagai contoh: pesan ICMPv6, segmen TCP, pesan UDP). *Payload* paket IPv6 merupakan gabungan antara *extension header IPv6* dengan paket data *upper-layer*. Umumnya, panjang *payload* mampu mencapai 65.535

byte. Paket-paket IPv6 dengan *payload* lebih besar dari 65.535 byte, yang disebut *jumbogram*, juga dapat dikirim.

2.1.4.2 Header IPv6

Header IPv6 didesain mempunyai field yang lebih sedikit dibandingkan dengan IPv4. panjang *header* yang selalu tetap sebesar 40 byte, dan fragmentasi paket IPv6 yang terbatas hanya pada *host* akan membuat *router* menjadi lebih cepat dalam memproses paket IPv6.



Gambar 2.7 Header IPv6
 Sumber: William Stalling, 1997: 564

Setiap paket IPv6 membawa data yang terdiri dari:

- *Version* (4 bit), berisi nomor versi *Internet Protocol*, yaitu 6
- *Traffic Class* (8 bit), berisi kolom kelas atau klasifikasi trafik. Tersedia untuk digunakan oleh permulaan node atau *router forwarding* untuk mengidentifikasi dan membedakan antara kelas kelas yang berbeda atau prioritas paket IPv6.
- *Flow Label* (20 bit) berisi label aliran dari trafik. Digunakan oleh *host* untuk melabel paket-paket yang mana meminta penanganan khusus oleh dalam suatu jaringan.
- *Payload Length* (16 bit), merupakan panjang *payload*/muatan IPv6. *payload* ini adalah sisa paket setelah dikurangi *header* IPv6 dalam bentuk *octet* (di luar *header* IPv6). Catatan bahwa *header tambahan/extension header* yang ada dihitung sebagai bagian dari *payload* termasuk panjang *header* tambahan tersebut.

- *Next header* (8 bit), merupakan identifikasi tipe *header* yang akan ada setelah *header* IPv6. nilai *header* ini menggunakan tipe *header* yang sama dengan yang ada pada protokol IPv4.
- *Hop Limit* (8 bit), nilai pada kolom ini akan dikurangi satu jika paket ini melewati node yang berfungsi melewati/ mem-forward paket (melewati *router*). Paket ini akan dibuang jika batas hop ini berubah menjadi nol.
- *Source Address* (128 bit), merupakan alamat IPv6 asal dari paket
- *Destination Address* (128 bit), merupakan alamat IPv6 tujuan paket.

2.1.4.3 Maximum Transmission Unit (MTU) IPv6

Maximum Transmission Unit IPv6 adalah ukuran maksimum paket IPv6 sebelum menuju lapisan *interface*. Besarnya MTU IPv6 tidak kurang dari 1280 *byte* dan maksimum 65.535 *byte*, tergantung jenis lapisan *interface* yang digunakan. Misalnya, jika lapisan *interface* menggunakan *Ethernet*, maka besarnya MTU adalah 1500 *byte*. Apabila MTU pada lapisan *interface* lebih dari nilai maksimumnya maka harus dilakukan segmentasi.

2.2 Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)

UMTS merupakan teknologi *wireless* generasi ketiga (3G) yang meliputi pengenalan teknologi baru transmisi radio menggunakan WCDMA sebagai akses radio baru ke jaringan inti GSM dengan kecepatan data sampai dengan 2 Mbps. Dengan cara ini keseluruhan sistem *switching* dapat digunakan kembali untuk UMTS dan WCDMA bersama dengan jaringan radio GSM terpasang yang akan mempertahankan daerah cakupan yang ada dan memungkinkan kecepatan data sampai dengan 384 Kbps.

Prinsip kerja WCDMA adalah sinyal informasi akan disebar dan ditransmisikan pada suatu spektrum frekuensi tertentu pada suatu waktu, jadi tidak ada lagi alokasi frekuensi dan *time slot* dalam sistem WCDMA. Sesungguhnya prinsip kerja WCDMA ini berbasis pada teknologi *Code Division Multiple Access* (CDMA) yang menggunakan kode *random* untuk memisahkan tiap *user* dalam satu *frame*/paket data, hanya saja WCDMA memiliki *bandwidth* yang lebih besar, yaitu 5 MHz, 10 MHz atau 15 MHz sedangkan CDMA IS-95 hanya mempunyai *bandwidth* sebesar 1.25 MHz. Pada dasarnya, teknik CDMA sendiri hanya digunakan sebagai teknik antarmuka udara (*air interface*) pada WCDMA, dan *interface* WCDMA tersebut digunakan dalam standar 3G pada UMTS yang merupakan pengembangan dari teknologi GSM.

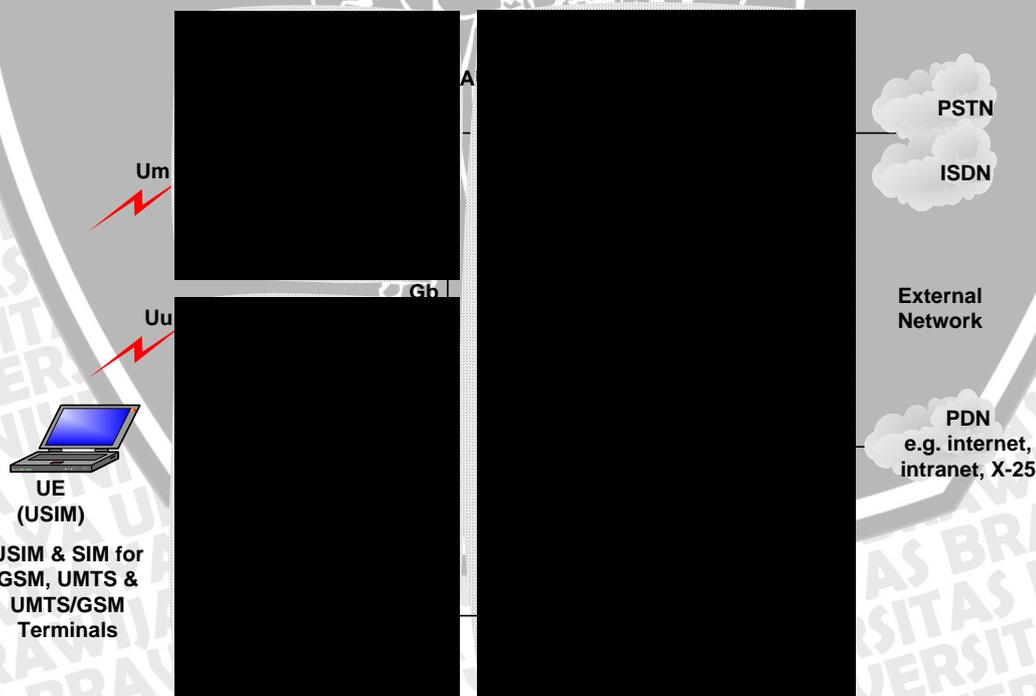
Tabel 2.2 Spesifikasi WCDMA

| Parameter | Keterangan |
|---------------------------------|--|
| Carrier Spacing | 5 MHz (nominal) 4,2-5,4 MHz, 200 kHz raster |
| DownlinkRF Channel Structure | Direct spread |
| Chip Rate | 3,84 Mcps |
| Roll-offfactor for chip shaping | 0,22 |
| Frame Length | 10 ms |
| Number of slots/frame | 15 |
| Spreading Modulation | Balanced QPSK (downlink), Dual Channel QPSK (uplink), Complex Spreading circuit |
| Data Modulation | QPSK (downlink), BPSK (uplink) |
| Coherent Detection | Pilot Symbols/channel |
| Channel Multiplexing in uplink | Control and pilot channel time multiplexed Foer the data and control channel I and Q multiplexing |
| Multirate | Variabel spreading and multicode |
| Spreading Factor | 4-256 |
| Power Control | open and fast closed loop (1,5 kHz) |
| Services | Voice, video, and moderate-demand data applications |

Sumber: Sekolah Tinggi Teknnologi Telkom, 2006

2.2.1 Arsitektur UMTS

Jaringan UMTS tersusun atas bagian-bagian yang berhubungan dan bekerja sesuai dengan fungsi masing-masing. Arsitektur UMTS dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.



Gambar 2.8 Arsitektur UMTS

Sumber : Pierre Lescuyer & Frank Bott, 2004 : 47

Jaringan UMTS terdiri dari 3 bagian utama, yakni:

1) *User Equipment (UE)*

User equipment merupakan perangkat berupa *headset* yang digunakan pada sisi pelanggan untuk dapat memperoleh layanan komunikasi bergerak, khususnya layanan UMTS. UE terdiri dari dua bagian, yaitu *Mobile Equipment (ME)* dan *UMTS Subscriber Identity Module (USIM)* yang dihubungkan oleh *interface* Cu. USIM merupakan *smart card* yang berisi nomor identitas pelanggan dan juga algoritma *security* untuk keamanan seperti *authentication algorithm* dan algoritma enkripsi. Sedangkan ME berfungsi sebagai terminal radio yang digunakan untuk komunikasi radio dengan UMTS melalui *interface* Uu. ME terdiri dari 2 bagian yaitu *Mobile Terminal (MT)* dan *Terminal Equipment (TE)*, *interface* UE dengan jaringannya disebut *interface* Uu, yang merupakan *air interface* WCDMA.

2) *UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)*

UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) terdiri-dari beberapa *Radio Network Subsystem (RNS)*. Dalam RNS terdapat beberapa *node B*. Sejumlah *node B* dalam RNS diatur oleh sebuah *Remote Network Controller (RNC)*.

a. *Node B*

Node B sama dengan *base station* di dalam jaringan GSM. *Node B* merupakan perangkat pemancar dan penerima yang memberikan pelayanan radio kepada UE. *Node B* ini dapat menangani beberapa pengguna yang berada didalam jangkauan areanya. *Node B* dapat diletakkan baik didalam ruangan maupun diluar ruangan. Masing-masing sel *node B* ini dilayani oleh antena tersendiri. Setiap *node B* sudah dialokasikan satu frekuensi untuk digunakan dalam area *node B* tersebut, dan daya *transmitter* masing-masing *node B* tersebut dibatasi dengan tujuan agar antara *node B* yang satu dengan *node B* yang lain yang berada dalam satu UTRAN tidak saling mengganggu. Di dalam *node B* terjadi suatu proses modulasi dan demodulasi. *Node B* merupakan *micro diversity*, yang artinya bahwa *node B* merupakan suatu daerah yang kecil yang terbagi-bagi dari daerah yang besar, dimana tempat *mobile station* tersebut terlayani. Fungsi lain dari *node B* ini juga sebagai *error handling* dan *close loop power control*. *Mobile station* akan melakukan komunikasi dengan *node B* melalui *interface* Uu.

b. *Remote Network Controller (RNC)*

RNC yang terletak dalam UTRAN berfungsi untuk mengontrol beberapa *node B* yang berada dibawah pengawasannya. RNC juga berfungsi menghubungkan *core network* dengan *user*. Selain itu, RNC merupakan tempat berakhirnya protokol *Radio Resource Control (RRC)* yang mendefinisikan pesan dan prosedur antara *mobile user* dengan UTRAN. Fungsi lain RNC adalah *radio resource control, admission control, alokasi channel, setting power control, handover control, broadcast signalling, macro diversity, segmentation* dan *reassembly, open loop power control* dan *chiphering*.

UTRAN menggunakan WCDMA sebagai *air interfacena*. RNS dihubungkan antar RNC yang berada dalam satu UTRAN melalui *lur interface*. Sedangkan, *node B* terhubung dengan RNC melalui *lub interface*. UTRAN digunakan sebagai tempat untuk mentransportasikan berbagai *user traffic*, yaitu suara, data, dan sinyal-sinyal dari jaringan *mobile* yang akan ditujukan ke *core network* melalui *interface Iu*. *interface Iu* masih terbagi menjadi dua bagian, yaitu:

1. *Interface Iu-CS*

Interface Iu-CS digunakan untuk menghubungkan antara RNC dengan *circuit switched domain*, dimana *circuit switched domain* ini erat hubungannya dengan transmisi sinyal suara. *interface* ini digunakan ketika jaringan berbasis pada komutasi paket dan menghubungkan jaringan UTRAN dengan MSC.

2. *Interface Iu-PS*

Interface Iu-PS untuk menghubungkan RNC dengan *core network packet switched domain*, dimana *domain* ini berhubungan dengan transmisi paket-paket data. *interface* ini menghubungkan jaringan akses dengan SGSN dari *core network*

3) *Core Network (CN)*

Core Network (CN) merupakan bagian UMTS yang di dalamnya terjadi proses *switching* dan transmisi yang ditujukan ke berbagai *user* yang terletak pada jaringan UMTS. *Core network* juga berfungsi memajemen jaringan serta sebagai *interface* antara jaringan UMTS dengan jaringan yang lainnya. *Core network* terdiri atas dua bagian yaitu:

a. *Circuit Switched Domain*

Circuit switched domain masih terdiri dari beberapa bagian yakni *Mobile Switching Center* (MSC), *Visitor Location Register* (VLR), dan *Gateway MSC*.

b. *Packet Switched Domain*

Packet switched domain merupakan suatu jaringan yang baru yang ditambahkan pada sistem GSM agar dapat menggunakan layanan GPRS. Jaringan tersebut sering disebut juga sebagai *GPRS Support Node* (GSN). GSN bertanggung jawab terhadap pengiriman dan *routing* dari paket-paket data antara *mobile station* dengan eksternal *Packet Data Network* (PDN). *Packet switched domain* terdiri dari dua bagian yakni:

(i) *Serving GPRS Support Node* (SGSN)

SGSN dalam *packet switched domain* bertanggung jawab dalam pengiriman paket data dari dan kepada *Mobile Station* (MS) yang berada didalam cakupan area yang dilayaninya. Termasuk juga didalamnya proses *routing*, mobilitas manajemen yang meliputi manajemen lokasi serta otentikasi dari pengguna yang berhak atas suatu paket data. Setiap lokasi yang terdaftar dalam SGSN akan memberikan laporan, misalnya laporan mengenai VLR pada saat itu, dan juga memberikan informasi tentang profil MS yang berada didalamnya, contohnya: *International Mobile Subscriber Identity* (IMSI). Setiap MS yang ada harus diregistrasi oleh SGSN. SGSN akan terus mendeteksi posisi dari MS yang berada dalam cakupannya. Informasi mengenai MS akan ditampung ke dalam HLR. SGSN akan senantiasa menjaga keamanan dari *channel* data dari MS pada saat *mobile station* itu melintasi sel yang satu menuju ke sel lainnya. SGSN memiliki level yang sama dengan MSC hanya saja SGSN digunakan untuk *switching* paket-paket data ke suatu pengguna yang berhak. Sedangkan *Gateway GPRS Support Node* (GGSN) bertindak sebagai *interface* menuju PDN.

(ii) *Gateway GPRS Support Node* (GGSN)

GGSN yang akan melibatkan jaringan data eksternal dengan jaringan layanan UMTS. GGSN akan meneruskan paket data yang datang dari MS menuju PDN. GGSN ini yang akan menyediakan fasilitas *interworking* dengan PDN eksternal. GGSN terhubung dengan SGSN via IP karena hal itu maka GGSN akan menyediakan suatu sistem konversi protokol yang akan

menghubungkan jaringan *General Packet Radio Service* (GPRS) kedalam lingkungan IP. GGSN mengkonversikan paket-paket data yang berasal dari SGSN kedalam suatu format *Packet Data Protocol* (PDP), misalnya IP atau X.25, setelah itu mengirimkannya kepada PDN yang dimaksud. Pada sisi lainnya alamat PDP dari paket data yang datang akan dikonversikan terlebih dahulu ke dalam format yang sesuai dan mengirimkannya kepada MS yang berhak untuk menerima paket data tersebut via SGSN. GGSN akan mengakhiri paket data di SGSN dimana SGSN yang akan berhubungan langsung dengan MS yang dapat bergerak secara bebas dalam suatu area yang terlayani. *interface* yang menghubungkan antara GGSN dengan SGSN adalah *interface Gn*. Sedangkan *interface* yang menghubungkan GGSN dengan PDN adalah Gi

Equipment Identity Register (EIR), *Home Location Register* (HLR), dan *Authentication Center* (AuC) merupakan elemen-elemen yang digunakan bersama antara *circuit switched domain* dan *packet switched domain*.

2.2.2 Alokasi Frekuensi Jaringan UMTS

UMTS merupakan suatu sistem telekomunikasi yang sedang dikembangkan dalam kerangka IMT-2000. IMT-2000 merupakan persyaratan yang dikeluarkan oleh *International Telecommunications Union* (ITU). IMT mewakili *Intenational Mobile Telecommunications*, dan “2000” menggambarkan dari tahun yang dijadwalkan untuk sistem percobaan awal dan cakupan frekuensi dari 2000 MHz. Pembagian frekuensi dengan alokasi *band* 1885 MHz-2025 MHz dan 2110 MHz-2200 MHz merupakan alokasi kanal yang ditetapkan WARC’92 untuk spektrum frekuensi UMTS, dengan pembagian sebagai berikut:

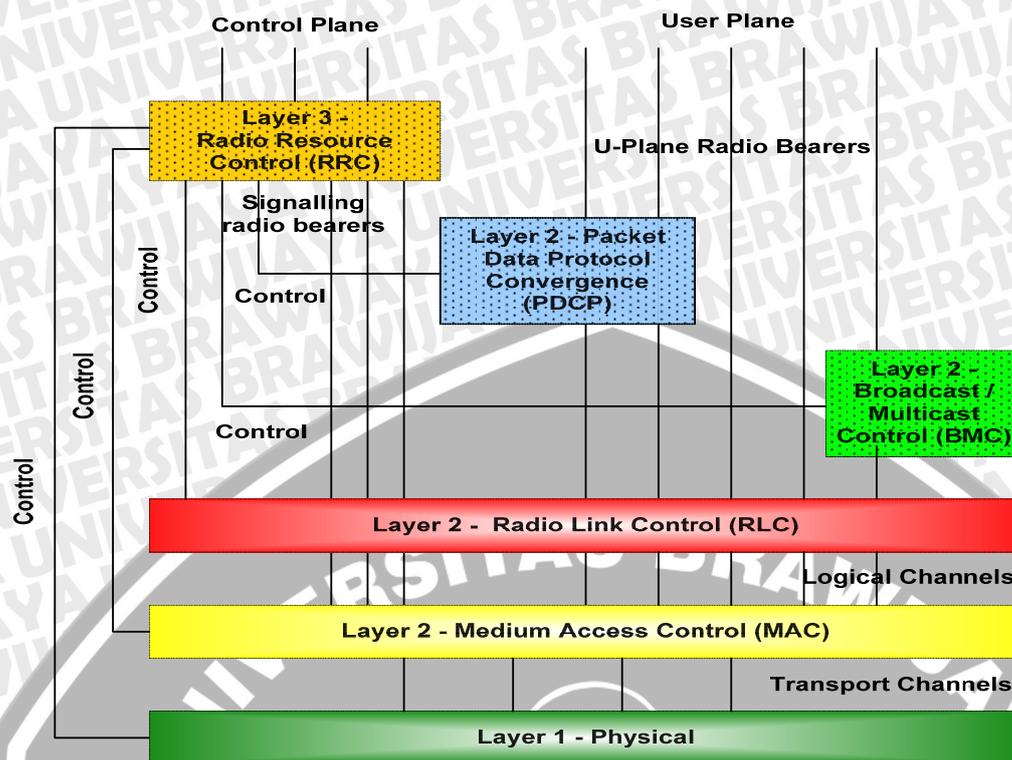
- a. 1920 MHz–1980 MHz (*uplink*) dan 2110 MHz-2170 MHz (*downlink*) merupakan *band* frekuensi untuk UMTS metode *duplex* FDD dengan *paired* frekuensi. *Channel-channel* yang dipakai dapat berukuran 2x15 MHz atau 2x20 MHz. Besar dari *channel spacing* ditetapkan sebesar 5 MHz.
- b. 1900 MHz – 1920 MHz (*uplink*) dan 2010 MHz-2025 MHz (*downlink*) merupakan *band* frekuensi untuk UMTS dengan metode TDD dengan *unpaired* frekuensi. *Channel spacing* ditetapkan sebesar 5 MHz.

- c. 1980 MHz–2010 MHz (*uplink*) dan 2170 MHz–2200 MHz (*downlink*) merupakan *band* frekuensi untuk satelit.

2.2.3 Protokol UMTS

Adapun protokol yang terdapat pada UMTS antara lain adalah:

- 1) Lapisan Fisik, berfungsi: *Radio Frequency (RF) processing, scrambling*, modulasi, *coding-decoding* yang mendukung *Forward Error Correction (FEC)*, kontrol daya dan eksekusi *soft handover*.
- 2) Lapisan *Medium Access Control (MAC)*, berfungsi: memetakan kanal logika menuju kanal transport.
- 3) Lapisan *Radio Link Control (RLC)*, berfungsi: *RLC connection establishment and release, error detection, ensuring free delivery through acknowledgement* (jika dibutuhkan), *In-sequence delivery, unique delivery*, dan *QoS management*.
- 4) Lapisan *Packet Data Convergence Protocol (PDCP)*, berfungsi: menyesuaikan tipe/struktur data *user* (yang mungkin saling berbeda) sehingga dapat diproses pada lapisan lainnya.
- 5) Lapisan *Broadcast/Multicast Control (BMC)*, berfungsi *broadcast* pada suatu sel, misalnya informasi cuaca dan lalu lintas.
- 6) Lapisan *Radio Resource Control (RRC)*, berfungsi: *broadcasting system* informasi, pembangunan hubungan antara *user* dengan jaringan berkaitan dengan pembagian sumber daya radio, pengalokasian sumber daya radio untuk *user*, penentuan waktu terjadinya *handover* termasuk seleksi sel dan *update lokasi (mobility management)*, dan kontrol QoS sehingga QoS *user* harus sesuai dengan sumber daya radio yang diberikan. Pada intinya lapisan ini bertanggung jawab atas pengaturan sumber daya radio, termasuk penentuan sumber daya radio yang ditujukan ke seorang *user*, sehingga sinyal kontrol yang menuju/berasal dari *user* selalu melewati RRC.



Gambar 2.9 Protokol UMTS

Sumber: Clint Smith & Daniel Collins, 2002 : 236

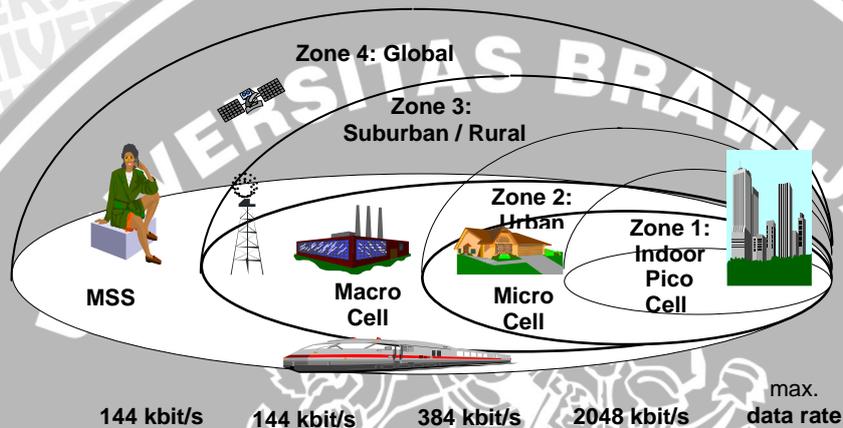
2.2.4 Daerah Layanan UMTS

Spektrum yang dapat digunakan oleh UMTS adalah terbatas, sehingga diperlukan beberapa tipe dan ukuran sel untuk penanganan lingkungan yang berbeda-beda dengan berbagai macam kepadatan mobilitas *user*. Maka area layanan UMTS dibagi ke dalam zona cakupan, mobilitas dan laju data yang berbeda. Terdapat 3 tipe sel pada UMTS untuk memenuhi permintaan yang dibutuhkan oleh sub-sub jaringan maupun lingkungan yang berbeda-beda. Tiap tipe sel tersebut memiliki cakupan/*coverage* sinyal tertentu. Tipe-tipe sel tersebut adalah *pico cell*, *micro cell*, dan *macro cell*.

- a. *Pico cell* merupakan tipe sel yang digunakan secara luas di dalam gedung yang menawarkan perangkat penuh layanan-layanan UMTS termasuk layanan-layanan data laju bit tinggi (jaringan laptop atau konferensi multimedia) dengan terminal tetap atau kecepatan pejalan kaki (kurang dari 10 km/h) dan kepadatan pemakai sangat tinggi. Cakupan sinyal pada piko sel adalah radius kurang dari 100 m. pada cakupan ini, transmisi data akan mencapai 2000 kbps.
- b. *Micro cell* merupakan tipe sel yang digunakan di daerah yang mempunyai cakupan mobilitas tidak berubah atau kecepatan pejalan kaki (kurang dari 10

km/h) atau kecepatan rendah dengan maksimum 120 km/h. pada cakupan ini, kecepatan transmisi data 2000 kbps atau 384 kbps. Cakupan sinyal mikro sel adalah radius kurang dari 1 km, contoh dari area layanan ini adalah air port terminal, stasiun kereta api, tempat keramaian publik dan area kota besar.

c. *Macro cell* merupakan tipe sel yang meliputi area urban dan suburban/rural dengan kepadatan pemakai tidak terlalu banyak. Cakupan mobilitas adalah kecepatan rendah hingga 120 km/h atau kecepatan tinggi hingga 500 km/h. kecepatan transmisi data 384 kbps atau 144 kbps.



Gambar 2.10 Daerah Layanan UMTS
 Sumber: Institut Teknologi TELKOM Bandung, 2008

Tabel 2.3 Karakteristik Sel

| Service | Macro-cell | Micro-cell | Pico-cell |
|---------------------------|------------|------------|-------------|
| Distance (km) | 1-5 | 0,4-1 | 0,075-0,2 |
| Area (km ²) | 2,6-65,0 | 0,4-2,6 | 0,015-0,104 |
| Mobility | High | High-Low | Low |
| Max.user data rate (kbps) | 384 | 384-2000 | 2000 |

Sumber: http://in3.dem.ist.utl.pt/master/03telecompolicy/lec_3.pdf

2.2.5 Layanan UMTS

Layanan yang diberikan oleh UMTS terdiri dari beberapa macam, antara lain :

1) *Speech (S)*

Speech merupakan layanan suara seorang pelanggan ke seorang pelanggan lain. *Teleconferencing* dan *voice mail* juga dapat dilakukan dalam layanan ini.



Intinya, *speech* adalah layanan berupa penyampaian sinyal suara dari seorang pelanggan ke pelanggan lainnya.

2) *Simple Messaging (SM)*

SM merupakan layanan pengiriman pesan berupa teks dari seorang pelanggan ke seorang atau ke banyak pelanggan lainnya, contohnya adalah *Short Message Service (SMS)*, pengiriman dan penerimaan *email*, dan *simple e-commerce*.

3) *Switched Data (SD)*

SD merupakan layanan akses *dial up* LAN dengan kecepatan yang rendah, termasuk juga akses ke internet dan intranet dan juga *faksimile*.

4) *Medium Multimedia (MMM)*

MMM merupakan layanan akses LAN dan juga akses intranet maupun internet, tetapi dengan aplikasi multimedia, contohnya adalah *shopping via internet* dan *e-banking*.

5) *High Multimedia (HMM)*

HMM merupakan aplikasi layanan akses LAN, intranet, internet dengan kecepatan yang tinggi. Layanan ini tergolong layanan multimedia dengan grafik yang tinggi, contohnya adalah penayangan *video* dan *audio clip*.

6) *High Interactive Multimedia (HIMM)*

HIMM layanan transfer data dengan kecepatan tinggi dan memerlukan hubungan yang kontinu secara simultan serta sangat peka terhadap *delay*. Layanan ini melibatkan data audio maupun *video*. Contoh aplikasi dari layanan ini adalah *video telephony* dan *video conferencing*.

Tabel 2.4 Lama Waktu Mengakses Tiap Layanan pada Jaringan UMTS

| File | Ukuran (kB) |
|---------------|-------------|
| <i>Email</i> | 10 |
| <i>Text</i> | 40 |
| <i>Music</i> | 60 |
| <i>Photo</i> | 100 |
| <i>Report</i> | 2000 |
| <i>Video</i> | 4000 |

Sumber: http://in3.dem.ist.utl.pt/master/03telecompolicy/lec_3.pdf

BAB III

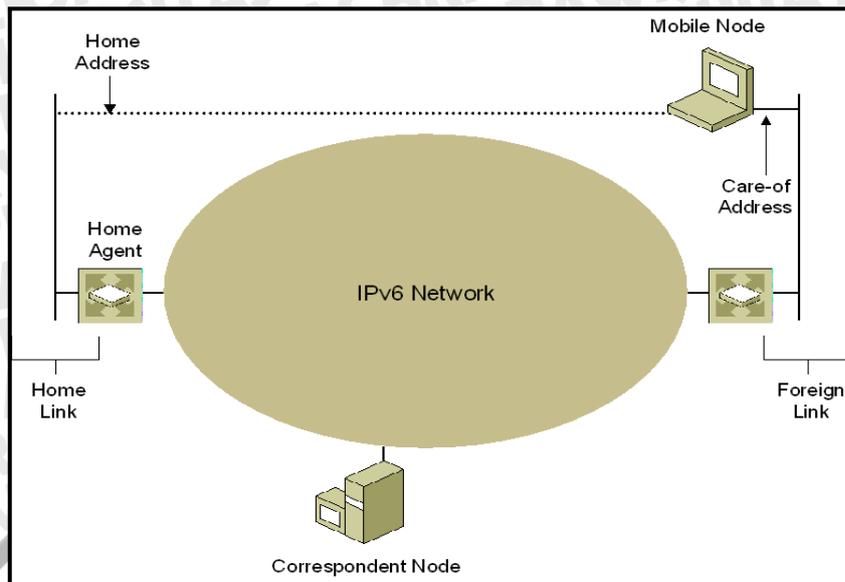
INTEGRASI WIRELESS FIDELITY (WiFi) PADA JARINGAN UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM (UMTS)

WiFi dan UMTS merupakan dua jaringan yang berbeda, namun sama-sama mendukung dalam hal koneksi dengan internet dan memiliki keunggulan masing-masing dalam aplikasinya. Sebuah *mobile station* dapat mengakses internet saat berada dalam jaringan WiFi ataupun dalam jaringan UMTS dengan menggunakan fungsi *mobile IP*. *Mobile IP* mendukung sebuah *mobile station* dapat tetap berkomunikasi tanpa terputus meskipun berpindah dari satu jaringan ke jaringan yang lain.

3.1 Mobile IPv6

Mobile IPv6 merupakan standar yang dibuat oleh *Internet Engineering Task Force* (IETF). Protokol ini memungkinkan *Mobile Node* (MN) dapat tetap berkomunikasi tanpa terputus meskipun berpindah tempat dari satu jaringan ke jaringan lain. *Mobile IPv6* terdiri atas komponen-komponen berikut ini:

1. MN, merupakan sebuah *node* yang melakukan perpindahan posisi dari sebuah jaringan satu ke jaringan yang lain tanpa merubah alamat IP dan masih tetap dapat terhubung dengan *Correspondent Node* (CN). *Mobile node* juga dapat berkomunikasi dengan *node* lain yang berada pada suatu lokasi yang tertentu dengan menggunakan alamat IP konstan.
2. *Home Address* (HoA), alamat *mobile node* saat berada di *home link*.
3. *Home Agent* (HA), merupakan *router* yang terletak di *home link* yang dapat mengirimkan paket data untuk MN saat berpindah dari tempat asalnya.
4. *Care-of-Address* (CoA), merupakan alamat yang mengidentifikasi lokasi MN saat berada di *foreign link*.
5. CN, merupakan sebuah *node* yang melakukan komunikasi dengan *mobile node*. *Correspondent node* dapat berfungsi sebagai *mobile node*.
6. *Tunnel*, merupakan jalur yang diambil oleh paket yang terenkapsulasi.



Gambar 3.1 Komponen-komponen *Mobile IPv6*

Sumber: *Microsoft Windows Server, 2004:1*

Beberapa layanan yang mendukung proses *mobile IPv6*:

1. *Router Solicitation (RS) message*: merupakan pesan yang berisi permintaan mengenai informasi *handover*.
2. *Router Advertisement (RA) message*: merupakan pesan yang dikirim oleh *router* yang berada di *foreign link* menuju *mobile node* untuk merespon *Router Solicitation (RS) message*.
3. *CoA Autoconfiguration*: merupakan proses yang pembentukan *core-of-address* yang dilakukan oleh MN saat berada di *foreign link*.
4. *CoA Registration*: merupakan proses registrasi yang dilakukan oleh *mobile node* kepada *home agent* atas alamat sementara *mobile node* saat berada di *foreign link*.
5. *Home Agent Discovery Process*: merupakan proses pencarian alamat *home agent*. Proses ini dilakukan dengan cara mengirimkan *ICMPv6 Home Agent Address Discovery Request message* oleh *mobile node* yang berada di *foreign link* terhadap alamat *home agent* yang mana saja di *home link*. Setelah diperoleh topologi *home agent* yang mendekati topologi *mobile node* maka HA akan membalas dengan *ICMPv6 Home Agent Address Discovery Reply message*. Proses ini diperlukan untuk proses *CoA Registration*.
6. *CN Registration*: merupakan proses yang dilakukan oleh *mobile node* saat berada di *foreign link* agar dapat menerima paket yang dikirimkan oleh CN.

Proses ini terdiri atas beberapa tahap yakni *Return Routability* dan pertukaran *Binding Update* (BU) dan *Binding Acknowledgement* (BA).

7. *Return routability*: merupakan proses dalam CN *registration* untuk membuktikan pada *correspondent node* bahwa *mobile node* dapat dicapai baik di *home address*-nya ataupun *core-of-address*-nya. Adapun proses dari *Return routability* adalah sebagai berikut:

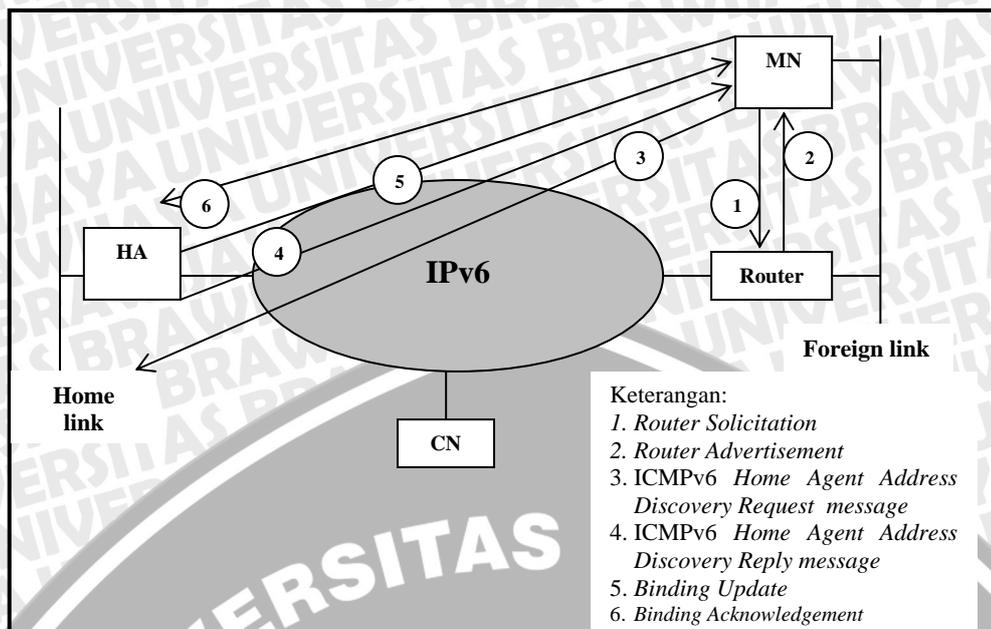
- *Mobile node* mengirim *Home Test Init* (HoTI) *message* ke CN melalui HA.
- *Mobile node* mengirim *Care-of-Test Init* (CoTI) *message* langsung ke CN.
- *correspondent node* mengirim *Home Test* (HoT) *message* untuk merespon HoTI *message*.
- *correspondent node* mengirim *Care-of-Test* (CoT) *message* untuk merespon CoTI *message*.

8. *Binding update* dan *binding acknowledgement*: merupakan pesan yang dikirim baik untuk keperluan CoA *registration* maupun CN *registration*.

3.1.1 Proses Mobile IPv6

Saat berpindah dari *home link* menuju ke *foreign link* maka MN akan mengirimkan *router solicitation message* pada *foreign link* untuk meminta informasi *handover*. Kemudian *router* pada *foreign link* akan membalas pesan tersebut dengan *router advertisement message*. Dengan demikian, MN telah terhubung dengan *foreign link*.

Setelah terhubung dengan *foreign link*, MN harus memperoleh *core-of-address* yang merupakan alamat sementara saat MN berada di *foreign link*. MN memperoleh CoA dengan cara membentuk alamatnya sendiri dengan cara *autoconfiguration address*. Setelah CoA terbentuk maka MN akan mendaftarkan CoA dengan *home agent*. Dengan demikian, maka MN perlu mengetahui alamat dari HA, dengan menggunakan *Home Agent Discovery Process*, yakni dengan mengirimkan ICMPv6 *Home Agent Address Discovery Request message* pada alamat *mobile IPv6 HA* yang mana saja. Topologi *home agent* yang paling mendekati dengan *mobile node* akan menerima pesan tersebut dan merespon dengan ICMPv6 *Home Agent Address Discovery Reply message*. Setelah alamat *home agent* diketahui, maka MN mengirimkan *binding update* pada *home agent* untuk mendaftarkan CoA-nya. Dan kemudian *home agent* akan merespon dengan *binding acknowledgement*.

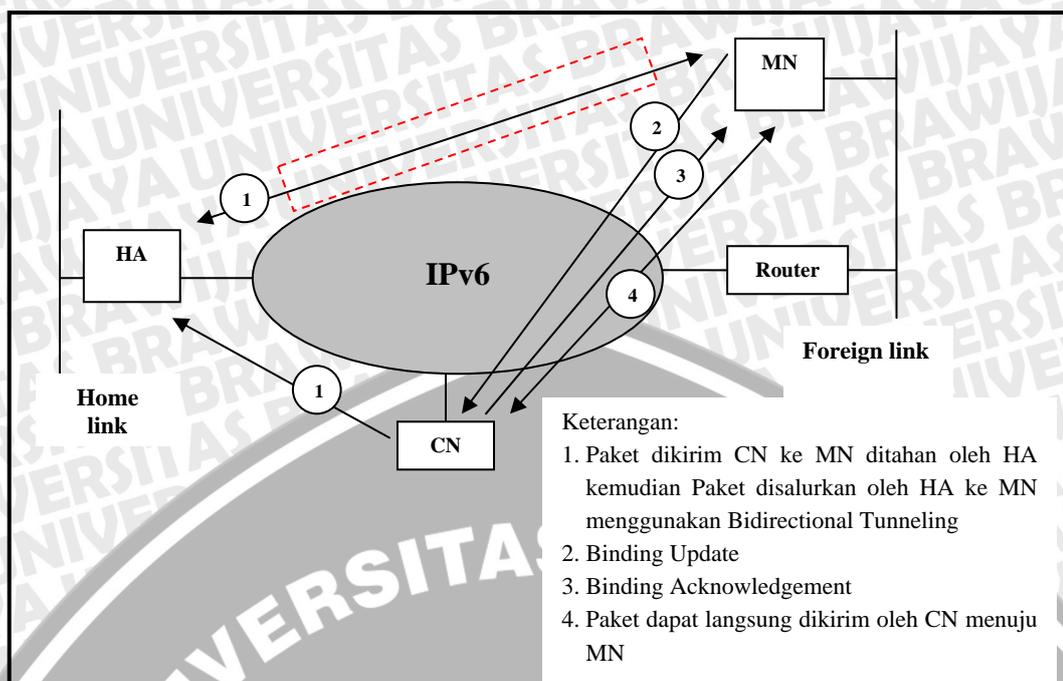


Gambar 3.2 Mobile Node (MN) menuju Foreign Link

Sumber: Microsoft Windows Server, 2004:36

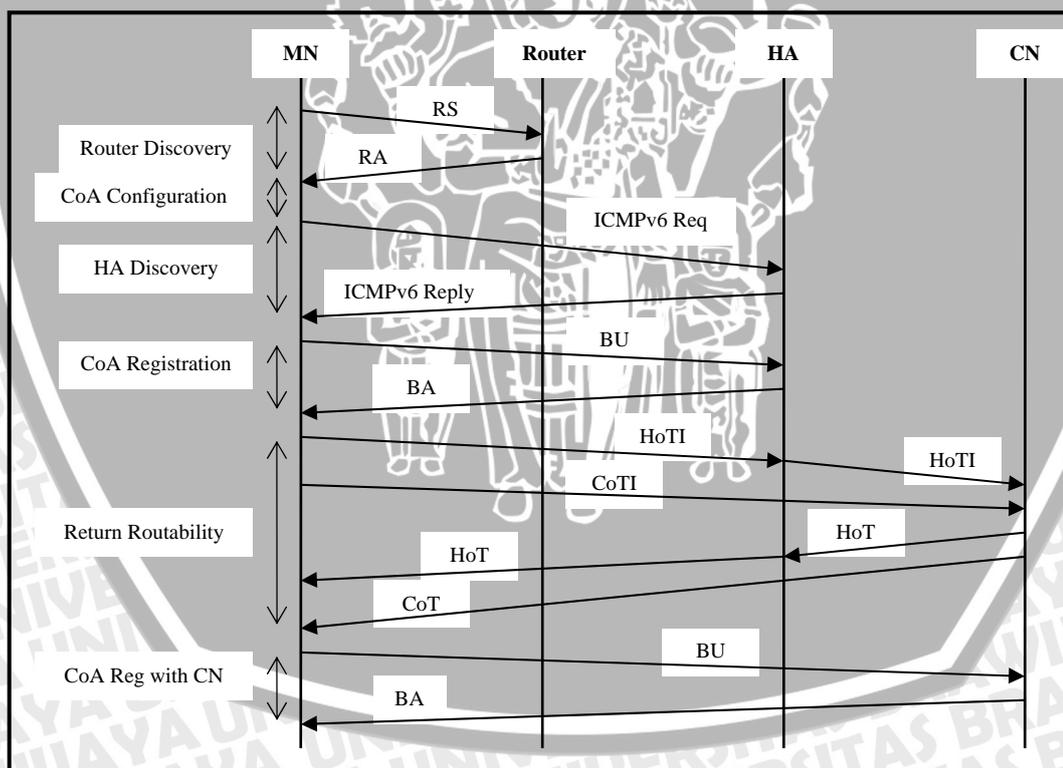
Saat CN berkomunikasi dengan *mobile node* yang berada di *foreign link*, maka *mobile node* harus melakukan *corresspondent registration*. Proses *corresspondent registration* terdiri atas *return routability* dan pertukaran *binding update* dan *binding acknowledgement message* antara *corresspondent node* dengan *mobile node*. *Return routability* merupakan prosedur untuk membuktikan kepada *corresspondent node* bahwa *mobile node* dapat dicapai baik pada *home address*-nya ataupun pada CoA-nya.

Jika *corresspondent registration* masih belum selesai (dalam proses) maka MN dapat tetap menerima paket dari *corresspondent node* dengan cara *corresspondent node* mengirimkan paket ke *mobile node* melalui HA dengan menggunakan *bidirectional tunneling*. *Home agent* akan menahan paket tersebut dan mengenkapsulasinya pada IPv6 in IPv6 tunnel dan kemudian baru dikirimkan ke CoA *mobile node*. Untuk menahan paket-paket yang dikirimkan ke *home address mobile node* saat *mobile node* jauh dari *home*, maka *home agent* melakukan *Duplicate Address Detection*. Jika *corresspondent registration* selesai, maka paket dari *Corresspondent Node Address* (CNA) dapat langsung dikirimkan ke CoA *mobile node*.



Gambar 3.3 CN Berkomunikasi dengan MN yang berada di *Foreign Link*

Sumber: *Microsoft Windows Server, 2004:37*

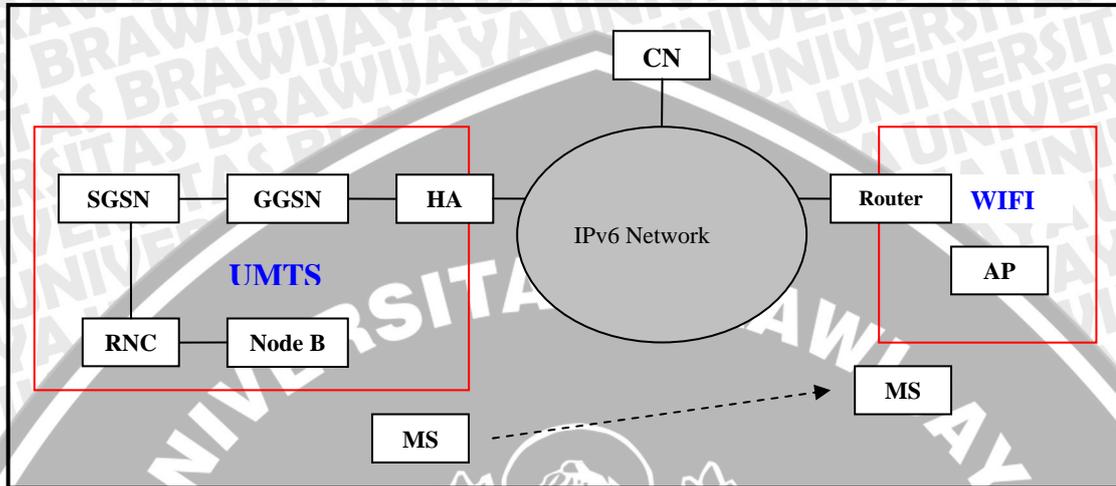


Gambar 3.4 Proses *Mobile IPv6*

Sumber: www.6net.org/publications/deliverables/D4.1.3v1.pdf

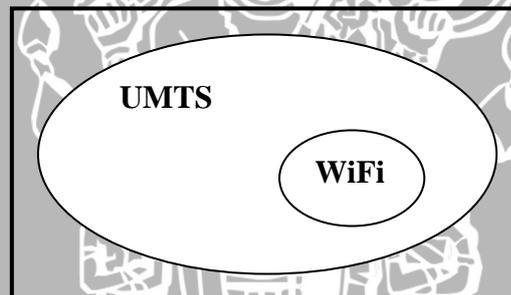
3.2 Arsitektur Integrasi WiFi pada Jaringan UMTS

Berdasarkan analisis dari arsitektur masing-masing jaringan, yakni WiFi dan UMTS yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, maka dapat diperoleh arsitektur integrasi WiFi pada jaringan UMTS dapat dilihat pada blok diagram berikut ini:



Gambar 3.5 Arsitektur integrasi WiFi pada jaringan UMTS

Sumber: Analisis

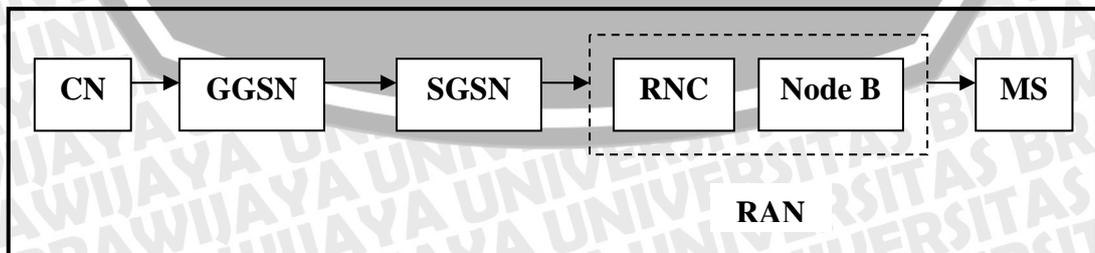


Gambar 3.6 Cakupan Radio pada UMTS dan WiFi

Sumber: http://www.csasc.org/index_files/CSA2006_EJ_SE16.pdf

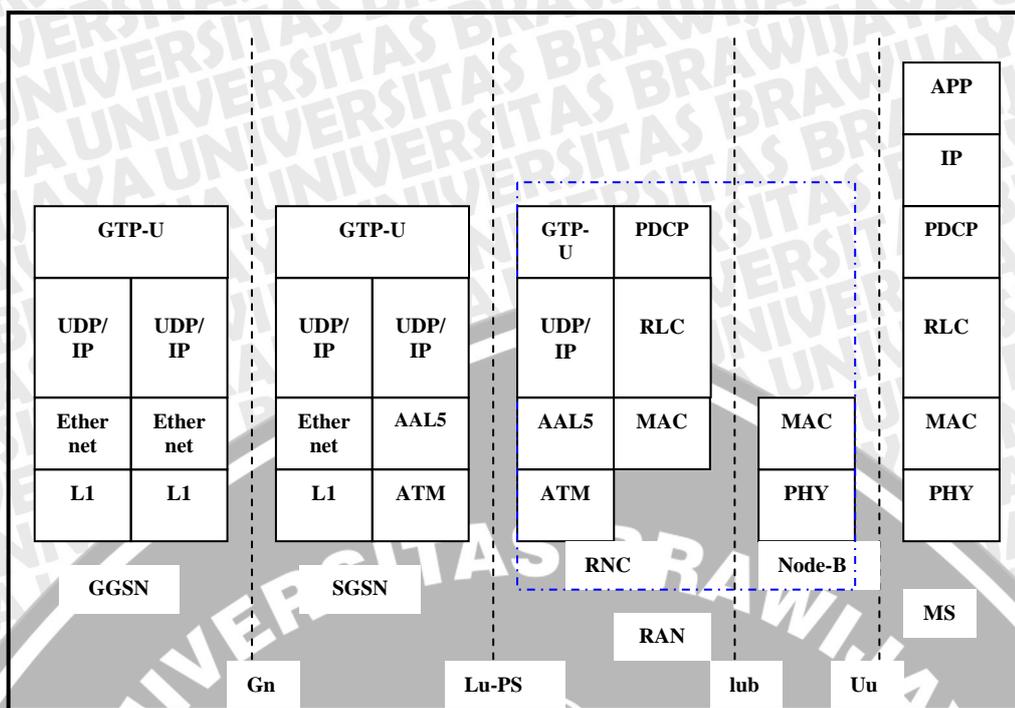
Pada model analisis di atas maka terdapat dua kondisi *downlink*, yaitu:

- 1) *User* berada pada jaringan UMTS



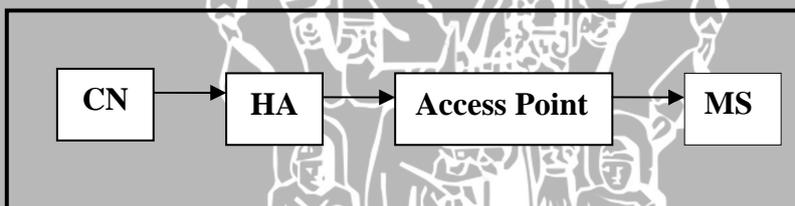
Gambar 3.7 Model Analisis saat *User* berada pada Jaringan UMTS

Sumber: Analisis

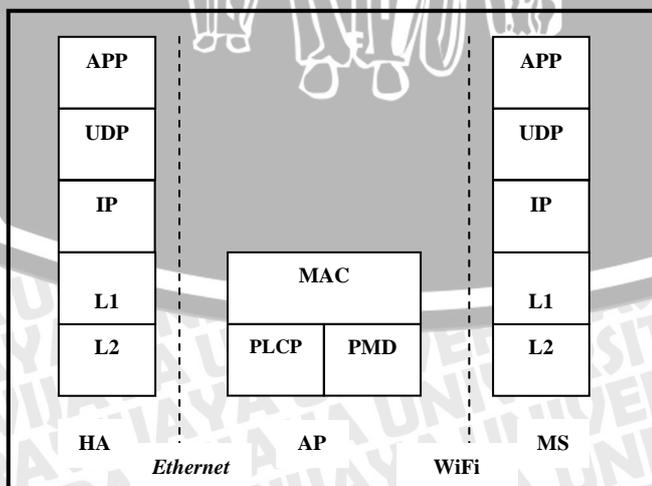


Gambar 3.8 Konfigurasi protokol stack saat *user* berada pada jaringan UMTS
 Sumber: Analisis

2) *User* berada pada jaringan WiFi



Gambar 3.9 Model Analisis saat *User* berada pada Jaringan WiFi
 Sumber: Analisis



Gambar 3.10 Konfigurasi protokol stack saat *user* berada pada jaringan WiFi
 Sumber: Analisis

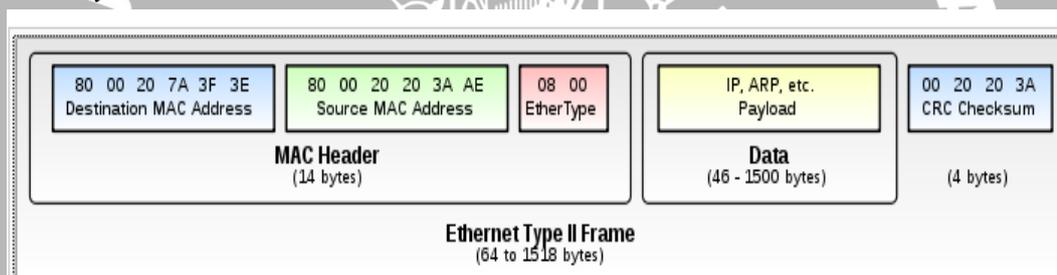
Adapun protokol *layer* pada WiFi sudah dijelaskan pada Bab II. Untuk protokol dan *layer* yang lain akan dijelaskan sebagai berikut:

- **GPRS Tunneling Protocol-User (GTP-U)**

GTP-U merupakan protokol yang berfungsi membuat jalur atau aliran data *user* dalam GPRS *Core Network* dan antara UTRAN dan *Core Network*. GTP menerima IP datagram dari jaringan eksternal dan menghubungkannya ke SGSN dan UTRAN dengan menambahkan *headernya* minimum sebesar 8 *byte*. GTP menyediakan sebuah *Tunnel Endpoint Identifier (TEID)* untuk setiap paket yang mengidentifikasi tujuan paket tersebut.

- **Ethernet**

Ethernet merupakan *network interface layer* yang bertanggung jawab mengirim data dan menerima data dari media transmisi yang bermacam-macam (tidak hanya kabel *coaxial*). *Ethernet* mempunyai *Maximum Transmission Unit (MTU)* sebesar 1500 *byte*.



Gambar 3.11 Format *Frame Ethernet*

Sumber : <http://id.wikipedia.org/wiki/Ethernet>

Tabel 3.1 Perbandingan *Ethernet*

| Jaringan | Data Rate |
|-------------------------|-----------------|
| <i>Ethernet</i> | 10 Mbit/detik |
| <i>Fast Ethernet</i> | 100 Mbit/detik |
| <i>Gigabit Ethernet</i> | 1000 Mbit/detik |

Sumber : [http://id.wikipedia.org/wiki/Ethernet .htm](http://id.wikipedia.org/wiki/Ethernet.htm)

- **ATM Adaptation Layer type 5 (AAL5)**

AAL5 digunakan untuk mensegmentasi paket-paket IP menjadi sel-sel ATM. Lapisan AAL disusun menjadi dua sub lapisan *logic*, yaitu *Common Part Convergence Sublayer (CPCS)* dan *Segmentation and Reassembly Sublayer (SARS)*. *Convergence Sublayer* menyediakan fungsi yang diperlukan untuk

mendukung aplikasi-aplikasi khusus menggunakan AAL. Setiap pemakai AAL terhubung ke AAL pada *Service Access Point* (SAP), yang merupakan alamat aplikasi secara sederhana. Sub lapisan ini merupakan layanan tambahan.

Tipe AAL5 ini merupakan penyederhanaan dari AAL3/4. AAL5 terdiri dari pesan dan *mode streaming* dengan CS yang dibagi menjadi spesifikasi layanan dan bagian umum. AAL5 menyediakan koneksi *point-to-point* dan *point-to-multiple point* pada *layer ATM*. AAL5 digunakan untuk mengangkut data komputer pada *protocol TCP/IP*. *Layer AAL5* ini merupakan lapisan AAL yang terkenal dan kadang-kadang disebut dengan *Simple and Easy Adaptation Layer* (SEAL).

| CPCS PAYLOAD | PAD | UU | CPI | LENGTH | CRC-32 |
|--------------|------|----|-----|--------|--------|
| 0-65535 | 0-47 | 1 | 1 | 2 | 4 |

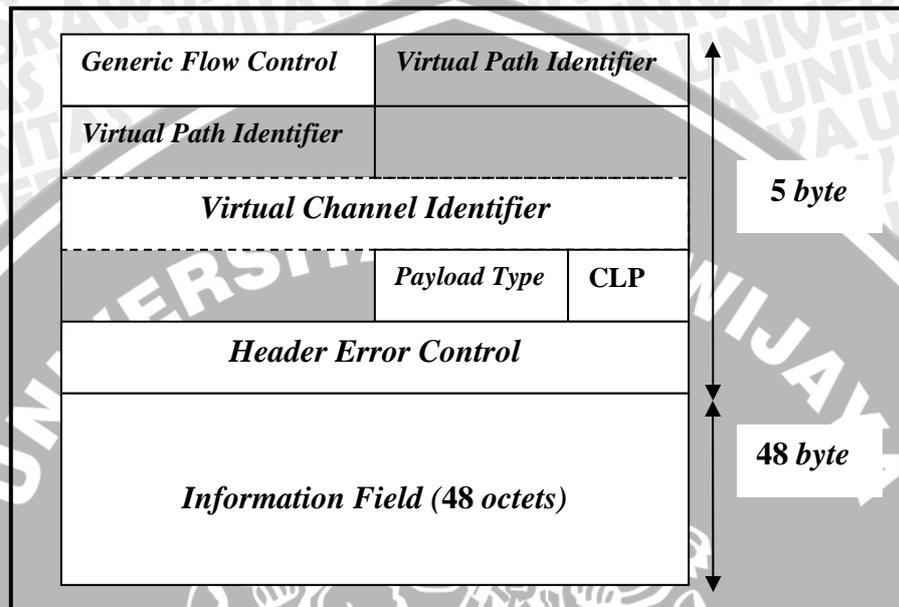
Gambar 3.12 AAL5 CPCS PDU
 Sumber: Martin De Prycker, 1995 :145

1. CPCS *payload* : merupakan informasi sebenarnya yang dikirim oleh *user*.
2. Pad : *padding bytes* digunakan untuk membuat seluruh paket (termasuk kontrol dan CRC) dengan batas maksimum 48 *byte*.
3. UU : merupakan CPCS petunjuk *user to user* untuk mengirimkan 1 *byte* informasi *user*.
4. CPI : *Common Part Indicator*, berisi *byte* (bernilai 0). Bidang ini akan digunakan untuk petunjuk pesan manajemen *layer*.
5. *Length* : merupakan panjang informasi *user* tanpa bit *padding*.
6. CRC : CRC-32, digunakan untuk mengidentifikasi pengiriman data yang *error*.

- **Asynchronous Transfer Mode (ATM)**

ATM merupakan *interface transfer packet switching* yang efisien. ATM menggunakan paket-paket dengan ukuran yang disebut dengan *cell*. Fungsi utama

ATM *layer* adalah untuk melakukan penambahan *header* 5 *byte* kepada 48 *byte* data yang diterima dari ATM *Adaption Layer* 5 (AAL5) dan mengalirkannya ke *layer* fisik. Apabila data yang diterima dari AAL5 melebihi *payload*, maka akan disegmentasi dengan 48 *byte*. Terdapat enam buah *field* dalam setiap *header*, yaitu GFC, VPI, VCI, PT, CLP dan HEC.



Gambar 3.13 Format Sel ATM
 Sumber : William Stalling, 1997 :335

1. *Generic Flow Control* (GFC): digunakan pada setiap *local site* untuk meneliti *flow control*. Nilai dari *field* ini tidak tetap sepanjang alur transmisi tetapi bisa berubah pada setiap switching yang dilewati sel tersebut.
2. *Virtual Path Identifier/ Virtual Channel Identifier* (VPI/VCI): digunakan untuk mengidentifikasi setiap VC yang dimiliki oleh setiap sel.
3. *Payload Type* (PT): digunakan untuk menentukan apakah suatu sel memiliki informasi mengenai *user plane* atau *control plane*.
4. *Cell Loss Priority* (CLP): merupakan identifikasi dalam format *Boolean* yang digunakan untuk menunjukkan prioritas dari suatu sel.
5. *Header Error Control* (HEC): digunakan oleh *physical layer* untuk mendeteksi adanya kesalahan pada *header* setiap sel.

▪ **Packet Data Convergence Protocol (PDCP)**

PDCP berfungsi untuk transmisi dan menerima *Protocol Data Unit* (PDU) pada *network layer*, mengirimkan beberapa protokol yang berbeda pada *network layer*,

serta meningkatkan efisiensi kanal. PDCP Data PDU terdiri dari PDU *type* dengan *header* sebesar 3 bit dan PID dengan *header* sebesar 5 bit, jadi total *header* sebesar 8 bit atau 1 *byte*.

| | |
|----------|-----|
| PDU type | PID |
| Data | |

Gambar 3.14 Format PDCP Data PDU

Sumber: www.cs.uct.ac.za/Research/DNA/microweb/umts/ts_125323v050200p.Pdf

1. *Protocol Data Unit (PDU) Type* : menunjukkan tipe PDCP Data PDU
2. *Packet Identifier (PID)*: menunjukkan *header compression* dan tipe paket atau *context identifier* yang digunakan.

- **Radio Link Control (RLC)**

RLC berfungsi menghubungkan *layer* kedua menuju *layer* di atasnya, menyalin data, transfer data dan deteksi kesalahan transmisi yang gagal dari *physical layer*. Pada dokumen 3 GPP TS 25.322 V 5.9.0 Rel.5 tentang *Radio Link Control (RLC) Protocol Specification* tidak ditegaskan besaran untuk tiap *fixed size* tetapi pada skripsi ini besaran tiap *fixed size* mengacu pada besaran yang digunakan pada penelitian di *Institute of Communications and RF Engineering Gausshausstrasse, Wien Austria* yaitu sebesar 40 *byte* dan *header* sebesar 2 *byte*.

- **Medium Access Control (MAC)**

MAC memiliki tugas-tugas antara lain: transfer data, menyeleksi secara tepat kecepatan bit dan kode setiap informasi yang dikirimkan menuju *physical layer*, *traffic monitoring*, dan *multiplexing*. MAC *Protocol Data Unit (MAC PDU)* terdiri dari *header MAC* dan *MAC Server Data Unit (MAC SDU)*. Besarnya MAC SDU tergantung dari RLC PDU yang telah ditetapkan selama prosedur penyusunan. MAC *entity* terdiri dari:

1. MAC-d, merupakan bagian MAC yang mengatur akses pada kanal transport *Dedicated Transport Channel (DCH)*

2. MAC-c/sh, merupakan bagian MAC yang mengatur akses pada *common channel* dan *shared channel*, seperti *Paging Channel* (PCH), *Common Packet Channel* (CPCH) dan *Downlink Shared Channel* (DSCH).
3. MAC-b, merupakan bagian MAC yang mengatur akses pada kanal transport *Broadcast Channel* (BCH).

3.3 Analisis Integrasi WiFi pada Jaringan UMTS

Analisis yang dilakukan terhadap integrasi WiFi pada jaringan UMTS dilakukan dengan cara menghitung nilai *delay end-to-end* dan *throughput*, baik saat *user* berada pada jaringan UMTS ataupun saat *user* berada pada jaringan WiFi. Mode transmisi yang digunakan adalah mode transmisi *downlink*.

3.3.1 Analisis Delay

Salah satu ukuran unjuk kerja suatu jaringan adalah *delay*. *Delay* merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari sumber ke tujuannya. Definisi umum *delay* adalah waktu tunda. Dalam jaringan berbasis *packet switching*, *delay* yang terjadi merupakan penjumlahan *delay-delay* yang ada dalam perjalanan paket dari sumber ke tujuannya pada setiap terminal. Adapun analisis *delay* ini akan dilakukan yakni dengan melakukan perhitungan *delay* enkapsulasi/dekapsulasi, *delay* transmisi, *delay* propagasi, *delay* antrian, dan *delay* total serta *delay end-to-end*.

3.3.1.1 Analisis Delay saat 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.

a) Delay Enkapsulasi dan Dekapsulasi

Delay enkapsulasi dan dekapsulasi merupakan *delay* proses. *Delay* proses adalah waktu yang dibutuhkan untuk memproses paket data dan untuk menentukan kemana data tersebut akan diteruskan. *Delay* enkapsulasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk menambahkan keseluruhan *header* pada sebuah paket data. Sedangkan *delay* dekapsulasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan keseluruhan *header* dari sebuah paket data.

Pada saat *user* berada dalam jaringan UMTS, maka proses enkapsulasi dan dekapsulasi yang dianalisis akan dilakukan dari masing-masing protokol tiap *layer* jaringan dengan cara menambahkan *header* mulai dari GGSN, SGSN, hingga mencapai tujuan yaitu MS. Namun apabila paket data yang dienkapsulasi panjangnya melebihi kapasitas transfer maksimum dari suatu protokol, maka paket data tersebut sebelumnya disegmentasi atau dipecah sesuai dengan ukuran kapasitas transfer maksimum dari protokol pada masing-masing *layer*. Setelah sampai di penerima, maka paket data yang terenkapsulasi tersebut akan didekapsulasi untuk mendapatkan kembali data aslinya.

Adapun *delay* enkapsulasi/dekapsulasi untuk masing-masing *node* adalah sebagai berikut:

► **GGSN**

Pada skripsi ini menggunakan GGSN dengan tipe *Cisco 7600 Series Router* dengan teknologi *Gigabit Ethernet* dengan transmisi data sebesar 10 Gbps. Pada GGSN data yang dikirimkan akan ditambahkan dengan *header* GTP dan *header* UDP sehingga diperoleh panjang segmen yaitu berdasarkan persamaan berikut:

$$W_{\text{segmen}} = W_{\text{data}} + \text{header}_{\text{GTP}} + \text{header}_{\text{UDP}} \quad (3-1)$$

dengan:

W_{segmen} = panjang segmen (*byte*)

W_{data} = panjang data (*byte*)

$\text{header}_{\text{GTP}}$ = *header* GTP (8 *byte*)

$\text{header}_{\text{UDP}}$ = *header* UDP (8 *byte*)

Apabila panjang segmen melebihi *Maximum Segmen Size* (MSS) IP sebesar 65535 *byte* maka segmen tersebut akan disegmentasi terlebih dulu menjadi beberapa segmen baru kemudian ditambahkan *header* IP. Apabila panjang segmen yang diterima tidak melebihi MSS IP, maka segmen UDP tersebut akan langsung ditambahkan *header* IP menjadi *datagram* IP dan diperoleh panjang *datagram* IP yaitu sesuai dengan persamaan berikut:

$$W_{\text{datagram}} = W_{\text{segmen}} + \text{header}_{\text{IP}} \quad (3-2)$$

dengan:

W_{datagram} = panjang *datagram* IP (*byte*)

W_{segmen} = panjang segmen (*byte*)

$\text{header}_{\text{IP}}$ = panjang *header* IP (40 *byte*)

Pada *data link layer*, apabila *datagram* IP yang diterima melebihi MTU *Ethernet* sebesar 1500 *byte* maka *datagram* IP tersebut akan disegmentasi terlebih dahulu baru ditambahkan dengan *header Ethernet* dan *FCS*. Apabila *datagram* IP tidak melebihi MTU *Ethernet*, *datagram* IP akan langsung ditambahkan dengan *header Ethernet* dan *Frame Check Sequence (FCS)*. Sehingga jumlah total *frame* GGSN yang siap untuk ditransmisikan ke GGSN yaitu berdasarkan persamaan berikut:

$$W_{frame\ GGSN} = W_{datagram} + header_{Ethernet} + FCS \quad (3-3)$$

dengan:

- $W_{frame\ GGSN}$ = panjang *frame* GGSN (*byte*)
- $W_{datagram}$ = panjang *datagram* IP (*byte*)
- $header_{Ethernet}$ = *header Ethernet* (14 *byte*)
- FCS = panjang *Frame Check Sequence* (4 *byte*)

Sehingga *delay* enkapsulasi pada GGSN yang terjadi didapatkan berdasarkan persamaan berikut:

$$t_{E1} = \frac{W_{frame\ GGSN} \times 8}{V_{GGSN}} \quad (3-4)$$

dengan :

- t_{E1} = *delay* enkapsulasi di GGSN (*detik*)
- $W_{frame\ GGSN}$ = panjang *frame* GGSN (*byte*)
- V_{ISP} = kecepatan transmisi data di GGSN (*bps*)

► SGSN

Pada SGSN, paket data yang diterima dari GGSN akan mengalami proses dekapsulasi. SGSN yang digunakan dalam skripsi ini adalah SGSN dengan teknologi *Gigabit Ethernet* dengan kecepatan transmisi data sebesar 1,25 Gbps. Nilai *delay* dekapsulasi yang terjadi pada SGSN sebesar:

$$t_{D1} = \frac{W_{frame\ GGSN} \times 8}{V_{SGSN}} \quad (3-5)$$

dengan:

- t_{D1} = *delay* dekapsulasi di SGSN (*detik*)
- $W_{frame\ GGSN}$ = panjang *frame* GGSN (*byte*)
- V_{SGSN} = kecepatan transmisi data di SGSN (*bps*)

Pada layer AAL5, *frame* GTP akan diberi *header* sebelum disegmentasi menjadi *fixed-size cells* (53) pada layer ATM. Jumlah *header* yang akan diberikan pada *frame* GTP terdiri dari *header* PAD dengan ukuran maksimum sebesar 48 *byte* dan *header Common Part Convergence Sublayer (CPCS) Trailer (CT)* sebesar 8 *byte*. Sehingga jumlah *frame* yang siap untuk ditransmisikan ke AAL5 adalah sesuai dengan persamaan berikut:

$$W_{frame\ AAL5} = W_{frame\ GGSN} + header_{GTP} + header_{UDP} + header_{IP} + header_{AAL5(PAD+CT)} \quad (3-6)$$

dengan:

- $W_{frame\ AAL5}$ = panjang *frame* AAL5 (*byte*)
- $W_{frame\ GGSN}$ = panjang *frame* GGSN (*byte*)
- $header_{GTP}$ = *header* GTP (8 *byte*)
- $header_{UDP}$ = *header* UDP (8 *byte*)
- $header_{IP}$ = *header* IP (40 *byte*)
- $header_{AAL5}$ = *header* PAD (48 *byte*) + *header* CT (8 *byte*)

Pada layer ATM, *frame* AAL5 akan disegmentasi menjadi *fixed-size cells* ATM sebesar 53 *byte* yang terdiri dari *payload* ATM sebesar 48 *byte* dan *header* ATM sebesar 5 *header* (Stallings, 2001:363) sesuai dengan persamaan berikut:

$$N_{frame\ ATM} = \frac{W_{frame\ AAL5}}{48\ byte} \quad (3-7)$$

dengan:

- $N_{frame\ ATM}$ = jumlah *frame* ATM
- $W_{frame\ AAL5}$ = panjang *frame* AAL5 (*byte*)

Setelah tersegmentasi, *frame-frame* ini dienkapsulasi untuk disesuaikan dengan panjang *frame* ATM. Sehingga diperoleh panjang *frame* ATM sesuai dengan persamaan berikut:

$$W_{frame\ ATM} = payload_{ATM} + header_{ATM} \quad (3-8)$$

dengan:

- $W_{frame\ ATM}$ = panjang *frame* ATM (*byte*)
- $payload_{ATM}$ = 48 *byte*
- $header_{ATM}$ = *header* ATM (5 *byte*)

Jumlah *frame* SGSN yang akan ditransmisikan UTRAN adalah jumlah *frame* ATM total sesuai dengan persamaan berikut:

$$W_{frame\ SGSN} = W_{frame\ ATM\ total} = N_{frame\ ATM} \times W_{frame\ ATM} \quad (3-9)$$

dengan:

$W_{frame\ SGSN}$ = panjang *frame* SGSN (*byte*)

$W_{frame\ ATM\ total}$ = panjang *frame* ATM total (*byte*)

$N_{frame\ ATM}$ = jumlah *frame* ATM

$W_{frame\ ATM}$ = panjang *frame* ATM (*byte*)

Sehingga nilai *delay* enkapsulasi pada SGSN yang terjadi adalah:

$$t_{E2} = \frac{W_{frame\ SGSN} \times 8}{V_{SGSN}} \quad (3-10)$$

dengan:

t_{E2} = *delay* enkapsulasi di SGSN (*detik*)

$W_{frame\ SGSN}$ = panjang *frame* SGSN (*byte*)

V_{SGSN} = kecepatan transmisi data di SGSN (*bps*)

► UTRAN

Paket yang diterima dari SGSN di UTRAN akan mengalami proses dekapsulasi. Pada UTRAN menggunakan *interface* STM-1 dengan kecepatan transmisi 155,52 Mb/s. Nilai *delay* dekapsulasi pada UTRAN diperoleh dengan persamaan berikut:

$$t_{D2} = \frac{W_{frame\ SGSN} \times 8}{V_{UTRAN}} \quad (3-11)$$

dengan:

t_{D2} = *delay* dekapsulasi di UTRAN (*detik*)

$W_{frame\ SGSN}$ = panjang *frame* SGSN (*byte*)

V_{UTRAN} = kecepatan transmisi data di UTRAN (*bps*)

Selanjutnya paket data di UTRAN dienkapsulasi dengan ditambahkan *header* PDCP sebesar 1 *byte*:

$$W_{frame\ PDCP} = W_{frame\ SGSN} + header_{PDCP} \quad (3-12)$$

dengan:

$W_{frame\ PDCP}$ = panjang *frame* PDCP (*byte*)

$W_{frame\ SGSN}$ = panjang *frame* SGSN (*byte*)

$$\text{header}_{\text{PDCP}} = \text{header PDCP (1 byte)}$$

Pada *layer* RLC, PDCP dat PDU akan disegmentasi menjadi RLC PDU *fixed size* yaitu sebesar 40 *byte*. Sehingga jumlah *frame* RLC PDU sesuai dengan persamaan berikut:

$$N_{\text{frame RLC}} = \frac{W_{\text{frame PDCP}}}{40 \text{ byte}} \quad (3-13)$$

dengan:

$$N_{\text{frame RLC}} = \text{jumlah frame RLC}$$

$$W_{\text{frame PDCP}} = \text{panjang frame PDCP (byte)}$$

Sehingga panjang *frame* RLC dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$W_{\text{frame RLC}} = 40 \text{ byte} + \text{header}_{\text{RLC}} \quad (3-14)$$

dengan:

$$W_{\text{frame RLC}} = \text{panjang frame RLC}$$

$$\text{fixed size RLC} = 40 \text{ byte}$$

$$\text{header}_{\text{RLC}} = \text{header RLC (2 byte)}$$

Jumlah total *frame* RLC PDU yang dikirimkan ke MAC adalah:

$$W_{\text{frame RLC total}} = N_{\text{frame RLC}} \times W_{\text{frame RLC}} \quad (3-15)$$

dengan:

$$W_{\text{frame RLC total}} = \text{panjang frame RLC total (byte)}$$

$$N_{\text{frame RLC}} = \text{jumlah frame RLC}$$

$$W_{\text{frame RLC}} = \text{panjang frame RLC (byte)}$$

Pada *layer* MAC, RLC PDU akan disegmentasi menjadi MAC SDU. Besarnya MAC SDU tergantung pada besarnya RLC PDU yang telah ditetapkan yaitu sebesar 42 *byte*. Jumlah *frame* MAC SDU adalah:

$$N_{\text{frame MAC}} = \frac{W_{\text{frame RLC total}}}{42 \text{ byte}} \quad (3-16)$$

dengan:

$$N_{\text{frame MAC}} = \text{jumlah frame MAC}$$

$$W_{\text{frame RLC total}} = \text{panjang frame RLC total (byte)}$$

$$\text{Fixed size MAC} = 42 \text{ byte}$$

Sehingga dapat dihitung panjang *frame* MAC adalah:

$$W_{frame\ MAC} = header_{MAC} + 42\ byte + CRC \quad (3-17)$$

dengan:

$W_{frame\ MAC}$ = panjang *frame* MAC (*byte*)

$header_{MAC}$ = header MAC (3 *byte*)

CRC = *Cyclic Redudancy Check* (3 *byte*)

Sehingga jumlah *frame* UTRAN yang siap dikirimkan ke MS adalah jumlah *frame* MAC total sesuai dengan persamaan berikut:

$$W_{frame\ UTRAN} = W_{frame\ MAC\ total} = N_{frame\ MAC} \times W_{frame\ MAC} \quad (3-18)$$

dengan:

$W_{frame\ UTRAN}$ = panjang *frame* UTRAN (*byte*)

$W_{frame\ MAC\ total}$ = panjang *frame* MAC total (*byte*)

$N_{frame\ MAC}$ = jumlah *frame* MAC

$W_{frame\ MAC}$ = panjang *frame* MAC (*byte*)

Nilai *delay* enkapsulasi pada UTRAN yang terjadi didapatkan dengan persamaan berikut:

$$t_{E3} = \frac{W_{frame\ UTRAN} \times 8}{V_{UTRAN}} \quad (3-19)$$

dengan:

t_{E3} = *delay* enkapsulasi di UTRAN (*detik*)

$W_{frame\ UTRAN}$ = panjang *frame* UTRAN (*byte*)

V_{UTRAN} = kecepatan transmisi data di UTRAN (*bps*)

► **Mobile Station (MS)**

Nilai *delay* dekapsulasi yang terjadi pada MS dengan kecepatan sesuai dengan *data rate* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$t_{D3} = \frac{W_{frame\ UTRAN} \times 8}{V_{MT}} \quad (3-20)$$

dengan:

t_{D3} = *delay* dekapsulasi di MS (*detik*)

$W_{frame\ UTRAN}$ = panjang *frame* UTRAN (*byte*)

V_{MS} = kecepatan transmisi data di MS (*bps*)

► **Delay Enkapsulasi dan Dekapsulasi Total**

Dari perhitungan-perhitungan di atas maka total *delay* enkapsulasi dari GGSN hingga MS adalah sebagai berikut:

$$t_{E\ total} = t_{E1} + t_{E2} + t_{E3} \tag{3-21}$$

dengan:

- $t_{E\ total}$ = *delay* enkapsulasi total (detik)
- t_{E1} = *delay* enkapsulasi di GGSN (detik)
- t_{E2} = *delay* enkapsulasi di SGSN (detik)
- t_{E3} = *delay* enkapsulasi di UTRAN (detik)

Sedangkan keseluruhan *delay* dekapsulasi yang terjadi adalah:

$$t_{D\ total} = t_{D1} + t_{D2} + t_{D3} \tag{3-22}$$

dengan:

- t_{D1} = *delay* dekapsulasi di SGSN (detik)
- t_{D2} = *delay* dekapsulasi di UTRAN (detik)
- t_{D3} = *delay* dekapsulasi di MS (detik)

b) Delay Transmisi

Delay transmisi adalah waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan bit pertama dari paket data hingga bit terakhir melalui media transmisi tertentu.. Besarnya *delay* transmisi adalah (Fitriyah, 2004:38):

$$t_T = \frac{W_{sel}}{V} \tag{3-23}$$

dengan :

- t_T = *delay* transmisi (detik)
- W_{sel} = jumlah sel (bit)
- V = kecepatan transmisi (bit/s)

Analisis *delay* transmisi yang dihitung saat *user* berada pada jaringan UMTS adalah pada hubungan antara GGSN-SGSN, SGSN-RNC, RNC-Node B dan Node B-MS.

► **GGSN-SGSN (Gn Interface)**

Antara GGSN dan SGSN dihubungkan dengan *Ethernet* sebagai *interface* dengan kecepatan transmisi data sebesar 1 Gbps. *Delay* transmisi yang terjadi pada Gn *interface* adalah:

$$t_{T1} = \frac{W_{frame\ GGSN} \times 8}{V_{Ethernet}} \quad (3-24)$$

dengan:

t_{T1} = *delay* transmisi pada Gn *interface* (detik)

$W_{frame\ GGSN}$ = panjang *frame* GGSN (*byte*)

$V_{Ethernet}$ = kecepatan transmisi pada Gn *interface*

► **SGSN-RNC (lu Interface)**

Antara SGSN dengan RNC dihubungkan dengan *interface* sistem *Gigabit Ethernet* dengan kecepatan transmisi data sebesar 1 Gbps. *Delay* transmisi yang terjadi pada lu *interface* adalah:

$$t_{T2} = \frac{W_{frame\ SGSN} \times 8}{V_{lu}} \quad (3-25)$$

dengan:

t_{T2} = *delay* transmisi pada lu *interface* (detik)

$W_{frame\ SGSN}$ = panjang *frame* SGSN (*byte*)

V_{lu} = kecepatan transmisi pada lu *interface*

► **RNC-Node B (lub Interface)**

Antara RNC dengan *node B* dihubungkan dengan lub *interface*. *Physical layer* Lub *interface* pada jaringan WCDMA menggunakan *interface* sistem transmisi digital STM-1 dengan kecepatan data sebesar 155,52 Mbps. *Delay* transmisi yang terjadi pada lub *interface* adalah:

$$t_{T3} = \frac{W_{frame\ MAC} \times 8}{V_{lub}} \quad (3-26)$$

dengan:

t_{T3} = *delay* transmisi pada lub *interface* (detik)

$W_{frame\ RNC}$ = panjang *frame* RNC (*byte*)

V_{lub} = kecepatan transmisi pada lub *interface*

► **Node B-MS (Uu Interface)**

Uu interface menghubungkan antara Node-B dengan MS. Uu interface memiliki kecepatan data sesuai dengan data rate yakni sebesar 384 kbps. Delay transmisi pada Uu interface adalah:

$$t_{T4} = \frac{W_{frame\ MAC} \times 8}{n \times V_{MS}} \tag{3-27}$$

dengan:

t_{T5} = delay transmisi pada Uu interface (detik)

$W_{frame\ MAC}$ = panjang frame MAC (byte)

n = jumlah slot tiap MS

V_{MS} = kecepatan data MS

► **Delay Transmisi Total**

Nilai delay transmisi total dapat diperoleh dengan persamaan berikut ini:

$$t_{T\ total} = t_{T1} + t_{T2} + t_{T3} + t_{T4} \tag{3-28}$$

dengan:

t_T = delay transmisi total (detik)

t_{T1} = delay transmisi pada Gn interface (detik)

t_{T2} = delay transmisi pada lu interface (detik)

t_{T3} = delay transmisi pada lub interface (detik)

t_{T4} = delay transmisi pada Uu interface (detik)

c) **Delay Propagasi**

Delay propagasi merupakan perambatan atau penjalaran melalui media transmisi yang dibutuhkan oleh sebuah paket data. Pada skripsi ini, delay propagasi saat user berada pada jaringan UMTS 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. Maka besarnya nilai delay propagasi antara node B ke MS dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$t_P = \frac{d}{c} = \frac{N_{frame\ (MAC)} \times d}{c} \tag{3-29}$$

dengan:



- t_p = delay propagasi dari *node* B ke MS (detik)
 $N_{frame\ MAC}$ = jumlah *frame* MAC
 d = jarak *node* B ke MS (m)
 c = cepat rambat gelombang elektromagnetik ($3 \cdot 10^8$ m/s)

d) Delay Antrian

Delay antrian merupakan waktu dimana paket data berada dalam antrian untuk ditransmisikan. Selama waktu ini paket data menunggu sampai selesainya paket lain ditransmisikan. *Delay* antrian yang terjadi sangat dinamis, jika antrian kosong dan tidak ada paket lain yang sedang ditransmisikan maka *delay* antrian tidak terjadi atau sama dengan nol. *Delay* antrian yang dianalisis saat *user* berada pada jaringan UMTS merupakan delay yang terjadi pada SGSN dan UTRAN dengan menggunakan model antrian M/M/1.

Model antrian M/M/1 berarti memiliki proses kedatangan paket data umumnya acak dan waktu pelayanan adalah distribusi eksponensial. M pertama menunjukkan distribusi kedatangan *Poisson*, M kedua berarti distribusi pelayanan yang eksponensial, dan 1 menunjukkan bahwa jumlah *server* (pelayanan) tunggal. Disiplin antrian yang digunakan adalah *First In First Out* (FIFO). Dalam model sistem antrian ini dapat diketahui bahwa (Mischa Schwartz, 1987:30):

Kapasitas *link* yang diterapkan berdasarkan pada kecepatan yang dimiliki oleh tiap-tiap *node*. Besarnya kapasitas *link* akan menentukan kecepatan layanan, sehingga kecepatan layanan pada tiap-tiap *node* yang telah ditentukan dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\mu_{node} = \frac{C_{node}}{m} \quad (3-30)$$

dengan :

- μ_{node} = kecepatan pelayanan dalam *node* (paket/detik)
 C_{node} = kapasitas *link* pada *node* (bps)
 m = panjang paket data yang ditransmisikan di *node* (bit)

Interval waktu untuk permintaan merupakan distribusi *Poisson* dengan kecepatan kedatangan adalah λ paket/detik.

Besarnya total *delay* antrian adalah :

$$t_w = t_{queue} + t_s \quad (3-31)$$

dengan :

- t_w = *delay* total antrian (detik)
- t_{queue} = waktu tunggu paket (detik)
- t_s = waktu rata-rata pelayanan (detik)

dimana:

$$t_s = \frac{1}{\mu} \quad (3-32)$$

Performansi sistem antrian ditunjukkan dalam bentuk *utilization* (ρ), yang nilainya diasumsikan berubah sesuai dengan kenaikan tertentu.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (3-33)$$

dengan :

- ρ = faktor pemakaian ($0 < \rho < 1$)
- λ = kecepatan kedatangan paket (paket/detik)
- μ = kecepatan pelayanan paket (paket/detik)

Maka masing-masing nilai ρ dapat ditentukan kecepatan kedatangan paket (λ) sebesar:

$$\lambda_{node} = \rho \times \mu_{node} \quad (3-34)$$

dengan menggunakan teori *Little*, maka nilai waktu antrian didapatkan :

$$t_w = \frac{1}{\mu(1-\rho)} \quad (3-35)$$

dengan :

- t_w = *delay* total antrian (detik)

Sedangkan waktu tunggu dari paket dapat dirumuskan :

$$t_{queue} = t_w - t_s = \frac{1}{\mu(1-\rho)} - \frac{1}{\mu} = \frac{\lambda/\mu^2}{1-\rho} = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} \quad (3-36)$$

Sehingga besarnya total *delay* antrian adalah :

$$t_w = t_{queue} + t_s = \frac{\lambda_{node} / \mu_{node}}{(\mu_{node} - \lambda_{node})} + \frac{1}{\mu_{node}} \quad (3-37)$$

3.3.1.2 Analisis *Delay* saat *User* berada pada Jaringan WiFi

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

a) *Delay* Enkapsulasi dan Dekapsulasi

Pada saat *user* berada dalam jaringan WiFi, maka proses enkapsulasi dan dekapsulasi yang dianalisis akan dilakukan mulai dari HA hingga mencapai tujuan yaitu MS. Adapun *delay* enkapsulasi/dekapsulasi untuk masing-masing *node* adalah sebagai berikut:

► HA

Data yang dikirimkan akan ditambahkan *header* UDP sehingga diperoleh panjang segmen UDP yaitu berdasarkan persamaan berikut:

$$W_{\text{segmen}} = W_{\text{data}} + \text{header}_{\text{UDP}} \quad (3-38)$$

dengan:

$$W_{\text{segmen}} = \text{panjang segmen UDP (byte)}$$

$$W_{\text{data}} = \text{panjang data (byte)}$$

$$\text{header}_{\text{UDP}} = \text{header UDP (8 byte)}$$

Apabila panjang segmen UDP melebihi MSS IP sebesar 65535 *byte* maka segmen UDP tersebut akan disegmentasi terlebih dulu menjadi beberapa segmen baru kemudian ditambahkan *header* IP. Apabila segmen UDP yang diterima tidak melebihi MSS IP, maka segmen UDP tersebut akan langsung ditambahkan *header* IP menjadi *datagram* IP dan diperoleh panjang *datagram* IP yaitu sesuai dengan persamaan berikut:

$$W_{\text{datagram}} = W_{\text{segmen}} + \text{header}_{\text{IP}} \quad (3-39)$$

dengan:

$$W_{\text{datagram}} = \text{panjang datagram IP (byte)}$$

$$W_{\text{segmen}} = \text{panjang segmen UDP (byte)}$$

$$\text{header}_{\text{IP}} = \text{panjang header IP (40 byte)}$$

Pada *data link layer*, apabila *datagram* yang diterima melebihi MTU *Ethernet* sebesar 1500 *byte* maka *datagram* IP tersebut akan disegmentasi terlebih dahulu baru ditambahkan dengan *header Ethernet* dan FCS. Apabila *datagram* IP tidak melebihi

MTU *Ethernet*, *datagram* IP akan langsung ditambahkan dengan *header Ethernet* dan *FCS*. Sehingga jumlah total *frame* total yang siap untuk ditransmisikan adalah berdasarkan persamaan berikut:

$$W_{frame\ Total} = W_{frame\ HA} = W_{datagram} + header_{Ethernet} + FCS \quad (3-40)$$

dengan:

- $W_{frame\ total}$ = panjang *frame* di HA (*byte*)
- $W_{datagram}$ = panjang *datagram* IP (*byte*)
- $header_{Ethernet}$ = *header Ethernet* (14 *byte*)
- FCS = panjang *Frame Check Sequence* (4 *byte*)

Sehingga *delay* enkapsulasi pada HA yang terjadi didapatkan berdasarkan persamaan berikut:

$$t_E = \frac{W_{frame\ HA} \times 8}{V_{Ethernet}} \quad (3-41)$$

dengan :

- t_E = *delay* enkapsulasi di HA (*detik*)
- $W_{frame\ HA}$ = panjang *frame* HA (*byte*)
- $V_{Ethernet}$ = kecepatan transmisi data di HA (*bps*)

► MS

Data dari HA akan ditransmisikan ke MS melewati *Access Point* (AP) menggunakan kecepatan transmisi WiFi sebesar 11 Mbps, sehingga *delay* dekapsulasinya adalah:

$$t_D = \frac{W_{frame\ total} \times 8}{V_{WiFi}} \quad (3-42)$$

dengan :

- t_D = *delay* dekapsulasi pada MS (*detik*)
- $W_{frame\ total}$ = panjang *frame* total (*byte*)
- V_{WiFi} = kecepatan transmisi data WiFi (*bps*)

► Delay Enkapsulasi dan Dekapsulasi Total

Dari perhitungan-perhitungan di atas maka total *delay* enkapsulasi dari HA hingga MS dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$t_{E\ total} = t_{E1} \quad (3-43)$$

dengan :

t_{E1} = *delay* enkapsulasi total (detik)

t_{E1} = *delay* enkapsulasi di HA (detik)

Sedangkan total *delay* dekapsulasinya dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$t_{D\ total} = t_{D1} \tag{3-44}$$

dengan :

$t_{D\ total}$ = *delay* dekapsulasi total (detik)

t_{D1} = *delay* dekapsulasi pada MS(detik)

b) Delay Transmisi

Delay transmisi adalah waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan bit pertama dari paket data hingga bit terakhir. Besarnya *delay* transmisi adalah (Fitriyah, 2004:38):

$$t_T = \frac{W_{sel}}{V} \tag{3-45}$$

dengan :

t_T = *delay* transmisi (detik)

W_{sel} = jumlah sel (bit)

V = kecepatan transmisi (bit/s)

Analisis *delay* transmisi yang akan dilakukan saat *user* berada pada jaringan WiFi merupakan *delay* transmisi yang terjadi pada hubungan antara HA-AP dan AP-MS.

► **HA-AP (Ethernet)**

Antara HA dan AP dihubungkan dengan *Ethernet* sebagai *interface* yang memiliki kecepatan transmisi data sebesar 100 Mbps. Sehingga *delay* transmisi yang terjadi adalah:

$$t_{T1} = \frac{W_{frame\ total} \times 8}{V_{Ethernet}} \tag{3-46}$$

dengan:

t_{T1} = *delay* transmisi pada *Ethernet* sebagai *interface* (detik)

$W_{frame\ total}$ = panjang *frame* total (*byte*)

$V_{Ethernet}$ = kecepatan transmisi *Ethernet* (bps)

► **AP-MS (*air interface*)**

Antara AP dan MS dihubungkan dengan *air interface* dengan kecepatan transmisi data sebesar 11 Mbps. Sehingga *delay* transmisi yang terjadi adalah:

$$t_{T2} = \frac{W_{frame\ total} \times 8}{V_{WiFi}} \quad (3-47)$$

dengan:

t_{T2} = *delay* transmisi pada *air interface* antara AP dan MS (detik)

$W_{frame\ total}$ = panjang *frame* total (*byte*)

V_{WiFi} = kecepatan transmisi pada WiFi (bps)

► **Delay Transmisi Total**

Nilai *delay* transmisi total dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$t_{T\ total} = t_{T1} + t_{T2} \quad (3-48)$$

dengan:

t_{T1} = *delay* transmisi pada *Ethernet* sebagai *interface* (detik)

t_{T2} = *delay* transmisi pada *air interface* antara AP dan MS (detik)

c) **Delay Propagasi**

Delay propagasi merupakan waktu perambatan atau penjalaran melalui media transmisi yang dibutuhkan oleh sebuah paket data. *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 adalah:

$$t_p = \frac{d}{c} + \frac{(L + L') \times 8}{C} \quad (3-49)$$

dengan:

t_p = *delay* propagasi (detik)

d = jarak antara AP dan MS

c = cepat rambat gelombang elektromagnetik = 3×10^8 m/s

C = kecepatan transmisi WiFi

L = panjang data

L' = panjang header total

d) *Delay Antrian*

Delay antrian merupakan waktu dimana paket data berada dalam antrian untuk ditransmisikan. Selama waktu ini paket data menunggu sampai selesainya paket lain ditransmisikan. *Delay* antrian yang terjadi sangat dinamis, jika antrian kosong dan tidak ada paket lain yang sedang ditransmisikan maka *delay* antrian tidak terjadi atau sama dengan nol. *Delay* antrian yang dianalisis saat *user* berada pada jaringan WiFi merupakan *delay* yang terjadi pada AP dengan menggunakan model antrian M/M/1.

Model antrian M/M/1 berarti memiliki proses kedatangan paket data umumnya acak dan waktu pelayanan adalah distribusi eksponensial. M pertama menunjukkan distribusi kedatangan *Poisson*, M kedua berarti distribusi pelayanan yang eksponensial, dan 1 menunjukkan bahwa jumlah *server* (pelayanan) tunggal. Disiplin antrian yang digunakan adalah *First In First Out* (FIFO). Dalam model sistem antrian ini dapat diketahui bahwa (Mischa Schwartz, 1987:30):

Kapasitas *link* yang diterapkan berdasarkan pada kecepatan yang dimiliki oleh tiap-tiap *node*. Besarnya kapasitas link akan menentukan kecepatan layanan, sehingga kecepatan layanan pada tiap-tiap *node* yang telah ditentukan dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\mu_{node} = \frac{C_{node}}{m} \quad (3-50)$$

dengan :

μ_{node} = kecepatan pelayanan dalam *node* (paket/detik)

C_{node} = kapasitas link pada *node* (bps)

m = panjang paket data yang ditransmisikan di *node* (bit)

Interval waktu untuk permintaan merupakan distribusi *Poisson* dengan kecepatan kedatangan adalah λ paket/detik. Besarnya total *delay* antrian adalah :

$$t_w = t_{queue} + t_s \quad (3-51)$$

dengan :

t_w = *delay* total antrian (detik)

t_{queue} = waktu tunggu paket (detik)

t_s = waktu rata-rata pelayanan (detik)

dimana:

$$t_s = \frac{1}{\mu} \quad (3-52)$$

Performansi sistem antrian ditunjukkan dalam bentuk *utilization* (ρ), yang nilainya diasumsikan berubah sesuai dengan kenaikan tertentu.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \tag{3-53}$$

dengan :

- ρ = faktor pemakaian ($0 < \rho < 1$)
- λ = kecepatan kedatangan paket (paket/detik)
- μ = kecepatan pelayanan paket (paket/detik)

Maka masing-masing nilai ρ dapat ditentukan kecepatan kedatangan paket (λ) sebesar:

$$\lambda_{node} = \rho \times \mu_{node} \tag{3-54}$$

dengan menggunakan teori *Little*, maka nilai waktu antrian didapatkan :

$$t_w = \frac{1}{\mu(1-\rho)} \tag{3-55}$$

dengan :

t_w = *delay* total antrian (detik)

Sedangkan waktu tunggu dari paket dapat dirumuskan :

$$t_{queue} = t_w - t_s = \frac{1}{\mu(1-\rho)} - \frac{1}{\mu} = \frac{\lambda/\mu^2}{1-\rho} = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} \tag{3-56}$$

Sehingga besarnya total *delay* antrian adalah :

$$\begin{aligned} t_w &= t_{queue} + t_s \\ &= \frac{\lambda_{node} / \mu_{node}}{(\mu_{node} - \lambda_{node})} + \frac{1}{\mu_{node}} \end{aligned} \tag{3-57}$$

3.3.1.3 Delay total

Dari perhitungan *delay* enkapsulasi, *delay* dekapsulasi, *delay* antrian, *delay* transmisi dan *delay* propagasi diatas maka dapat diketahui besarnya nilai *delay* total.

$$t_{tot} = t_{enc} + t_{dec} + t_T + t_P + t_w \tag{3-58}$$

dengan :

- t_{tot} = *delay* total (detik)
- t_{enc} = *delay* enkapsulasi (detik)
- t_{dec} = *delay* dekapsulasi (detik)

t_T = delay transmisi (detik)

t_P = delay propagasi (detik)

t_W = delay antrian (detik)

3.3.1.4 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.

$$t_{end-to-end} = t_{tot1} + t_{tot2} \quad (3-59)$$

dengan :

$t_{end-to-end}$ = *delay* total dari *user* yang berada di jaringan UMTS sampai dengan *user* yang berada pada jaringan WiFi

t_{tot1} = *delay* total saat *user* berada di jaringan UMTS

t_{tot2} = *delay* total saat *user* berada di jaringan WiFi

3.3.2 Throughput

Troughput merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui jumlah data yang diterima dalam keadaan baik terhadap waktu transmisi yang dibutuhkan dari sumber ke penerima. Besarnya *throughput* dengan memperhatikan probabilitas *frame* yang salah (ρ) adalah (Mischa Schwartz, 1987:129):

$$\lambda = \frac{1}{t_v} = \frac{(1 - \rho)}{t_l [1 + (\alpha - 1)\rho]} \quad (3-60)$$

dengan:

λ = *throughput* (bps)

t_l = waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah paket (s)

α = konstanta = $1 + \frac{t_{out}}{t_l}$ (3-61)

ρ = probabilitas *frame* yang salah

Dimana waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah *frame* (s) ditentukan dengan persamaan (Schwartz, 1987:32):

$$t_l = \frac{(PL_{frame} + H_{frame}) \times 8}{C_{trans}} \quad (3-62)$$

dengan:

C_{trans} = kapasitas saluran transmisi (bps)

L = *payload frame* (byte)

L' = header frame (byte)

Untuk probabilitas *frame* yang salah dapat diperoleh dengan persamaan:

$$\rho = (L + L')\rho_b \quad (3-63)$$

Dengan:

ρ_b = probabilitas bit dalam keadaan salah

L = payload frame (byte)

L' = header frame (byte)

Sedangkan:

$$t_{out} = 2t_p + 2t_l \quad (3-64)$$

Dengan:

t_{out} = interval waktu antara pengiriman sebuah paket dengan paket selanjutnya (s)

t_p = delay propagasi (s)



BAB IV METODOLOGI

Kajian yang dilakukan dalam skripsi ini adalah kegiatan yang bersifat analisis, yaitu tentang integrasi WiFi pada jaringan UMTS dalam bentuk konsep yang mengacu pada studi kepustakaan. Analisis yang dilakukan ditinjau dari parameter *delay* dan *throughput*. Beberapa metode yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah:

4.1 Metode Pengambilan Data

Data yang digunakan dalam skripsi ini berupa data sekunder, yaitu data yang berasal dari buku referensi, skripsi, dan hasil *browsing* internet. Data-data yang digunakan dalam skripsi ini meliputi:

1. Arsitektur jaringan untuk integrasi WiFi pada jaringan UMTS
2. Protokol jaringan untuk integrasi WiFi pada jaringan UMTS
3. Ukuran *sample* data yang dikirim mewakili layanan-layanan yang diberikan oleh UMTS yakni sebesar 10 kB untuk *email*, 40 kB untuk teks, 60 kB untuk musik, 100 kB foto, 2000 kB untuk *report*, dan 4000 kB untuk *video*.
4. Pembahasan tentang UMTS berdasarkan rekomendasi *International Mobile Telephony 2000 (IMT-2000)* dan *3rd Generation Partnership Project (3GPP)* dengan frekuensi *uplink* (1885 MHz-2025 MHz) dan frekuensi *downlink* (2110 MHz-2200 MHz).
5. Jaringan WiFi yang digunakan merupakan standarisasi IEEE 802.11b

4.2 Metode Pembatasan Variabel Data

Metode pembatasan variabel data dibutuhkan agar pembahasan tidak melebar dari batasan permasalahan yang telah dikemukakan. Beberapa batasan dalam pembahasan skripsi ini antara lain:

1. UMTS menggunakan WCDMA sebagai *air interface*-nya.
2. *Radius cell* yang digunakan adalah untuk tipe sel *micro* dengan daerah operasi urban dan pusat kota yaitu sebesar 0,4 km dengan kecepatan data maksimal 384 kbps, sesuai dengan daerah layanan UMTS.
3. Kecepatan transmisi data maksimum pada jaringan WiFi berdasarkan IEEE 802.11b yaitu 11 Mbps.
4. Model antrian yang digunakan adalah M/M/1.

5. Protokol yang digunakan dalam pengiriman paket data adalah protokol TCP/IP serta menggunakan IPv6.
6. Probabilitas bit *error* pada jaringan WCDMA (ρ_b) = 10^{-7} .
7. Probabilitas bit *error* untuk TCP/IP (ρ_b) = 10^{-5} .

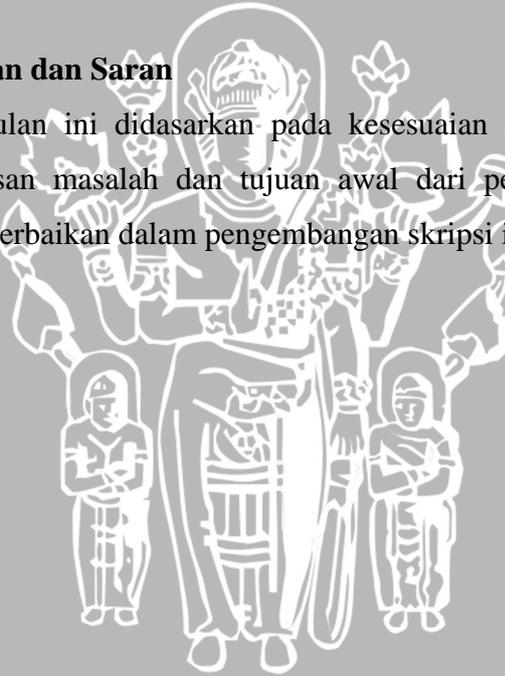
4.3 Metode Analisis Data

Metode analisis data yang digunakan dalam integrasi WiFi pada jaringan UMTS adalah analisis matematis yaitu dengan mengumpulkan nilai dari parameter data sekunder dengan kesesuaian terhadap standar yang digunakan, untuk kemudian dihitung berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan. Analisis yang dilakukan meliputi:

1. Perhitungan nilai *delay end-to-end*
2. Perhitungan nilai *throughput*

4.4 Penarikan Kesimpulan dan Saran

Penarikan kesimpulan ini didasarkan pada kesesuaian antara data-data yang diperoleh terhadap rumusan masalah dan tujuan awal dari penulisan skripsi, serta memberikan saran untuk perbaikan dalam pengembangan skripsi ini.



BAB V

ANALISIS INTEGRASI WIRELESS FIDELITY (WiFi) PADA JARINGAN UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM (UMTS)

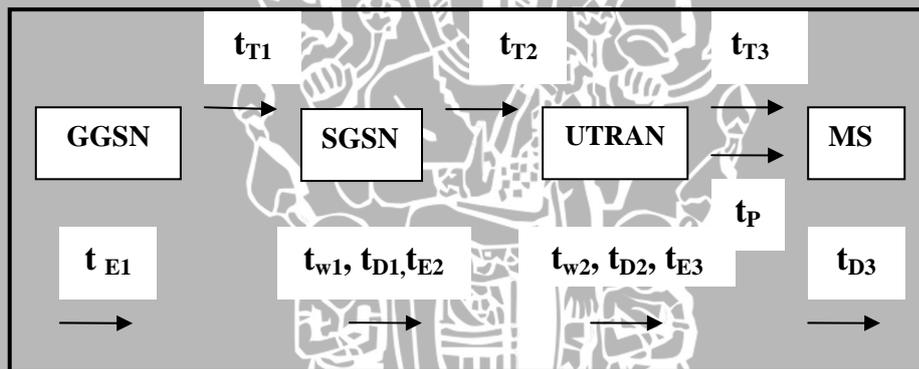
Pada bab ini akan dilakukan analisis integrasi WiFi pada jaringan UMTS ditinjau dari parameter *delay end-to-end* dan *throughput*.

5.1 Model Analisis Jaringan

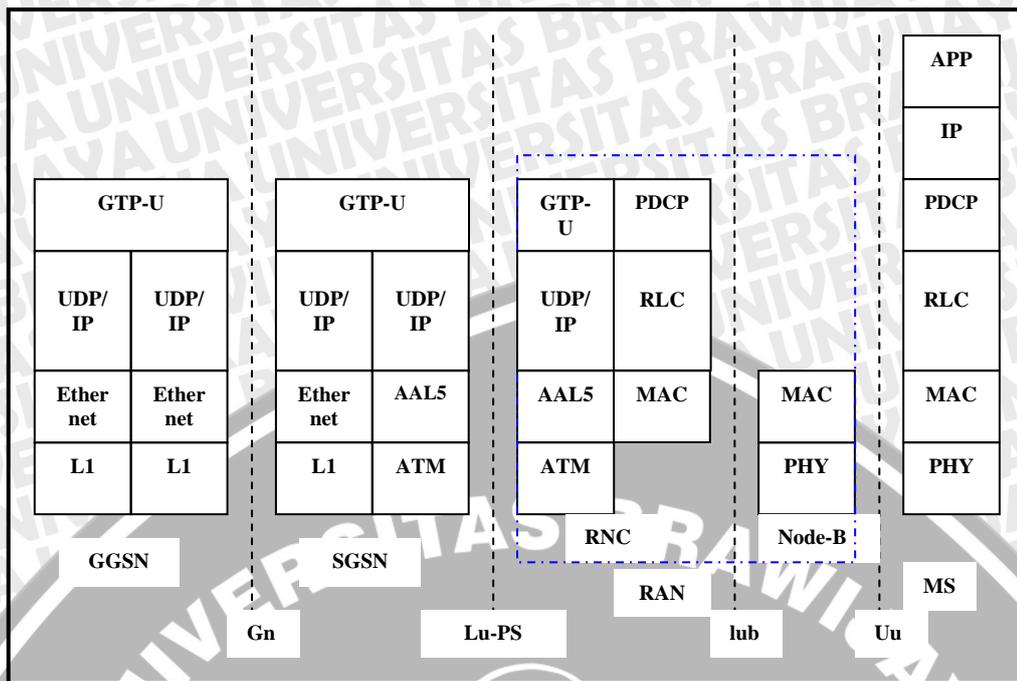
Model yang digunakan dalam analisis integrasi WiFi pada jaringan UMTS adalah model *user-server* yang diterapkan untuk transmisi *downlink*. Terdapat dua kondisi *downlink* yang akan dianalisis, yakni saat *user* berada pada jaringan UMTS dan saat *user* berada pada jaringan WiFi.

5.1.1 User berada pada Jaringan UMTS

Analisis *delay* saat *user* berada dalam jaringan UMTS untuk transmisi *downlink* bermula dari GGSN, SGSN, UTRAN dan berakhir di MS.



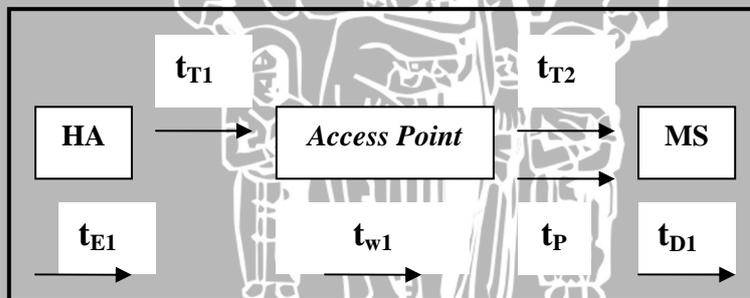
Gambar 5.1 Model Analisis Jaringan saat User berada pada Jaringan UMTS
 Sumber : Analisis



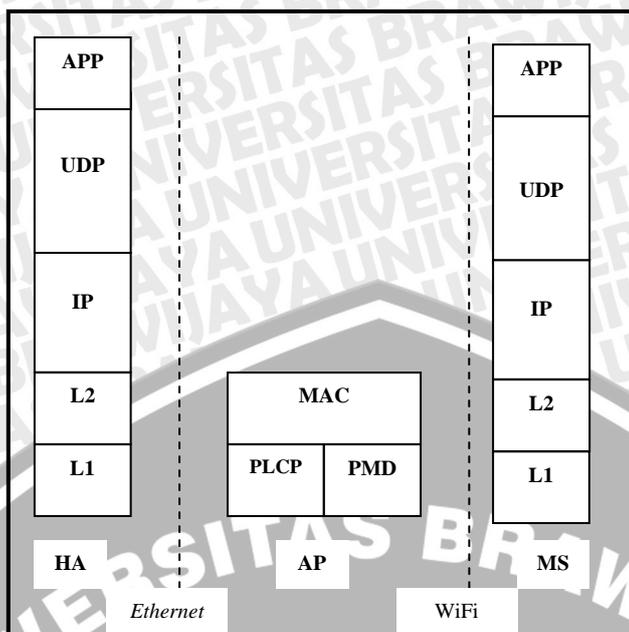
Gambar 5.2 Konfigurasi Protokol saat *User* berada pada Jaringan UMTS
 Sumber: Analisis

5.1.2 *User* berada pada Jaringan WiFi

Analisis *delay* saat *user* berada pada jaringan WiFi bermula dari HA, AP dan berakhir di MS.



Gambar 5.3 Model Analisis Jaringan saat *User* berada pada Jaringan WiFi
 Sumber : Analisis



Gambar 5.4 Konfigurasi Protokol saat *User* berada pada Jaringan WiFi
 Sumber: Analisis

5.2 Analisis

Berikut ini berdasarkan kondisi-kondisi yang ditentukan di atas maka akan di analisis mengenai parameter *delay end-to-end* dan *throughput*. Adapun panjang paket data yang dianalisis di sini adalah sebesar 10 kB, 40 kB, 60 kB, 100 kB, 2000 kB dan 4000 kB. Laju data jaringan UMTS yang digunakan pada skripsi ini adalah 384 kbps sedangkan laju data WiFi sebesar 11 Mbps.

5.2.1 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 skripsi ini dimulai dari GGSN hingga MS.

5.2.1.1 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.

a) Delay Enkapsulasi dan Dekapsulasi

Perhitungan *delay* enkapsulasi dan dekapsulasi data melalui jaringan UMTS berlaku pada masing-masing *layer* yaitu dengan cara menambahkan *header* mulai dari GGSN, SGSN, UTRAN sampai pada MS. Adapun *delay* enkapsulasi dan dekapsulasi

untuk masing-masing *node* sesuai dengan model jaringan untuk data sebesar 10 Kb adalah:

► **GGSN**

Pada skripsi ini menggunakan GGSN dengan tipe *Cisco 7600 Series Router* dengan teknologi *Gigabit Ethernet* dengan transmisi data sebesar 10 Gbps. Pada GGSN data sebesar 10000 *byte* yang dikirimkan akan ditambahkan dengan *header GTP* dan *header UDP* sehingga diperoleh panjang segmen yaitu berdasarkan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}W_{\text{segmen}} &= W_{\text{data}} + \text{header}_{\text{GTP}} + \text{header}_{\text{UDP}} \\ &= 10000 \text{ byte} + 8 \text{ byte} + 8 \text{ byte} \\ &= 10016 \text{ byte}\end{aligned}$$

Panjang segmen yang kurang dari *MSS IP* sebesar 65535 *byte* akan langsung ditambahkan *header IP* menjadi datagram IP dan diperoleh panjang datagram IP sesuai persamaan berikut:

$$\begin{aligned}W_{\text{datagram}} &= W_{\text{segmen}} + \text{header}_{\text{IP}} \\ &= 10016 \text{ byte} + 40 \text{ byte} \\ &= 10056 \text{ byte}\end{aligned}$$

Pada *data link layer*, karena nilai datagram IP lebih besar dari nilai *MTU Ethernet* sebesar 1500 *byte* maka sebelum ditambahkan dengan *header Ethernet* dan *FCS* sebesar 14 *byte* dan 4 *byte*, panjang *datagram IP* akan disegmentasi terlebih dahulu dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}N_{\text{Ethernet}} &= \frac{W_{\text{datagram}}}{1500 \text{ byte}} \\ &= \frac{10056 \text{ byte}}{1500 \text{ byte}} \\ &= 6,704\end{aligned}$$

Kemudian diperoleh panjang *frame Ethernet* dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}W_{\text{Ethernet}} &= \text{MTU}_{\text{Ethernet}} + \text{header}_{\text{Ethernet}} + \text{FCS} \\ &= 1500 \text{ byte} + 14 \text{ byte} + 4 \text{ byte} \\ &= 1518 \text{ byte}\end{aligned}$$

Sehingga jumlah total *frame GGSN* yang dikirimkan adalah sebesar:

$$W_{\text{frame GGSN}} = W_{\text{Ethernet total}} = N_{\text{Ethernet}} \times W_{\text{Ethernet}}$$

$$= 6,704 \times 1518 \text{ byte}$$

$$= 10176,672 \text{ byte}$$

maka besar *delay* enkapsulasi yang terjadi pada GGSN dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} t_{E1} &= \frac{W_{frame\ GGSN} \times 8}{V_{GGSN}} \\ &= \frac{10176,672 \text{ byte} \times 8}{10 \cdot 10^9 \text{ bps}} \\ &= 8,141 \cdot 10^{-6} \text{ s} \end{aligned}$$

Dengan proses perhitungan yang sama, maka hasil perhitungan *delay* enkapsulasi yang terjadi pada GGSN untuk paket data sebesar 10 kB, 40 kB, 60 kB, 100 kB, 2000 kB dan 4000 kB ditunjukkan dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Analisis *Delay* Enkapsulasi pada GGSN

| Paket Data (kB) | t_{E1} (s) |
|-----------------|-----------------------|
| 10 | $8,141 \cdot 10^{-6}$ |
| 40 | $3,243 \cdot 10^{-5}$ |
| 60 | $4,862 \cdot 10^{-5}$ |
| 100 | $8,101 \cdot 10^{-5}$ |
| 2000 | $1,620 \cdot 10^{-3}$ |
| 4000 | $3,240 \cdot 10^{-3}$ |

Sumber: Perhitungan

► SGSN

Pada skripsi ini menggunakan SGSN dengan teknologi *Gigabit Ethernet* dengan transmisi data sebesar 1,25 Gbps. Paket data yang diterima pada SGSN dari GGSN akan mengalami proses dekapsulasi terlebih dahulu. Maka dapat diketahui nilai *delay* dekapsulasi yang terjadi pada SGSN dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} t_{D1} &= \frac{W_{frame\ GGSN} \times 8}{V_{SGSN}} \\ &= \frac{10176,672 \text{ byte} \times 8}{1,25 \cdot 10^9 \text{ bps}} \\ &= 6,513 \cdot 10^{-5} \text{ s} \end{aligned}$$

Jumlah *frame* yang siap ditransmisikan ke AAL5 diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$W_{frame\ AAL5} = W_{frame\ GGSN} + header_{GTP} + header_{UDP} + header_{IP} + header_{AAL5(PAD+CT)}$$

$$\begin{aligned}
 &= 10176,672 \text{ byte} + 8 \text{ byte} + 8 \text{ byte} + 40 \text{ byte} + 48 \text{ byte} + 8 \text{ byte} \\
 &= 10288,672 \text{ byte}
 \end{aligned}$$

Pada *layer* ATM, *frame* AAL5 akan disegmentasi menjadi *fixed-size cells* ATM sebesar 53 *byte* yang terdiri dari *payload* ATM sebesar 48 *byte* dan *header* ATM sebesar 5 *byte* sesuai dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 N_{\text{frame ATM}} &= \frac{W_{\text{frame AAL5}}}{48 \text{ byte}} \\
 &= \frac{10288,672 \text{ byte}}{48 \text{ byte}} \\
 &= 214,347
 \end{aligned}$$

Setelah tersegmentasi, *frame-frame* ini dienkapsulasi untuk disesuaikan dengan panjang *frame* ATM. Sehingga diperoleh panjang *frame* ATM sesuai dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 W_{\text{frame ATM}} &= \text{payload}_{\text{ATM}} + \text{header}_{\text{ATM}} \\
 &= 48 \text{ byte} + 5 \text{ byte} \\
 &= 53 \text{ byte}
 \end{aligned}$$

Sehingga jumlah *frame* SGSN yang siap ditransmisikan ke RAN adalah jumlah *frame* ATM total yang dapat diketahui menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W_{\text{frame SGSN}} &= W_{\text{frame ATM total}} = N_{\text{frame ATM}} \times W_{\text{frame ATM}} \\
 &= 214,347 \times 53 \text{ byte} \\
 &= 11360,391 \text{ byte}
 \end{aligned}$$

Maka dapat diketahui nilai *delay* enkapsulasi yang terjadi pada SGSN dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 t_{E2} &= \frac{W_{\text{frame SGSN}}}{V_{\text{SGSN}}} \\
 &= \frac{11360,391 \text{ byte} \times 8}{1,25 \cdot 10^9 \text{ bps}} \\
 &= 7,271 \cdot 10^{-5} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan di atas, maka nilai hasil perhitungan *delay* dekapsulasi dan enkapsulasi yang terjadi pada SGSN untuk paket data 10 kB, 40 kB, 60 kB, 100 kB, 2000 kB dan 4000 kB dapat dilihat dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Analisis *Delay* Dekapsulasi dan Enkapsulasi pada SGSN

| Paket Data (kB) | t_{D1} (s) | t_{E2} (s) |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| 10 | $6,513.10^{-5}$ | $7,271.10^{-5}$ |
| 40 | $2,594.10^{-4}$ | $2,873.10^{-4}$ |
| 60 | $3,889.10^{-4}$ | $4,302.10^{-4}$ |
| 100 | $6,481.10^{-4}$ | $7,164.10^{-4}$ |
| 2000 | 0,013 | 0,014 |
| 4000 | 0,026 | 0,029 |

Sumber: Perhitungan

► **UTRAN**

UTRAN dalam skripsi ini menggunakan *interface* STM-1 dengan kecepatan transmisi 155,52 Mbps. Paket data yang diterima UTRAN dari SGSN akan didekapsulasi terlebih dahulu. Maka nilai dekapsulasi yang terjadi pada UTRAN diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 t_{D2} &= \frac{W_{frame\ SGSN} \times 8}{V_{RAN}} \\
 &= \frac{11360,391\ byte \times 8}{155,52.10^6\ bps} \\
 &= 5,844.10^{-4}\ s
 \end{aligned}$$

Selanjutnya paket data di UTRAN dienkapsulasi dengan ditambahkan *header* PDCP sebesar 1 *byte* sesuai dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W_{frame\ PDCP} &= W_{frame\ SGSN} + header_{PDCP} \\
 &= 11360,391\ byte + 1\ byte \\
 &= 11361,391\ byte
 \end{aligned}$$

Pada *layer* RLC, PDCP data PDU akan disegmentasi menjadi RLC PDU *fixed size* yaitu sebesar 40 *byte*. Sehingga dapat diketahui jumlah *frame* RLC PDU dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 N_{frame\ RLC} &= \frac{W_{frame\ PDCP}}{40\ byte} \\
 &= \frac{11361,391\ byte}{40\ byte} \\
 &= 284,035
 \end{aligned}$$

Sehingga panjang *frame* RLC dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$W_{frame\ RLC} = 40\ byte + header_{RLC}$$

$$= 40 \text{ byte} + 2 \text{ byte}$$

$$= 42 \text{ byte}$$

Maka jumlah total *frame* RLC PDU yang dikirimkan ke MAC berdasarkan persamaan berikut ini:

$$W_{\text{frame RLC total}} = N_{\text{frame RLC}} \times W_{\text{frame RLC}}$$

$$= 284,035 \times 42 \text{ byte}$$

$$= 11929,47 \text{ byte}$$

Pada *layer* MAC, RLC PDU akan disegmentasi menjadi MAC SDU. Besarnya MAC SDU tergantung pada besarnya RLC PDU yang telah ditetapkan yaitu sebesar 42 *byte*. Maka jumlah *frame* MAC SDU dapat diketahui sesuai dengan persamaan berikut:

$$N_{\text{frame MAC}} = \frac{W_{\text{frame RLC total}}}{42 \text{ byte}}$$

$$= \frac{11929,47 \text{ byte}}{42 \text{ byte}}$$

$$= 284,035$$

Dapat dihitung panjang *frame* MAC sesuai dengan persamaan sebagai berikut:

$$W_{\text{frame MAC}} = \text{header}_{\text{MAC}} + 42 \text{ byte} + \text{CRC}$$

$$= 3 \text{ byte} + 42 \text{ byte} + 3 \text{ byte}$$

$$= 48 \text{ byte}$$

Sehingga jumlah *frame* UTRAN yang siap dikirimkan ke MS adalah jumlah *frame* MAC total sesuai dengan persamaan sebagai berikut:

$$W_{\text{frame UTRAN}} = W_{\text{frame MAC total}} = N_{\text{frame MAC}} \times W_{\text{frame MAC}}$$

$$= 284,035 \times 48 \text{ byte}$$

$$= 13633,68 \text{ byte}$$

Nilai *delay* enkapsulasi yang terjadi pada UTRAN diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$t_{E3} = \frac{W_{\text{frame UTRAN}} \times 8}{V_{\text{UTRAN}}}$$

$$= \frac{13633,68 \text{ byte} \times 8}{155,52 \cdot 10^6 \text{ bps}}$$

$$= 7,013 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

Dengan cara yang sama, maka nilai hasil analisis *delay* dekapsulasi dan enkapsulasi yang terjadi pada UTRAN untuk paket data sebesar 10 kB, 40 kB, 60 kB, 100 kB, 2000 kB dan 4000 kB dapat dilihat dalam Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Analisis *Delay* Dekapsulasi dan Enkapsulasi pada UTRAN

| Paket Data (kB) | t_{D2} (s) | t_{E3} (s) |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| 10 | $5,844.10^{-4}$ | $7,013.10^{-4}$ |
| 40 | $2,309.10^{-3}$ | $2,771.10^{-3}$ |
| 60 | $3,458.10^{-3}$ | $4,149.10^{-3}$ |
| 100 | $5,758.10^{-3}$ | $6,910.10^{-3}$ |
| 2000 | 0,112 | 0,138 |
| 4000 | 0,23 | 0,276 |

Sumber: Perhitungan

► **Mobile Station (MS)**

Nilai *delay* dekapsulasi yang terjadi pada MS dengan kecepatan sesuai dengan data rate dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 t_{D3} &= \frac{W_{frame\ UTRAN} \times 8}{V_{MT}} \\
 &= \frac{13633,68\ byte \times 8}{384.10^3\ bps} \\
 &= 0,284\ s
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka nilai hasil analisis *delay* dekapsulasi pada MS untuk paket data sebesar 10 kB, 40 kB, 60 kB, 100 kB, 2000 kB dan 4000 kB dapat dilihat dalam Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Analisis *Delay* Dekapsulasi pada MS

| Paket Data (kB) | t_{D3} (s) |
|-----------------|--------------|
| 10 | 0,284 |
| 40 | 1,122 |
| 60 | 1,681 |
| 100 | 2,799 |
| 2000 | 55,908 |
| 4000 | 111,813 |

Sumber: Perhitungan

► **Delay Enkapsulasi dan Dekapsulasi Total**

Dari perhitungan-perhitungan di atas maka total *delay* enkapsulasi dari GGSN hingga MS untuk data sebesar 10 kB adalah sebagai berikut:

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

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

$$= 7,822 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

Sedangkan total *delay* dekapsulasinya adalah sebagai berikut:

$$t_{D \text{ total}} = t_{D1} + t_{D2} + t_{D3}$$

$$= (6,513 \cdot 10^{-5}) + (5,844 \cdot 10^{-4}) + (0,284)$$

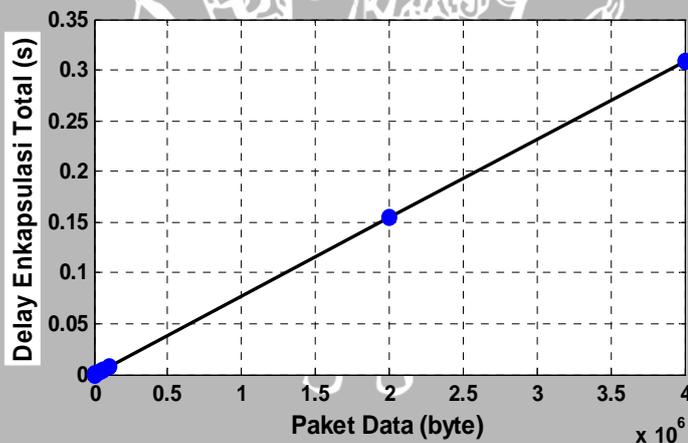
$$= 0,284 \text{ s}$$

Dengan cara yang sama, nilai total *delay* enkapsulasi dan dekapsulasi untuk paket data sebesar 10 kB, 40 kB, 60 kB, 100 kB, 2000 kB dan 4000 kB dapat dilihat dalam Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hasil Analisis *Delay* Enkapsulasi Total dan *Delay* Dekapsulasi Total

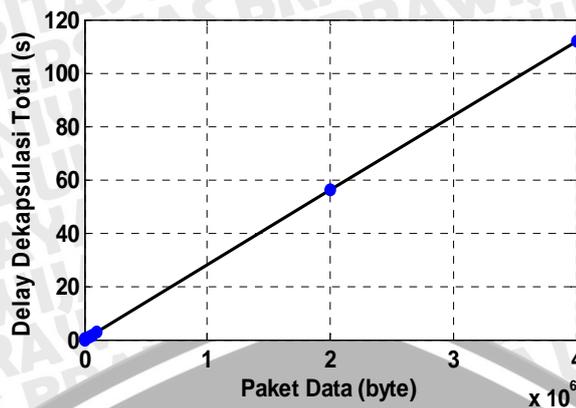
| Paket Data (kB) | $t_{E \text{ total}}$ (s) | $t_{D \text{ total}}$ (s) |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|
| 10 | $7,822 \cdot 10^{-4}$ | 0,284 |
| 40 | $3,091 \cdot 10^{-3}$ | 1,125 |
| 60 | $4,628 \cdot 10^{-3}$ | 1,685 |
| 100 | $7,707 \cdot 10^{-3}$ |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

Sumber: Perhitungan



Grafik 5.1 Grafik Hubungan *Delay* Enkapsulasi Total terhadap Panjang Paket Data

Sumber: Perhitungan



Grafik 5.2 Grafik Hubungan *Delay* Dekapsulasi Total terhadap Panjang Paket Data
Sumber: Perhitungan

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. *Delay* enkapsulasi total dan dekapsulasi total terbesar dicapai paket data 4000 kB yakni sebesar 0,308 s dan 112,069 s. Sedangkan *delay* enkapsulasi total dan dekapsulasi total terkecil dicapai saat paket data 10 kB yakni sebesar $7,822 \cdot 10^{-4}$ s dan 0,284 s.

b) Delay Transmisi

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

► **GGSN-SGSN (*Gn Interface*)**

Antara GGSN dan SGN dihubungkan dengan *Ethernet* sebagai *interface* yang memiliki kecepatan transmisi data 1 Gbps. Sehingga nilai *delay* transmisi yang terjadi pada *Gn interface* dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 t_{T1} &= \frac{W_{frame\ GGSN} \times 8}{V_{Ethernet}} \\
 &= \frac{10176\ byte \times 8}{1.10^9\ bps} \\
 &= 8,141 \cdot 10^{-5}\ s
 \end{aligned}$$

► **SGSN-RNC (lu Interface)**

Begitu pula antara SGSN dan RNC dihubungkan dengan *interface* sistem *Gigabit Ethernet* yang memiliki kecepatan transmisi data sebesar 1 Gbps. Sehingga nilai *delay* transmisi pada *lu interface* dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} t_{T2} &= \frac{W_{frame\ SGSN} \times 8}{V_{lu}} \\ &= \frac{11360,391\ byte \times 8}{1.10^9\ bps} \\ &= 9,088.10^{-5}\ s \end{aligned}$$

► **RNC-Node B (lub Interface)**

Antara RNC dan *node B* dihubungkan dengan *lub interface*. *Physical layer* untuk *lub interface* pada jaringan WCDMA menggunakan sistem transmisi digital STM-1 yang memberikan kecepatan transmisi data sebesar 155,52 Mbps. Sehingga nilai *delay* transmisi pada *lub interface* dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} t_{T3} &= \frac{W_{frame\ MAC} \times 8}{V_{lub}} \\ &= \frac{13633,68\ byte \times 8}{155,52.10^6\ bps} \\ &= 7,013.10^{-4}\ s \end{aligned}$$

► **Node B-MS (Uu Interface)**

Uu interface menghubungkan antara *Node-B* dengan MS. *Uu interface* memiliki kecepatan transmisi data sesuai dengan data *rate* yakni sebesar 384 kbps. Sehingga *delay* transmisi pada *Uu interface* dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} t_{T4} &= \frac{W_{frame\ (MAC)} \times 8}{n \times V_{MS}} \\ &= \frac{13633,68\ byte \times 8}{15 \times 384.10^3\ bps} \\ &= 0,019\ s \end{aligned}$$

► **Delay Transmisi Total**

Dari perhitungan-perhitungan di atas maka nilai *delay* transmisi total untuk paket data 1000 *byte* dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

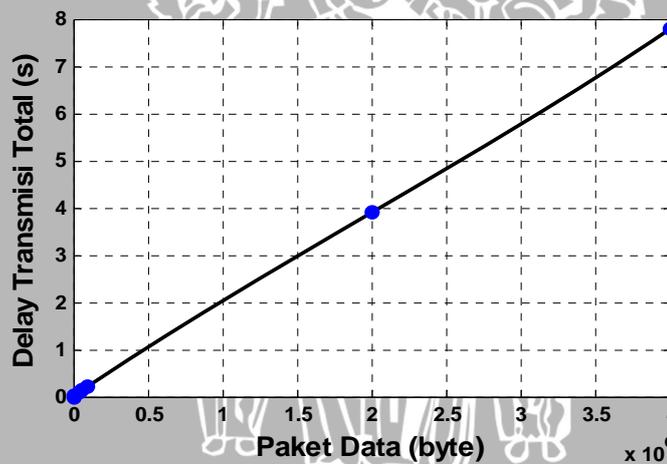
$$\begin{aligned} t_{T\text{ total}} &= t_{T1} + t_{T2} + t_{T3} + t_{T4} \\ &= (8,141 \cdot 10^{-5}) + (9,088 \cdot 10^{-5}) + (7,013 \cdot 10^{-4}) + (0,019) \\ &= 0,020 \text{ s} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, nilai *delay* transmisi total untuk paket data 10 kB, 40 kB, 60 kB, 100 kB, 2000 kB dan 4000 kB dapat dilihat dalam Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Hasil Analisis *Delay* Transmisi Total

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

Sumber: Perhitungan



Grafik 5.3 Grafik Hubungan *Delay* Transmisi Total terhadap Paket Data

Sumber: Perhitungan

Dari hasil perhitungan *delay* transmisi di atas dapat disimpulkan bahwa semakin panjang paket data yang dikirimkan maka *delay* transmisi yang terjadi akan semakin besar. Nilai *delay* transmisi total terbesar dicapai paket data 4000 kB yakni sebesar 7,798 s. Sedangkan nilai *delay* transmisi total terkecil dicapai saat paket data 10 kB yakni sebesar 0,020 s.

c) Delay Propagasi

Delay propagasi adalah waktu yang dibutuhkan sebuah paket data untuk merambat dari sumber ke tujuannya. Pada skripsi ini *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. Maka besarnya nilai *delay* propagasi antara *node* B ke MS dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

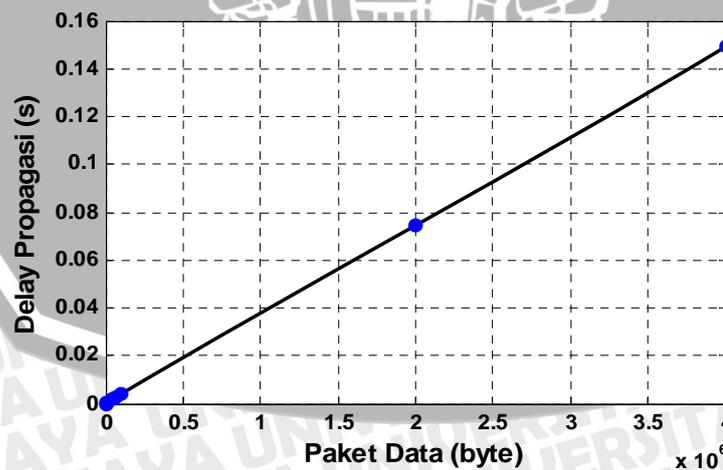
$$\begin{aligned}t_p &= \frac{N_{frame\ MAC} \times d}{c} \\&= \frac{284,035 \times 400\ m}{3.10^8\ m/s} \\&= 3,787.10^{-4}\ s\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, nilai *delay* propagasi untuk paket data 10 kB, 40 kB, 60 kB, 100 kB, 2000 kB dan 4000 kB ditunjukkan dalam Tabel 5.7.

Tabel 5.7 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 |

Sumber: Perhitungan



Grafik 5.4 Grafik Hubungan *Delay* Propagasi terhadap Paket Data

Sumber: Perhitungan

Dari hasil perhitungan *delay* propagasi di atas dapat disimpulkan bahwa semakin panjang paket data yang dikirimkan maka *delay* propagasi yang terjadi akan semakin besar. Nilai *delay* propagasi terbesar dicapai paket data 4000 kB yakni sebesar 0,149 s. Sedangkan nilai *delay* propagasi terkecil dicapai saat paket data 10 kB yakni sebesar $3,787 \cdot 10^{-4}$ s.

d) *Delay* Antrian

Delay antrian merupakan waktu dimana paket data berada dalam antrian untuk ditransmisikan. *Delay* antrian yang dianalisis adalah *delay* yang terjadi pada SGSN dan UTRAN dengan menggunakan model antrian M/M/1.

► SGSN

Pada SGSN menggunakan teknologi *Gigabit Ethernet* dengan kecepatan transmisi data sebesar 1,25 Gbps. Sehingga laju pelayanan paket data pada SGSN dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu_{SGSN} &= \frac{C_{SGSN}}{m} \\ &= \frac{1,25 \cdot 10^9 \text{ bps}}{11360,391 \text{ byte} \times 8} \\ &= 13753,928 \text{ paket/s} \end{aligned}$$

Untuk nilai utilisasi (ρ) sebesar 0,1 maka laju kedatangan paket (λ) dan *delay* antrian (t_{w2}) yang terjadi dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \lambda_{SGSN} &= \rho \times \mu_{SGSN} \\ &= 0,1 \times 13753,928 \\ &= 1375,393 \text{ paket/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{w1} &= \frac{\lambda_{SGSN}}{\mu_{SGSN} (\mu_{SGSN} - \lambda_{SGSN})} + \frac{1}{\mu_{SGSN}} \\ &= \frac{1375,393}{13753,928 (13753,928 - 1375,393)} + \frac{1}{13753,928} \\ &= 8,079 \cdot 10^{-5} \text{ s} \end{aligned}$$

► UTRAN

Pada UTRAN menggunakan *interface* STM-1 dengan kecepatan transmisi 155,52 Mbps. Sehingga laju pelayanan paket data pada UTRAN dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\mu_{RAN} &= \frac{C_{RAN}}{m} \\ &= \frac{155,52 \cdot 10^6 \text{ bps}}{13633,68 \text{ byte} \times 8} \\ &= 1425,881 \text{ paket/s}\end{aligned}$$

Untuk nilai utilisasi (ρ) sebesar 0,1 maka laju kedatangan paket (λ) dan *delay* antrian (t_{w3}) yang terjadi dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\lambda_{UTRAN} &= \rho \times \mu_{UTRAN} \\ &= 0,1 \times 1425,881 \\ &= 142,588 \text{ paket/s} \\ t_{w2} &= \frac{\lambda_{UTRAN}}{\mu_{UTRAN} (\mu_{UTRAN} - \lambda_{UTRAN})} + \frac{1}{\mu_{UTRAN}} \\ &= \frac{142,588}{1425,881 (1425,881 - 142,588)} + \frac{1}{1425,881} \\ &= 7,792 \cdot 10^{-4}\end{aligned}$$

► **Delay Antrian Total**

Dari perhitungan-perhitungan di atas maka nilai *delay* antrian total untuk paket data 10 kB dengan utilisasi 0,1 dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

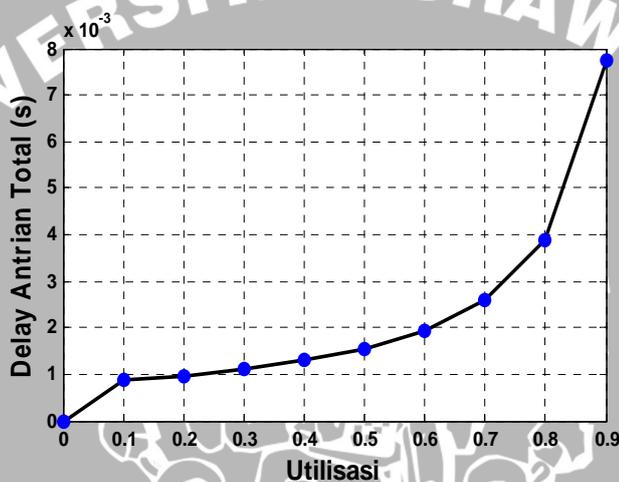
$$\begin{aligned}t_{W \text{ total}} &= t_{w1} + t_{w2} \\ &= 8,079 \cdot 10^{-5} \text{ s} + 7,792 \cdot 10^{-4} \text{ s} \\ &= 8,600 \cdot 10^{-4} \text{ s}\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil analisis *delay* antrian total untuk paket data 10 kB, 40 kB, 60 kB, 100 kB, 2000 kB dan 4000 kB dengan nilai utilisasi 0,1 – 0,9 dapat dilihat dalam Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Hasil Analisis *Delay* Antrian Total

| utilisasi (ρ) | <i>Delay</i> Antrian total (s) untuk masing-masing paket data (kB) | | | | | |
|-------------------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 10 | 40 | 60 | 100 | 2000 | 4000 |
| 0,1 | 0,000860031 | 0,003397623 | 0,005109964 | 0,008473781 | 0,169285311 | 0,338561197 |
| 0,2 | 0,000967534 | 0,003822325 | 0,005748709 | 0,009533004 | 0,190445975 | 0,380881346 |
| 0,3 | 0,001105754 | 0,004368372 | 0,006569954 | 0,010894862 | 0,217652543 | 0,435292967 |
| 0,4 | 0,001290046 | 0,005096434 | 0,007664946 | 0,012710672 | 0,253927966 | 0,507841795 |
| 0,5 | 0,001548055 | 0,006115721 | 0,009197935 | 0,015252807 | 0,30471356 | 0,609410154 |
| 0,6 | 0,001935069 | 0,007644651 | 0,011497419 | 0,019066008 | 0,38089195 | 0,761762693 |
| 0,7 | 0,002580092 | 0,010192868 | 0,015329892 | 0,025421344 | 0,507855933 | 1,01568359 |
| 0,8 | 0,003870137 | 0,015289302 | 0,022994838 | 0,038132017 | 0,761783899 | 1,523525385 |
| 0,9 | 0,007740275 | 0,030578604 | 0,045989676 | 0,076264033 | 1,523567799 | 3,04705077 |

Sumber: Perhitungan



Grafik 5.5 Grafik Hubungan *Delay* Antrian Total terhadap Faktor Utilisasi untuk Paket Data 10 kB

Sumber: Perhitungan

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. *Delay* antrian terbesar di capai saat faktor utilisasi sebesar 0,9 untuk paket data 4000 kB yaitu sebesar 3,047 s. Sedangkan *delay* antrian terkecil dicapai saat faktor utilisasi sebesar 0,1 untuk paket data 10 kB yakni sebesar $8,600 \cdot 10^{-4}$ detik.

e) Delay Total

Dari perhitungan *delay* enkapsulasi, *delay* dekapsulasi, *delay* antrian, *delay* transmisi dan *delay* propagasi diatas maka besar nilai *delay* total saat user berada pada jaringan UMTS dapat diketahui. Perhitungan *delay* ini menggunakan panjang paket data



sebesar 10 kB dan faktor utilitasnya adalah 0,1. adapun nilai *delay* totalnya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

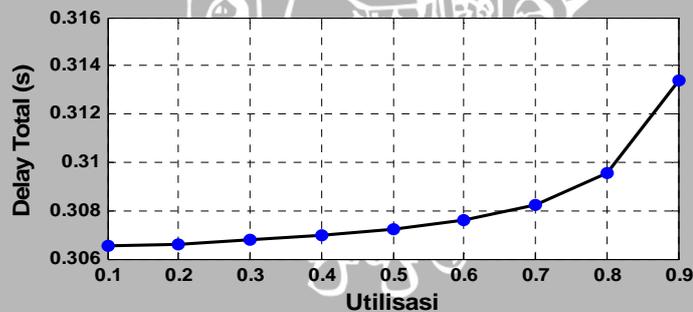
$$\begin{aligned}
 t_{tot} &= t_E + t_D + t_T + t_P + t_W \\
 &= (7,822 \cdot 10^{-4}) + (0,285) + (0,020) + (3,787 \cdot 10^{-4}) + (8,600 \cdot 10^{-4}) \\
 &= 0,307 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil analisis *delay* total untuk paket data 10 kB, 40 kB, 60 kB, 100 kB, 2000 kB dan 4000 kB dengan nilai utilisasi 0,1 – 0,9 dapat dilihat dalam Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Hasil Analisis *Delay* Total

| utilisasi | <i>Delay</i> total (s) untuk masing-masing paket data (byte) | | | | | |
|-----------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 10000 | 40000 | 60000 | 100000 | 2000000 | 4000000 |
| 0,1 | 0,307020931 | 1,210984623 | 1,813978964 | 3,020911781 | 60,33328531 | 120,6625612 |
| 0,2 | 0,307128434 | 1,211409325 | 1,814617709 | 3,021971004 | 60,35444597 | 120,7048813 |
| 0,3 | 0,307266654 | 1,211955372 | 1,815438954 | 3,023332862 | 60,38165254 | 120,759293 |
| 0,4 | 0,307450946 | 1,212683434 | 1,816533946 | 3,025148672 | 60,41792797 | 120,8318418 |
| 0,5 | 0,307708955 | 1,213702721 | 1,818066935 | 3,027690807 | 60,46871356 | 120,9334102 |
| 0,6 | 0,308095969 | 1,215231651 | 1,820366419 | 3,031504008 | 60,54489195 | 121,0857627 |
| 0,7 | 0,308740992 | 1,217779868 | 1,824198892 | 3,037859344 | 60,67185593 | 121,3396836 |
| 0,8 | 0,310031037 | 1,222876302 | 1,831863838 | 3,050570017 | 60,9257839 | 121,8475254 |
| 0,9 | 0,313901175 | 1,238165604 | 1,854858676 | 3,088702033 | 61,6875678 | 123,3710508 |

Sumber: Perhitungan



Grafik 5.6 Grafik Hubungan *Delay* Total terhadap Faktor Utilisasi untuk Paket Data 10 kB

Sumber: Perhitungan

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. *Delay* total terbesar 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.

5.2.1.2 User berada pada Jaringan WiFi

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

e) Delay Enkapsulasi dan Dekapsulasi

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

► HA

Paket data sebesar 10 kB akan ditambahkan akan ditambahkan *header* UDP sehingga diperoleh panjang segmen UDP yaitu berdasarkan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}W_{\text{segmen}} &= W_{\text{data}} + \text{header}_{\text{UDP}} \\ &= 10000 \text{ byte} + 8 \text{ byte} \\ &= 10008 \text{ byte}\end{aligned}$$

Panjang segmen yang kurang dari MSS IP sebesar 65535 *byte* akan langsung ditambahkan *header* IP menjadi datagram IP dan diperoleh panjang datagram IP sesuai persamaan berikut:

$$\begin{aligned}W_{\text{datagram}} &= W_{\text{segmen}} + \text{header}_{\text{IP}} \\ &= 10008 \text{ byte} + 40 \text{ byte} \\ &= 10048 \text{ byte}\end{aligned}$$

Pada *data link layer*, karena nilai datagram IP lebih besar dari nilai MTU *Ethernet* sebesar 1500 *byte* maka sebelum ditambahkan dengan *header Ethernet* dan FCS sebesar 14 *byte* dan 4 *byte*, panjang *datagram IP* akan disegmentasi terlebih dahulu dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}N_{\text{Ethernet}} &= \frac{W_{\text{datagram}}}{1500 \text{ byte}} \\ &= \frac{10048 \text{ byte}}{1500 \text{ byte}} \\ &= 6,699\end{aligned}$$

Kemudian diperoleh panjang *frame Ethernet* dengan persamaan sebagai berikut:

$$W_{\text{Ethernet}} = \text{MTU}_{\text{Ethernet}} + \text{header}_{\text{Ethernet}} + \text{FCS}$$

$$= 1500 \text{ byte} + 14 \text{ byte} + 4 \text{ byte}$$

$$= 1518 \text{ byte}$$

Sehingga jumlah total *frame* HA yang dikirimkan adalah sebesar:

$$W_{\text{frame HA}} = W_{\text{Ethernet total}} = N_{\text{Ethernet}} \times W_{\text{Ethernet}}$$

$$= 6,699 \times 1518 \text{ byte}$$

$$= 10169,082 \text{ byte}$$

maka besar *delay* enkapsulasi yang terjadi pada HA dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

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

$$= \frac{10176,672 \text{ byte} \times 8}{100 \cdot 10^6 \text{ bps}}$$

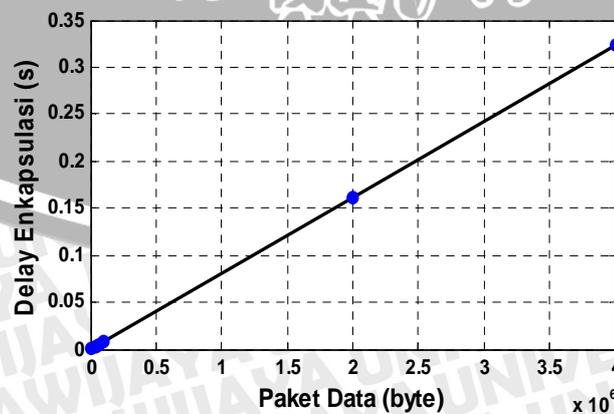
$$= 8,135 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

Dengan proses perhitungan yang sama, maka hasil perhitungan *delay* enkapsulasi yang terjadi pada HA untuk paket data 10 kB, 40 kB, 60 kB, 100 kB, 2000 kB dan 4000 kB ditunjukkan dalam Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Hasil Analisis *Delay* Enkapsulasi pada HA

| Paket Data (kB) | t_E (s) |
|-----------------|-----------------------|
| 10 | $8,135 \cdot 10^{-4}$ |
| 40 | $3,242 \cdot 10^{-3}$ |
| 60 | $4,861 \cdot 10^{-3}$ |
| 100 | $8,102 \cdot 10^{-3}$ |
| 2000 | 0,162 |
| 4000 | 0,324 |

Sumber: Perhitungan



Grafik 5.7 Grafik Hubungan *Delay* Enkapsulasi terhadap Paket Data
Sumber: Perhitungan

► **Mobile Station (MS)**

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

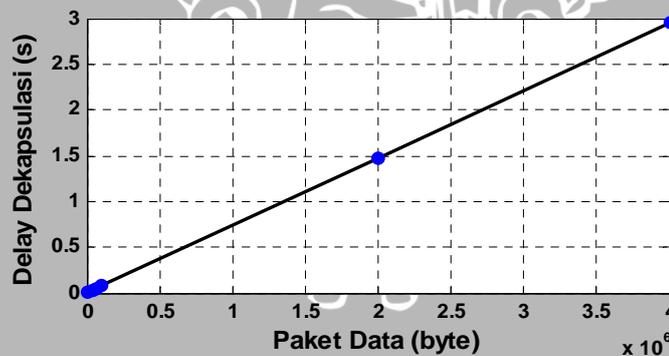
$$\begin{aligned} t_D &= \frac{W_{frame\ total} \times 8}{V_{WiFi}} \\ &= \frac{1066\ byte \times 8}{11 \cdot 10^6\ bps} \\ &= 7,753 \cdot 10^{-4}\ s \end{aligned}$$

Dengan proses perhitungan yang sama, maka hasil perhitungan *delay* dekapsulasi yang terjadi pada MS untuk paket data 10 kB, 40 kB, 60 kB, 100 kB, 2000 kB dan 4000 kB ditunjukkan dalam Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Hasil Analisis *Delay* Dekapsulasi pada MS

| Paket Data (kB) | t_D (s) |
|-----------------|-----------------------|
| 10 | $7,396 \cdot 10^{-3}$ |
| 40 | 0,029 |
| 60 | 0,044 |
| 100 | 0,074 |
| 2000 | 1,473 |
| 4000 | 2,946 |

Sumber: Perhitungan



Grafik 5.8 Grafik Hubungan *Delay* Dekapsulasi terhadap Paket Data
Sumber: Perhitungan

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. *Delay* enkapsulasi dan dekapsulasi terbesar dicapai paket data 4000 kB yakni sebesar 0,324 s dan 2,946 s. Sedangkan *delay* enkapsulasi dan dekapsulasi terkecil dicapai saat paket data 10 kB yakni sebesar $8,135 \cdot 10^{-4}$ s dan $7,396 \cdot 10^{-3}$ s.

f) **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.

► **HA-AP (Ethernet)**

Antara HA dan AP dihubungkan dengan *Ethernet* sebagai *interface* yang memiliki kecepatan transmisi data sebesar 100 Mbps. Sehingga *delay* transmisi yang terjadi dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}t_{T1} &= \frac{W_{frame\ total} \times 8}{V_{Ethernet}} \\ &= \frac{10169,082\ byte \times 8}{100.10^6\ bps} \\ &= 8,135.10^{-4}\ s\end{aligned}$$

► **AP-MS (air interface)**

Antara AP dan MS dihubungkan dengan *air interface* dengan kecepatan transmisi data sebesar 11 Mbps. Sehingga *delay* transmisi yang terjadi dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}t_{T2} &= \frac{W_{frame\ total} \times 8}{V_{WiFi}} \\ &= \frac{10169,082\ byte \times 8}{11.10^6\ bps} \\ &= 7,396.10^{-3}\ s\end{aligned}$$

► **Delay Transmisi Total**

Dari perhitungan-perhitungan di atas maka nilai *delay* transmisi total untuk paket data 1000 *byte* dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

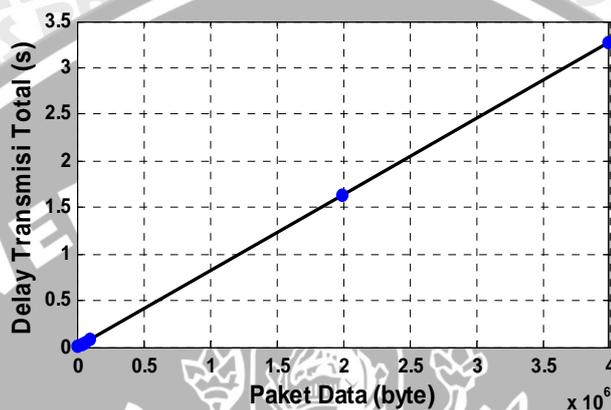
$$\begin{aligned}t_{T\ total} &= t_{T1} + t_{T2} \\ &= (8,135.10^{-4}) + (7,396.10^{-3}) \\ &= 8,210.10^{-3}\ s\end{aligned}$$

Dengan proses perhitungan yang sama, maka hasil perhitungan *delay* transmisi total untuk paket data 10 kB, 40 kB, 60 kB, 100 kB, 2000 kB dan 4000 kB ditunjukkan dalam tabel 5.12.

Tabel 5.12 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 |

Sumber: Perhitungan



Grafik 5.9 Grafik Hubungan *Delay* Transmisi Total terhadap Paket Data
Sumber: Perhitungan

Dari hasil perhitungan *delay* transmisi di atas dapat disimpulkan bahwa semakin panjang paket data yang dikirimkan maka *delay* transmisi yang terjadi akan semakin besar. Nilai *delay* transmisi total terbesar dicapai paket data 4000 kB yakni sebesar 3,27 s. Sedangkan nilai *delay* transmisi total terkecil dicapai saat paket data 10 kB yakni sebesar $8,210.10^{-3}$ s.

g) 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 dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 t_p &= \frac{d}{c} + \frac{(L+L') \times 8}{C} \\
 &= \frac{100}{3.10^8} + \frac{10169,082 \times 8}{11.10^6} \\
 &= 7,396.10^{-3} \text{ s}
 \end{aligned}$$

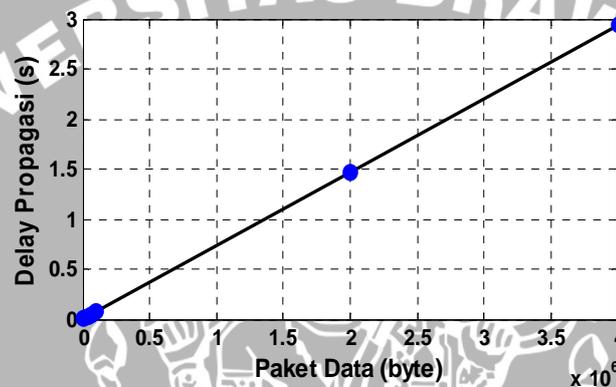


Dengan proses perhitungan yang sama, maka hasil perhitungan *delay* propagasi untuk paket data 10 kB, 40 kB, 60 kB, 100 kB, 2000 kB dan 4000 kB ditunjukkan dalam tabel 5.13.

Tabel 5.13 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 |

Sumber: Perhitungan



Grafik 5.10 Grafik Hubungan *Delay* Propagasi Total terhadap Paket Data
Sumber: Perhitungan

Dari hasil perhitungan *delay* propagasi di atas dapat disimpulkan bahwa semakin panjang paket data yang dikirimkan maka *delay* transmisi yang terjadi akan semakin besar. Nilai *delay* propagasi terbesar dicapai paket data 4000 kB yakni sebesar 2,946 s. Sedangkan nilai *delay* transmisi total terkecil dicapai saat paket data 10 kB yakni sebesar $7,396.10^{-3}$ s.

h) *Delay* Antrian

Delay antrian yang dianalisis saat *user* berada dalam jaringan WiFi adalah *delay* antrian pada AP dengan menggunakan model antrian M/M/1. Maka laju pelayanan paket data di AP dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu_{AP} &= \frac{C_{WiFi}}{m} \\ &= \frac{11.10^6}{10169,082 \times 8} \end{aligned}$$

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

Untuk nilai utilisasi (ρ) sebesar 0,1 maka laju kedatangan paket (λ) dan *delay* antrian (t_w) yang terjadi dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \lambda_{AP} &= \rho \times \mu_{AP} \\ &= 0,1 \times 135,214 \\ &= 13,521 \text{ paket/s} \end{aligned}$$

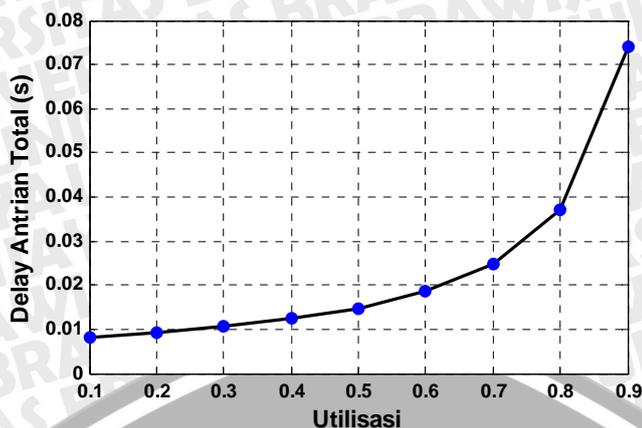
$$\begin{aligned} t_w &= \frac{\lambda_{AP}}{\mu_{AP}(\mu_{AP} - \lambda_{AP})} + \frac{1}{\mu_{AP}} \\ &= \frac{13,521}{135,214 (135,214 - 13,521)} + \frac{1}{135,214} \\ &= 8,217 \cdot 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

Dengan proses perhitungan yang sama, maka hasil perhitungan *delay* antrian untuk paket data 10 kB, 40 kB, 60 kB, 100 kB, 2000 kB dan 4000 kB dengan nilai utilisasi 0,1 – 0,9 dapat dilihat dalam Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Hasil Analisis *Delay* Antrian Total

| utilisasi | <i>Delay</i> Antrian total (s) untuk masing-masing paket data (kB) | | | | | |
|-----------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 10 | 40 | 60 | 100 | 2000 | 4000 |
| 0,1 | 0,00821744 | 0,032750773 | 0,04910592 | 0,081833387 | 1,636551202 | 3,273102403 |
| 0,2 | 0,00924462 | 0,03684462 | 0,05524416 | 0,09206256 | 1,841120102 | 3,682240204 |
| 0,3 | 0,01056528 | 0,042108137 | 0,063136183 | 0,105214354 | 2,104137259 | 4,208274519 |
| 0,4 | 0,01232616 | 0,04912616 | 0,07365888 | 0,12275008 | 2,454826803 | 4,909653605 |
| 0,5 | 0,014791392 | 0,058951392 | 0,088390656 | 0,147300096 | 2,945792163 | 5,891584326 |
| 0,6 | 0,01848924 | 0,07368924 | 0,11048832 | 0,18412512 | 3,682240204 | 7,364480408 |
| 0,7 | 0,02465232 | 0,09825232 | 0,14731776 | 0,24550016 | 4,909653605 | 9,81930721 |
| 0,8 | 0,03697848 | 0,14737848 | 0,22097664 | 0,36825024 | 7,364480408 | 14,72896082 |
| 0,9 | 0,07395696 | 0,29475696 | 0,44195328 | 0,73650048 | 14,72896082 | 29,45792163 |

Sumber: Perhitungan



Grafik 5.11 Grafik Hubungan *Delay Antrian Total* terhadap Faktor *Utilisasi* untuk Paket Data 10 kB
 Sumber: Perhitungan

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. *Delay* antrian terbesar dicapai saat faktor utilisasi sebesar 0,9 untuk paket data 4000 kB yaitu sebesar 29,458 s. Sedangkan *delay* antrian terkecil dicapai saat faktor utilisasi sebesar 0,1 untuk paket data 10 kB yakni sebesar $8,217 \cdot 10^{-3}$ s.

f) Delay Total

Dari perhitungan *delay* enkapsulasi, *delay* dekapsulasi, *delay* antrian, *delay* transmisi dan *delay* propagasi diatas maka besar nilai *delay* total saat *user* berada pada jaringan WiFi dapat diketahui. Perhitungan *delay* ini menggunakan panjang paket data sebesar 10 kB dan faktor utilisasinya adalah 0,1. Dengan demikian, nilai *delay* total dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

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

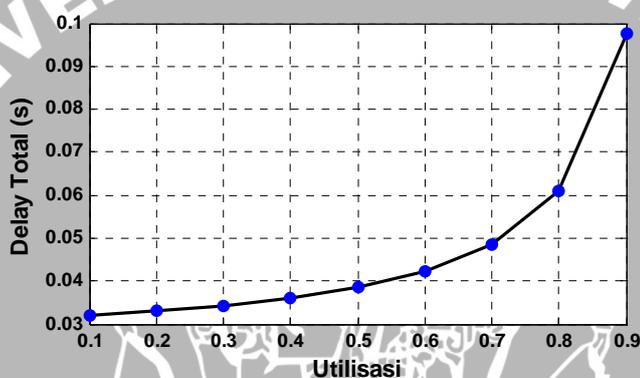
Dengan cara yang sama, hasil analisis *delay* total untuk paket data 10 kB, 40 kB, 60 kB, 100 kB, 2000 kB dan 4000 kB dengan nilai utilisasi 0,1 – 0,9 dapat dilihat dalam Tabel 5.15.



Tabel 5.15 Hasil Analisis *Delay* Total

| utilisasi | <i>Delay</i> total (s) untuk masing-masing paket data (kB) | | | | | |
|-----------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 10 | 40 | 60 | 100 | 2000 | 4000 |
| 0,1 | 0,03203294 | 0,125992773 | 0,19096692 | 0,319935387 | 6,379551202 | 12,7591024 |
| 0,2 | 0,03306012 | 0,13008662 | 0,19710516 | 0,33016456 | 6,584120102 | 13,1682402 |
| 0,3 | 0,03438078 | 0,135350137 | 0,204997183 | 0,343316354 | 6,847137259 | 13,69427452 |
| 0,4 | 0,03614166 | 0,14236816 | 0,21551988 | 0,36085208 | 7,197826803 | 14,39565361 |
| 0,5 | 0,038606892 | 0,152193392 | 0,230251656 | 0,385402096 | 7,688792163 | 15,37758433 |
| 0,6 | 0,04230474 | 0,16693124 | 0,25234932 | 0,42222712 | 8,425240204 | 16,85048041 |
| 0,7 | 0,04846782 | 0,19149432 | 0,28917876 | 0,48360216 | 9,652653605 | 19,30530721 |
| 0,8 | 0,06079398 | 0,24062048 | 0,36283764 | 0,60635224 | 12,10748041 | 24,21496082 |
| 0,9 | 0,09777246 | 0,38799896 | 0,58381428 | 0,97460248 | 19,47196082 | 38,94392163 |

Sumber: Perhitungan



Grafik 5.12 Grafik Hubungan *Delay* Total terhadap Faktor Utilisasi untuk Paket Data 10 kB

Sumber: Perhitungan

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. *Delay* total terbesar 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.

5.2.1.3 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.

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



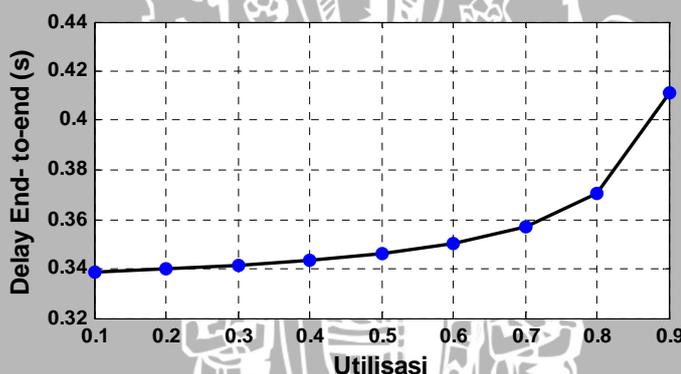
$$= 0,339 \text{ s}$$

Dengan cara yang sama, hasil analisis *delay end-to-end* untuk paket data 10 kB, 40 kB, 60 kB, 100 kB, 2000 kB dan 4000 kB dengan nilai utilisasi 0,1 – 0,9 dapat dilihat dalam Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Hasil Analisis *Delay End-to-end*

| utilisasi | <i>Delay End-to-end</i> (s) untuk masing-masing paket data (kB) | | | | | |
|-----------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | 10000 | 40000 | 60000 | 100000 | 2000000 | 4000000 |
| 0,1 | 0,339053871 | 1,336977396 | 2,004945884 | 3,340847168 | 66,71283651 | 133,42166636 |
| 0,2 | 0,340188554 | 1,341495945 | 2,011722869 | 3,352135564 | 66,93856608 | 133,8731216 |
| 0,3 | 0,341647434 | 1,347305509 | 2,020436137 | 3,366649216 | 67,2287898 | 134,4535675 |
| 0,4 | 0,343592606 | 1,355051594 | 2,032053826 | 3,386000752 | 67,61575477 | 135,2274954 |
| 0,5 | 0,346315847 | 1,365896113 | 2,048318591 | 3,413092903 | 68,15750572 | 136,3109945 |
| 0,6 | 0,350400709 | 1,382162891 | 2,072715739 | 3,453731128 | 68,97013215 | 137,9362431 |
| 0,7 | 0,357208812 | 1,409274188 | 2,113377652 | 3,521461504 | 70,32450954 | 140,6449908 |
| 0,8 | 0,370825017 | 1,463496782 | 2,194701478 | 3,656922257 | 73,03326431 | 146,0624862 |
| 0,9 | 0,411673635 | 1,626164564 | 2,438672956 | 4,063304513 | 81,15952861 | 162,3149724 |

Sumber: Perhitungan



Grafik 5.13 Grafik Hubungan *Delay End-to-end* terhadap Faktor Utilisasi untuk Paket Data 10 kB

Sumber: Perhitungan

Dari analisis di atas dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan 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. *Delay end-to-end* 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.

5.2.2 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.

5.2.2.1 Throughput saat User berada pada Jaringan UMTS

Perhitungan *throughput* di bawah ini menggunakan paket data sebesar 10 kB. Lama waktu mentransmisikan sebuah *frame* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{(PL_{frame} + H_{frame}) \times 8}{C_{trans}} \\ &= \frac{(42 + 3 + 3) \text{ byte} \times 8}{384.10^3} \\ &= 1.10^3 \text{ s} \end{aligned}$$

Pada perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, saat *user* berada pada jaringan UMTS, didapat nilai *delay* propagasi total (t_p) adalah sebesar $3,787.10^{-4}$ s. Sehingga *fixed interval time out* (t_{out}) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} t_{out} &= 2t_p + 2t_1 \\ &= (2 \times 3,787.10^{-4}) + (2 \times 1.10^{-3}) \\ &= 2,757.10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

Dan nilai konstanta (α) dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \alpha &= 1 + \frac{t_{out}}{t_1} \\ &= 1 + \frac{2,757.10^{-3}}{1.10^{-3}} \\ &= 3,757 \end{aligned}$$

Probabilitas bit *error* pada jaringan UMTS adalah sebesar 10^{-7} maka dapat diketahui nilai probabilitas *frame* yang salah dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \rho &= (L + L') \times \rho_b \\ &= (42 + 3 + 3) \times 10^{-7} \times 8 \\ &= 3,84.10^{-5} \end{aligned}$$

Sehingga nilai *throughput* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

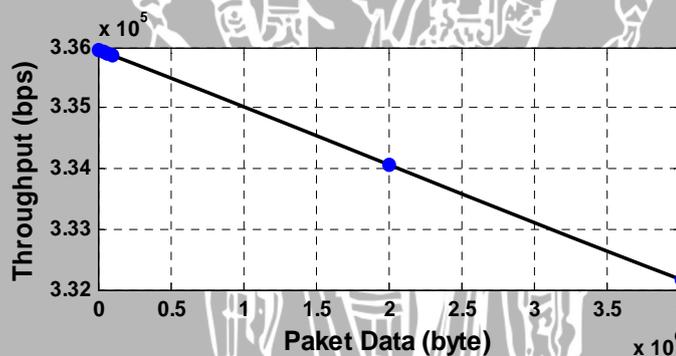
$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{1}{t_v} = \frac{(1-\rho)}{t_l[1+(\alpha-1)\rho]} \\ &= \frac{(1-3,84.10^{-5})}{1.10^{-3} [1+(3,757-1)3,84.10^{-5}]} \\ &= 999,8557465 \text{ paket/s} \\ &= 999,8557465 \times 42 \times 8 \\ &= 335951,531 \text{ bps} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, nilai *throughput* untuk paket data 10 kB, 40 kB, 60 kB, 100 kB, 2000 kB dan 4000 kB dapat dilihat dalam Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Hasil Analisis *Throughput* untuk User berada pada Jaringan UMTS

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

Sumber: Perhitungan



Grafik 5.14 Grafik Hubungan *Throughput* terhadap Paket Data

Sumber: Perhitungan

Berdasarkan hasil analisis di atas maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar paket data, maka *throughput* yang terjadi semakin kecil. *Throughput* terbesar dicapai pada paket data 10 kB yaitu sebesar 335951,531 bps. Sedangkan *throughput* terkecil dicapai saat paket data 4000 kB yakni sebesar 332160,607 bps.

5.2.2.2 *Throughput* saat User berada pada Jaringan WiFi

Perhitungan *throughput* di bawah ini menggunakan paket data sebesar 10 kB. Lama waktu mentransmisikan sebuah *frame* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{(PL_{frame} + H_{frame}) \times 8}{C_{trans}} \\ &= \frac{(1500 + 14 + 4) \text{ byte} \times 8}{11.10^6} \\ &= 1,104.10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

Pada perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, saat *user* berada pada jaringan WiFi, didapat nilai *delay* propagasi total (t_p) adalah sebesar $7,396.10^{-3}$ s. Sehingga *fixed interval time out* (t_{out}) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} t_{out} &= 2t_p + 2t_1 \\ &= (2 \times 7,396.10^{-3}) + (2 \times 1,104.10^{-3}) \\ &= 0,017 \text{ s} \end{aligned}$$

Dan nilai konstanta (α) dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \alpha &= 1 + \frac{t_{out}}{t_1} \\ &= 1 + \frac{0,017}{1,104.10^{-3}} \\ &= 16,399 \end{aligned}$$

Probabilitas bit *error* pada jaringan WiFi adalah sebesar 10^{-5} . Setelah terintegrasi, besar maka probabilitas bit *error* adalah 10^{-12} ($10^{-7} \times 10^{-5} = 10^{-12}$). Maka nilai probabilitas *frame* yang salah dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \rho &= (L + L') \times \rho_b \\ &= (1500 + 14 + 4) \times 10^{-12} \times 8 \\ &= 1,214.10^{-8} \end{aligned}$$

Sehingga nilai *throughput* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{1}{t_v} = \frac{(1 - \rho)}{t_1 [1 + (\alpha - 1)\rho]} \\ &= \frac{(1 - 1,214.10^{-8})}{1,104.10^{-3} [1 + (16,399 - 1)1,214.10^{-8}]} \\ &= 905,7969211 \text{ paket/s} \end{aligned}$$

$$= 905,7969211 \times 1500 \times 8$$

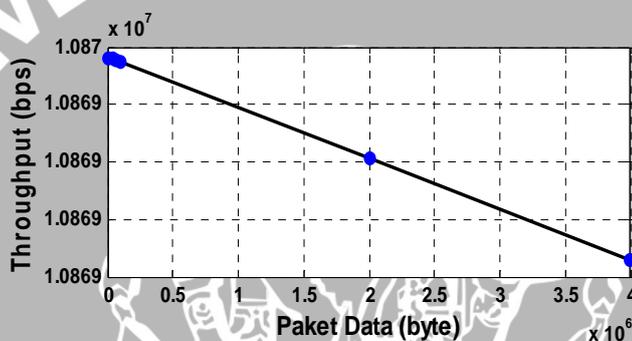
$$= 10869563,05 \text{ bps}$$

Dengan cara yang sama, nilai *throughput* untuk paket data 10 kB, 40 kB, 60 kB, 100 kB, 2000 kB dan 4000 kB dapat dilihat dalam Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Hasil Analisis *Throughput* untuk *User* berada pada Jaringan WiFi

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

Sumber: Perhitungan



Grafik 5.15 Grafik Hubungan *Throughput* terhadap Paket Data
Sumber: Perhitungan

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

Dari hasil perhitungan di atas dengan dua keadan *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.

BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

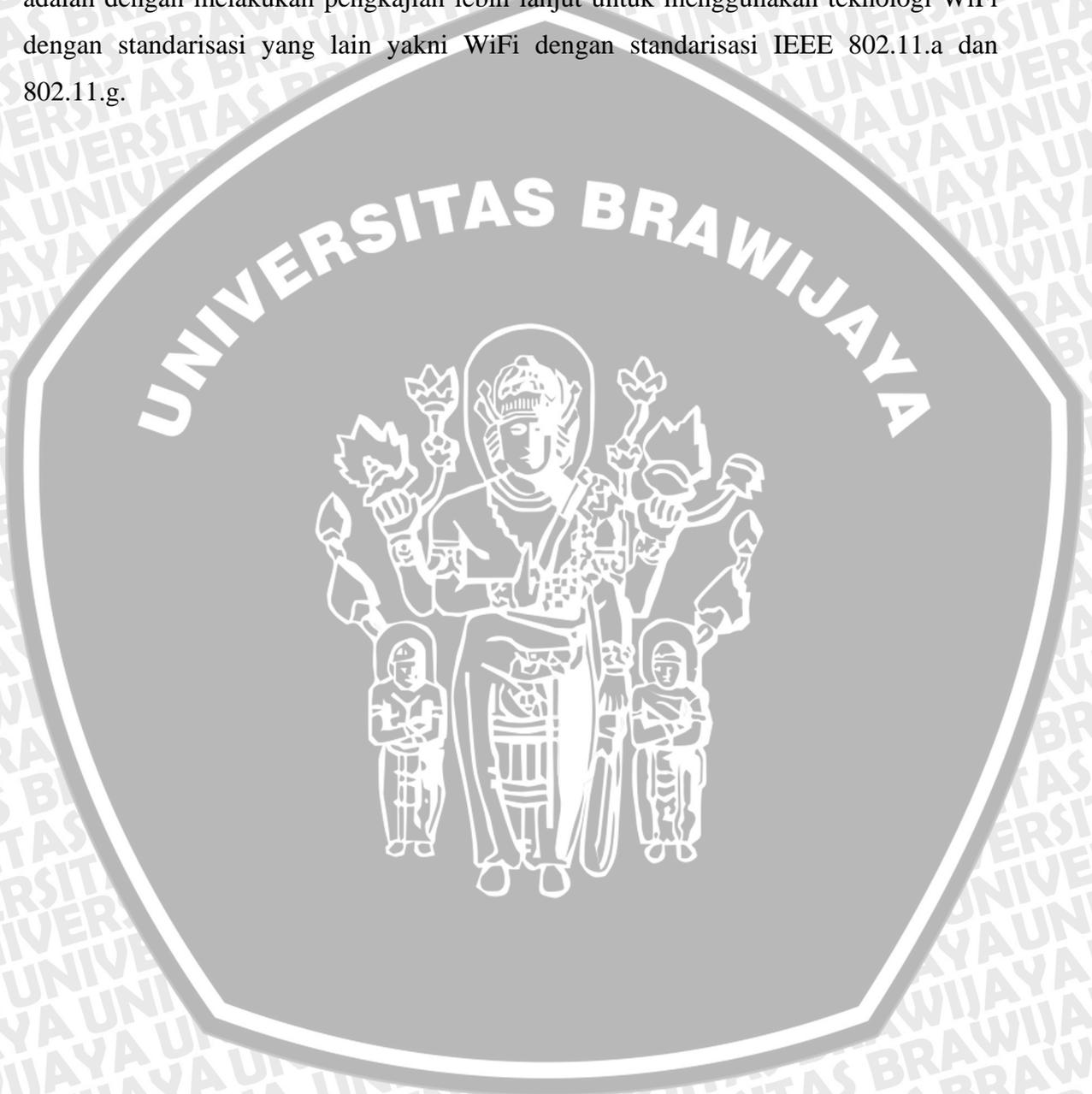
Berdasarkan semua analisis yang telah dilakukan baik secara matematis ataupun grafis maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. *Delay* total pada saat *user* berada pada jaringan UMTS dipengaruhi oleh ukuran data dan faktor utilisasi. Dengan penambahan faktor utilisasi dan semakin panjang paket data, maka *delay* total yang terjadi juga semakin bertambah besar. *Delay* total terbesar 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 pada saat *user* berada pada jaringan WiFi dipengaruhi oleh ukuran data dan faktor utilisasi. Semakin panjang paket data dan dengan penambahan faktor utilisasi, maka *delay* total yang terjadi semakin bertambah pula. *Delay* total terbesar 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* merupakan perhitungan *delay* total antara *user* yang berada pada jaringan UMTS dengan *user* yang berada pada jaringan WiFi. *Delay end-to-end* dipengaruhi oleh ukuran data dan faktor utilisasi. 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. *Delay end-to-end* 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* pada saat *user* berada pada jaringan UMTS dipengaruhi oleh ukuran data. Semakin besar paket data, *throughput* yang terjadi semakin kecil. *Throughput* terbesar 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* pada saat *user* berada pada jaringan WiFi dipengaruhi oleh ukuran data. Semakin besar paket data, *throughput* yang terjadi juga semakin kecil. *Throughput* terbesar 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.

6.2 Saran

Saran yang diberikan berdasarkan analisis yang telah dilakukan dalam skripsi ini adalah dengan melakukan 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

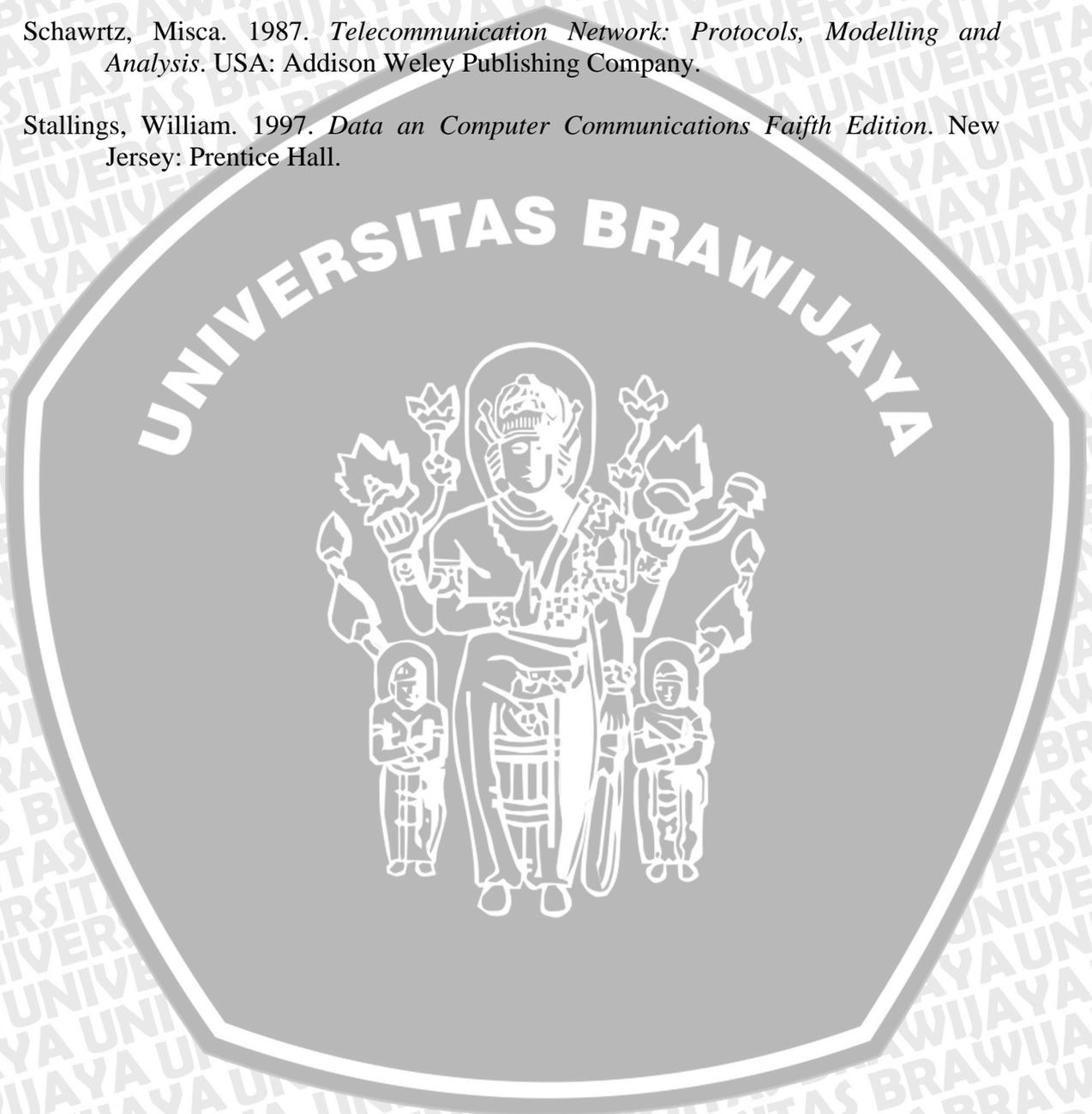
- Anonim. 2004. *Understanding Mobile IPv6*. Microsoft Corporation
- Anonim. 2006. *Modul 12 b. Standar WCDMA*. www.stttelkom.ac.id. (diakses 13 Maret 2009).
- Anonim. 2009. *WI-FI*. <http://id.wikipedia.org>. (diakses 5 Maret 2009).
- Anonim. 2009. *Wireless LAN (Local Area Network)*. <http://www.ittelkom.ac.id>. (diakses 5 Maret 2009).
- Anonim. 2006. *Perjalanan Teknologi 1G ke 3G*. *Sriwijaya Post*. 22 Januari. hlm 7.
- Anonim. <http://www.wlana.org>. (diakses 5 Maret 2009).
- Bannister, J., Mather, Paul & Coope, Sebastian. 2005. *Convergence Technologies for 3G Network: IP, UMTS, EGPRS and ATM*. England: Jhon Wiley & Sons, Ltd.
- Braithwaite, Chris & Scott, Mike. 2004. *UMTS Network Planning and Development*. Burlington: An imprint of Elsevier.
- Bertsekas, D & Gallager, R. 1992. *Data Network Second Edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- 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).
- Ennis, Greg. 1996. *802.11 Architecture*. www.ieee802.org/11/Tutorial/archit.pdf. (diakses 13 Maret 2009).
- Fitriyah, Takhtimatul. 2004. *Integrasi General Packet Radio Service (GPRS) dan WLAN*. Skripsi tidak dipublikasikan: Jurusan Elektro FT. Unibraw.
- Holma, Harri & Toskala, Antti. 2004. *WCDMA for UMTS*. England: Jhon Wiley & Sons, Ltd.
- Laboratorium Telekomunikasi. 2008. *Laporan Praktikum Jaringan Telekomunikasi*. Laporan tidak dipublikasikan. Malang: Jurusan Elektro FT. Unibraw
- Lescuyer, Pierre & Bott, Frank. 2004. *UMTS Origins, Architecture and the Standard*. London: Springer.
- 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).

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.

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).

Schawrtz, Misca. 1987. *Telecommunication Network: Protocols, Modelling and Analysis*. USA: Addison Weley Publishing Company.

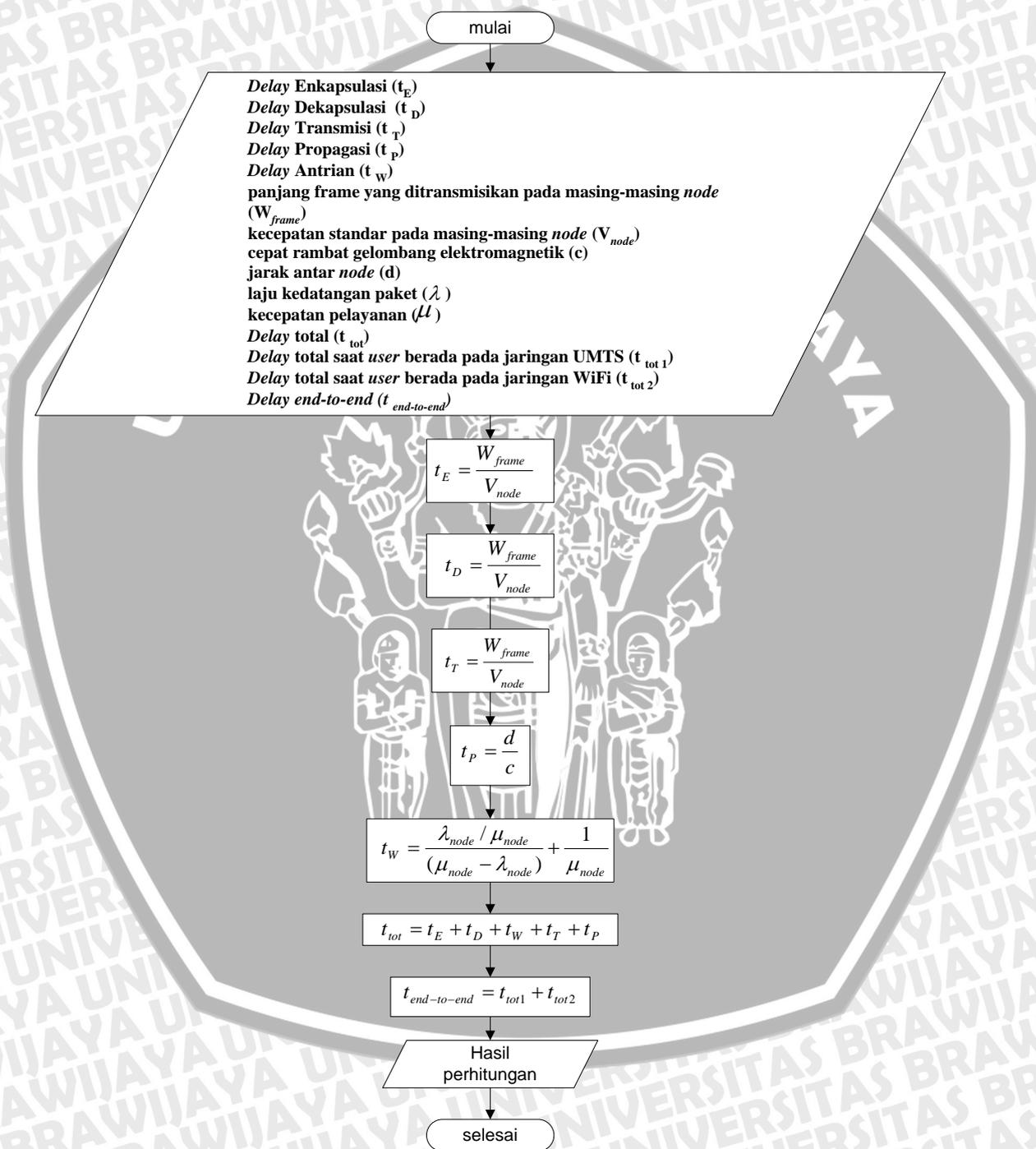
Stallings, William. 1997. *Data an Computer Communications Faifth Edition*. New Jersey: Prentice Hall.



LAMPIRAN

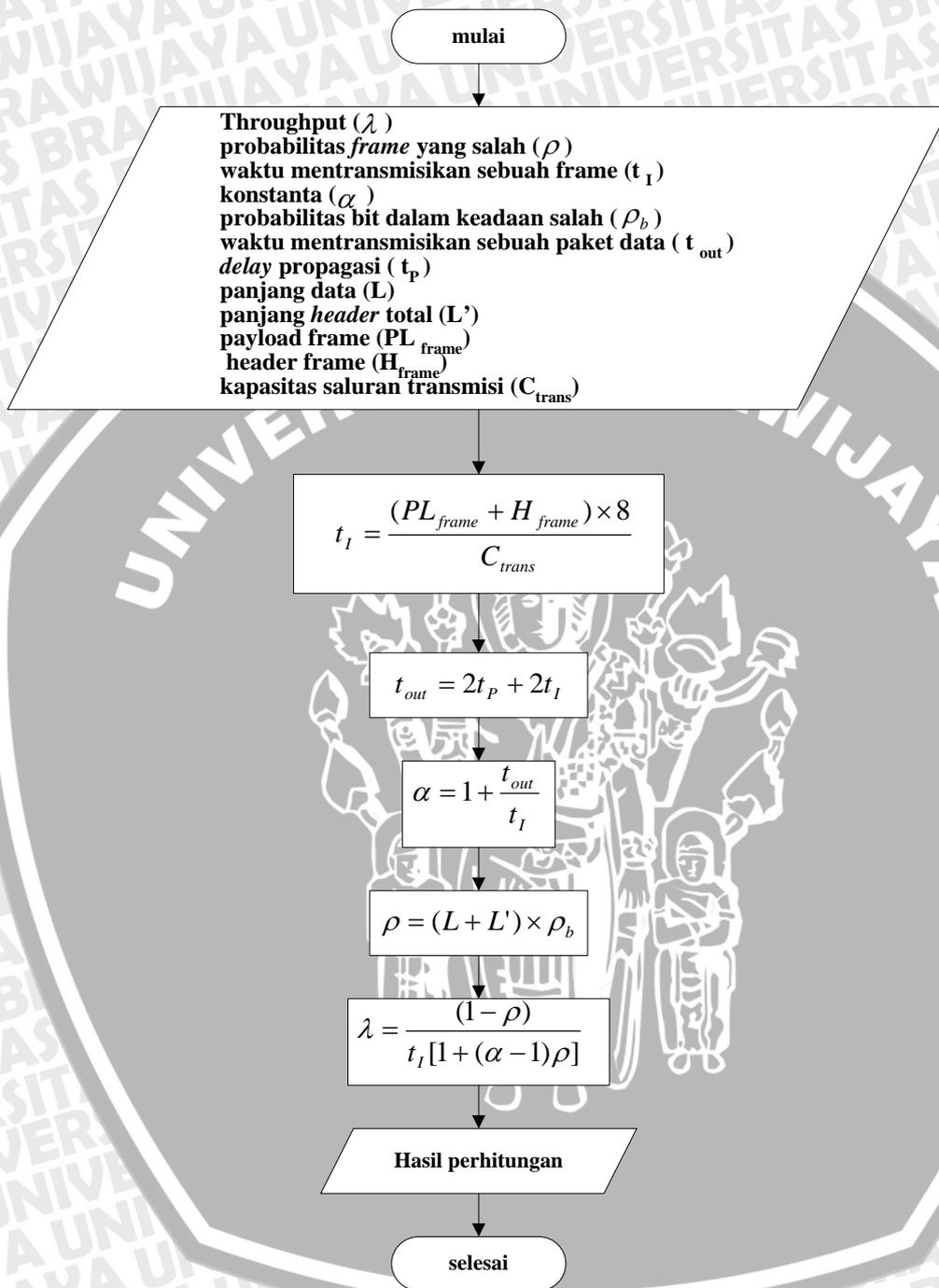
LAMPIRAN 1:

Diagram Alir Perhitungan *Delay End-to-end*



LAMPIRAN 2:

Diagram Alir Perhitungan *Throughput*



LAMPIRAN 3:

Analisis Integrasi WiFi pada Jaringan UMTS dengan Program *Matlab*

1. Analisis *Delay*

User berada pada jaringan UMTS

a) *Delay* enkapsulasi dan dekapsulasi

► GGSN

diketahui:

```
wdata=[10000 40000 60000 100000 2000000 4000000]; %sample data
hgtp=8; %header GTP
hudp=8; %header UDP
hip=40; %header IP
mss_ip=65535; %MSS IP
mtu_eth=1500; %MTU Ethernet
heth=14; %header Ethernet
fcs=4; %FCS
vggsn=10e9; %kecepatan transmisi data di GGSN
```

proses:

```
for d=1:1:6
    wsegmen(d)=wdata(d)+hgtp+hudp;
    if wsegmen(d)>mss_ip;
        n_ip=wsegmen(d)/mss_ip;
        wip=mss_ip+hip;
        wdatagram(d)=n_ip*wip;
    else
        wdatagram(d)=wsegmen(d)+hip;
    end
    if wdatagram(d)>mtu_eth;
        n_eth(wdatagram(d)/mtu_eth;
        weth=mtu_eth+heth+fcs;
        wggsn(d)=n_eth(d)*weth;
    else
        wggsn(d)=wdatagram(d)+heth+fcs;
    end
    t_e1(d)=(wggsn(d)*8)/vggsn;
end
```

► SGSN

diketahui:

```
vsgsn=1.25e9; %kecepatan transmisi data di SGSN
haal5=56; %header AAL5
payload_atm=48; %payload ATM
hatm=5; %header ATM
```

proses:

for e=1:1:6

```
t_d1(e)=(wgsn(e)*8)/vsgsn;
waal5(e)=wgsn(e)+hgt+hudp+hip+haal5;
n_atm(e)=waal5(e)/48;
watm=payload_atm+hatm;
wsgsn(e)=n_atm(e)*watm;
t_e2(e)=(wsgsn(e)*8)/vsgsn;
end
```

► **RAN**

diketahui:

```
vran=155.52e6; %kecepatan transmisi data di RAN
hpdc=1; %header PDCP
hrlc=2; %header RLC
hmac=3; %header MAC
crc=3; %CRC
payload_rlc=40; %payload RLC
payload_mac=42; %payload MAC
```

proses:

```
for f=1:1:6
t_d2(f)=(wgsn(f)*8)/vran;
wpdc(f)=wgsn(f)+hpdc;
n_rlc(f)=wpdc(f)/40;
wrlc=payload_rlc+hrlc;
wrlc_tot(f)=n_rlc(f)*wrlc;
n_mac(f)=wrlc_tot(f)/42;
wmac=payload_mac+hmac+crc;
wran(f)=n_mac(f)*wmac;
t_e3(f)=(wran(f)*8)/vran;
end
```

► **MS**

diketahui:

```
vms=384e3; %kecepatan data di MS
```

proses:

```
for g=1:1:6
t_d3(g)=(wran(g)*8)/vms;
end
```

► **Delay enkapsulasi dan dekapsulasi total**

proses:

```
for pros=1:1:6
t_etot(pros)=t_e1(pros)+t_e2(pros)+t_e3(pros);
```

```
t_dtot(pros)=t_d1(pros)+t_d2(pros)+t_d3(pros);
end
```

plot delay enkapsulasi total:

```
aa=[0 wdata]
aae=[0 t_etot]
plot(aa,aae)
```

plot delay dekapsulasi total:

```
aa=[0 wdata]
aad=[0 t_dtot]
plot(aa,aad)
```

b) Delay transmisi

diketahui:

```
veth=1e9; %kecepatan transmisi pada Gn interface
vlu=1e9; %kecepatan transmisi pada lu interface
vlub=155.52e6; %kecepatan transmisi pada lub interface
n=15; %jumlah slot tiap MS
vms=384e3; %kecepatan data
```

proses:

```
for h=1:1:6
t_t1(h)=(wggsn(h)*8)/veth;
t_t2(h)=(wsgsn(h)*8)/vlu;
t_t3(h)=(wran(h)*8)/vlub;
t_t4(h)=(wran(h)*8)/(n*vms);
t_ttot(h)=t_t1(h)+t_t2(h)+t_t3(h)+t_t4(h);
end
```

plot grafik delay transmisi total:

```
aa=[0 wdata]
aat=[0 t_ttot]
plot(aa,aat)
```

c) Delay propagasi

diketahui:

```
v=3e8; %cepat rambat gelombang elektromagnetik
r=400; %jarak node B ke MS
```

proses:

```
for i=1:1:6
t_p(i)=(n_mac(i)*r)/v;
end
```

plot grafik delay propagasi total:

```
aa=[0 wdata]
```

```
aap=[0 t_p]
plot(aa,aap)
```

d) *Delay antrian*

diketahui:

```
csgsn=1.25e9; %kecepatan transmisi pada pada SGSN
cran=155.52e6; %kecepatan transmisi pada RAN
uti=0.1:0.1:0.9; %faktor utilisasi
```

proses:

```
for j=1:1:6
    m_sgsn(j)=wsgsn(j)*8;
    m_ran(j)=wran(j)*8;
    kec_layanan_sgsn(j)=csgsn/m_sgsn(j);
    kec_layanan_ran(j)=cran/m_ran(j);
for k=1:1:9
    kec_kedatangan_sgsn(k)=uti(k)*kec_layanan_sgsn(j);
    kec_kedatangan_ran(k)=uti(k)*kec_layanan_ran(j);
    t_wsgsn(j,k)=((kec_kedatangan_sgsn(k)/kec_layanan_sgsn(j))/(kec_layanan_sgsn(j)-kec_kedatangan_sgsn(k)))+(1/kec_layanan_sgsn(j));
    t_wran(j,k)=((kec_kedatangan_ran(k)/kec_layanan_ran(j))/(kec_layanan_ran(j)-kec_kedatangan_ran(k)))+(1/kec_layanan_ran(j));
    t_wtot(j,k)=t_wsgsn(j,k)+t_wran(j,k);
    t_totalum(j,k)=t_etot(j)+t_dtot(j)+t_ttot(j)+t_p(j)+t_wtot(j,k);
end
end
```

plot grafik *delay antrian total*:

```
aut=[0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9]
aaw=t_wtot(1,:)
plot(aut,aaw)
```

plot grafik *delay total*:

```
aut=[0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9]
aatot=t_totalum(1,:)
plot(aut,aatot)
```

User berada pada jaringan WiFi

a) *Delay enkapsulasi dan dekapsulasi*

► HA

diketahui:

```
wdata=[10000 40000 60000 100000 2000000 4000000]; %sample data
hudp=8; %header UDP
hip=40; %header IP
mss_ip=65535; %MSS IP
mtu_eth=1500; %MTU Ethernet
```

```

heth=14;           %header Ethernet
fcs=4;             %FCS
veth=100.e6;      %kecepatan transmisi data di GGSN
    
```

proses:

```

for d=1:1:6;
    wsegmen(d)=wdata(d)+hudp;
    if wsegmen(d)>mss_ip;
        n_ip=wsegmen(d)/mss_ip;
        wip=mss_ip+hip;
        wdatagram(d)=n_ip*wip;
    else
        wdatagram(d)=wsegmen(d)+hip;
    end
    if wdatagram(d)>mtu_eth;
        n_eth(d)=wdatagram(d)/mtu_eth;
        weth=mtu_eth+heth+fcs;
        wtot(d)=n_eth(d)*weth;
    else
        wtot(d)=wdatagram(d)+heth+fcs;
    end
    t_e1(d)=(wtot(d)*8)/veth;
end
    
```

plot delay enkapsulasi:

```

bb=[0 wdata]
bbe=[0 t_e1]
plot(bb,bbe)
    
```

► **MS**

diketahui:

```

vwifi=11.e6;      %kecepatan transmisi data WiFi
    
```

proses:

```

for e=1:1:6
    t_d1(e)=(wtot(e)*8)/vwifi;
end
    
```

plot delay dekapsulasi:

```

bb=[0 wdata]
bbd=[0 t_d1]
plot(bb,bbd)
    
```

b) Delay Transmisi

diketahui:

```

veth=100.e6;      %kecepatan transmisi Ethernet
vwifi=11.e6;      %kecepatan transmisi data WiFi
    
```



proses:

```
for f=1:1:6
    t_t1(f)=(wtot(f)*8)/veth;
    t_t2(f)=(wtot(f)*8)/vwifi;
    t_ttot(f)=t_t1(f)+t_t2(f);
end
```

plot delay transmisi:

```
bb=[0 wdata]
bbt=[0 t_ttot]
plot(bb,bbt)
```

c) Delay Propagasi

diketahui:

```
d=100; %jarak antara AP dan MS
c=3e8; %cepat rambat gelombang elektromagnetik
vwifi=11.e6; %kecepatan transmisi data di WiFi
```

proses:

```
for g=1:1:6
    t_p(g)=d/c+((wtot(g)*8)/vwifi);
end
```

plot delay propagasi:

```
bb=[0 wdata]
bbp=[0 t_p]
plot(bb,bbp)
```

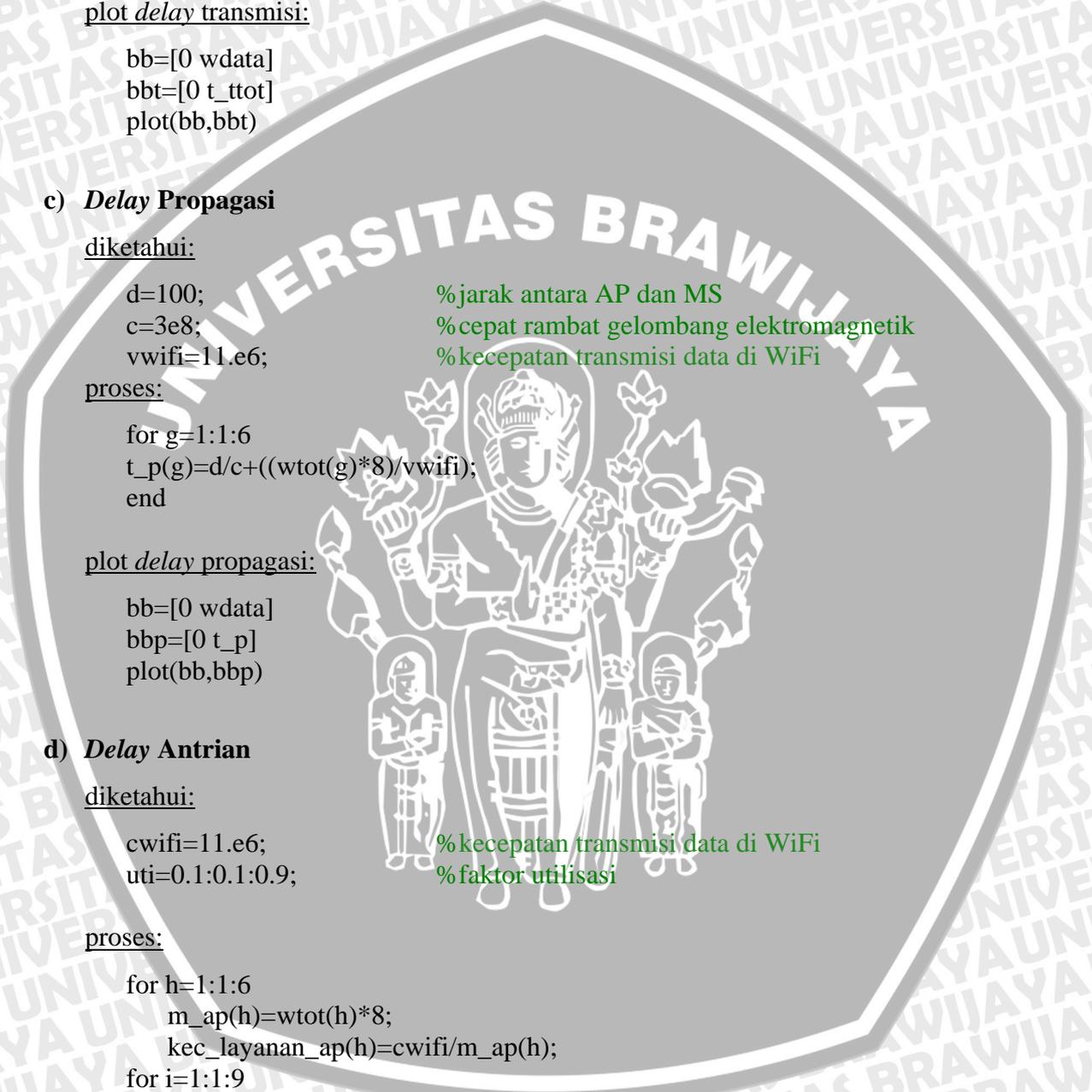
d) Delay Antrian

diketahui:

```
cwifi=11.e6; %kecepatan transmisi data di WiFi
uti=0.1:0.1:0.9; %faktor utilisasi
```

proses:

```
for h=1:1:6
    m_ap(h)=wtot(h)*8;
    kec_layanan_ap(h)=cwifi/m_ap(h);
    for i=1:1:9
        kec_kedatangan_ap(i)=uti(i)*kec_layanan_ap(h);
        t_wap(h,i)=((kec_kedatangan_ap(i)/kec_layanan_ap(h))/(kec_layanan_ap(h)-
            kec_kedatangan_ap(i)))+(1/kec_layanan_ap(h));
        t_total(h,i)=t_e1(h)+t_d1(h)+t_ttot(h)+t_p(h)+t_wap(h,i);
    end
end
```



plot grafik delay antrian total:

```
buti=0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9]
bbw=t_wap(1,:);
plot(buti,bbw)
```

plot grafik delay total:

```
buti=[0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9]
bbtot=t_total(1,:);
plot(buti,bbtot)
```

Delay End-to-end

proses:

```
t_endto=t_total+t_totalum;
```

plot grafik delay end-to-end:

```
buti=[0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9]
bbend=t_endto(1,:);
plot(buti,bbend)
```

2. Perhitungan Throughput

User berada pada jaringan UMTS

diketahui:

```
bit_er=1e-7;           %probabilitas bit salah UMTS
pay=42;                %payload MAC
head=6;                %header MAC+ CRC
ctrans=384e3;          %kecepatan transmisi data UMTS
```

proses:

```
for l=1:1:6
    t_i(l)=((pay+head)*8)/ctrans;
    t_out(l)=(2*t_p(l)+(2*t_i(l)));
    konst(l)=1+(t_out(l)/t_i(l));
    p(l)=(pay+head)*bit_er*8;
    throughputum(l)=((1-p(l))/(t_i(l)*(1+((konst(l)-1)*p(l)))))*pay*8;
end
```

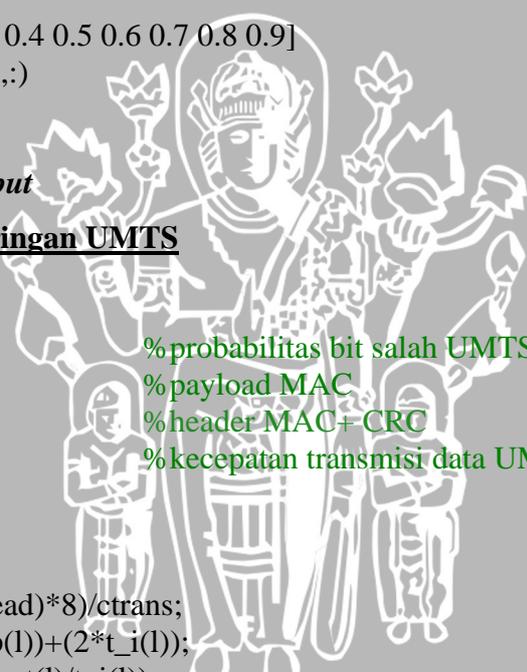
plot grafik throughput:

```
aa=[wdata]
aathr =[throughputum]
plot(aa,aathr)
```

User berada pada jaringan WiFi

diketahui:

```
bit_er=1e-12;          %probabilitas bit salah terintegrasi
```



```
pay=1500;
head=18;
ctrans=11e6;
```

```
%MTU Ethernet
%header Ethernet+ FCS
%kecepatan transmisi data WiFi
```

proses:

```
for j=1:1:6
    t_i(j)=((pay+head)*8)/ctrans;
    t_out(j)=(2*t_p(j)+(2*t_i(j)));
    konst(j)=1+(t_out(j)/t_i(j));
    p(j)=(pay+head)*bit_er*8;
    throughputwi(j)=((1-p(j))/(t_i(j)*(1+((konst(j)-1)*p(j)))))*pay*8;
end
```

plot grafik throughput:

```
bb=[wdata]
bbthr =[throughputwi]
plot(bb,bbthr)
```

