

BAB II TEORI DASAR

2.1 Perkembangan Wireless

Jaringan *wireless* memungkinkan orang melakukan komunikasi dan mengakses aplikasi dan informasi tanpa kabel (nirkabel). Hal ini dapat memberikan kebebasan bergerak dan kemampuan memperluas aplikasi ke berbagai bagian gedung, kota dan bahkan hampir seluruh tempat di dunia.

Seperti jaringan yang berbasis kabel, jaringan nirkabel membawa informasi di antara perangkat-perangkat komputer. Informasi tersebut bisa berupa pesan e-mail, file, halaman web, rekaman database, bahkan streaming video ataupun suara. Jaringan nirkabel memanfaatkan baik gelombang radio maupun sinar inframerah untuk berkomunikasi antara pengguna, server dan database^[1].

Beberapa jenis jaringan nirkabel dapat dikelompokkan sebagai berikut guna memenuhi kebutuhan pengguna yang berbeda-beda^[1]:

- *Personal-Area Network* (PAN) nirkabel, memiliki jangkauan relatif pendek (sekitar 15 meter) dan hanya efektif untuk memenuhi kebutuhan dalam ruang yang sempit atau lingkup pribadi. Performa PAN nirkabel termasuk sedang, dengan kecepatan transfer data mencapai 2 Mbps.
- *Local-Area Network* (LAN) nirkabel, memiliki jangkauan dalam suatu area terbatas, seperti di dalam atau di sekitar gedung perkantoran, pabrik dan perumahan. Performa LAN nirkabel termasuk tinggi dengan kecepatan transfer data mencapai 54 Mbps.
- *Metropolitan-Area Network* (MAN) nirkabel, mencakup wilayah seukuran kota. Dalam berbagai kasus, beberapa aplikasi mengharuskan sambungan tetap (*fixed connectivity*), namun beberapa implementasi memungkinkan mobilitas. Performa MAN nirkabel beragam. Koneksi yang menggunakan sinar inframerah di antara gedung-gedung dapat mencapai 100 Gbps, sedangkan sambungan radio yang menjangkau 20 mil hanya mampu menghasilkan 100 kbps. Namun performa sesungguhnya tergantung pada pemilihan jenis teknologi dan komponennya.

- *Wide-Area Network* (WAN) nirkabel, menawarkan aplikasi mobile yang menjangkau wilayah luas, seperti negara atau benua. Performa WAN nirkabel relatif rendah dengan kecepatan data mencapai 170 kbps sedangkan kecepatan normalnya adalah 56 kbps.

Tabel 2.1. memperlihatkan perbandingan ringkas bentuk-bentuk jaringan nirkabel tersebut. Setiap jenis jaringan nirkabel memiliki sifat yang saling memenuhi kebutuhan-kebutuhan yang berlainan.

Tabel 2.1. Perbandingan Jenis Jaringan Nirkabel ^[1]

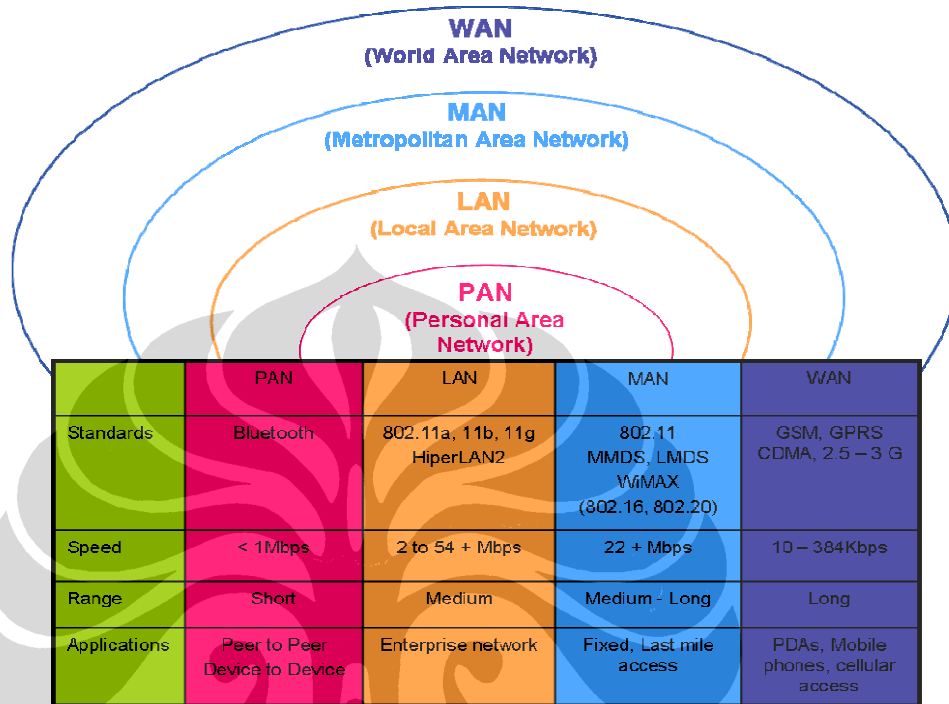
Jenis	Jangkauan	Performa	Standar	Aplikasi
PAN nirkabel	Dalam jangkauan perorangan	Sedang	Bluetooth, IEEE 802.15, IrDA	Menggantikan kabel pada periperal
LAN nirkabel	Di dalam/sekitar gedung	Tinggi	IEEE 802.11, Wi-Fi, dan HiperLAN	Perluasan mobile pada jaringan berkabel
MAN nirkabel	Dalam Kota	Tinggi	Paten, IEEE 802.16 dan WiMAX	Nirkabel tertentu di antara perumahan dan tempat bisnis serta internet
WAN nirkabel	Seluruh Dunia	Rendah	CDPD dan Selular 2G, 2,5G, 3G	Akses mobile ke Internet dari ruang outdoor

2.2. Broadband Wireless Access

Broadband Wireless Access (BWA) atau akses nirkabel pita lebar adalah teknologi akses yang dapat menawarkan akses data/internet berkecepatan tinggi dan berkemampuan menyediakan layanan kapan dan dimanapun (*anywhere anytime*) dengan menggunakan layanan nirkabel^[8]. Teknologi BWA sangat fleksibel, efisien dan solusi yang sangat efektif dari sisi biaya (*cost-effective solution*) dalam mengatasi problem akses broadband kabel (pada area pedesaan)^[3].

Teknologi BWA terkini adalah WiMAX (*Worldwide Interporability for Microwave Access*). WiMAX adalah teknologi broadband yang sangat menjanjikan di masa kini dan mendatang^[2]. Standar BWA yang saat ini umum diterima dan secara luas digunakan adalah standar yang dikeluarkan oleh Institute of Electrical and Electronics Engineering (IEEE), seperti standar 802.15 untuk

Personal Area Network (PAN), 802.11 untuk jaringan Wireless Fidelity (WiFi), dan 802.16 untuk jaringan Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX).



Gambar 2.1. Posisi Wimax diantara Jaringan Nirkabel ^[9]

2.3. WiMAX

WiMAX merupakan evolusi dari teknologi BWA sebelumnya dengan fitur-fitur yang lebih menarik. WiMAX merupakan sebuah standar untuk *Wireless Metropolitan Area Network* (WMAN) yang merupakan *air interface* untuk aplikasi BWA sebagai landasan untuk teknologi *wireless multimedia* generasi (4G)^[4].

Tabel 2.2. Perbandingan Perkembangan Teknologi Wireless ^[10]

	WiFi 802.11g	WiMAX 802.16- 2004*	WiMAX 802.16e	CDMA2000 1x EV-DO	WCDMA/ UMTS
Approximate max reach (dependent on many factors)	100 Meters	8 Km	5 Km	12 Km	12 Km
Maximum	54 Mbps	75 Mbps	30 Mbps	2.4 Mbps	2 Mbps (10+

<i>throughput</i>		(20 MHz band)	(10 MHz band)	(higher for EV-DV)	Mbps for HSDPA)
Typical Frequency bands	2.4 GHz	2-11 GHz	2-6 GHz	400,800,900,1700,1800,1900,2100 MHz	1800,1900,2100 MHz
Application	Wireless LAN	Fixed Wireless Broadband (eg-DSL alternative)	Portable Wireless Broadband	Mobile Wireless Broadband	Mobile Wireless Broadband

WiMAX memiliki kecepatan akses yang tinggi dengan jangkauan yang luas. WiMAX dapat melayani para subscriber, baik dalam posisi *Line Of Sight* - LOS (posisi perangkat-perangkat yang ingin berkomunikasi masih berada dalam jarak pandang yang lurus dan bebas dari penghalang apa pun di depannya) dengan BTS, maupun dalam posisi *Non-Line Of Sight* - NLOS.

WiMAX menyediakan transmisi non line-of-sight (NLOS) sampai 6-10 km (4-6 miles) untuk *Customer Premise Equipment (CPE) fixed*. Kemampuan NLOS pada WiMAX ditunjang oleh penerapan beberapa inovasi teknologi antara lain.^[9]

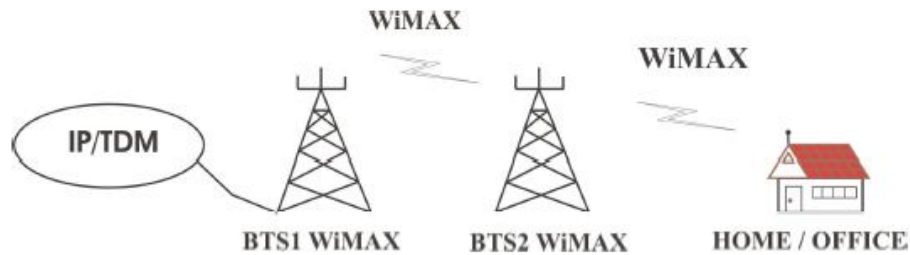
- Teknologi OFDM dan sub-kanalisasi (*sub-channelization*)
- Antena direksional (*directional antenna*)
- Diversitas pada transmitter dan receiver
- Modulasi adaptif dan teknik *error correction*
- Pengendalian daya

WiMAX juga merupakan teknologi dengan open standar. Dalam arti komunikasi perangkat WiMAX diantara beberapa vendor yang berbeda tetap dapat dilakukan (tidak *proprietary*).

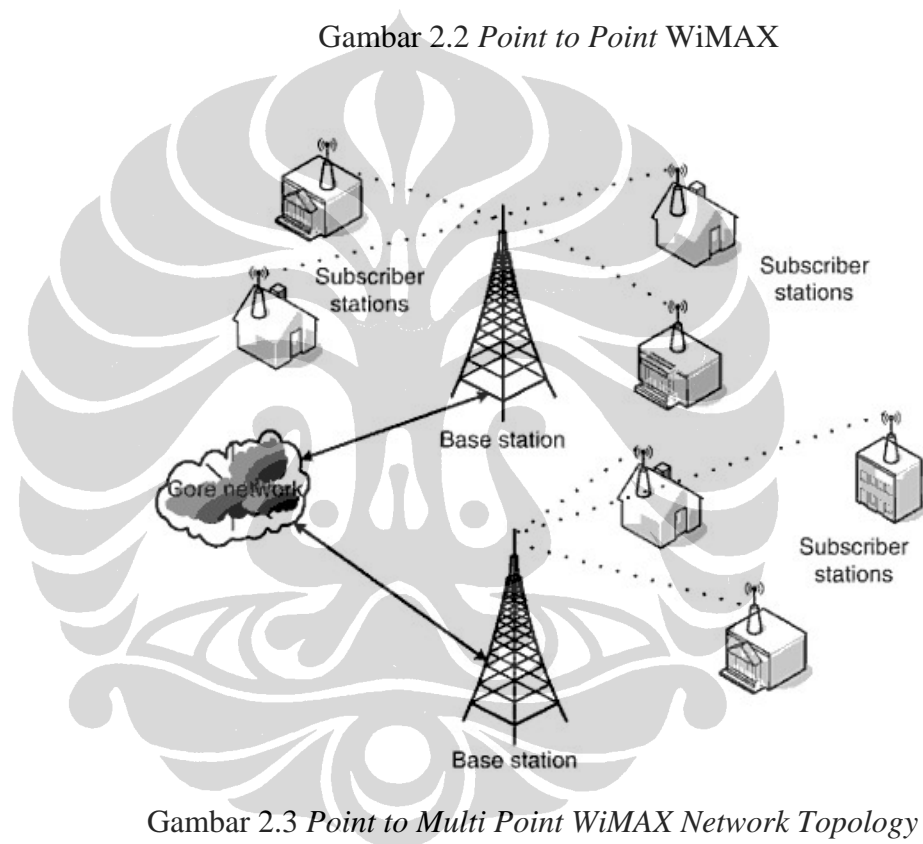
Topologi Jaringan

802.16 terbagi dalam 2 (dua) jaringan topologi WiMAX, yaitu *Point to Point* (PTP) dan *Point to Multipoint* (PMP). PTP merujuk kepada koneksi antara dua *node* yaitu terminal *Base Station Subscriber*. Pemakaian PTP ini tidak efisien dan sangat mahal, oleh karena itu hanya digunakan untuk melayani konsumen khusus yang memerlukan bandwidth yang amat sangat tinggi^[3]. Dalam topologi ini keseluruhan bandwidth yang tersedia digunakan untuk satu koneksi saja.

Pada PMP sekelompok terminal *Subscriber* terhubung secara sendiri-sendiri kepada terminal *Base Station*. Hal ini merupakan pilihan terbaik bagi pelanggan yang tidak memerlukan keseluruhan bandwidth yang disediakan *Base Station*.



Gambar 2.2 Point to Point WiMAX



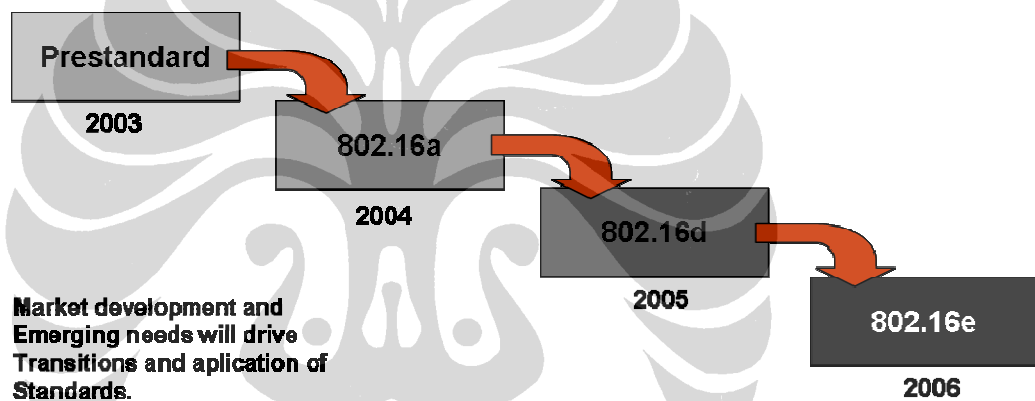
Gambar 2.3 Point to Multi Point WiMAX Network Topology^[3]

2.3.1. Standarisasi WiMAX

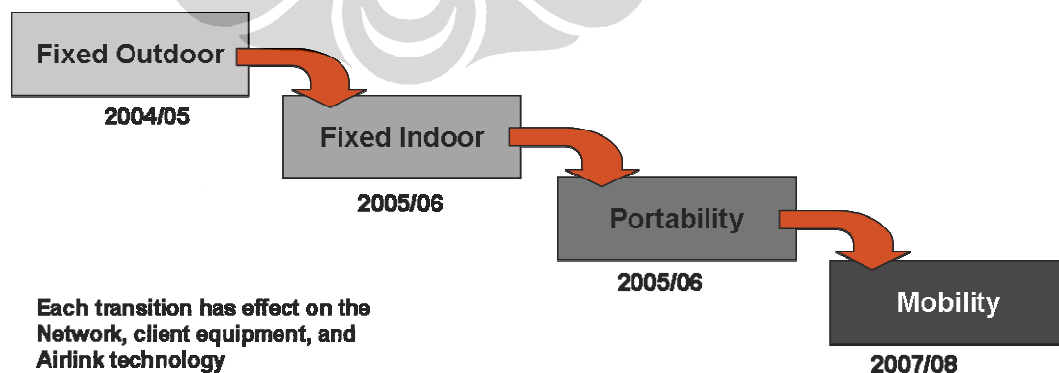
WiMAX merupakan standar internasional BWA yang mengacu kepada standar IEEE 802.16. Standar ini kemudian dikembangkan lebih lanjut oleh forum gabungan antar perusahaan-perusahaan dunia terkait (produsen produk-produk wireless, produsen chip, operator selular). Tujuan pengembangan standarisasi ini adalah membantu industri dalam menyediakan peralatan yang kompatibel dan dapat dioperasikan lintas segmen broadband dan mengkomersialkan produk-produk WiMAX^[3].

Pengembangan teknologi WiMAX terjadi secara evolutif dalam beberapa tahap. Standar IEEE 802.16 terbagi lagi dalam beberapa kategori yaitu : (i) IEEE 802.16a yaitu untuk standar BWA yang belum *open standard* atau biasa disebut dengan *Pre-WiMAX*. Selanjutnya standard ini mengalami pembaruan, menjadi versi 802.16b, 802.16c dan terakhir 802.16d (2004) untuk WiMAX *fixed/nomadic* yang telah open standard. Sedangkan perkembangan WiMAX terakhir adalah IEEE 802.16e yang telah diratifikasi pada tahun 2005 serta mendukung *portability* dan *mobility*. *Mobile WiMAX* (IEEE 802.16e) mempunyai kemampuan dalam mengoptimalkan kanal radio nirkabel yang dinamis^[11].

Berikut gambaran tentang evolusi dan perbandingan kemampuan standard WiMAX tersebut.



Gambar 2.4. Evolusi Standar WiMAX ^[9]



Gambar 2.5. Evolusi Kemampuan Mobilitas WiMAX ^[9]

Tabel 2.3. Perbandingan Standar WiMAX^[4]

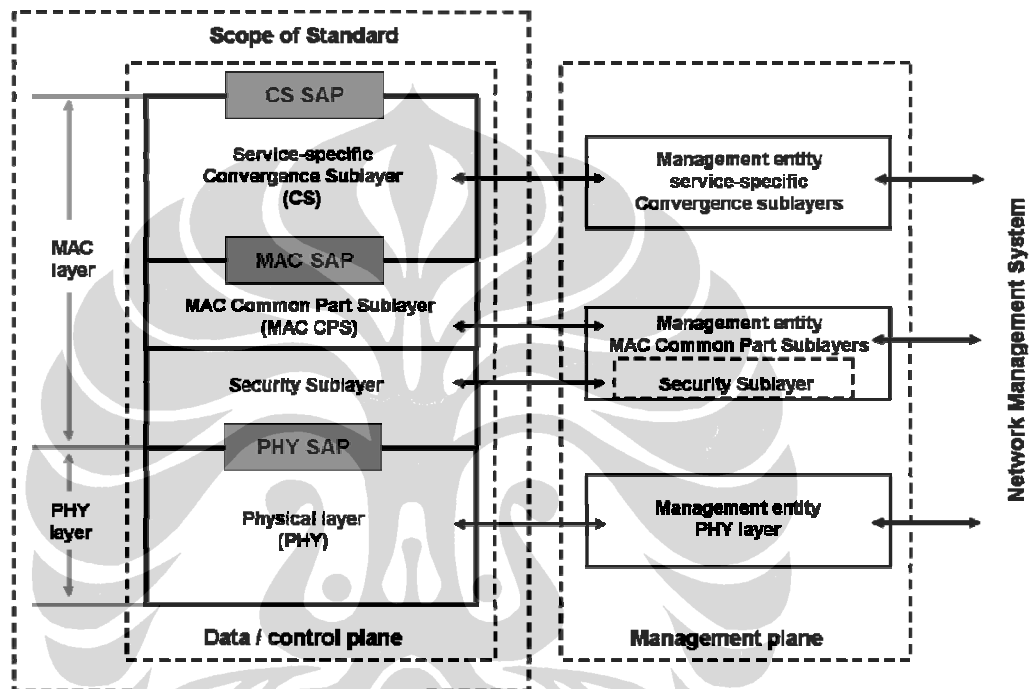
	802.16	802.16a	802.16 - 2004	802.16e
Frequency range	10 – 66 GHz	2 – 11 GHz	2 – 11, 10 – 66 GHz	2 – 6 GHz
Channel conditions	LOS only	NLOS	NLOS	NLOS
Channel BW	20, 25 and 28 MHz	1,25 – 28 MHz	1,25 – 28 MHz	1,25 – 20 MHz
Modulasi scheme	QPSK, 16QAM, 64 QAM	OFDM, QPSK, 16 QAM, 64 QAM	OFDM, QPSK, 16 QAM, 64 QAM	OFDM, QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Network architecture supported	PTP, PMP	PTP, PMP, mesh	PTP, PMP, mesh	PTP, PMP, mesh
Bit rate	32 – 134 Mbps	Up to 75 Mbps	Up to 75 Mbps	Up to 15 Mbps
Mobility	Fixed	Fixed	Fixed	Pedestrian, mobility – regional roaming, maximum mobility support 125 km/h
Typical cell radius	1 – 3 miles	Max range is 30 miles	Max range is 30 miles	1 - 3 miles
Application	Replacement of E1/ T1 services for enterprises, backhaul for hot spots, residential broadband access, SOHO (small office/home office)	Alternative to E1/T1, DSL, cable backhaul for cellular and WiFi, VoIP, internet connection	802.16 + 802.16a applications.	802.16 – 2004 + fixed VoIP, QoS based applications, and enterprise networking

Tabel 2.4. Aplikasi WiMAX^[4]

Class description	Application type	Bandwidth	Latency	Jitter	Packet loss
Interactive gaming	Interactive gaming	50 – 85 kbps	< 25 msec	N/A (not applicable)	0
VoIP, Video conference	VoIP	4 – 64 kbps	160 msec	< 50 msec	< 1 %
	Video phone	32 – 384 kbps	160 msec	< 50 msec	< 1 %
Streaming Media	Music / speech	5 – 126 kbps	N/A	< 100 msec	< 1 %
	Video clips	20 – 384 kbps		< 100 msec	audio,
	Movies streaming	> 2 Mbps		< 100 msec	< 2 % video
Information Technology	Instant messaging	< 250 byte messages	N/A	N/A	0
	Web browsing	> 500 kbps			
	Email (with attachment)	> 500 kbps			
Media content download	Bulk data, movie download Peer to peer	> 1 Mbps > 500 kbps	N/A	N/A	< 10 ⁻⁸

2.3.2. Struktur Layer

Karakteristik standar WiMAX ditentukan oleh spesifikasi teknis dari *PHY Layer* dan *MAC Layer*. *PHY Layer* menjalankan fungsi mengalirkan data di level fisik. Sedangkan *MAC Layer* berfungsi sebagai penterjemah protokol-protokol yang ada di atasnya seperti ATM dan IP. Perbedaan karakteristik kedua layer ini juga akan membedakan varian-variannya^[9].



Gambar 2.6. Struktur Layer WiMAX

- PHY Layer

Pada PHY Layer ini, fungsi-fungsi penting yang diatur adalah OFDM, sistem *duplex*, *adaptive modulation*, *variable error corection* dan *adaptive antenna system* (AAS). Teknologi OFDM memungkinkan komunikasi berlangsung dalam kondisi *multipath* LOS dan NLOS antara SS dan BS. Fitur PHY untuk sistem duplex pada standar WiMAX bisa diterapkan hanya FDD, TDD atau keduanya (FDD dan TDD). Penggunaan kanalnya dari 1.7 MHz sampai dengan 20 MHz.

- MAC

Protokol pada MAC didisain untuk aplikasi PMP (*Point to Multi Point*), dimana mekanisme pengalokasiannya dipersiapkan untuk menangani ratusan

terminal per kanal dan setiap terminal dimungkinkan lagi untuk penggunaan secara bersama (*sharing*) dengan beberapa pengguna akhir (*end user*). Digunakan dua jalur data berkecepatan tinggi untuk komunikasi dua arah antara BS (*Base Station*) dan SS (*Subscriber Station*), yaitu *Up Link* (UL) untuk komunikasi menuju BS dan *Down Link* (DL) untuk komunikasi dari BS.

MAC Layer memiliki peran penting dalam menentukan QoS dan algoritma penjadwalan. WiMAX MAC *Layer* dirancang untuk mendukung berbagai aplikasi dan servis yang mensyaratkan QoS *class* yang berbeda^[5].

MAC pada WiMax menggunakan metode akses yang berbasis algoritma penjadwalan (*scheduling algorithm*). Dengan algoritma penjadwalan ini, maka bila setelah sebuah terminal mendapat garansi untuk memperoleh sejumlah sumber daya (seperti *timeslot*), maka jaringan nirkabel akan terus memberikan sumber daya ini selama terminal membutuhkannya.

Teknologi Modulasi

IEEE 802.16 menggunakan skema *single-carrier modulation* dimana keseluruhan paket ditransmisikan secara *sequensial* melalui sebuah *single frequensi carrier*. Terdapat tiga skema modulasi yang didukung : QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), 16 QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) dan 64 QAM^[3].

Tabel 2.5. Skema Modulasi pada Kanal

Channel Size (MHz)	Bit Rate (Mbps)		
	QPSK	16 QAM	64 QAM
20	32	64	96
25	40	80	120
28	44.8	89.6	134.4

Source : Reprinted with permission from IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16 : Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, () IEEE 2002.

Phase Shift-Keying (PSK)

PSK membuat sedikit perubahan pada interval sinyal pembawa (melakukan pergeseran interval) – meskipun frekuensinya konstan - untuk menghadirkan informasi supaya dapat dirambatkan melalui udara^[1].

Quadrature phase-shift keying (QPSK)

QPSK ini sering dikenal sebagai *quaternary or quadriphase PSK*, 4-PSK, or 4-QAM. QPSK menggunakan 4 kode pada diagram konstelasi. Dengan 4 phase ini, QPSK bisa meng-encode 2 *bits per symbol*^[1].

Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

QAM menyebabkan amplitudo dan interval sinyal pembawa berubah dalam penggambaran pola data yang sering disebut juga simbol. Kelebihan QAM adalah kemampuannya untuk merepresentasikan sejumlah besar bit sebagai amplitudo tunggal maupun kombinasi interval^[1].

Di UK, 16 QAM dan 64 QAM saat ini digunakan pada *digital terrestrial television*^[12].

Teknologi Duplexing

IEEE 802.16 mendukung *Frequency Division Duplexing (FDD)* dan *Time Division Duplexing (TDD)*. FDD mensyaratkan dua kanal : satu untuk transmisi dan satu untuk penerima. TDD memakai satu kanal yang digunakan bersama untuk *Uplink* dan *Downlink* tetapi dipisahkan oleh *time slots* yang berbeda. FDD dirancang untuk trafik simetris dengan spektrum efisiensi yang rendah dan mahal tapi *delay* paling kecil. TDD mendukung trafik simetris maupun asimetris, paling baik dalam memakai frekuensi, tetapi tidak dapat mengirim dan menerima dalam waktu yang sama. FDD cocok untuk digunakan pada trafik suara, sedangkan TDD untuk transfer data^[3].

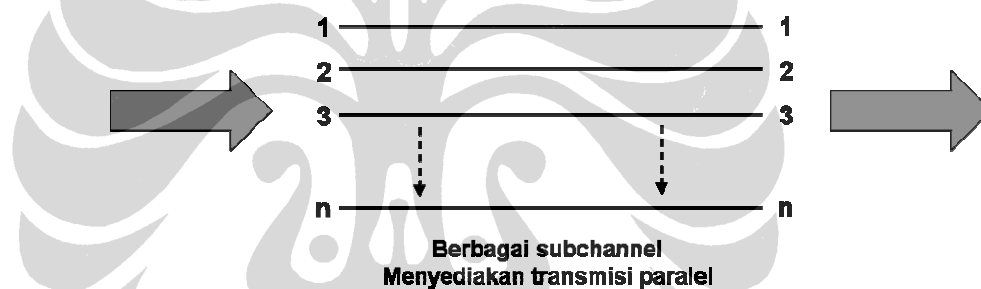
Teknologi Multiplexing

Teknologi *Multiplexing* yang digunakan IEEE 802.16 adalah *Time Division Multiplexing (TDM)* untuk kanal *Downlink* dan *Time Division Multiplexing Access (TDMA)* untuk kanal *Uplink*. Dalam TDM, *subscriber* berbagi frekuensi

band yang sama tetapi dialokasikan pada *time slots* yang berbeda. TDMA merupakan skema *multiple access* yang fleksible, dimana *time slots* bisa dialokasikan kepada *subscribers* sesuai dengan moda tetap atau *contention*^[3].

Teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM)

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) adalah kombinasi *multiplexing* dan modulasi. OFDM adalah teknik transmisi yang menggunakan beberapa frekuensi (*multicarrier*) yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Masing-masing sub-carrier (*narrowband*) kemudian dimodulasi dengan FSK, PSK atau QAM untuk menempati kanal tertentu. Pemakaian frekuensi yang saling orthogonal ini memungkinkan overlap antar frekuensi tanpa menimbulkan interferensi satu sama lain. OFDM populer untuk transmisi kecepatan tinggi^[1].



Gambar 2.7. Orthogonal Frequency Division Multiplexing

Keunggulan OFDM adalah^[9]:

- Efisiensi yang tinggi dalam penggunaan spektrum, dimana data kecepatan tinggi mampu dibawa oleh spektrum yang sangat sempit;
- Resistensi yang tinggi terhadap multipath dan frekuensi selektif fading sehingga sangat sesuai untuk kondisi NLOS

2.3.3. Quality of Service (QoS)

Pada WiMAX untuk mengatur QoS dapat dijalankan oleh *Medium Access Control* (MAC). MAC dapat menjalankan QoS dengan berbagai kebutuhan *bandwidth* dan aplikasi. Sebagai contoh aplikasi voice dan video memerlukan latency yang rendah tetapi masih dapat mentolerir beberapa error. Tetapi pada aplikasi pengiriman data berlaku sebaliknya, latency dapat ditoleransi tetapi tidak

dapat mentoleransi untuk error data. Kemampuan pengalokasian besarnya bandwidth pada suatu kanal frekuensi pada saat yang tepat pada WiMAX Merupakan mekanisme penting untuk menurunkan frekuensi dan meningkatkan QoS.

Terdapat 4 tipe service class yang disediakan oleh WiMAX (*by default*), dan pada varian 802.16e ditambahkan satu *class of service* lagi yaitu erTPS sehingga ada 5 *class* QoS. Empat tipe yang dimaksud meliputi sebagai berikut :

a. UGS (*Unsolicited Grant Service*)

UGS digunakan untuk layanan yang membutuhkan jaminan transfer data dengan prioritas paling utama. UGS ini memiliki karakteristik :

- Seperti halnya layanan CBR (*Constant Bit Rate*) pada ATM, yang dapat memberikan transfer data secara periodik dalam ukuran yang sama (*burst*).
- Untuk layanan-layanan yang membutuhkan jaminan *real-time*.
- Efektif untuk layanan yang sensitif terhadap *throughput*, *latency* dan *jitter* seperti layanan pada TDM (*Time Division Multiplexing*).
- Maximum dan minimum bandwidth yang ditawarkan sama.

b. *Real Time Polling Service (rtps)*

- Efektif untuk layanan yang sensitif terhadap *throughput* dan *latency* namun dengan toleransi yang lebih longgar bila dibandingkan dengan UGS.
- Untuk *real-time service flows*, *periodic variable size data packets* (*variable bit rate*).
- Garansi *rate* dan syarat *delay* telah ditentukan.

c. *Non-Real-Time Polling Service (nrtPS)*

- Efektif untuk aplikasi yang membutuhkan *throughput* yang intensif dengan garansi minimal pada *latency*-nya.
- Layanan *non real-time* dengan *regular variable size burst*.
- Layanan mungkin dapat di-*expand* sampai *full bandwidth* namun dibatasi pada kecepatan maksimum yang telah ditentukan.
- Garansi *rate* diperlukan namun *delay* tidak digaransi.

d. Best Effort (BE)

- Untuk trafik yang tidak membutuhkan jaminan kecepatan data (*best effort*).
- Tidak ada jaminan (*requirement*) pada *rate* atau *delay*-nya.

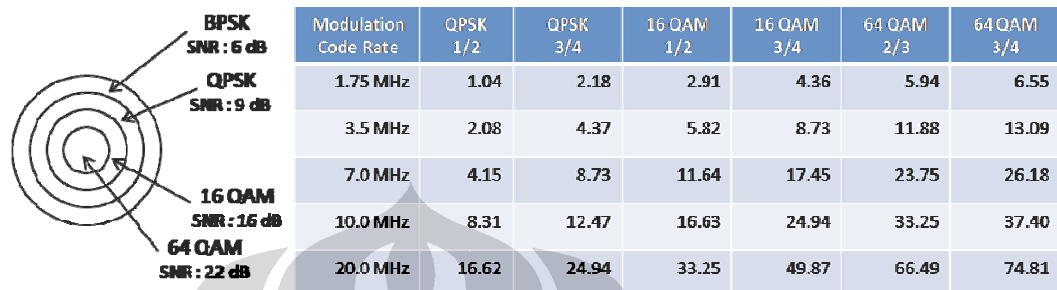
Tabel 2.6. Perbandingan Class QoS ^[4]

QoS Category	Applications	QoS Specifications
UGS Unsolicited Grant Service	VoIP	<ul style="list-style-type: none"> • Maximum Sustained Rate • Maximum Latency Tolerance • <i>Jitter</i> Tolerance
rtPS Real-Time Polling Service	Streaming Audio or Video	<ul style="list-style-type: none"> • Minimum Reserved Rate • Maximum Sustained Rate • Maximum Latency Tolerance • Traffic Priority
ErtPS Extended Real-Time Polling Service	Voice with Activity Detection (VoIP)	<ul style="list-style-type: none"> • Minimum Reserved Rate • Maximum Sustained Rate • Maximum Latency Tolerance • <i>Jitter</i> Tolerance • Traffic Priority
nrtPS Non Real-Time Polling Service	File Transfer Protocol (FTP)	<ul style="list-style-type: none"> • Minimum Reserved Rate • Maximum Sustained Rate • Traffic Priority
BE Best Effort	Data Transfer, Web Browsing, etc.	<ul style="list-style-type: none"> • Maximum Sustained Rate • Traffic Priority

Aspek lain yang tersedia pada QoS yang terdapat di WiMAX adalah *data rate manageability* dimana ditentukan oleh analisis link (*link by link basis*) antara *Base Station* dan *Subscriber Station*. Kuat sinyal antara *Base Station* dan *Subscriber Station* akan menentukan jumlah *data rate* yang mampu di-*deliver* ke sisi pelanggan. Besar kecilnya *data rate* tersebut didasarkan pada jenis modulasi yang tersedia (apakah 64 QAM, 16 QAM atau QPSK). Biasanya semakin jauh pelanggan (*subscriber*) dari *Base Station*, maka *data rate*-nya akan semakin kecil. Modulasi 64 QAM merupakan modulasi terbaik untuk mendukung *data rate* yang paling besar.

Adaptive modulation, secara efektif dapat mengatur keseimbangan kebutuhan bandwidth dan kualitas sambungan (*link quality*) atau biasanya diukur dengan Signal to Noise Ratio (SNR). Jika kualitas sinyal cukup baik, maka digunakan modulasi yang lebih tinggi untuk memberikan kapasitas bandwidth yang lebih besar. Jika kualitas link menurun, system modulasi digeser menjadi lebih rendah untuk menjaga kestabilan dan kualitas sambungan. Perpindahan modulasi dapat

diatur secara dinamis dari 64 QAM, 16 QAM, QPSK dan BPSK^[13]. Gambar 2.8. memperlihatkan hubungan relative antara radius jangkauan dengan system modulasi yang digunakan serta matrik kecepatan data pada berbagai kondisi pilihan system modulasi dan coding rate.



Gambar 2.8. Radius Relatif Terhadap Modulasi dan Matrik Kecepatan Data^[13]

2.3.4. Algoritma Penjadwalan

Algoritma Penjadwalan pada WiMAX ditentukan pada MAC. Standard IEEE 802.16 tidak menetapkan secara khusus algoritma penjadwalan yang akan digunakan. Operator dan vendor dapat memilih berbagai teknik penjadwalan umum yang telah ada, bahkan bisa mempersiapkan algoritma penjadwalannya sendiri yang diperuntukkan untuk WiMAX^[5].

Algoritma penjadwalan yang telah dikenal secara umum contohnya *Weighted Round Robin* (WRR), sedangkan algoritma penjadwalan yang khusus dipersiapkan untuk WiMAX contohnya *Temporary Removal Scheduler* (TRS)^[14].

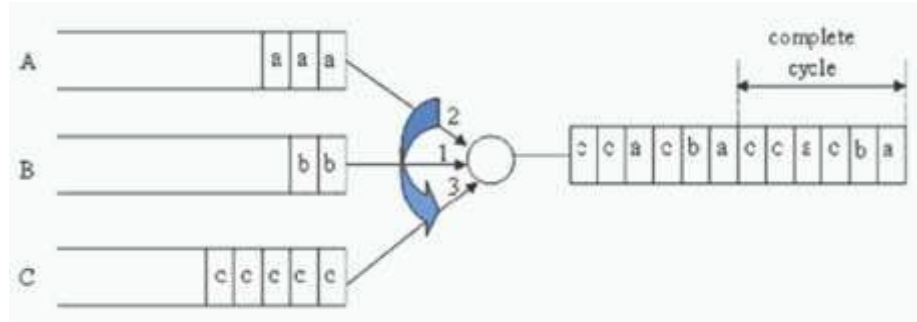
a. *Weighted Round Robin* (RR)

Weighted Round Robin (WRR) merupakan pengembangan dari algoritma RR.

WRR merupakan algoritma penjadwalan yang berdasarkan *static weight*.

Sebuah contoh algoritma WRR dapat dilihat pada Gambar 2.8. dibawah ini :

- 3 antrian A, B dan C
- Bobot ke tiga antrian A, B dan C sama yaitu 2, 1 dan 3 berturut-turut.



Gambar 2.9. Paket Antrian untuk Algoritma Penjadwalan WRR

Pada WiMAX, koneksi mempunyai parameter QoS yang berbeda dan Subscriber memakai MCS (Modulation and Coding Scheme) yang berbeda. Di samping itu, subscriber biasanya tidak memiliki trafik yang sama. Karena itu, koneksi tidak memerlukan pemakaian resources yang sama besar. Pemakaian WRR ini dianggap tepat diterapkan pada WiMAX karena nilai beban yang berbeda dapat ditentukan kepada antrian yang berbeda dengan mempertimbangkan permintaan layanan yang berbeda^[5].

b. Temporary Removal Scheduler (TRS)

Temporary Removal Scheduler (TRS) adalah salah satu algoritma penjadwalan yang dipersiapkan untuk WiMAX. TRS meliputi identifikasi *packet call power*, tergantung pada kondisi *radio*, dan kemudian secara temporer memindahkannya dari daftar penjadwalan pada *time period* T_R yang tepat. Daftar penjadwalan terdiri dari semua SS yang dapat dilayani pada frame berikutnya.

Ketika waktu T_R telah lewat, *temporarily removed packet* di cek kembali. Jika kondisi kanal radio telah membaik, paket akan di *topped up* dalam daftar penjadwalan sekali lagi, jika tidak proses diulang pada durasi T_R yang lain. Dalam kondisi yang kurang baik, keseluruhan proses akan diulang sampai L kali, *removel packet* ditambahkan pada daftar penjadwalan, tergantung pada kondisi kanal radio.

TRS ini dapat dikombinasikan dengan RR sehingga menjadi penjadwalan TRS_RR. Jika ada k *packet calls* dan hanya ada satu yang dipindah secara temporer, maka setiap *packet calls* memiliki porsi $= 1/(k-1)$ dari keseluruhan kanal yang tersedia^[5].

2.3.5. Parameter Kinerja

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kualitas performa layanan pada rtPS dengan algoritma penjadwalan WRR dan TRS_RR. Karena itu, dibutuhkan parameter-parameter QoS yang mendukung. Parameter yang akan diukur adalah *Throughput* dan *Jitter*.

a. *Throughput*

Throughput memiliki artian jumlah kerja yang dapat diselesaikan dalam satu unit waktu. Cara untuk mengekspresikan *throughput* adalah dengan jumlah job pemakai yang dapat dieksekusi dalam satu unit/interval waktu. Dalam sasaran penjadwalan proses, *throughput* adalah memaksimalkan jumlah job yang diproses per satu interval waktu. Lebih tinggi angka *throughput*, lebih banyak kerja yang dilakukan sistem^[15].

Throughput dinyatakan dalam rumus :

$$\text{Throughput} = \sum_{i=t_n}^{i=t_{n+1}} \text{packetSize}; 0 \leq n \leq t \dots\dots\dots 2.1.$$

b. *Jitter*

Jitter adalah gangguan pada komunikasi digital maupun analog yang disebabkan oleh perubahan sinyal karena referensi posisi waktu. Adanya *jitter* dapat mengakibatkan hilangnya data, terutama pada pengiriman data dengan kecepatan tinggi^[15].

Rumus *Jitter* dapat dilihat pada rumus dibawah ini^[16]:

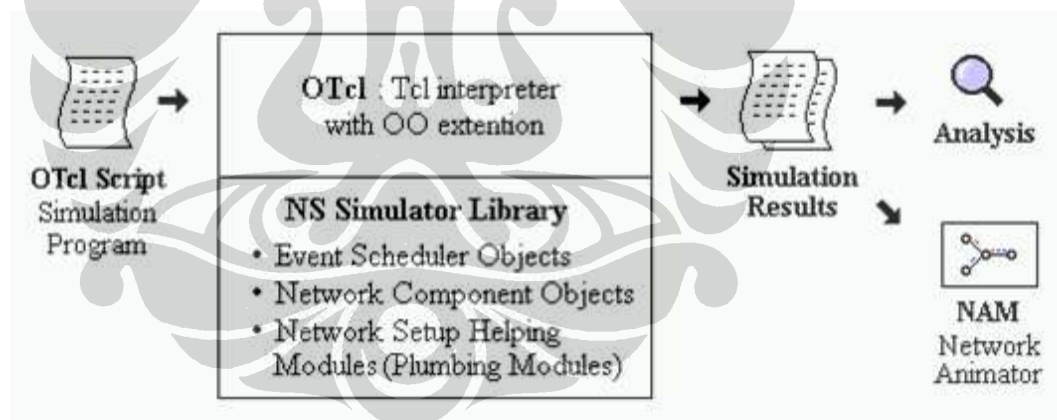
$$J(i) = J(i-1) + (|D(i-1,i)| - J(i-1)) / 16 \dots\dots\dots 2.2.$$

2.4. NS 2.29

Network Simulator-2 (NS-2) dikembangkan pertama kali tahun 1995 di *University of California Berkeley* yang didukung oleh DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*). NS-2 adalah aplikasi yang dapat mensimulasikan suatu jaringan sesuai dengan keadaan yang sebenarnya yang berjalan diatas *operating system* Unix/Linux.

Pada dasarnya NS-2 adalah *interpreter* Otcl dengan *objek library network simulation*. Simulator ini mendukung hirarki *class* dalam C++ (*compiled hierarchy*) dan hierarki *class* yang serupa pada interpreter Otcl (*interpreted hierarchy*). Dua hierarki ini saling terkait satu sama lain. *Root* dari hierarki ini adalah TclObject. *User* membuat obyek simulator (dari *class Simulator*) baru melalui *interpreter*, dan dicerminkan dengan obyek sebanding pada *compiled hierarchy*. Setelah obyek simulator dibuat, maka metode-metode untuk membuat topologi, node, dan komponen jaringan lainnya dipanggil.

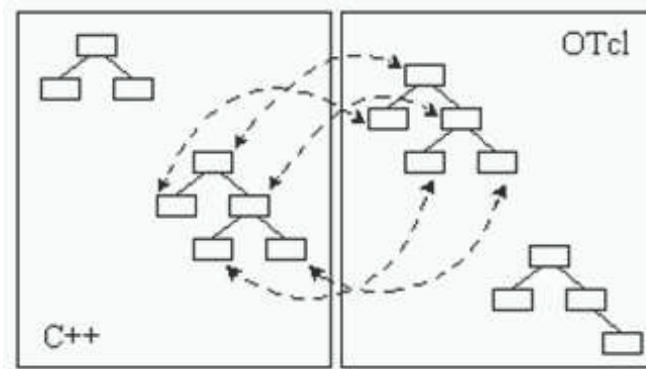
NS-2 juga merupakan simulator yang dipicu oleh event (*event-driven simulator*). Scheduler berjalan dengan cara mengeksekusi event berikutnya yang paling dahulu sampai selesai, kemudian kembali menjalankan event berikutnya. Walaupun jaringan berkomunikasi dengan melewati paket, namun itu tidak menghabiskan banyak waktu. Jika komponen yang dibuat memerlukan delay, maka digunakan event scheduler untuk menerbitkan event untuk paket tersebut dan menunggu event berhenti sebelum event berikutnya dijalankan. Flowchart sistem kerja NS secara global dapat dilihat pada gambar 2.9. dibawah ini.



Gambar 2.10. *Simplified User's View of NS* ^[17]

2.4.1. Komponen Pembangun NS-2

Pengetahuan tentang komponen pembangun NS dan letaknya akan sangat berguna dalam membangun simulasi. Komponen pembangun NS dapat dilihat pada gambar 2.10.



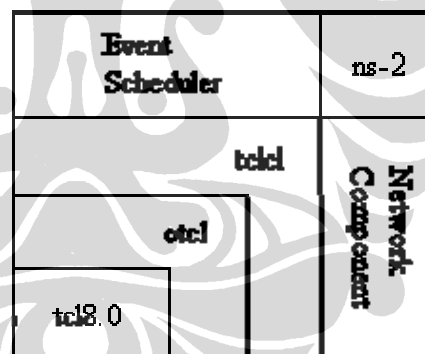
Keterangan :

Tcl : Tool command language Tclcl : Tcl/C++ Interface
 Otc : Object Tcl NS-2 : NS versi 2
 Tk : Tool Kit Nam : Network Animator

Gambar 2.11. C++ and OTcl: The Duality ^[17]

2.4.2. Hubungan Antar Komponen Pembangun NS-2

Deskripsi dibawah ini menunjukkan struktur umum hubungan antar komponen pembangun NS.



Gambar 2.12. Hubungan Antar Komponen Pembangun NS-2^[18]

Berdasarkan deskripsi pada gambar 3, pengguna NS-2 berada pada pojok kiri bawah, melakukan desain dan menjalankan simulasi dalam bahasa Tcl. Dalam simulasi, pengguna NS memanggil dan menggunakan objek simulator pada *library Otcl*. *Event scheduler* dan sebagian besar *network component* ini diakses oleh Otcl melalui Otcl *linkage* yang diimplementasikan dengan menggunakan Tclcl.

Contoh script dari NS-2 dapat dilihat seperti dibawah ini.

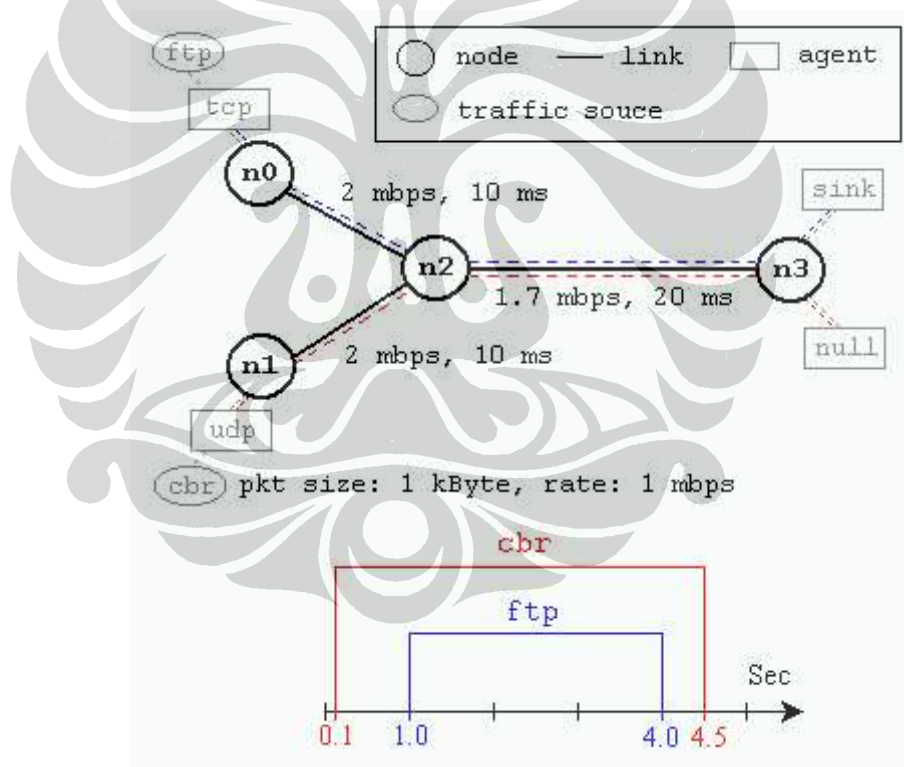
```

# Membuat node
set n0 [$ns node]
set n1 [$ns node]
set n2 [$ns node]
set n3 [$ns node]
# Menambahkan link
$ns duplex-link $n0 $n2 2Mb 10ms DropTail
$ns duplex-link $n1 $n2 2Mb 10ms DropTail
$ns duplex-link $n3 $n2 1.7Mb 20ms DropTail
# layout
$ns duplex-link-op $n0 $n2 orient right-down
$ns duplex-link-op $n1 $n2 orient right-up
$ns duplex-link-op $n2 $n3 orient right
# right(0), right-up(45), right-down(315), left(180),
# left-up(135),left-down(225), up(90), down(270)

```

Gambar 2.13. Contoh script dari NS-2

Kemudian dari script itu apabila dilihat di simulasi NS-2, maka hasilnya akan tampak seperti Gambar 2.13. berikut.

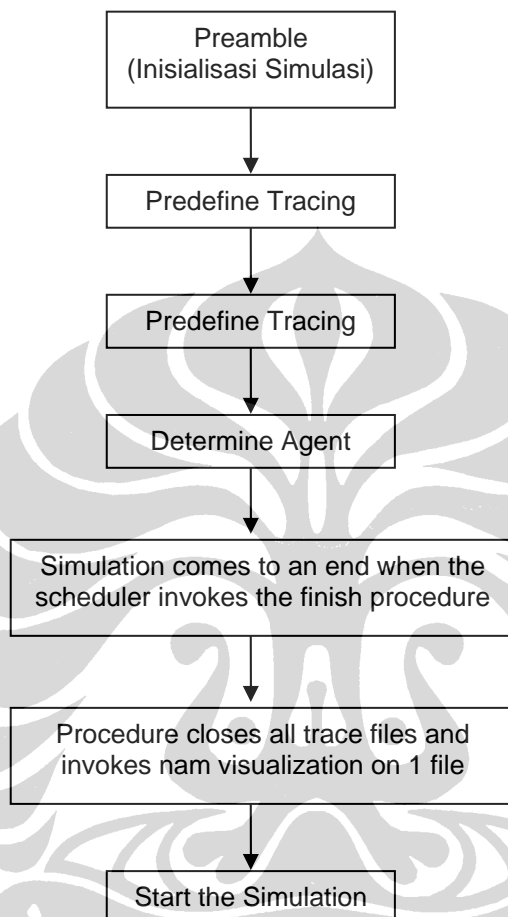


Gambar 2.14. Contoh Simulasi Topologi Jaringan ^[18]

2.4.3. Cara Membuat dan Menjalankan Script NS

Script simulasi dibuat dengan menggunakan program teks editor dan disimpan dalam folder dengan nama file *extensoin* .tcl (contoh : tcp.tcl). Untuk menjalankan *script* yang telah dibuat, user harus masuk ke dalam folder tersebut dan mengetikkan "ns" serta nama file tcl simulasi yang ingin dijalankan. Jika

dilakukan perintah `'ns filename.tcl'` (contoh: `#ns Tcp.tcl`, maka NS akan melakukan eksekusi terhadap file `'filename.tcl'` dengan flowchart seperti terlihat pada gambar 2.14. dibawah ini



Gambar 2.15. Flowchart pada `'ns filename.tcl'` [18]

2.4.4. File Trace

File trace merupakan pencatatan seluruh *event* (kejadian) yang dialami oleh suatu simulasi paket pada simulasi yang dibangun. Pembuatan *file trace* dilakukan dengan memanggil obyek *trace* pada *library*. Sama seperti file *nam*, pembuatan output *trace file* dinyatakan pada inisialisasi simulasi.

Agar hasil simulasi dapat dianalisa dan ditampilkan dalam bentuk grafik, maka dapat dilakukan *record* atau parsing terhadap *trace file* untuk mengambil data yang benar-benar diperlukan.