

**PERFORMANSI *AUTOMATIC REPEAT REQUEST* (ARQ) PADA
PENGENDALIAN KESALAHAN DALAM KOMUNIKASI DATA**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan

Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

SAMSUL ARIF

NIM. 0710630038 - 63

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2012

LEMBAR PERSETUJUAN

PERFORMANSI *AUTOMATIC REPEAT REQUEST* (ARQ) PADA
PENGENDALIAN KESALAHAN DALAM KOMUNIKASI DATA

SKRIPSI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

SAMSUL ARIF
NIM. 0710630038 - 63

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Erfan Achmad Dahlan, Ir., MT.
NIP. 19530714 198203 1 003

Rusmi Ambarwati, ST., MT.
NIP. 19720204 200003 2 002

LEMBAR PENGESAHAN

**PERFORMANSI *AUTOMATIC REPEAT REQUEST* (ARQ) PADA
PENGENDALIAN KESALAHAN DALAM KOMUNIKASI DATA**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:
SAMSUL ARIF
NIM. 0701630038-63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 25 April 2012

DOSEN PENGUJI

Sigit Kusmaryanto, Ir., M Eng.
NIP. 19700310 199412 1 001

Gaguk Asmungi, ST., MT.
NIP. 19670627 199802 1 001

Ali Mustofa, ST., MT.
NIP. 19710601 200003 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Sholeh Hadi Pramono, Dr., Ir., MS.
NIP. 19580728 198701 1 001

PENGANTAR

Alhamdulillah, segenap puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Performansi *Automatic Repeat Request* (ARQ) pada Pengendalian Kesalahan dalam Komunikasi Data” yang diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik. Tidak lupa pula shalawat serta salam selalu penulis sampaikan kepada junjungan besar Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita menuju ke jalan yang terang.

Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyelesaian skripsi ini, yaitu :

1. Keluarga tercinta,
Ibunda Sri Banowati, Ayahanda M. Suwadi, kakak sepupuku Arie nuraini dan suaminya Dery Nugraha, *Budheku* Mulyati serta kakek dan nenekku H. Maskur dan H. Siti Rohmah yang selalu memberikan doa, kasih sayang, semangat, dukungan dan kepercayaan yang tiada akhir hingga hari ini.
2. Bapak Erfan Achmad Dahlan, Ir., MT., dan Ibu Rusmi Ambarwati, ST.,MT. selaku dosen pembimbing skripsi yang banyak memberikan saran, konsultasi, kesabaran, dan waktu.
3. Bapak Sholeh Hadi Pramono, Dr., Ir., MS. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Bapak M. Aziz Muslim, ST. MT., Ph.D, selaku sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
4. Bapak Hery Purnomo, Ir., MT. Dan Bapak Goegoes Dwi Nusantoro, ST, MT. selaku dosen penasehat akademik selama kuliah yang banyak memberikan pengarahan serta bimbingan akademik.
5. Bapak dan Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro.
6. Sahabat-sahabatku, *Playmate* Dota 07, Live, Uniqe, Titan, teman-teman renang, Team Travian, anak-anak kos maupun kontrakan dan temen-temen *aslab* yang suka aku repotin, teman-teman sharing modem internet, *core-wan* dan *core-wati* yang suka bagi-bagi ilmu, bagi-bagi tugas kuliah, dan keluarga besar Angkatan 2007 (core) terima kasih atas persahabatan, semangat, dan untuk segalanya.
7. Dan untuk semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari adanya kekurangan dan ketidak sempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk kelengkapan dan kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi rekan-rekan mahasiswa.

Malang, April 2012

Penulis



DAFTAR ISI

halaman	
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
ABSTRAK	xiii
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 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Konsep Komunikasi Data Lapis Data Link	5
2.1.1 Model Sistem Komunikasi.....	5
2.1.2 Konsep Komunikasi Data Lapis Data Link.....	6
2.1.3 Komunikasi Data Lapis <i>Data Link</i>	9
2.2 Pengendalian Kesalahan ARQ.....	16
2.2.1 Umum	16
2.2.2 Pengendalian Kesalahan	16
2.2.3 ARQ.....	17
2.2.4 Perhitungan <i>Delay</i> dan Efisiensi.....	22
2.3 Jaringan <i>Local Area Network</i> (LAN).....	30
2.3.1 Umum	30
2.3.2 Standar Jaringan <i>Local Area Network</i> (LAN)	31

2.3.3	Media Transmisi	32
2.3.4	<i>Ethernet</i>	33
2.4	Jaringan <i>Metropolitan Area Network</i> (MAN)	38
2.4.1	Umum	38
2.4.2	ATM.....	39
2.4.3	Sel-Sel ATM.....	40
2.5	Standar <i>Error</i>	42
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		44
3.1	Studi Literatur	44
3.2	Pengambilan Data.....	44
3.3	Perhitungan dan Analisis Data.....	44
3.4	Pengambilan Kesimpulan dan Saran	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		49
4.1	Umum	49
4.2	Analisis Performansi <i>Automatic Repeat Request</i> (ARQ) pada LAN.....	49
4.2.1	Analisis Performansi <i>Stop and Wait</i> ARQ pada LAN.....	50
4.2.2	Analisis Performansi <i>Go Back- N</i> ARQ pada LAN.....	51
4.2.3	Analisis Performansi <i>Selective Reject</i> ARQ pada LAN	53
4.3	Analisis Performansi <i>Automatic Repeat Request</i> (ARQ) pada MAN.....	56
4.3.1	Analisis Performansi <i>Stop and Wait</i> ARQ pada MAN.....	57
4.3.2	Analisis Performansi <i>Go Back- N</i> ARQ pada MAN	57
4.3.3	Analisis Performansi <i>Selective Reject</i> ARQ pada MAN.....	60
4.4	Analisis Utilitas <i>Stop and Wait</i> ARQ pada Hubungan LAN dan MAN.....	64
4.4.1	Analisis Utilitas Mengubah Parameter BER	64
4.4.1.1	Analisis Utilitas Mengubah Parameter BER pada LAN	64
4.4.1.2	Analisis Utilitas Mengubah Parameter BER pada MAN	65
4.4.2	Analisis Utilitas Mengubah Parameter <i>d</i>	65
4.4.2.1	Analisis Utilitas Mengubah Parameter <i>d</i> pada LAN	65
4.4.2.2	Analisis Utilitas Mengubah Parameter <i>d</i> pada MAN.....	66
4.5	Analisis Utilitas <i>Selective Reject</i> ARQ pada Hubungan LAN dan MAN	66
4.5.1	Analisis Utilitas Mengubah Parameter BER	66
4.5.1.1	Analisis Utilitas Mengubah Parameter BER pada LAN	67

4.5.1.2	Analisis Utilitas Mengubah Parameter BER pada MAN	67
4.5.2	Analisis Utilitas Mengubah Parameter d	68
4.5.2.1	Analisis Utilitas Mengubah Parameter d pada LAN	68
4.5.2.2	Analisis Utilitas Mengubah Parameter d pada MAN	69
4.5	Analisis Utilitas <i>Selective Reject</i> ARQ pada Hubungan LAN dan MAN	66
4.5.1	Analisis Utilitas Mengubah Parameter BER	66
4.5.1.1	Analisis Utilitas Mengubah Parameter BER pada LAN	67
4.5.1.2	Analisis Utilitas Mengubah Parameter BER pada MAN	67
4.5.2	Analisis Utilitas Mengubah Parameter d	68
4.5.2.1	Analisis Utilitas Mengubah Parameter d pada LAN	68
4.5.2.2	Analisis Utilitas Mengubah Parameter d pada MAN	69
4.6	Analisis Utilitas <i>Go Back- N</i> ARQ pada Hubungan LAN dan MAN.....	70
4.6.1	Analisis Utilitas Mengubah Parameter BER	70
4.6.1.1	Analisis Utilitas Mengubah Parameter BER pada LAN	70
4.6.1.2	Analisis Utilitas Mengubah Parameter BER pada MAN	71
4.6.2	Analisis Utilitas Mengubah Parameter d	72
4.6.2.1	Analisis Utilitas Mengubah Parameter d pada LAN	72
4.6.2.2	Analisis Utilitas Mengubah Parameter d pada MAN.....	73
4.7	Analisis <i>Delay</i> ARQ pada hubungan LAN dan MAN.....	81
4.7.1	Analisis <i>Delay</i> ARQ pada hubungan LAN.....	81
4.7.2	Analisis <i>Delay</i> ARQ pada hubungan MAN	88
BAB V	PENUTUP	94
5.1	Kesimpulan	94
5.2	Saran	96
DAFTAR PUSTAKA	97
LAMPIRAN	98

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Daftar Tugas Komunikasi.....	6
Tabel 2.2	IEEE 802.3 10-Mbps Physical Layer Medium Alternatives	35
Tabel 2.3	IEEE 802.3 100-Mbps Physical Layer Medium Alternatives	35
Tabel 4.1	Hasil Analisis BER terhadap N_r <i>Stop and Wait</i> ARQ pada LAN.....	51
Tabel 4.2	Hasil Analisis BER terhadap N_r <i>Go Back- N</i> ARQ ($W=3$) pada LAN.....	51
Tabel 4.3	Hasil Analisis d terhadap N_r <i>Go Back- N</i> ARQ ($W=3$) pada LAN.....	52
Tabel 4.4	Hasil Analisis BER terhadap N_r <i>Go Back- N</i> ARQ ($W=8$) pada LAN	52
Tabel 4.5	Hasil Analisis d terhadap N_r <i>Go Back- N</i> ARQ ($W =8$) pada LAN	53
Tabel 4.6	Hasil Analisis BER terhadap N_r <i>Selective Reject</i> ARQ pada LAN	53
Tabel 4.7	Hasil Analisis BER terhadap N_r pada LAN untuk masing-masing ARQ	53
Tabel 4.8	Hasil Analisis d terhadap N_r pada LAN untuk masing-masing ARQ.....	54
Tabel 4.9	Hasil Analisis BER terhadap N_r pada LAN dengan <i>Go Back- N</i> ARQ untuk masing-masing Window.....	54
Tabel 4.10	Hasil Analisis BER terhadap N_r <i>Stop and Wait</i> ARQ pada MAN.....	57
Tabel 4.11	Hasil Analisis BER terhadap N_r <i>Go Back- N</i> ARQ ($W=3$) pada MAN	58
Tabel 4.12	Hasil Analisis d terhadap N_r Metode <i>Go Back- N</i> ARQ ($W=3$) pada MAN	59
Tabel 4.13	Hasil Analisis BER terhadap N_r Metode <i>Go Back- N</i> ARQ ($W=8$) pada MAN.....	59
Tabel 4.14	Hasil Analisis d terhadap N_r Metode <i>Go Back- N</i> ARQ ($W=8$) pada MAN	60
Tabel 4.15	Hasil Analisis BER terhadap N_r <i>Selective Reject</i> ARQ pada MAN	60
Tabel 4.16	Hasil Analisis BER terhadap N_r pada MAN untuk masing-masing ARQ	60
Tabel 4.17	Hasil Analisis d terhadap N_r pada MAN untuk masing-masing ARQ.....	61
Tabel 4.18	Hasil Analisis BER terhadap N_r pada MAN dengan <i>Go Back- N</i> ARQ untuk masing-masing Window.....	61
Tabel 4.19	Hasil Analisis d terhadap N_r pada MAN dengan <i>Go Back- N</i> ARQ untuk masing-masing Window	61
Tabel 4.20	Hasil Analisis BER terhadap Utilitas <i>Stop and Wait</i> ARQ pada LAN.....	64

Tabel 4.21	Hasil Analisis BER terhadap Utilitas <i>Stop and Wait</i> ARQ pada MAN	65
Tabel 4.22	Hasil Analisis <i>d</i> terhadap Utilitas <i>Stop and Wait</i> ARQ pada LAN	65
Tabel 4.23	Hasil Analisis <i>d</i> terhadap Utilitas <i>Stop and Wait</i> ARQ pada MAN	66
Tabel 4.24	Hasil Analisis BER terhadap Utilitas <i>Selective Reject</i> ARQ ($W = 3$) pada LAN	67
Tabel 4.25	Hasil Analisis BER terhadap Utilitas <i>Selective Reject</i> ARQ ($W = 8$) pada LAN	67
Tabel 4.26	Hasil Analisis BER terhadap Utilitas <i>Selective Reject</i> ARQ ($W = 3$) pada MAN	68
Tabel 4.27	Hasil Analisis BER terhadap Utilitas <i>Selective Reject</i> ARQ ($W = 8$) pada MAN	68
Tabel 4.28	Hasil Analisis <i>d</i> terhadap Utilitas <i>Selective Reject</i> ARQ ($W = 3$) pada LAN	69
Tabel 4.29	Hasil Analisis <i>d</i> terhadap Utilitas <i>Selective Reject</i> ARQ ($W = 8$) pada LAN	69
Tabel 4.30	Hasil Analisis <i>d</i> terhadap Utilitas <i>Selective Reject</i> ARQ ($W = 3$) pada MAN	69
Tabel 4.31	Hasil Analisis <i>d</i> terhadap Utilitas <i>Selective Reject</i> ARQ ($W = 8$) pada MAN	70
Tabel 4.32	Hasil Analisis BER terhadap Utilitas <i>Go Back- N</i> ARQ ($W = 3$) pada LAN	71
Tabel 4.33	Hasil Analisis BER terhadap Utilitas <i>Go Back- N</i> ARQ ($W = 8$) pada LAN	71
Tabel 4.34	Hasil Analisis BER terhadap Utilitas <i>Go Back- N</i> ARQ ($W = 3$) pada MAN	72
Tabel 4.35	Hasil Analisis BER terhadap Utilitas <i>Go Back- N</i> ARQ ($W = 8$) pada MAN	72
Tabel 4.36	Hasil Analisis <i>d</i> terhadap Utilitas <i>Go Back- N</i> ARQ ($W = 3$) pada LAN	73
Tabel 4.37	Hasil Analisis <i>d</i> terhadap Utilitas <i>Go Back- N</i> ARQ ($W = 8$) pada LAN	73
Tabel 4.38	Hasil Analisis <i>d</i> terhadap Utilitas <i>Go Back- N</i> ARQ ($W = 3$) pada MAN	73

Tabel 4.39	Hasil Analisis d terhadap Utilitas <i>Go Back- N ARQ</i> ($W = 8$) pada MAN 74	
Tabel 4.40	Hasil Analisis BER terhadap <i>Delay total Stop and Wait ARQ</i> pada LAN untuk frame tunggal.....	81
Tabel 4.41	Hasil Analisis BER terhadap <i>Delay total Go Back- N ARQ</i> pada LAN untuk frame tunggal.....	82
Tabel 4.42	Hasil Analisis d terhadap <i>Delay total Go Back- N ARQ</i> pada LAN untuk frame tunggal.....	82
Tabel 4.43	Hasil Analisis BER terhadap <i>Delay total Selective Reject ARQ</i> pada LAN untuk frame tunggal.....	82
Tabel 4.44	Hasil Analisis Ukuran Data terhadap <i>Delay total Stop and Wait ARQ</i> pada LAN	86
Tabel 4.45	Hasil Analisis Ukuran Data terhadap <i>Delay total Go Back- N ARQ</i> pada LAN.....	86
Tabel 4.46	Hasil Analisis Ukuran Data terhadap <i>Delay total Selective Reject ARQ</i> pada LAN	86
Tabel 4.47	Hasil Analisis BER terhadap <i>Delay total Stop and Wait ARQ</i> pada MAN untuk frame tunggal.....	88
Tabel 4.48	Hasil Analisis BER terhadap <i>Delay total Go Back- N ARQ</i> pada MAN untuk frame tunggal.....	89
Tabel 4.49	Hasil Analisis d terhadap <i>Delay total Go Back- N ARQ</i> pada MAN untuk frame tunggal.....	89
Tabel 4.50	Hasil Analisis BER terhadap <i>Selective Reject ARQ</i> ARQ pada MAN untuk frame tunggal.....	89
Tabel 4.51	Hasil Analisis Ukuran Data terhadap <i>Delay total Stop and Wait ARQ</i> pada MAN	92
Tabel 4.52	Hasil Analisis Ukuran Data terhadap <i>Delay total Go Back- N ARQ</i> pada MAN.....	92
Tabel 4.53	Hasil Analisis Ukuran Data terhadap <i>Delay total Selective Reject ARQ</i> pada MAN	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Blok diagram umum sistem komunikasi	5
Gambar 2.2	Model Referensi OSI	7
Gambar 2.3a	Komunikasi maya	10
Gambar 2.3b	Komunikasi sebenarnya.....	10
Gambar 2.4	Prinsip kerja <i>Stop-and-Wait Flow Control</i>	13
Gambar 2.5	Penggunaan jalur <i>Stop and Wait</i>	14
Gambar 2.6	Gambaran jendela pergeseran.....	16
Gambar 2.7	<i>Stop and wait</i> ARQ.....	18
Gambar 2.8	<i>Go Back-N</i> ARQ.....	21
Gambar 2.9	<i>Selective Reject</i> ARQ.....	22
Gambar 2.10	Kondisi jendela terhadap waktu rambat.....	27
Gambar 2.11	Hubungan Model Referensi OSI dan IEEE 80	31
Gambar 2.12	Hubungan Format <i>Frame</i> 802.3 dan <i>Ethernet</i>	37
Gambar 2.13	Arsitektur protokol ATM.....	40
Gambar 2.14	Format <i>Frame</i> ATM	41
Gambar 3.1	<i>Flowchart delay</i> LAN.....	45
Gambar 3.2	<i>Flowchart delay</i> MAN.....	46
Gambar 3.3	Digram <i>Flowchart</i> Utilitas <i>Stop and wait</i> ARQ	46
Gambar 3.4	<i>Flowchart</i> Utilitas <i>Selective Reject</i> ARQ	47
Gambar 3.5	<i>Flowchart</i> Utilitas <i>Selective Reject</i> ARQ	47
Gambar 4.1	<i>Frame</i> 802.3 <i>Ethernet</i>	49
Gambar 4.2	Hubungan jumlah transmisi frame yang diharapkan (N_r) terhadap BER (<i>Bit Error Rate</i>) pada LAN.....	54
Gambar 4.3	Hubungan jumlah transmisi frame yang diharapkan (N_r) terhadap panjang media transmisi pada LAN.....	55
Gambar 4.4	Format <i>Frame</i> ATM	56
Gambar 4.5	Hubungan jumlah transmisi frame yang diharapkan (N_r) terhadap BER (<i>Bit Error Rate</i>) pada MAN	62
Gambar 4.6	Hubungan jumlah transmisi frame yang diharapkan (N_r) terhadap panjang media transmisi pada MAN	63
Gambar 4.7	Hubungan Utilitas masing-masing ARQ terhadap BER (<i>Bit Error</i>	

	Rate) pada LAN	74
Gambar 4.7a	Hubungan Utilitas <i>Stop and Wait</i> ARQ terhadap BER (<i>Bit Error Rate</i>) pada LAN.....	75
Gambar 4.7b	Hubungan Utilitas <i>Selective Reject</i> ARQ dan <i>Go Back-N</i> ARQ terhadap BER (<i>Bit Error Rate</i>) pada LAN	75
Gambar 4.8	Hubungan Utilitas masing-masing ARQ terhadap panjang media transmisi pada LAN	76
Gambar 4.8a	Hubungan Utilitas <i>Selective Reject</i> ARQ dan <i>Go Back-N</i> ARQ terhadap panjang media transmisi pada LAN.....	77
Gambar 4.9	Hubungan Utilitas masing-masing ARQ terhadap BER (<i>Bit Error Rate</i>) pada MAN.....	78
Gambar 4.9a	Hubungan Utilitas <i>Stop and Wait</i> ARQ terhadap BER (<i>Bit Error Rate</i>) pada MAN.....	78
Gambar 4.9b	Hubungan Utilitas <i>Selective Reject</i> ARQ dan <i>Go Back-N</i> ARQ ARQ (dengan ukuran window = 3) terhadap BER (<i>Bit Error Rate</i>) pada MAN.....	79
Gambar 4.9c	Hubungan Utilitas <i>Selective Reject</i> ARQ dan <i>Go Back-N</i> ARQ ARQ untuk $W = 5$ dan $W = 8$ terhadap BER (<i>Bit Error Rate</i>) pada MAN	79
Gambar 4.10	Pengaruh Hubungan Utilitas masing-masing ARQ terhadap panjang media transmisi pada MAN	80
Gambar 4.11	Mekanisme <i>Sliding Window</i> dengan $W \geq 2a + 1$	84
Gambar 4.12	Mekanisme <i>Sliding Window</i> dengan $W < 2a + 1$	85
Gambar 4.13	Hubungan delay total masing-masing ARQ terhadap ukuran data pada LAN	87
Gambar 4.14	Hubungan delay total masing-masing ARQ terhadap ukuran data pada MAN.....	93

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	<i>Listing Program Matlab Menghitung Pengaruh BER (Bit Error Rate) terhadap Nr (jumlah transmisi frame yang diharapkan) pada LAN</i>	98
Lampiran 2	<i>Listing Program Matlab Menghitung Pengaruh d (Panjang Media Transmisi) terhadap Nr (jumlah transmisi frame yang diharapkan) pada LAN.....</i>	99
Lampiran 3	<i>Listing Program Matlab Menghitung Pengaruh BER (Bit Error Rate) terhadap Nr (jumlah transmisi frame yang diharapkan) pada MAN</i>	100
Lampiran 4	<i>Listing Program Matlab Menghitung Pengaruh d (Panjang Media Transmisi) terhadap Nr (jumlah transmisi frame yang diharapkan) pada MAN.....</i>	101
Lampiran 5	<i>Listing Program Matlab Menghitung Pengaruh BER (Bit Error Rate) terhadap Nr Utilitas pada LAN</i>	102
Lampiran 6	<i>Listing Program Matlab Menghitung Pengaruh d (Panjang Media Transmisi) terhadap Utilitas pada LAN.....</i>	104
Lampiran 7	<i>Listing Program Matlab Menghitung Pengaruh BER (Bit Error Rate) terhadap Nr Utilitas pada MAN</i>	106
Lampiran 8	<i>Listing Program Matlab Menghitung Pengaruh d (Panjang Media Transmisi) terhadap Utilitas pada MAN.....</i>	108
Lampiran 9	<i>Listing Program Matlab Menghitung Pengaruh S (Ukuran Data) terhadap Delay Total pada LAN.....</i>	110
Lampiran 10	<i>Listing Program Matlab Menghitung Pengaruh S (Ukuran Data) terhadap Delay Total pada MAN.....</i>	112
Lampiran 11	<i>Error Detection CRC (Cyclic Redudancy Check)</i>	114

ABSTRAK

SAMSUL ARIF, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, April 2012, *Performansi Automatic Repeat Request (ARQ) pada Pengendalian Kesalahan dalam Komunikasi Data*, Dosen Pembimbing : Erfan Achmad Dahlan, Ir., MT. dan Rusmi Ambarwati, ST., MT.

Pentransmisian *frame* adalah hal yang harus diperhatikan dalam untuk membangun sistem komunikasi data yang handal. Dalam penerapannya, pentransmisian *frame* ini diatur oleh suatu metode atau mekanisme yang disebut *Automatic Repeat Request (ARQ)*. Terdapat tiga jenis ARQ yang telah distandarkan, yaitu *Stop and Wait ARQ*, *Go Back- N ARQ*, dan *Selective Reject ARQ*. Ketiga jenis ARQ ini memiliki teknik pentransmisian *frame* yang berbeda sehingga ketiganya juga memiliki performansi yang berbeda.

Alasan inilah yang mendasari pembuatan penelitian ini yaitu mengenai pengaruh penggunaan metode ARQ terhadap kinerja transmisi data pada hubungan LAN dan MAN yang meliputi parameter BER, panjang media transmisi, *delay* transmisi, dan *delay* propagasi.

Untuk dapat mengetahui pengaruh penggunaan metode ARQ terhadap kinerja transmisi data pada hubungan LAN dan MAN, dengan parameter yang akan dibandingkan yakni *delay* dan utilitas, maka diperlukan beberapa parameter meliputi BER, panjang media transmisi, ukuran *frame*, *delay* transmisi, dan *delay* propagasi, kemudian dilakukan analisis mengenai besarnya parameter yang didapat terhadap metode ARQ yang berbeda dan melakukan simulasi ke dalam bentuk grafis.

Hasil analisis membuktikan bahwa pada hubungan LAN dan MAN, semakin besar BER, maka *delay* akan semakin besar dan nilai utilitas akan semakin kecil. Sedangkan penambahan panjang media transmisi menyebabkan penambahan *delay* dan penurunan nilai utilitas. Dari ketiga metode ARQ, *Selective reject ARQ* memiliki *delay* yang paling kecil dan nilai utilitas yang terbesar dibandingkan kedua metode ARQ lainnya pada hubungan LAN dan MAN. *GoBack-N ARQ* memiliki nilai *delay* dan utilitas yang sedikit lebih rendah dibandingkan *Selective Reject ARQ*. Sedangkan *Stop and Wait ARQ* memiliki *delay* terbesar dan nilai utilitas terkecil. Untuk metode ARQ dengan *sliding window* seperti *Selective reject ARQ* dan *GoBack-N ARQ*, penggunaan ukuran *window* yang lebih besar akan menyebabkan penurunan *delay* dan menaikkan nilai utilitas.

Kata Kunci : ARQ, *frame*, *delay*, BER, panjang media transmisi, LAN, MAN

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi komunikasi data terus berkembang dengan pesat, seiring dengan kebutuhan manusia akan akses informasi yang tidak hanya mudah dan cepat tetapi juga akurat. Oleh karena itu, kemampuan teknologi komunikasi data untuk menjamin keakuratan informasi atau data yang diakses menjadi salah satu hal yang harus diperhatikan dalam membangun sistem komunikasi yang handal.

Data yang ditransmisikan pada setiap jaringan komunikasi dipecah menjadi beberapa bagian yang disebut dengan *frame*. Keakuratan *frame* yang diterima oleh tujuan menjadi proses yang penting untuk menentukan keakuratan data secara keseluruhan. Pada lapis *data link* dalam OSI (*Open System Interconnection*), terdapat suatu metode pendeteksian dan perbaikan kesalahan yang terjadi pada pentransmisi *frame*. Metode tersebut adalah pengendalian kesalahan (*error control*).

Dalam teknik *error control* terdapat mekanisme *error detection*, *positive acknowledgment*, *retransmission after timeout*, *negative acknowledgment* dan *retransmission*. Secara keseluruhan, semua mekanisme ini disebut sebagai ARQ (*Automatic Repeat Request*). ARQ mengubah data link yang tidak handal menjadi handal. Terdapat 3 versi ARQ yang telah distandarkan yaitu *Stop and Wait ARQ*, *Go Back- N ARQ*, dan *Selective Reject ARQ*. (William Stalling, 2007)

Ketiga jenis ARQ ini memiliki teknik yang berbeda sehingga akan memiliki performansi yang berbeda dalam pentransmisi data. Seberapa besar pengaruh performansi tersebut menjadi pembahasan pada skripsi ini. Pembahasan dititikberatkan pada kerja sistem dari setiap metode ARQ pada hubungan LAN dan hubungan MAN secara sederhana, dimana kedua hubungan tersebut umum digunakan dalam komunikasi data saat ini. Karena kesederhanaan kedua hubungan itulah performansi dari *Stop and Wait ARQ*, *Go Back- N ARQ*, dan *Selective Reject ARQ* dapat lebih mudah dibandingkan..

1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang telah diuraikan dalam latar belakang maka rumusan masalah ditekankan pada :

1. Bagaimana pengaruh *delay* (meliputi *delay* transmisi dan *delay* propagasi) terhadap hubungan LAN menggunakan mekanisme ARQ (*Stop and Wait* ARQ, *Go Back- N* ARQ, dan *Selective Reject* ARQ) dengan probabilitas *error* yang berbeda?
2. Bagaimana pengaruh *delay* (meliputi *delay* transmisi dan *delay* propagasi) terhadap hubungan MAN menggunakan mekanisme ARQ (*Stop and Wait* ARQ, *Go Back- N* ARQ, dan *Selective Reject* ARQ) dengan probabilitas *error* yang berbeda?
3. Bagaimana pengaruh utilitas terhadap hubungan LAN dan MAN menggunakan mekanisme *Stop and Wait* ARQ dengan probabilitas *error* yang berbeda?
4. Bagaimana pengaruh utilitas terhadap hubungan LAN dan MAN menggunakan mekanisme *Selective Reject* ARQ dengan probabilitas *error* yang berbeda?
5. Bagaimana pengaruh utilitas terhadap hubungan LAN dan MAN menggunakan mekanisme *Go Back- N* ARQ dengan probabilitas *error* yang berbeda?

1.3 Ruang Lingkup

Berdasarkan perumusan masalah di atas maka pembahasan dibatasi pada :

1. Parameter ARQ yang akan dibahas adalah *delay* (meliputi *delay* propagasi dan *delay* transmisi) dan utilitas.
2. Pembahasan tidak meliputi *error detection*.
3. Teknik ARQ yang digunakan adalah *Stop and Wait* ARQ, *Go Back- N* ARQ, dan *Selective Reject* ARQ.
4. Teknik ARQ diterapkan pada hubungan LAN dan MAN.
5. Analisis data dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab 7.

1.4 Tujuan

Penulisan Skripsi ini bertujuan untuk mengetahui performansi transmisi pada hubungan LAN dan MAN jika diterapkan metode ARQ (Stop and Wait ARQ, Go Back-N ARQ, dan Selective Reject ARQ) dengan menganalisis parameter delay (meliputi delay propagasi dan delay transmisi) dan utilitas.

1.5 Kontribusi

Adapun kontribusi yang dapat diberikan dengan penulisan skripsi ini, yakni dapat digunakan sebagai bahan pembelajaran mengenai probabilitas *error* dan dampaknya pada komunikasi data khususnya pada LAN dan MAN.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dan gambaran untuk setiap bab pada skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Memuat tentang latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, kontribusi, dan sistematika penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Membahas pengertian dan prinsip dasar ARQ dan jenis-jenis ARQ. Berisi uraian mengenai LAN dan MAN beserta protokol yang digunakan dilengkapi dengan format *frame* protokol yang digunakan dan dilengkapi standar *error* pada LAN dan MAN sesuai standar *error* ANSI dan AF-PHY-0015.000 ATM *Forum standard*

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi metode penelitian analisis data dan perhitungan *delay* dan utilitas dari ketiga metode ARQ yang berbeda yakni *Stop and Wait ARQ*, *Go Back- N ARQ*, dan *Selective Reject ARQ*

BAB IV PEMBAHASAN DAN HASIL

Bab ini berisi mengenai metode ARQ dan perhitungan *delay* propagasi, *delay* transmisi (*delay frame*), serta utilitas dari *Stop and Wait ARQ*, *Go Back- N ARQ*, dan *Selective Reject ARQ* dengan memberikan nilai *error* (kesalahan yang berbeda). Ketiga metode ARQ ini akan diterapkan pada hubungan LAN dan MAN

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran yang diperoleh dari analisis perhitungan yang telah dilakukan serta pemberian saran-saran.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

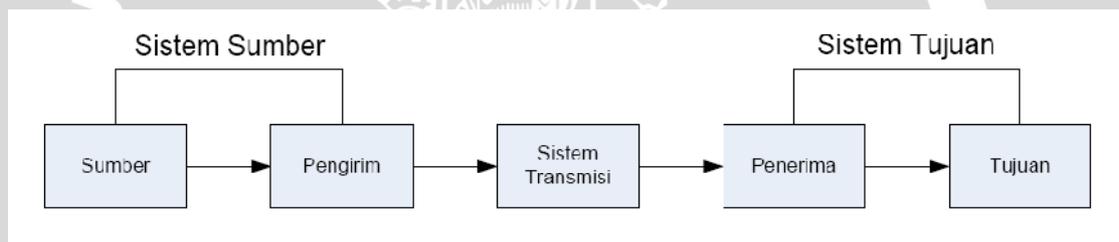
2.1 Konsep Komunikasi Data Lapis Data Link

2.1.1 Model Sistem Komunikasi

Kegunaan pertama dari sistem komunikasi adalah menjalankan pertukaran data antara dua pihak. Data yang dikirim dari sumber diwakili oleh sinyal-sinyal listrik di sepanjang jalur transmisi. Untuk itu dibutuhkan suatu aturan yang harus diterapkan pada sistem komunikasi agar setiap data yang dikirim bisa sampai ke tujuan.

Aturan ini harus mampu menciptakan suatu sistem komunikasi yang dapat diandalkan (*reliable*) dan efisien antara dua mesin yang berdekatan. Kedekatan ini diartikan sebagai dua mesin yang secara fisik terhubung oleh sebuah saluran komunikasi yang secara konseptual bekerja seperti halnya pada kabel.

Model sistem komunikasi sederhana diilustrasikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 . Blok diagram umum sistem komunikasi.

(Sumber : Stallings, 2007)

Dari blok diagram pada Gambar 2.1 dapat digambarkan bagaimana suatu data dikirim dari sumber ke tujuan. Suatu data informasi pertama kali dibangkitkan oleh blok Sumber. Sumber bisa merupakan manusia (pada komunikasi telepon) atau mungkin sebuah komputer (pada suatu jaringan komputer). Setiap data yang dibangkitkan tidak dapat langsung dikirimkan, hal ini dikarenakan setiap data harus melalui seperangkat proses terlebih dahulu agar dapat ditransmisikan pada sistem transmisi. Proses yang dialami di bagian blok Pengirim bergantung kepada sistem transmisi yang akan menyalurkan data ke penerima.

Blok Sistem Transmisi dapat berupa jalur transmisi tunggal (*single transmission line*) atau jaringan kompleks (*complex network*). Setelah melewati blok Sistem Transmisi, data akan masuk ke blok Penerima. Proses kebalikan dari blok Pengirim terjadi pada blok Penerima. Setelah melewati proses di blok Penerima, data kemudian dapat diterima oleh blok tujuan.

Perkembangan komunikasi data menyebabkan proses sederhana tersebut mengandung kerumitan dari segi teknis. Sehingga dibutuhkan model sistem komunikasi yang lebih baik khususnya untuk komunikasi data. Model tersebut harus mampu menjelaskan dengan lebih baik tentang tugas-tugas kunci dalam komunikasi seperti pada Tabel 1.

Tabel 2.1 Daftar Tugas Komunikasi

Utilisasi Sistem Transmisi	Pengalamatan
Antar muka	Perutean
Pembangkit sinyal	Pemulihan
Sinkronisasi	Pembentukan pesan
Manajemen pertukaran	Pengamanan
Pendeteksian dan perbaikan kesalahan	Manajemen jaringan
Kendali aliran	

(Sumber : Stallings, 2007)

2.1.2 Konsep Komunikasi Data Lapis Data Link

Model ini diciptakan berdasarkan sebuah proposal yang dibuat oleh *International Standards Organization* (ISO). Model ini disebut ISO OSI (*Open System Internconnection*) *Reference Model*, karena model ini ditujukan bagi penyambungan sistem terbuka. Sistem terbuka dapat diartikan sebagai suatu sistem yang terbuka untuk berkomunikasi dengan sistem-sistem lain.

Teknik penyusunan yang sudah diterima secara luas, dan salah satunya dipilih oleh ISO, adalah lapisan (*layering*). Fungsi-fungsi komunikasi dibagi menjadi suatu rangkaian lapisan yang hirarkis. Masing-masing lapisan menampilkan subrangkaiian fungsi yang berkaitan untuk berkomunikasi dengan sistem yang lain. Idealnya, lapisan harus ditentukan agar perubahan-perubahan dalam satu lapis tidak mempengaruhi lapis yang lain.

Application
Presentation
Session
Transport
Network
Data Link
Physical

Gambar 2.2 Model Referensi OSI.

(Sumber : Tanenbaum, 2003)

Gambar 2.2 menunjukkan bahwa model OSI memiliki tujuh lapis. Prinsip-prinsip yang digunakan pada ketujuh lapis ini adalah :

1. Sebuah lapis harus dibuat bila diperlukan tingkat abstraksi yang berbeda.
2. Setiap lapis harus memiliki fungsi-fungsi tertentu.
3. Fungsi setiap lapis harus dipilih dengan sangat teliti sesuai dengan ketentuan protokol berstandar internasional
4. Batas-batas lapis harus dipilih untuk meminimalkan aliran informasi yang melewati antar muka.

Jumlah lapis harus cukup banyak, sehingga fungsi-fungsi yang berbeda tidak perlu disatukan dalam satu lapis diluar keperluannya. Akan tetapi jumlah lapis harus diusahakan sedikit mungkin sehingga pemakaian arsitektur jaringan tidak menjadi sulit.

- **Lapis Fisik (Physical Layer)**

Lapis fisik berfungsi dalam pengiriman barisan bit ke kanal informasi. Lapis ini memiliki empat karakteristik penting yaitu :

- Mekanisme (berkaitan dengan properti fisik dari antar muka ke media transmisi).
- Elektris (berkaitan dengan tampilan bit-bit).
- Fungsional (menentukan fungsi-fungsi yang ditampilkan oleh sirkuit tunggal dari antar muka fisik diantara sebuah sistem dengan media transmisi).
- Prosedural (menentukan rangkaian kejadian di mana arus bit berpindah melalui medium fisik).

- **Lapis Jalur Data (*Data Link Layer*)**

Tugas utama lapis jalur data adalah sebagai fasilitas transmisi barisan data dan mentransformasikan data tersebut ke saluran yang bebas dari kesalahan transmisi. Mengingat lapis fisik hanya menyediakan suatu layanan arus bit mentah, lapisan ini mengupayakan agar lapis fisik cukup baik dan menyediakan alat-alat untuk mengaktifkan, mempertahankan dan menonaktifkan link. Layanan pokok yang disediakan oleh lapis ini untuk lapis yang lebih tinggi adalah pendeteksian kesalahan dan pengendalian kesalahan.

- **Lapis Jaringan (*Network Layer*)**

Lapis jaringan menyediakan transfer informasi diantara ujung sistem melewati beberapa jaringan komunikasi berurutan. Ini mengurangi lapisan tertinggi dari kebutuhan untuk mengetahui apapun mengenai transmit data yang mendasari dan mengganti teknologi-teknologi yang dipergunakan untuk menghubungkan sistem. Pada lapisan ini, sistem komputer berdialog dengan jaringan untuk menentukan alamat tujuan dan meminta fasilitas jaringan tertentu.

- **Lapis Transpor (*Transport Layer*)**

Fungsi dasar lapis transpor adalah menerima data dari lapis di atasnya, bila perlu memecahnya data menjadi bagian-bagian yang lebih kecil, meneruskan potongan data ke lapis jaringan dan menjamin bahwa semua potongan data tersebut bisa tiba di sisi lainnya dengan benar. Semua proses tersebut harus dilakukan secara efisien dan bertujuan dapat melindungi lapisan bagian atas dari perubahan teknologi perangkat keras yang tidak dapat dihindarkan.

- **Lapis Sesi (*Session Layer*)**

Lapis sesi menyediakan mekanisme untuk mengendalikan dialog diantara aplikasi pada ujung sistem. Layanan-layanan kunci yang disediakan oleh lapis sesi adalah sebagai berikut :

- Disiplin dialog (*dialogue discipline*); ini bisa berupa dua saluran simultan (*full duplex*) atau saluran pilihan (*half duplex*).
- Pengelompokan (*grouping*); aliran data bisa ditandai dengan cara menentukan kelompok data.

- Pemulihan (*recovery*); lapis ini dapat menyediakan suatu mekanisme pemeriksaan agar bila terjadi sesuatu diantara *checkpoint*, sesi entiti dapat mentransmisikan kembali seluruh data mulai dari *checkpoint* terakhir.

- **Lapis Presentasi (*Presentation Layer*)**

Lapis presentasi menentukan format data yang dipindahkan diantara aplikasi. Lapis presentasi juga menentukan baris program yang dipergunakan diantara entiti aplikasi, menyediakan modifikasi seleksi dan sub-*sequent* dari representasi yang dipergunakan. Contoh dari layanan-layanan khusus yang bisa ditampilkan pada lapis ini adalah kompresi dan enkripsi data.

- **Lapis Aplikasi (*Application Layer*)**

Lapis Aplikasi menyediakan cara bagi program-program aplikasi untuk mengakses lingkungan OSI. Lapis aplikasi berisikan fungsi-fungsi manajemen dan mekanisme yang umumnya berguna untuk mendukung aplikasi-aplikasi yang didistribusikan. Fungsi lain lapis aplikasi adalah dalam pemindahan berkas. Sistem berkas yang satu dengan yang lain memiliki konvensi penamaan yang berbeda, cara menyatakan baris-baris teks yang berbeda dan sebagainya. Sehingga perpindahan berkas dari sebuah sistem ke sistem lainnya yang berbeda memerlukan penanganan untuk mengatasi adanya inkompatibilitas.

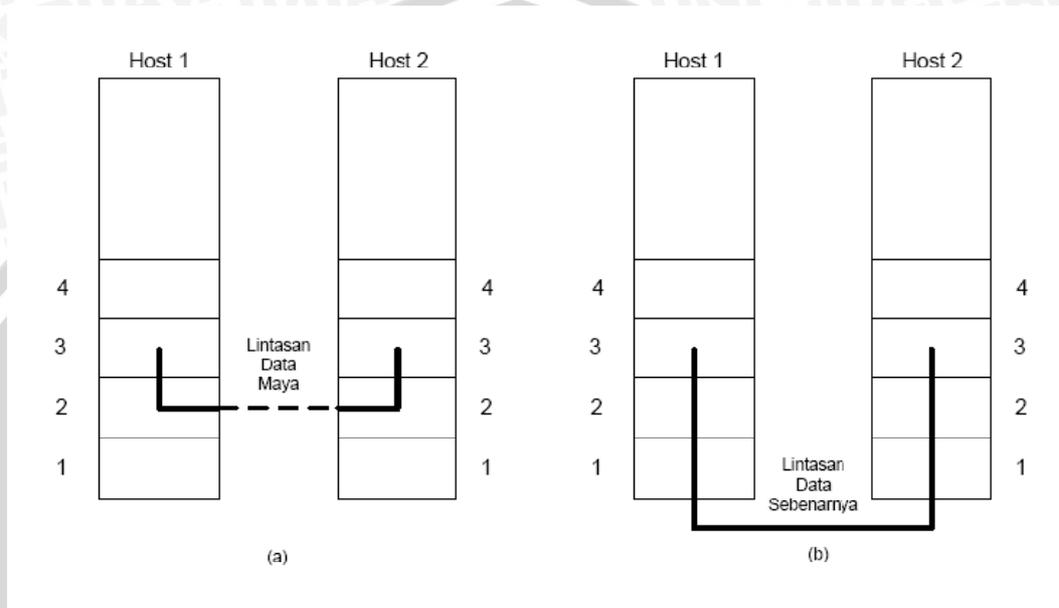
2.1.3 Komunikasi Data Lapis *Data Link*

Lapis *data link* memiliki beberapa fungsi spesifik. Fungsi-fungsi ini meliputi penyediaan antar muka layanan yang baik bagi lapis jaringan, penentuan cara pengelompokan bit dari lapis fisik ke dalam *frame*, hal-hal yang berkaitan dengan kesalahan transmisi dan pengaturan aliran *frame* sehingga penerima yang lambat tidak akan dipenuhi oleh pengirim yang cepat.

- **Layanan yang Disediakan bagi Lapis Jaringan**

Salah satu fungsi lapis *data link* adalah menyediakan layanan bagi lapis jaringan. Layanan yang penting adalah pemindahan data dari lapis jaringan di mesin sumber ke lapis jaringan di mesin yang dituju. Pada mesin pengirim ada suatu proses di mana lapis jaringan memberikan beberapa bit ke lapis *data link* untuk

ditransmisikan. Tugas lapis *data link* adalah mentransmisikan bit-bit ke mesin yang dituju, sehingga di penerima bit-bit tersebut dapat diserahkan ke lapis jaringan, seperti pada Gambar 2.3(a). Transmisi sebenarnya mengikuti lintasan seperti pada Gambar 2.3(b), tapi akan lebih memudahkan jika dianggap sebagai proses dua lapis *data link* yang berkomunikasi dengan menggunakan protokol *data link*.



Gambar 2.3 (a) Komunikasi maya (b) Komunikasi sebenarnya
(Sumber : Tanenbaum 2003)

Lapis *data link* dapat dirancang sehingga mampu memberikan bermacam-macam layanan. Layanan yang ditawarkan suatu sistem dapat berbeda dengan layanan sistem lainnya. Tiga layanan yang umum disediakan adalah :

1. Layanan *unacknowledged connectionless*

Layanan *unacknowledged connectionless* merupakan layanan di mana mesin sumber mengirimkan sejumlah *frame* ke mesin yang dituju dengan tidak memberikan *acknowledgement* atas diterimanya *frame-frame* tersebut. Tidak ada koneksi yang terbentuk baik sebelum atau sesudah dikirimkannya *frame*. Bila sebuah *frame* hilang sehubungan dengan adanya derau, maka tidak akan ada perbaikan terhadap masalah tersebut di lapis *data link*.

2. Layanan *acknowledged connectionless*

Layanan *acknowledged connectionless* sama seperti pada layanan *unacknowledged connectionless*, sama-sama tidak menggunakan koneksi. Tetapi

pada layanan *acknowledged connectionless*, setiap *frame* dikirim secara individual dengan *acknowledged*. Dalam kasus ini, pengirim akan mengetahui apakah *frame* yang dikirimkan ke mesin tujuan telah diterima dengan baik atau tidak. Bila ternyata belum tiba pada interval waktu yang telah ditentukan, maka *frame* akan dikirimkan lagi.

3. Layanan *acknowledged connection-oriented*

Layanan *acknowledged connection-oriented* merupakan layanan yang paling baik lapis data link. Dengan layanan *acknowledged connection-oriented*, mesin sumber dan mesin tujuan membuat koneksi sebelum memindahkan datanya. Selain itu, layanan ini menjamin bahwa setiap *frame* yang diterima benar-benar hanya sekali dan semua *frame* diterima dalam urutan yang benar.

- **Framing**

Untuk melayani lapis jaringan, lapis *data link* harus menggunakan layanan yang disediakan oleh lapis fisik. Yang dilakukan oleh lapis fisik adalah menerima aliran data dan berusaha mengirimkannya ke tujuan. Aliran bit ini tidak dijamin bebas dari kesalahan. Jumlah bit yang diterima mungkin bisa lebih sedikit, sama dengan, atau lebih banyak dari jumlah bit yang ditransmisikan. Pendekatan yang umum dipakai adalah lapis *data link* memecah aliran bit menjadi *frame-frame* diskrit dan menghitung *checksum* setiap *frame*-nya. *Frame* adalah unit informasi dimana sumber dan tujuan merupakan satu kesatuan entitas lapis *data link*.

- **Kendali Kesalahan**

Untuk meyakinkan semua *frame* dapat dikirim dengan segera ke lapis jaringan di mesin tujuan dengan urutan yang benar, maka dibutuhkan suatu metode pengendalian kesalahan. Jika dianggap bahwa pengiriman hanya memperhatikan keluaran *frame* tanpa memperhatikan benar atau tidaknya kedatangannya maka akan cocok untuk layanan *unacknowledged connectionless* tapi hampir tidak akan sesuai dengan layanan *reliable connection-oriented*.

Cara yang umum dilakukan untuk menjamin pengiriman *reliable* adalah dengan memberikan pengirim beberapa umpan balik tentang apa yang terjadi di sisi lain dari saluran. Umumnya protokol meminta penerima untuk mengirimkan kembali *frame-frame* kendali khusus yang berkaitan dengan *acknowledgment* positif atau negatif tentang *frame* yang akan datang. Bila pengirim menerima

acknowledgment positif, maka pengirim mengetahui bahwa *frame* telah sampai dengan baik. Sebaliknya, *acknowledgment* negatif berarti bahwa terdapat sesuatu yang salah, maka *frame* harus ditransmisi ulang.

Secara sistematis kendali kesalahan memasukkan satu atau lebih tahapan berikut:

- Pendeteksian *frame* yang rusak.
- Perbaikan kesalahan pada *frame* yang rusak.
- Mengirimkan ACK negatif ke pengirim, ketika mendapati kerusakan *frame* tidak dapat diperbaiki, yang akan membuat pengirim mentransmisikan ulang *frame* tersebut.
- Memanajemen waktu dan nomor urut untuk meyakinkan setiap *frame* melewati lapis jaringan tepat satu kali.

Pada lapis data link, terdapat dua jenis strategi untuk pengendalian kesalahan. Strategi yang pertama adalah memasukkan sejumlah perulangan informasi yang cukup disepanjang setiap blok data yang dikirim. Informasi ini digunakan untuk memungkinkan penerima memperkecil permintaan perbaikan terhadap informasi yang diterima. Strategi yang kedua hanya memasukkan perulangan informasi yang memungkinkan penerima untuk mendeteksi kesalahan. Dengan kata lain, pada strategi kedua, penerima hanya mampu mendeteksi kesalahan tetapi tidak mampu memperbaiki kesalahan.

Strategi yang pertama didasari pada penggunaan kode perbaikan kesalahan (*error-correcting codes*), sedangkan yang kedua didasari pada kode pendeteksi kesalahan (*error-detecting codes*).

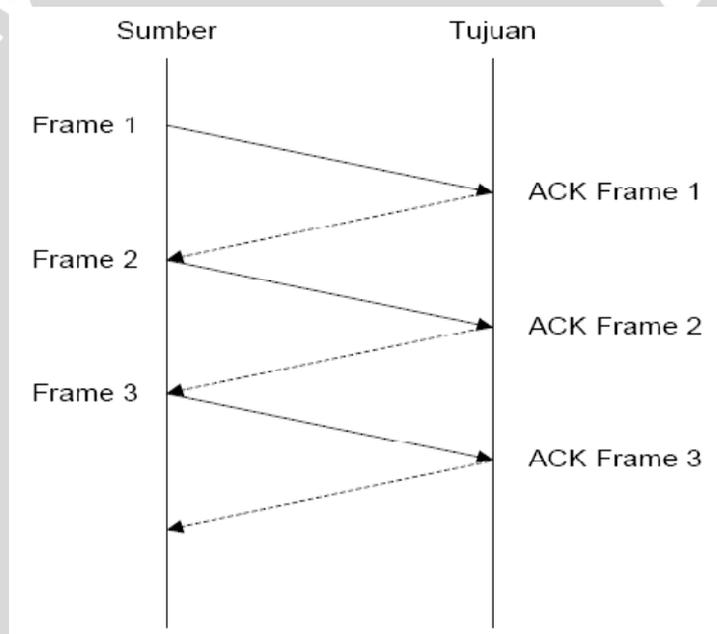
- **Kendali Aliran**

Masalah penting lainnya dalam perancangan yang terdapat pada data link adalah tentang apa yang dikerjakan oleh sebuah pengirim yang secara sistematis ingin mentransmisikan *frame* lebih cepat dibanding kecepatan menampung oleh penerima. Situasi ini akan dengan mudah terjadi ketika pengirim beroperasi pada mesin yang lebih cepat dan penerima beroperasi di mesin yang lambat. Pengirim tetap mengirim terus *frame* dengan kecepatan tinggi sampai penerima benar-benar terbanjiri. Bahkan bila transmisinya bebas kesalahan, pada keadaan tertentu penerima tidak akan mampu menangani *frame* dan mulai mengalami

kehilangan sebagian *frame* yang sebenarnya dapat diterima. Solusi yang paling umum adalah dengan kendali aliran (*flow control*).

1. Kendali Aliran *Stop and Wait*

Bentuk paling sederhana dari kendali aliran disebut juga dengan kendali aliran berhenti-dan-tunggu (*stop and wait flow control*). Proses kerjanya sebagai berikut: Sumber mentransmisikan *frame*. Setelah tujuan menerima *frame*, maka tujuan akan mengirim balasan bahwa *frame* diterima dan siap untuk menerima *frame* berikutnya. Sumber harus menunggu sampai balasan tersebut diterima dalam keadaan baik sebelum mengirimkan *frame* berikutnya ke tujuan. Proses ini dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Prinsip kerja *Stop-and-Wait Flow Control*

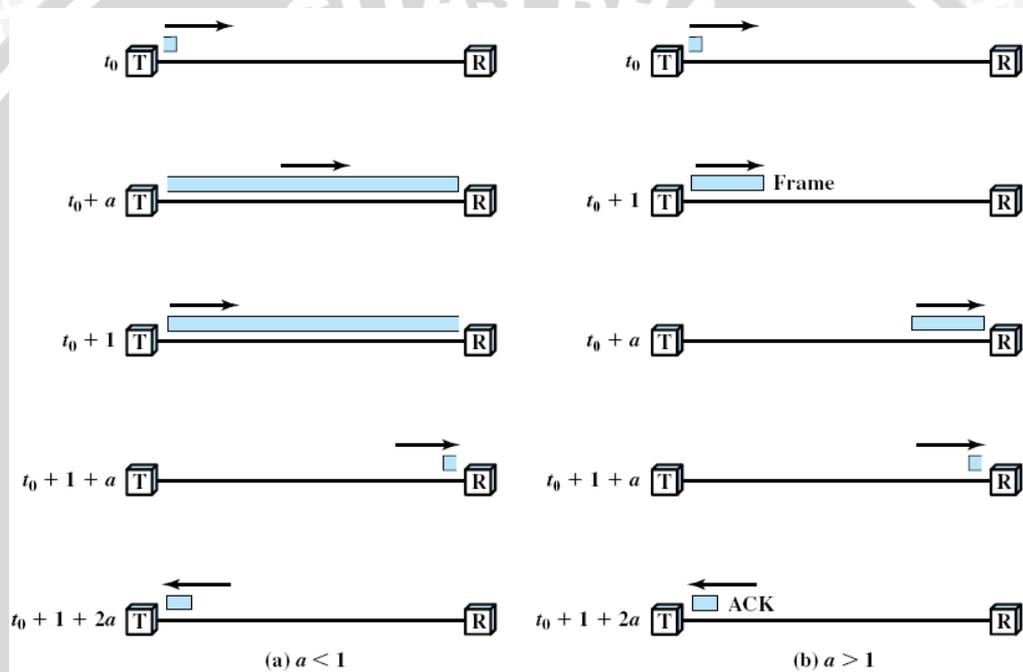
(Sumber : Stallings, 2007)

Prosedur ini bekerja dengan baik dan tentunya dapat lebih ditingkatkan bila pesan dikirim dengan *frame* yang lebih sedikit. Namun, yang sering terjadi adalah blok data yang dalam jumlah besar akan dipecah-pecah oleh sumber menjadi blok-blok yang lebih kecil serta mentransmisikan data dalam beberapa *frame*. Hal ini dilakukan karena :

- Ukuran penyangga penerima terbatas.

- Blok data dalam jumlah besar dapat menyebabkan transmisi menjadi lebih lama.
- Pada media yang dipakai bersama, seperti LAN, biasanya tidak dikehendaki satu *station* menempati media dalam waktu yang panjang

Dengan menggunakan beberapa *frame* untuk sebuah pesan tunggal prosedur *stop-and-wait* saja tidak cukup. Inti permasalahan adalah karena hanya ada satu *frame* saja yang dapat dilintaskan dalam satu waktu. Dalam situasi di mana panjang bit dari jalur lebih besar dari panjang *frame*, akan terjadi ketidakefisiensian yang parah. Hal ini digambarkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Penggunaan jalur *Stop and Wait* (waktu transmisi = 1; waktu perambatan = a)
(Sumber : Stallings, 2007)

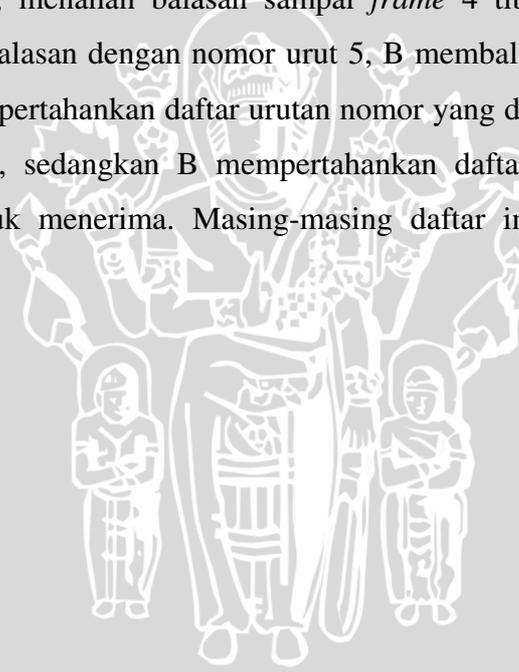
Dalam Gambar 2.5, waktu transmisi (waktu yang dipergunakan station untuk mentransmisikan *frame*) dinormalkan menjadi satu dan penundaan waktu perambatan (waktu yang diambil bit untuk melintas dari pengirim ke penerima) ditunjukkan sebagai variabel a . Sehingga bila a kurang dari 1 seperti pada Gambar 2.5(a), waktu perambatan lebih sedikit dibanding waktu transmisi. Dalam hal ini, *frame* cukup panjang sehingga bit pertama dari *frame* dapat tiba ke tujuan sebelum sumber menyelesaikan transmisi *frame*. Sedangkan pada Gambar 2.5(b) bila a lebih besar dari 1, maka waktu perambatan lebih besar dari

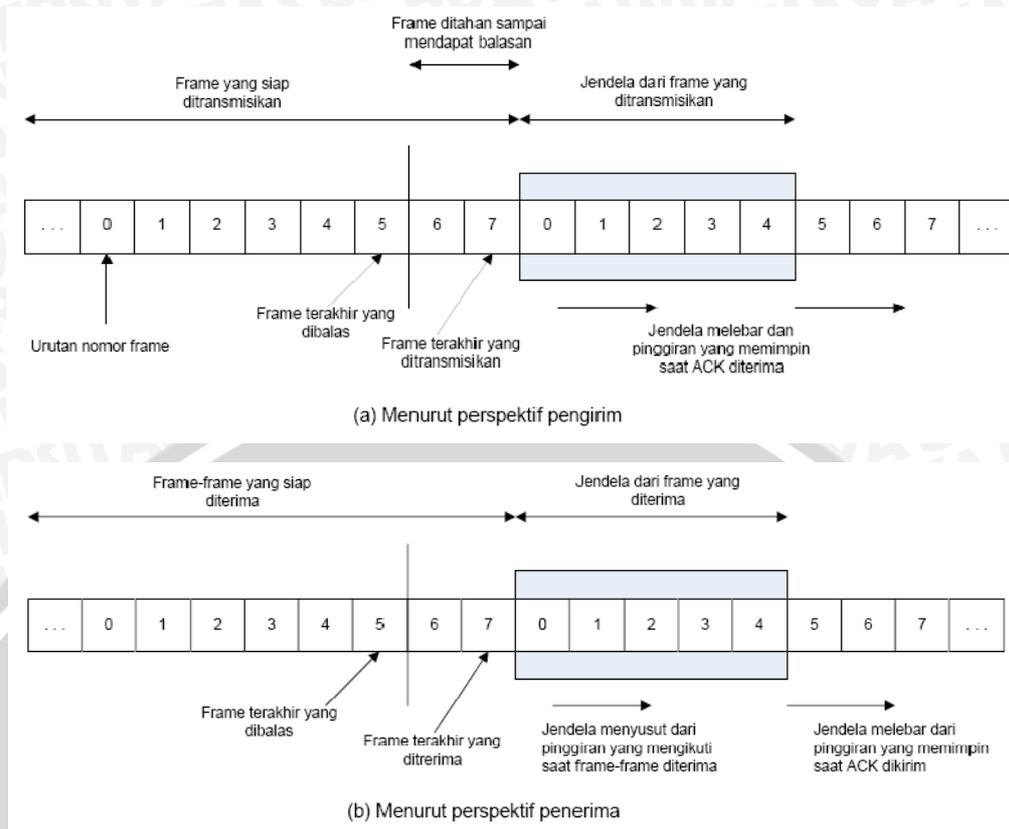
waktu transmisi. Dalam hal ini, pengirim menyelesaikan transmisi semua *frame* sebelum bit yang utama dari *frame* tersebut tiba di penerima.

2. Kendali Aliran *Sliding-Window*

Kendali aliran jendela pergeseran (*sliding-window*) lebih kompleks dari kendali aliran *stop-and-wait*. Pada metode ini sumber mengirimkan sejumlah *frame* (*multiple frame*) dan bukan satu *frame* dalam sekali pengiriman.

Pada Gambar 2.6, jika diasumsikan A sebagai sumber dan B sebagai tujuan dengan hubungan *full duplex*. Maka A dan B akan mengalokasikan ruang penyangga untuk sejumlah *frame*. Sehingga B dapat menerima sejumlah *frame* dan A dibiarkan tetap mengirim tanpa menunggu balasan untuk tiap satu *frame* yang telah berhasil ditransmisikan. Sebagai contoh, B dapat menerima *frame* 1, 2, 3 dan 4. Namun, menahan balasan sampai *frame* 4 tiba. Kemudian dengan mengembalikan balasan dengan nomor urut 5, B membalas *frame* 1, 2, 3 dan 4 sekaligus. A mempertahankan daftar urutan nomor yang diberisikan urutan yang dibiarkan dikirim, sedangkan B mempertahankan daftar urutan nomor yang dipersiapkan untuk menerima. Masing-masing daftar ini diibaratkan dengan jendela *frame*.





Gambar 2.6 Gambaran jendela pergeseran (sliding window)
(Sumber : Stallings, 2007)

2.2 Pengendalian Kesalahan ARQ

2.2.1 Umum

Pengendalian kesalahan berkaitan dengan mekanisme untuk mendeteksi dan memperbaiki kesalahan yang terjadi pada penransmisian *frame*. Sebagaimana dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa data dikirim sebagai deretan *frame*; *frame* tiba sesuai dengan perintah yang sama saat dikirim; dan masing-masing *frame* yang ditransmisikan mengalami perubahan dan sejumlah variabel penundaan sebelum mencapai penerima.

2.2.2 Pengendalian Kesalahan

Pengendalian kesalahan merupakan suatu mekanisme untuk mendeteksi dan memperbaiki kesalahan yang terjadi pada penransmisian *frame*. Teknik yang paling umum untuk mengendalikan kesalahan didasarkan atas beberapa atau seluruh unsur berikut :

- Pendeteksian kesalahan
- Balasan positif
- Retransmisi setelah waktu habis
- Balasan negatif dan retransmisi

Secara bersama-sama, mekanisme ini semua disebut sebagai *Automatic Repeat reQuest* (ARQ), efek ARQ ini adalah mengubah jalur data yang tidak handal menjadi handal.

2.2.3 ARQ

Automatic Repeat reQuest (ARQ) merupakan metode yang memungkinkan mesin pengirim secara otomatis mengirim ulang kembali suatu *frame* ke mesin tujuan. ARQ beroperasi pada *frame* dan berusaha menyampaikan *frame* dari sumber ke tujuan melalui medium transmisi. Medium transmisi mendukung koneksi lapis fisik yang beroperasi berdasarkan protokol *data link*.

Ketika *frame* melalui suatu medium transmisi, maka ada kemungkinan *frame* menjadi rusak. Penyebab kerusakan *frame* pada suatu medium transmisi antara lain disebabkan oleh :

- Kerusakan diakibatkan adanya derau pada media komunikasi.
- Kerusakan diakibatkan adanya interferensi pada medium transmisi.
- Putusnya jalur komunikasi.
- Kerusakan yang diakibatkan oleh tubrukan pada jalur yang dipakai bersama.
- Kerusakan pada perangkat di sisi penerima atau di sisi pengirim.

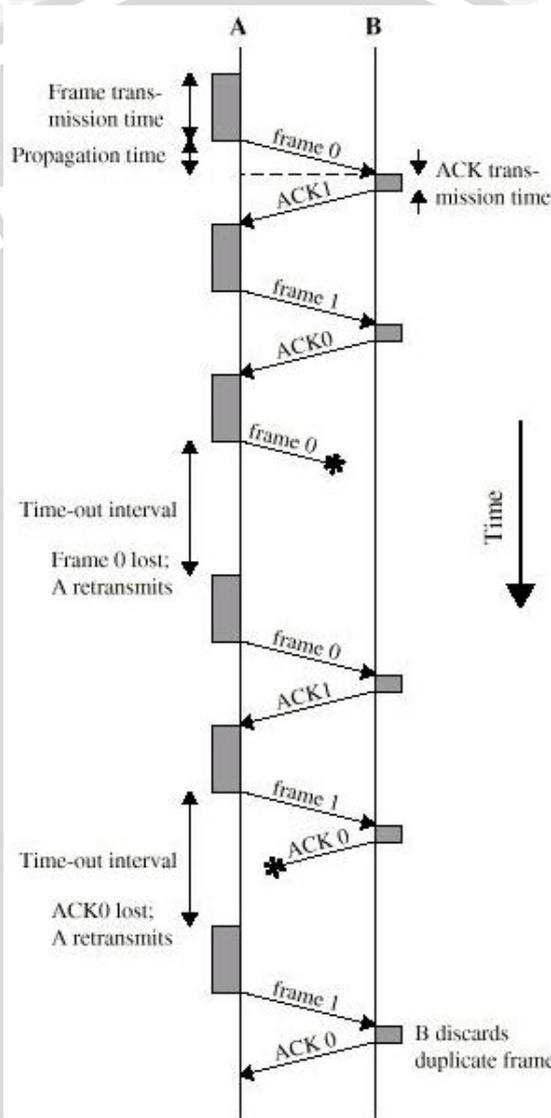
Metode ARQ mempunyai tiga jenis metode didalamnya yaitu metode *Stop-and-Wait* ARQ, metode *Go Back N* ARQ dan metode *Selective Reject* ARQ. Setiap metode mempunyai cara kerja pendeteksi *error* tersendiri.

- ***Stop and Wait* ARQ**

Stop and wait ARQ didasarkan atas teknik kontrol arus *Stop and Wait* (*Stop and Wait* flow control). Station sumber mentransmisikan sebuah *frame* tunggal dan kemudian harus menunggu balasan (ACK). Tidak ada data yang dikirim sampai jawaban dari station tujuan tiba di stasiun sumber.

Berdasarkan pada teknik flow control *stop and wait* dan digambarkan dalam Gambar 2.6. Stasiun sumber mentransmisi suatu *frame* tunggal dan kemudian

harus menunggu suatu *acknowledgment* (ACK) dalam periode tertentu. Tidak ada data lain dapat dikirim sampai balasan dari stasiun tujuan tiba pada stasiun sumber. Bila tidak ada balasan maka *frame* ditransmisi ulang. Bila *error* dideteksi oleh tujuan, maka *frame* tersebut dibuang dan mengirim suatu *Negative Acknowledgment* (NACK), yang menyebabkan sumber mentransmisi ulang *frame* yang rusak tersebut. Gambar 2.7 adalah contoh aliran untuk *Stop and wait ARQ*.



Gambar 2.7 Stop and wait ARQ

(Sumber : Stallings, 2007)

Bila sinyal *acknowledgment* rusak pada waktu transmisi, kemudian sumber akan habis waktu dan mentransmisi ulang *frame* tersebut. Untuk mencegah hal ini, maka *frame* diberi label 0 atau 1 dan *positive acknowledgment* dengan bentuk ACK0 atau ACK1 : ACK0 mengakui menerima *frame* 1 dan mengindikasi

bahwa *receiver* siap untuk *frame* 0. Sedangkan ACK1 mengakui menerima *frame* 0 dan mengindikasikan bahwa *receiver* siap untuk *frame* 1.

- **Go Back- N ARQ**

Go back- N ARQ merupakan bentuk pengontrolan kesalahan yang didasarkan atas teknik kontrol arus jendela penggeseran. Dalam metode ini, station sumber bisa mengirim deretan *frame* yang diurutkan berdasarkan suatu modulo bilangan. Jumlah *frame* balasan yang ada ditentukan oleh ukuran jendela, menggunakan teknik *sliding window*. Bila terjadi suatu kesalahan, station tujuan akan membalas (RR = *Receive Ready*) *frame* yang datang seperti biasa. Bila station tujuan mendeteksi suatu kesalahan pada sebuah *frame*, station tujuan mengirim balasan negatif (REJ = *Reject*) untuk *frame* tersebut. Station tujuan kemudian membuang *frame* itu dan semua *frame-frame* yang nantinya akan datang sampai *frame* yang mengalami kesalahan diterima dengan benar. Jadi, station sumber, bila menerima REJ, harus melakukan retransmisi terhadap *frame* yang mengalami kesalahan tersebut plus semua *frame* pengganti yang ditransmisikan sementara.

Dengan mempertimbangkan bahwa sumber mengirim *frame* ke tujuan. Setelah setiap transmisi dilakukan, sumber menyusun pencatat waktu balasan untuk *frame* yang baru saja ditransmisi. Dengan menganggap bahwa tujuan sebelumnya berhasil menerima *frame* (i-1) dan sumber baru saja mentransmisikan *frame* i, maka teknik *Go-Back-N* mempertimbangkan kemungkinan sebagai berikut :

1. Rusaknya *frame*

Bila *frame* yang diterima rusak, tujuan membuang *frame* dan tidak melakukan tindakan apa-apa. Dalam hal ini ada dua subkasus, yaitu :

- Di dalam periode waktu yang memungkinkan, sumber berturut-turut mengirim *frame* (i + 1). Tujuan menerima *frame* (i + 1) yang tidak beres dan mengirim REJ i. Sumber harus melakukan retransmisi terhadap *frame* i dan semua *frame* urutannya.
- Sumber tidak segera mengirimkan *frame* tambahan. Tujuan tidak menerima apapun serta tidak mengembalikan RR maupun REJ. Bila pewaktu sumber habis, sumber mentransmisikan *frame* RR yang memuat bit yang disebut dengan bit P, yang disusun berdasarkan bit 1. Tujuan

menerjemahkan *frame* RR dengan bit P sebagai perintah yang harus di jawab dengan jalan mengirimkan RR, menunjukkan *frame* berikutnya yang diharapkan, yang berupa *frame* i . Bila Sumber menerima RR, Sumber kembali mentransmisikan *frame* i .

2. Rusaknya RR

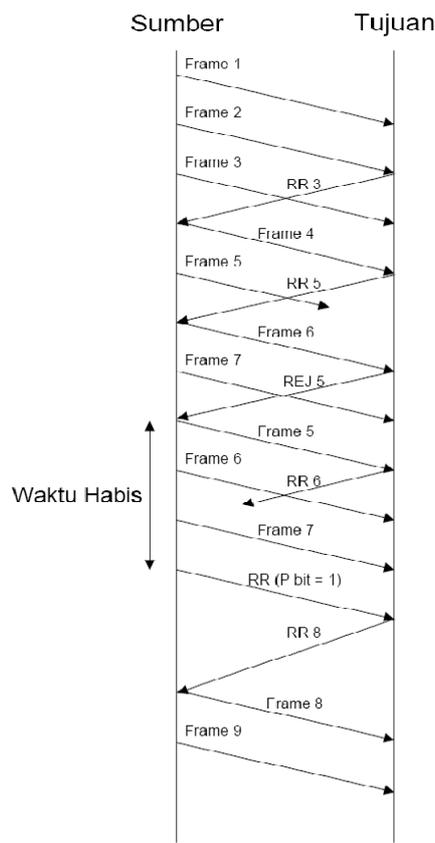
Terdapat dua subkasus :

- Tujuan menerima *frame* i dan mengirimkan RR($i + 1$), yang hilang saat singgah. Karena balasannya kumulatif (misalnya, RR 6 berarti semua *frame* sampai 5 dibalas), kemungkinan sumber akan menerima RR urutannya sampai *frame* berikutnya dan akan tiba sebelum pewaktu yang dihubungkan dengan *frame* i berakhir.
- Bila pencatat waktu sumber habis, sumber mentransmisikan perintah RR sebagaimana dalam kasus 1b. Sumber menyusun pewaktu yang lain, yang disebut pewaktu P-bit. Bila Tujuan gagal merespon perintah RR, atau bila respon Tujuan rusak, maka pewaktu P-bit Sumber akan berakhir. Dalam kasus ini, sumber akan kembali berusaha dengan cara membuat perintah RR yang baru dan kembali mengulang pewaktu P-bit. Prosedur ini diusahakan untuk sejumlah iterasi. Bila sumber gagal memperoleh balasan setelah beberapa upaya maksimum dilakukan. Sumber kembali mengulangi prosedur yang sama.

3. Rusaknya REJ

Bila REJ hilang, sama dengan kasus 1b.

Gambar 2.8 adalah contoh aliran *frame* untuk *Go Back N* ARQ. Dalam contoh ini, *frame* 5 mengalami kerusakan. *Frame* 6 dan 7 diterima tidak sesuai yang diperintahkan dan dibuang oleh tujuan. Saat *frame* 6 tiba, tujuan segera mengirim REJ 4. Saat REJ untuk *frame* 4 diterima, tidak hanya *frame* 5 saja namun juga *frame* 6 dan 7 harus ditransmisikan kembali oleh sumber.



Gambar 2.8 Go Back-N ARQ
(Sumber : Stallings, 2007)

- **Selective Reject ARQ**

Dengan *Selective-Reject ARQ*, *frame frame* yang hanya ditransmisikan adalah *frame frame* yang menerima balasan negatif, dalam hal ini disebut SREJ atau *frame-frame* yang waktunya sudah habis. Sebagai contoh, bila *frame 5* diterima rusak, B mengirim SREJ 4, yang berarti *frame 4* tidak diterima. Selanjutnya, B berlanjut dengan menerima *frame frame* yang datang dan menahan mereka sampai *frame 4* yang valid diterima. Dalam hal ini, B dapat meletakkan *frame* sesuai pada tempatnya agar bisa dikirim ke *software* pada lapisan yang lebih tinggi.

Selective Reject lebih efisien dibanding *Go back- N*, karena *Selective Reject* meminimalkan jumlah retransmisi. Dengan kata lain, receiver harus mempertahankan penyangga sebesar mungkin untuk menyimpan tempat bagi *frame SREJ* sampai *frame* yang rusak diretransmisi, serta harus memuat logika untuk diselipkan kembali *frame* tersebut pada urutan yang tepat. Selain itu,

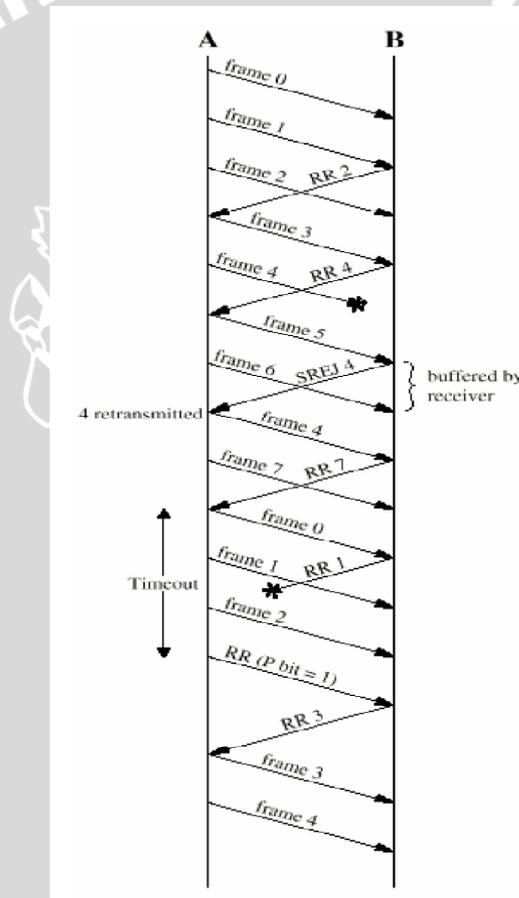
transmitter juga memerlukan logika yang lebih kompleks agar mampu mengirimkan *frame* di luar urutan. Karena komplikasi seperti itu, *Selective Reject ARQ* tidak terlalu banyak dipergunakan dibandingkan *Go Back N ARQ*.

Sistem *Selective Reject ARQ* juga disebut sebagai *Selective- detransmission*.

Cara kerja sistem adalah seperti berikut :

- Hanya *frame* yang salah dikirim ulang dan *frame* yang diterima oleh penerima akan ditampung dalam satu *buffer*.
- Meminimumkan retransmission. Disini receiver harus menjaga *frame* yang telah diterima sehingga memiliki *buffer* yang besar.
- Pada transmitter harus memiliki data mengenai tentang *frame* yang dikirim.

Gambar 2.9 merupakan contoh aliran untuk *Selective Reject ARQ*



Gambar 2.9 *Selective Reject ARQ*

(Sumber : Sutantha, 2003)

2.2.4 Perhitungan *Delay* dan Efisiensi

Untuk memahami bagaimana efisiensi transmisi *frame* ditentukan, maka akan dimulai dengan bagaimana perhitungan waktu untuk mengirimkan suatu *frame*. Jika

diasumsikan bahwa total waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data adalah t_T dan dinyatakan sebagai $t_T = nt_t$, di mana t_t adalah waktu untuk mengirimkan suatu *frame* dan menerima balasan. Maka t_t untuk metode *Stop and Wait ARQ* dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$t_t = t_{frame} + t_{prop} + t_{proc} + t_{ack} + t_{prop} + t_{proc} \quad (2-1)$$

Dengan :

t_t = waktu total transmisi dari sumber ke tujuan untuk 1 *frame*

t_{prop} = waktu perambatan dari sumber ke tujuan

t_{frame} = waktu untuk mentransmisikan sebuah *frame*

t_{proc} = waktu pemrosesan pada masing-masing stasiun untuk bereaksi terhadap kedatangan

t_{ack} = waktu untuk mentransmisikan suatu balasan

Karena pada Skripsi ini tidak membahas karakteristik mesin di sisi sumber dan tujuan, maka waktu pemrosesan (t_{proc}) dapat diabaikan. Selain itu, mengingat ukuran *frame* balasan (ACK) terlalu kecil dibandingkan *frame* data maka waktu untuk mentransmisikan *frame* balasan (t_{ack}) dapat diabaikan juga. Sehingga total waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dapat dinyatakan :

$$t_T = n(2t_{prop} + t_{frame}) \quad (2-2)$$

Dengan :

t_T = waktu total perambatan dari sumber ke tujuan untuk seluruh *frame* yang ditransmisikan

n = jumlah *frame* yang ditransmisikan

t_{prop} = waktu perambatan dari sumber ke tujuan

t_{frame} = waktu untuk mentransmisikan sebuah *frame*

Dari waktu tersebut, hanya $n \times t_{frame}$ yang benar-benar dihabiskan untuk mentransmisikan data dan sisanya merupakan *overhead*. Penggunaan atau efisiensi dari jalur tersebut adalah :

$$U = \frac{n \times t_{frame}}{n(2t_{prop} + t_{frame})} = \frac{t_{frame}}{2t_{prop} + t_{frame}} \quad (2-3)$$

Dengan :

U = Utilitas atau efisiensi

t_{frame} = waktu untuk mentransmisikan sebuah *frame*

t_{prop} = waktu perambatan dari sumber ke tujuan

n = jumlah *frame* yang ditransmisikan

Jika ditetapkan bahwa $a = t_{prop}/t_{frame}$, maka persamaan (2-3) akan lebih dapat di sederhanakan menjadi:

$$U = \frac{1}{2a + 1} \quad (2-4)$$

Agar mendapat kejelasan dari persamaan (2-4), diperoleh pernyataan yang berbeda untuk a , yakni :

$$a = \frac{t_{prop}}{t_{frame}} \quad (2-5)$$

Waktu perambatan setara terhadap jarak d dari jalur yang dibagi dengan kecepatan perambatan V . Untuk transmisi *unguided* melalui udara atau angkasa, V adalah kecepatan cahaya, kira-kira 3×10^8 m/s. Sedangkan untuk transmisi *guided*, V kira-kira 0,67 kali kecepatan cahaya untuk serat optik dan media dari tembaga. Waktu transmisi setara terhadap panjang *frame* dalam bit, L , dibagi dengan data rate R . Jadi

$$a = \frac{t_{prop}}{t_{frame}}$$

$$t_{prop} = \frac{d}{V} \quad (2-6)$$

$$t_{frame} = \frac{L}{R} \quad (2-7)$$

$$a = \frac{d/V}{L/R} = \frac{Rd}{VL} \quad (2-8)$$

Dengan :

a = perbandingan waktu propogasi dengan waktu transmisi

d = jarak transmisi

V = kecepatan transmisi

L = panjang *frame*

R = data rate

Sehingga, untuk *frame* dengan panjang tertentu, a sebanding dengan data rate kali panjang media. Cara yang terbaik untuk melihat a adalah tampilan panjang media dalam bit $R \times \frac{d}{V}$ dibandingkan dengan panjang *frame* (L).

Dengan penafsiran seperti ini, Gambar 2.5 mengilustrasikan persamaan (2-4). Dalam Gambar 2.5, waktu transmisi dinormalkan menjadi 1 dan waktu perambatan, melalui persamaan (2-5) adalah a . Dalam hal $a < 1$, panjang bit jalur kurang dari panjang *frame*. Sumber mulai mengirimkan *frame* pada saat t_0 . Pada $t_0 + a$, ujung *frame* yang pertama mencapai Tujuan, sementara Sumber sendiri masih dalam proses pentransmisian *frame*. Pada $t_0 + 1$, Sumber melengkapi transmisi. Pada $t_0 + 1 + a$, Tujuan telah menerima seluruh *frame* dan segera mentransmisikan *frame* balasan kecil. Balasan ini tiba kembali di Sumber pada $t_0 + 1 + 2a$. Total waktu yang dilewati: $1 + 2a$. Total waktu transmisi: 1. Penggunaannya adalah $1/(1 + 2a)$. Hasil yang sama diperoleh dengan $a > 1$

Untuk kendali arus jendela pergeseran, laju penyelesaian untuk jalur tergantung pada ukuran jendela W dan nilai a . Berdasarkan Gambar 2.5, stasiun A (Sumber) mulai memancarkan *frame* pada waktu $t = 0$. Ujung *frame* pertama yang mengawali mencapai stasiun B (Tujuan) pada $t = a$ (Stalling, 2007)

Frame pertama diserap seluruhnya pada $t = a + 1$ Dengan mengabaikan waktu pemrosesan dan waktu transmisi balasan dari B, maka A menerima balasan (ACK) pada $t = 2a + 1$ Untuk mengevaluasi kinerja, harus dipertimbangkan dua kasus sebagai berikut :

- Kasus 1 sesuai Gambar 2.10(a) $W \geq 2a + 1$. Balasan untuk *frame* 1 mencapai A sebelum A menyelesaikan jendelanya. Sehingga, A dapat terus melakukan transmisi tanpa sekalipun berhenti. Laju penyelesaian normalnya adalah 1.

- Kasus 2 sesuai Gambar 2.10(b) $W < 2a + 1$. menyelesaikan jendelanya pada $t = W$ dan tidak dapat mengirim *frame* tambahan sampai $t = 2a + 1$. Sehingga, laju penyelesaian normalnya adalah satuan waktu W diluar perioda unit waktu ($t = 2a + 1$).

Dengan dua pertimbangan di atas dapat dinyatakan penentuan efisiensi transmisi adalah sesuai dengan persamaan (2-5)

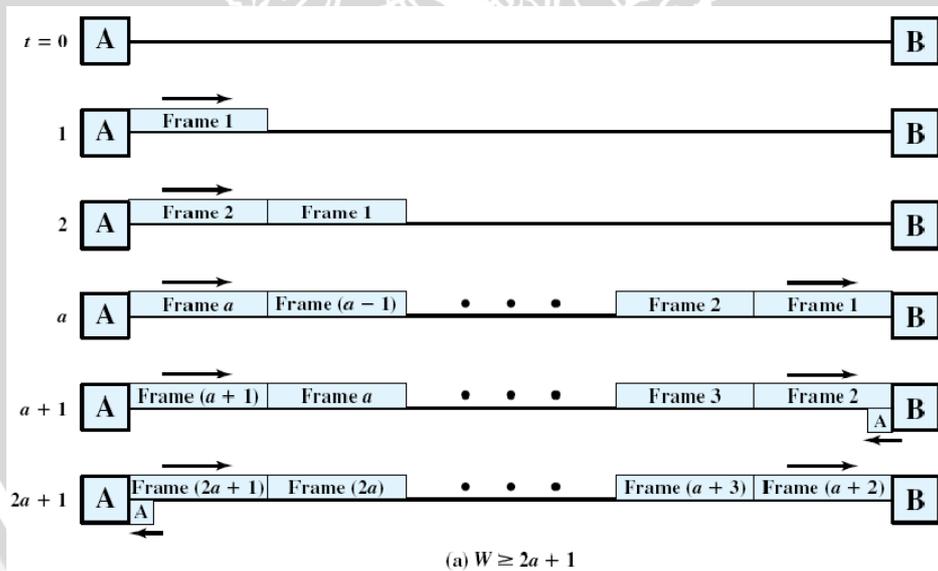
$$U = \begin{cases} 1 & W \geq 2a + 1 \\ \frac{W}{2a + 1} & W < 2a + 1 \end{cases} \quad (2-9)$$

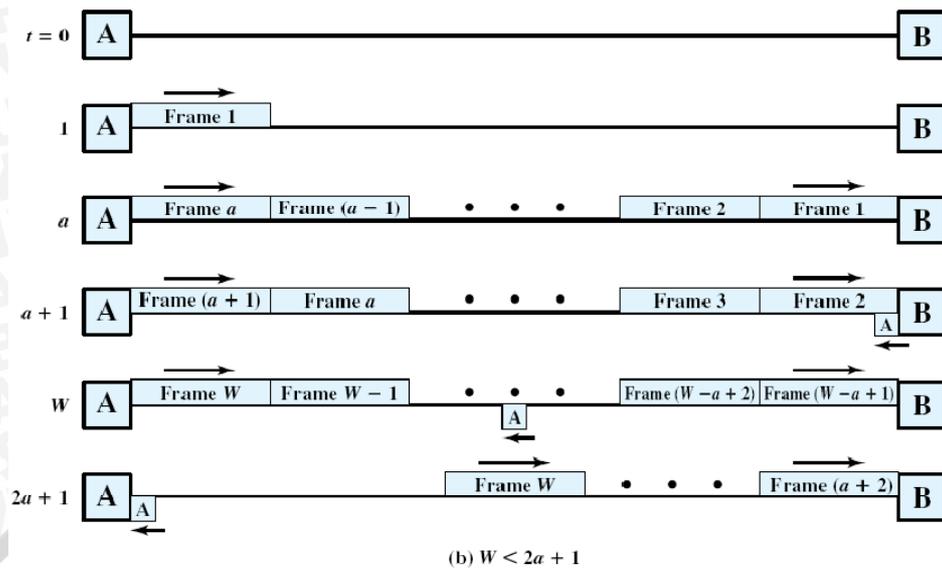
Dengan :

U = Utilitas atau efisiensi

W = ukuran *window*

a = perbandingan waktu propogasi dengan waktu transmisi





Gambar 2.10 Kondisi jendela terhadap waktu rambat
(Sumber : Stallings, 2007)

Persamaan (2-5) merupakan persamaan untuk kondisi bebas kesalahan, dalam arti bahwa kondisi di atas belum memasukkan fungsi pengendalian kesalahan. Untuk dapat memasukkan fungsi pengendalian kesalahan, sebelumnya persamaan (2-5) dapat juga dinyatakan dengan :

$$U = \frac{t_{frame}}{t_t} \tag{2-10}$$

Dengan

U = Utilitas atau efisiensi

t_{frame} = waktu bagi pengirim untuk memancarkan *frame* tunggal

t_t = total waktu di mana jalur dipergunakan untuk mentransmisikan *frame* tunggal

Untuk operasi bebas kesalahan menggunakan *stop and wait* ARQ.

$$U = \frac{t_{frame}}{t_{frame} + 2t_{prop}} \quad (2-11)$$

Dengan

U = Utilitas atau efisiensi

t_{frame} = waktu bagi pengirim untuk memancarkan *frame* tunggal

t_{prop} = waktu propagasi

Mengingat bahwa $a = t_{prop}/t_{frame}$, maka akan didapat kembali persamaan (2-4). Bila terjadi kesalahan, persamaan (2-10) akan menjadi :

$$U = \frac{t_{frame}}{N_r t_t} \quad (2-12)$$

Dengan

N_r = jumlah transmisi *frame* yang diharapkan.

t_{frame} = waktu bagi pengirim untuk memancarkan *frame* tunggal

t_t = total waktu di mana jalur dipergunakan untuk mentransmisikan *frame* tunggal

Maka pada *stop and wait* ARQ memiliki persamaan :

$$U = \frac{1}{N_r(1 + 2a)} \quad (2-13)$$

Dengan

U = Utilitas atau efisiensi

N_r = jumlah transmisi *frame* yang diharapkan.

a = perbandingan waktu propogasi dengan waktu transmisi

Pernyataan sederhana untuk N_r , bisa diperoleh dengan mempertimbangkan probabilitas P yang menyatakan bahwa *frame* tunggal mengalami kesalahan. Bila diasumsikan bahwa ACK dan NACK tidak pernah mengalami kesalahan,

probabilitasnya adalah k akan berupaya mentransmisikan *frame* sebaik-baiknya $P^{k-1}(1 - P)$. Maksudnya, sistem telah berupaya namun tidak berhasil ($k-1$) kemudian berupaya lagi dan berhasil; probabilitas dari kejadian ini hanya merupakan akibat dari probabilitas kejadian yang muncul terpisah. Maka :

$$N_r = \sum_{i=1}^{\infty} (iP^{i-1}(1 - P)) = \frac{1}{1 - P} \quad (2-14)$$

Dengan

N_r = jumlah transmisi *frame* yang diharapkan.

P = probabilitas *frame* tunggal mengalami kesalahan

i = jumlah *frame* yang ditransmisikan

Selanjutnya jika diasumsikan bahwa N_r adalah jumlah *frame* yang ditransmisikan agar berhasil mentransmisikan 1 *frame*. Maka pada stop and wait ARQ kita peroleh:

$$U = \frac{1 - P}{2a + 1} \quad (2-15)$$

Berdasarkan window protocol, persamaan (2-9) di aplikasikan pada operasi bebas kesalahan. Pada *selective reject* ARQ kita dapat asumsikan seperti pada *stop and wait* ARQ. Dimana operasi bebas kesalahan didefenisikan oleh N_r . Dimana $N_r = 1/(1-P)$. Jadi pada *selective reject* ARQ :

$$U = \begin{cases} 1 - P & W \geq 2a + 1 \\ \frac{W(1 - P)}{2a + 1} & W < 2a + 1 \end{cases} \quad (2-16)$$

Maka untuk *Go Back-N* ARQ :

$$N_r = \sum_{i=1}^{\infty} f(i)P^{i-1}(1 - P) \quad (2-17)$$

Dimana $f(i)$ adalah total jumlah *frame* yang ditransmisikan bila *frame* yang asli harus ditransmisikan i kali. Hal ini bisa dinyatakan dengan :

$$\begin{aligned}
 N_r &= (1 - K) \sum_{i=1}^{\infty} P^{i-1}(1 - P) + K \sum_{i=1}^{\infty} iP^{i-1}(1 - P) \\
 &= 1 - K + \frac{K}{1-P} \\
 &= \frac{1-P+KP}{1-P}
 \end{aligned}
 \tag{2-18}$$

Dengan memperhatikan Gambar 2.10, dapat disimpulkan bahwa K setara dengan $(2a + 1)$ untuk $W \geq 2a + 1$, dan $K=W$ untuk $W < 2a + 1$. Sehingga utilitas pada *Go Back N* ARQ adalah:

$$U = \begin{cases} \frac{1 - P}{1 + 2aP} & W \geq 2a + 1 \\ \frac{W(1 - P)}{(2a + 1)(1 - P + WP)} & W < 2a + 1 \end{cases}
 \tag{2-19}$$

Dengan :

- a = perbandingan waktu propogasi dengan waktu transmisi
- W = ukuran *window*
- P = probabilitas transmisi suatu *frame* dengan sukses.
- U = utilitas

2.3 Jaringan *Local Area Network* (LAN)

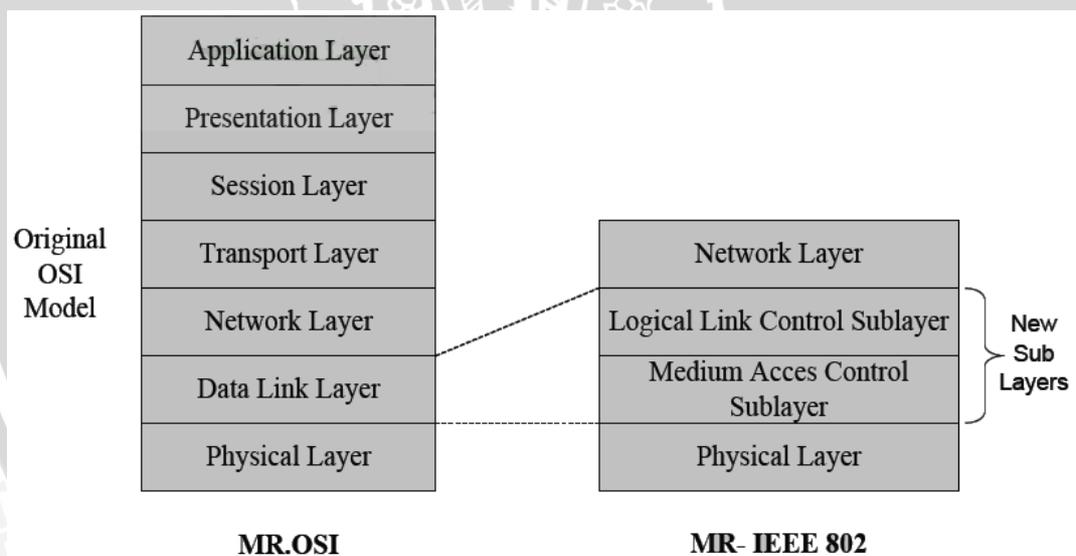
2.3.1 Umum

Berdasarkan standar IEEE, *Local Area Network* didefenisikan sebagai jaringan komunikasi yang menghubungkan beberapa *device*, seperti *Personal Computer*, *workstation*, *printer*, *mainframe*, dan *data peripheral* yang dapat mentransmisikan data dalam area yang terbatas. Batasan daerah atau "*local area*" adalah kurang dari 100 feet (< 30 m) hingga melebihi 6 mil (> 10 km). Jaringan LAN sangat cocok dibangun pada daerah gedung perkantoran, kampus, rumah sakit, dan gedung-gedung lainnya (Freeman, 2005)

2.3.2 Standar Jaringan *Local Area Network* (LAN)

Teknologi LAN dikembangkan pertama kalinya pada akhir 1970-an dan awal 1980-an. Sejumlah tipe jaringan yang berbeda diusulkan dan diimplementasikan. Namun, karena adanya perbedaan itu, maka teknologinya hanya dapat diaplikasikan pada peralatan milik *vendor* yang merancang teknologi LAN tersebut. Untuk mengatasi hal ini, maka disusunlah suatu standar untuk LAN, sehingga ada kompatibilitas antara produk-produk dari *vendor* berbeda. Kontributor terbesar adalah *Institute of Electrical Engineering* (IEEE) yang merumuskan Model Referensi 802 (MR-IEEE802) dan diadopsi oleh *International Standards Organization* sebagai standar internasional.

Standar LAN ini merupakan penggambaran yang sangat baik dalam menunjukkan lapisan-lapisan protokol yang mengatur fungsi-fungsi dasar LAN. Gambar 2.11 menunjukkan hubungan antara standar untuk komunikasi komputer yang telah ditetapkan sebelumnya yaitu *Model Referensi Open System Interconnection* (MR-OSI) dengan MR-IEEE 802 (Standar LAN).



Gambar 2.11 Hubungan Model Referensi OSI dan IEEE 802

(Sumber : Stallings, 2007)

2.3.3 Media Transmisi

Dalam suatu transmisi data, media transmisi merupakan jalur fisik di antara pengirim dan penerima. Ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan media transmisi, di antaranya adalah kapasitas, keandalan, tipe data yang didukung dan jarak. Semakin tinggi kecepatan data dan semakin jauh jaraknya, akan semakin baik. Ada tiga media kabel yang umum digunakan untuk transmisi data, khususnya LAN, yaitu kabel *twisted pair*, *coaxial*, dan *fiber optic*.

- **Kabel *Twisted Pair***

Twisted pair adalah media transmisi *guided* yang paling hemat dan paling banyak digunakan. Sebuah *twisted pair* terdiri dari dua kawat yang disekat yang disusun dalam suatu pola *spiral* beraturan. *Twisted pair* terbagi atas dua jenis, yaitu *Unshielded Twisted Pair* (UTP) dan *Shielded Twisted Pair* (STP). Kabel UTP berupa kabel telepon biasa dan umumnya lebih banyak digunakan. Gangguan yang terjadi pada UTP adalah interferensi elektromagnetik eksternal, meliputi interferensi *twisted pair* yang berdekatan dan dari derau yang muncul akibat lingkungan sekitar. Salah satu cara untuk meningkatkan karakteristik media ini adalah melapisi *twisted pair* dengan suatu pelindung metalik agar bisa mengurangi interferensi. Sedangkan STP memiliki kinerja yang lebih baik pada kecepatan data yang lebih tinggi namun harganya lebih mahal dan lebih sulit mengoperasikannya dibanding UTP.

- **Kabel *Coaxial***

Kabel *Coaxial* seperti halnya dengan *twisted pair* terdiri dari dua konduktor, namun disusun berlainan untuk mengatur pengoperasiannya melalui jangkauan frekuensi yang lebih luas dan mampu digunakan dengan efektif pada kecepatan data yang lebih tinggi. Terdiri dari konduktor silindris yang mengelilingi suatu kawat konduktor dalam tunggal. Konduktor bagian dalam dibungkus baik dengan konduktor kawat jaring maupun penyekat dalam. Konduktor terluar dilindungi oleh suatu selubung atau pelindung. Sebuah kabel *coaxial* tunggal memiliki diameter mulai dari 1 sampai 2,5 cm. Karena perlindungan ini, dengan konstruksi berbentuk melingkar, kabel *coaxial* menjadi tahan terhadap interferensi dan *crosstalk* dibandingkan dengan *twisted pair*. Gangguan-

gangguan utama terhadap kinerja kabel *coaxial* biasanya berupa *attenuasi*, derau suhu, dan derau intermodulasi

- **Kabel *Fiber Optic***

Salah satu terobosan terbesar dalam bidang transmisi data adalah pengembangan sistem serat optik praktis. Sebuah kabel serat optik (*fiber optic*) memiliki bentuk silindris dan terdiri dari tiga bagian konsentris, yaitu : inti, *cladding*, dan selubung. Inti merupakan bagian terdalam dan terdiri dari satu atau lebih untaian, atau serat, baik yang terbuat dari kaca maupun plastik, dan bentuknya pun tipis sekali. Inti memiliki diameter yang berkisar antara 8 sampai 100 μm . Masing-masing serat dikelilingi oleh *cladding*, yaitu berupa plastik atau kaca yang melapisi dan memiliki sifat-sifat yang berbeda dengan plastik atau kaca pada inti. Serat optik dianggap handal digunakan dalam telekomunikasi jarak jauh, dan mulai dimanfaatkan untuk keperluan militer. Peningkatan kerja dan penurunan harga serta kemampuannya dalam membawa informasi dalam jumlah besar, membuat serat optik juga diaplikasikan pada LAN.

2.3.4 *Ethernet*

Standar yang digunakan untuk LAN dengan metode akses *Carrier Sense Multiple Acces with Collision Detection* (CSMA/CD) adalah Standar IEEE 802.3 atau lebih dikenal dengan *Ethernet*.

Ethernet adalah sebuah metode akses jaringan, di mana semua *host* di jaringan tersebut berbagi *bandwith* yang sama dari sebuah *link*. *Ethernet* menjadi populer karena ia mudah sekali disesuaikan dengan kebutuhan (*scalable*), artinya cukup mudah untuk mengintegrasikan teknologi baru seperti *Fast Ethernet* dan *Gigabit Ethernet*, ke dalam instruktur network yang ada. *Ethernet* juga relatif mudah untuk diimplementasikan dari awal, dan cara pemecahan masalahnya juga mudah. *Ethernet* menggunakan spesifikasi *layer Physical* dan *Data Link*.

Dalam pentransmisian data, *Ethernet* umumnya memakai satu medium untuk mentransmisikan *frame-frame* data dari komputer yang berbeda. Artinya, semua komputer yang terlibat di dalam jaringan tersebut umumnya berbagi medium transmisi untuk mengirimkan *frame* datanya ke tujuan. Hal ini akan mengakibatkan dua komputer atau lebih dapat mengirimkan *frame* data pada waktu yang bersamaan, sehingga dapat menyebabkan terjadinya tubrukan antar-*frame* data tersebut. Tubrukan ini juga akan mengakibatkan berkurangnya *throughput*. Selain itu, komputer-komputer tersebut juga

berbagi dalam penggunaan *bandwith* dengan total *bandwith* yang dipakai sebesar 10 Mbps atau 100 Mbps. Dengan pembagian ini maka masing-masing komputer akan memperoleh *bandwith* yang lebih sedikit dari yang disediakan.

- **Jenis-jenid *Ethernet***

Ethernet pertama kali diperkenalkan pada tahun 1976 di Xerox's Palo Alto Reasearch Center (PARC). Sejak itu, *Ethernet* telah melalui beberapa generasi, yaitu *Standard Ethernet* (10 Mbps), *Fast Ethernet* (100 Mbps), *Gigabit Ethernet* (1 Gbps) dan *Ten-Gigabit Ethernet* (10 Gbps).

1. **Standard *Ethernet***

Semua *standard Ethernet* menggunakan kode *Manchester* dalam mengirimkan datanya melalui media transmisinya. Adapun pembagian *standard Ethernet* menurut media transmisinya adalah sebagai berikut (Stalling, 2005) :

- **10Base5 : *Thick Ethernet***

10Base5 adalah spesifikasi media 802.3 yang asli dan secara langsung berbasis *Ethernet*. 10Base5 menentukan penggunaan kabel koaksial 50 ohm serta penggunaan pensinyalan digital *Manchester*. Panjang segmen kabel maksimum ditetapkan sejauh 500 meter, sedangkan panjang jaringan bisa diperpanjang dengan menggunakan *repeater*.

- **10Base2 : *Thin Ethernet***

Untuk menyediakan suatu sistem dengan biaya lebih rendah daripada 10Base5 untuk LAN komputer pribadi, ditambahkan 10Base2. *Thin Ethernet* ini juga menggunakan kabel koaksial 50 ohm. Perbedaan dasarnya dengan 10Base5 adalah 10Base2 menggunakan kabel yang lebih tipis, yang mampu mendukung lebih sedikit tap pada jarak yang lebih pendek.

- **10Base-T : *Twisted-Pair Ethernet***

Spesifikasi 10Base-T ini menggunakan topologi bintang, yaitu sebuah sistem sederhana yang terdiri dari sejumlah *station* yang terhubung ke titik sentral, yang disebut sebagai *multiport repeater*, melalui dua *unshielded twisted pair*. Karena tingginya *rate data* dan rendahnya mutu transmisi *unshielded twisted pair*, panjang jalur dibatasi sampai 100 meter.

- 10Base-F : Fiber Ethernet

10Base-F menggunakan topologi *star* untuk menghubungkan *station-station* melalui sebuah *hub*. *Station-station* tersebut dihubungkan ke *hub* menggunakan dua kabel *fiber optic*.

Tabel 2.2 IEEE 802.3 10-Mbps Physical Layer Medium Alternatives

	10BASE5	10BASE2	10BASE-T	10BASE-FP
Transmission medium	Coaxial cable (50 ohm)	Coaxial cable (50 ohm)	Unshielded twisted pair	850-nm optical fiber pair
Signaling technique	Baseband (Manchester)	Baseband (Manchester)	Baseband (Manchester)	Manchester/on-off
Topology	Bus	Bus	Star	Star
Maximum segment length (m)	500	185	100	500
Nodes per segment	100	30	—	33
Cable diameter (mm)	10	5	0.4 to 0.6	62.5/125 μ m

(Sumber : Stallings, 2007)

2. Fast Ethernet

Fast Ethernet dirancang untuk bersaing dengan protokol LAN seperti FDDI atau *Fiber Channel*. IEEE menciptakan *Fast Ethernet* dengan nama 802.3u. *Fast Ethernet* sangat *compatible* dengan *Standar Ethernet*, tapi *Fast Ethernet* dapat mentransmisikan data 10 kali lebih cepat pada laju 100 Mbps.

Tabel 2.3 IEEE 802.3 100-Mbps Physical Layer Medium Alternatives

	100BASE-TX		100BASE-FX	100BASE-T4
Transmission medium	2 pair, STP	2 pair, Category 5 UTP	2 optical fibers	4 pair, Category 3, 4, or 5 UTP
Signaling technique	MLT-3	MLT-3	4B5B, NRZI	8B6T, NRZ
Data rate	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps
Maximum segment length	100 m	100 m	100 m	100 m
Network span	200 m	200 m	400 m	200 m

(Sumber : Stallings, 2007)

100 BASE-X mencakup dua spesifikasi medium fisik, satu untuk twisted pair, yang dikenal sebagai 100BASE-TX, dan satu untuk serat optik, yang dikenal sebagai 100-BASE-FX. 100BASE-TX menggunakan dua pasang kabel twisted-pair, satu pasang digunakan untuk transmisi dan satu untuk penerimaan.

100BASE-FX menggunakan dua kabel serat optik, satu untuk transmisi dan satu untuk penerimaan.

100BASE-T4 100BASE-T4 dirancang untuk menghasilkan kecepatan 100-Mbps menggunakan kabel kualitas rendah UTP cat-3, aliran data yang akan ditransmisikan dibagi menjadi tiga aliran data yang terpisah. Data dikirim menggunakan tiga pasang dan menerima menggunakan tiga pasang. Dengan demikian, dua pasangan harus dikonfigurasi untuk transmisi dua arah.

3. Gigabit Ethernet

Gigabit Ethernet dirancang dengan kecepatan 1000 Mbps, dengan tujuan sebagai berikut :

- Meng-*upgrade* laju data hingga 1 Gbps.
- Dibuat agar lebih *compatible* dengan *Standard Ethernet*.
- Menggunakan bit alamat yang sama yaitu sebesar 48-bit.
- Menggunakan format *frame* yang sama.
- Tetap mempertahankan panjang *frame* minimum dan maksimum yang sama.

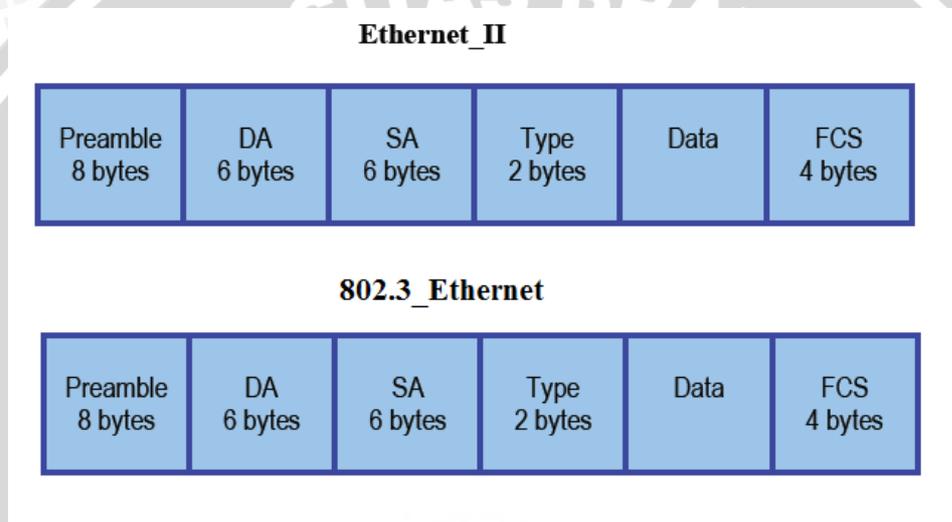
4. Ten-Gigabit Ethernet

Standar IEEE merancang *Ten-Gigabit Ethernet* dengan tujuan[3] sebagai berikut:

- Meng-*upgrade* laju data hingga 10 Gbps.
- Agar lebih *compatible* dengan dengan *Standard, Fast, dan Gigabit Ethernet*.
- Menggunakan bit alamat yang sama yaitu sebesar 48-bit.
- Menggunakan format *frame* yang sama.
- Tetap mempertahankan panjang *frame* minimum dan maksimum yang sama.
- Dapat menginterkoneksi LAN ke dalam jaringan yang lebih luas, seperti *Metropolitan Area Network (MAN)*, atau *Wide Area Network (WAN)*.
- Membuat teknologi *Ethernet compatible* dengan teknologi lainnya seperti *Frame Relay* dan *ATM*.

- **Frame Ethernet**

Layer Data Link bertanggung jawab dalam menggabungkan bit menjadi *byte* dan *byte* menjadi *frame*. *Frame* digunakan di *Layer Data Link* untuk membungkus (*encapsulate*) paket yang diterima dari *Layer Network*. Sebuah *host Ethernet* melewati *frame* data ke *host* lain menggunakan sejumlah bit yang disebut format *frame MAC* (*MAC frame format*). Ini hanya memberikan deteksi *error* dari apa yang disebut *Cyclic Redundancy Check* (*CRC*), bukan mengoreksinya. *Frame 802.3* dan *frame Ethernet* ditunjukkan pada Gambar 2.12



Gambar 2.12 Hubungan Format *Frame 802.3* dan *Ethernet*
(Sumber : Lammlle, 2005)

Berikut ini akan diberikan secara rinci *field-field* (bagian dari *frame*) di *frame 802.3* dan *frame Ethernet* :

- **Preamble.** Field yang berisi bit dengan pola 1 dan 0 bergantian, yang memberikan clock 5 MHz pada awal dari setiap paket, yang memungkinkan alat penerima mengetahui bit-bit yang datang dan menguncinya.
- **Start Frame Delimiter (SFD)/Synch.** *Preamble* terdiri dari 7 oktet (1 oktet = 8 bit), sedangkan SFD hanya 1 oktet, yaitu 10101011, di mana 2 bit terakhir membuat penerima bisa melakukan sinkronisasi terhadap pola 1 dan 0 yang bergantian tersebut dan mengetahui bahwa bit berikutnya adalah bit data.

- **Alamat Tujuan (*Destination Address, DA*)**, terdiri dari 48-bit dengan menggunakan apa yang disebut dengan bit yang kurang penting (*Least Significant Bit, LSB*) pada awalnya. DA digunakan oleh *host* penerima untuk menentukan apakah paket yang datang ditujukan untuk sebuah *host* atau sebuah titik tertentu di jaringan atau tidak. DA dapat berupa alamat *individual*, atau alamat MAC *broadcast* atau *multicast*. Sebuah *broadcast* adalah semuanya 1 (atau F dalam bilangan heksadesimalnya) dan dikirim ke semua perangkat, sedangkan sebuah *multicast* hanya dikirim ke sebuah *subset* atau kumpulan dari beberapa titik atau di jaringan saja.
- **Alamat Asal (*Source Address, SA*)**, adalah alamat MAC yang terdiri dari 48 bit yang digunakan untuk mengidentifikasi alamat pengirim dan menggunakan LSB (*Least Significant Bit*). Format alamat *broadcast* dan *multicast* tidak boleh ada di *field SA*.
- ***Field Panjang (Length) atau Type***. Protokol 802.3 menggunakan *field Length*, sedangkan *Ethernet* menggunakan *field Type* untuk mengidentifikasi protokol *Layer Network*.
- ***Data***. *Field* ini berisi data yang dikirim turun dari *layer Network* ke *layer Data Link*. Ukurannya bisa bervariasi dari 64 sampai 1500 *byte*.
- ***Frame Check Sequence (FSC)***, adalah *field* di akhir *frame* yang digunakan untuk menyimpan *Cyclic Redudancy Error (CRC)*.

2.4 Jaringan Metropolitan Area Network (MAN)

2.4.1 Umum

Metropolitan Area Network (MAN) melingkupi wilayah geografis yang luas dan radiusnya mencakup sebuah kota. MAN pada dasarnya merupakan versi LAN yang berukuran leboh besar dan biasanya memakai teknologi yang sama dengan LAN. MAN merupakan pilihan untuk membangun jaringan komputer antar kantor dalam satu kota. MAN dapat mencakup perusahaan yang memiliki kantor-kantor yang letaknya sangat berdekatan dan MAN mampu menunjang data dan suara, bahkan bisa disambungkan dengan jaringan televisi kabel. Di dalam jaringan MAN hanya memiliki satu atau dua buah kabel yang fungsinya untuk mengatur paket melalui kabel output.

MAN mengadopsi teknologi dari LAN dan WAN. Beberapa teknologi yang digunakan untuk MAN adalah ATM, FDDI, DQB, dan SMDS. Untuk media

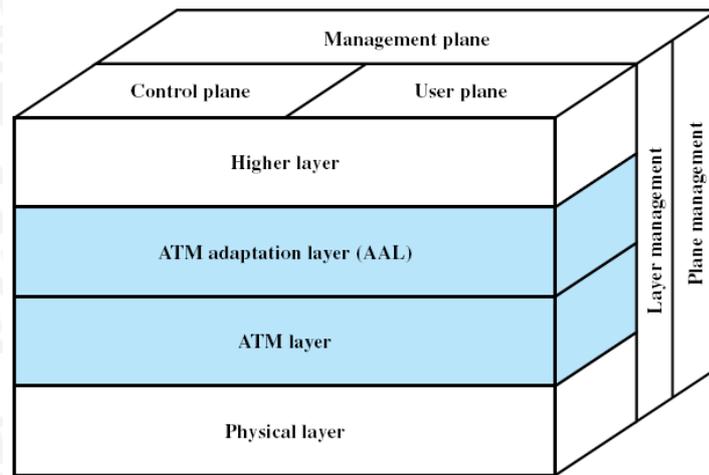
transmisinya, MAN menggunakan serat optik atau teknologi nirkabel menggunakan gelombang mikro atau radio. Pada skripsi ini yang akan dianalisis adalah MAN dengan menggunakan teknologi ATM (*Asynchronous Transfer Mode*).

2.4.2 ATM

Asynchronous Transfer Mode (ATM), sebagaimana packet-switching dan frame relay, melibatkan pentransferan data dalam bentuk potongan-potongan yang memiliki ciri-ciri tersendiri. Selain itu, ATM memungkinkan *multiple* koneksi logik dimultiplexingkan melalui sebuah interface fisik tunggal. Pada ATM, informasi yang mengalir pada koneksi logik disusun menjadi paket-paket berukuran tertentu yang disebut *cell*.

ATM merupakan protocol yang efisien dengan kemampuan kontrol kesalahan dan kontrol aliran minimal. Hal ini menyebabkan berkurangnya *overhead* yang diperlukan masing-masing *cell*, sehingga memungkinkan ATM beroperasi pada rate yang cukup tinggi. Selanjutnya, penggunaan cell-cell berukuran tertentu menyederhanakan proses pengolahan yang diperlukan pada setiap simpul-simpul ATM, yang berarti juga mendukung penggunaan-penggunaan ATM pada rate data yang tinggi.

Standar-standar yang diterbitkan untuk ATM oleh ITU-T yang berbasis arsitektir protokol ditunjukkan dalam Gambar 2.13, yang mengilustrasikan arsitektur dasar untuk interface di antara pemakai dan jaringan. Lapisan fisik melibatkan spesifikasi media transmisi dan skema pengkodean sinyal. Rate data yang ditetapkan pada lapisan fisik berkisar mulai dari 25,6 Mbps 51,84 Mbps, 155,52 Mbps, dan 622,08 Mbps (ITU-T I.432). Rate data lainnya, baik yang lebih tinggi maupun yang lebih rendah juga dimungkinkan.

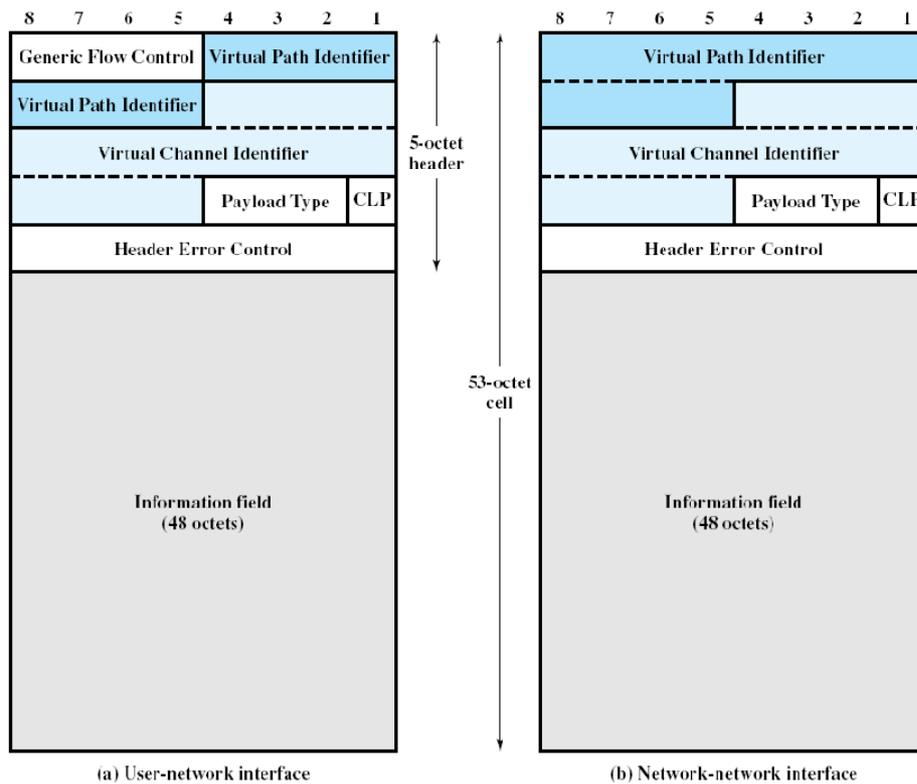


Gambar 2.13 Arsitektur protokol ATM
(Sumber : Stallings, 2007)

2.4.3 Sel-Sel ATM

ATM menggunakan sel berukuran tetap, berisi header 5 oktet dan bidang informasi 48 oktet. Terdapat sejumlah keuntungan penggunaan sel-sel kecil berukuran tetap. Pertama, penggunaan sel-sel kecil dapat mengurangi *delay* antrian untuk sel berprioritas tinggi, karena sel itu menunggu lebih singkat bila tiba sedikit di belakang sel berprioritas rendah yang sudah mendapat akses terhadap sebuah *resource* (misal, pemancar). Kedua, nampak bahwa sel berukuran tetap dapat dilangsirkan lebih efisien, yang penting bagi laju data tinggi dari ATM. Dengan sel berukuran tetap, lebih mudah mengimplementasikan mekanisme penyambungan dalam perangkat keras.

Gambar 2.14a menunjukkan format header pada antarmuka pengguna jaringan. Gambar 2.14b menunjukkan format header sel internal jaringan. Karena untuk internal jaringan, bidang *Genecir Flow Control* yang melaksanakan fungsi-fungsi ujung ke ujung tidak disimpan. Sebaliknya, *Virtual Path Identifier* diperbesar dari 8 menjadi 12 bit.



Gambar 2.14 Format *Frame* ATM

(Sumber : Stallings, 2007)

Ini memungkinkan dukungan pengembangan banyak VPC (*Virtual Path Connection*) internal jaringan, sehingga memasukkan VPC-VPC yang mendukung para pelanggan dan yang dibutuhkan untuk pengelolaan jaringan.

Bidang *Generic Flow Control* dapat digunakan untuk kendali aliran sel pada antarmuka pengguna-pengguna jaringan lokal. Bidang ini dapat digunakan untuk membantu pelanggan mengendalikan aliran lalu lintas untuk berbagai mutu layanan. Salah satu calon pengguna bidang ini adalah sebagai penunjuk tingkat banyaknya prioritas untuk mengendalikan aliran informasi yang bergantung pada layanan

Bidang *Virtual Path Identifier* berisi perutean untuk jaringan. Bidang ini berukuran 8 bit untuk antarmuka pengguna jaringan dan 12 bit untuk antarmuka jaringan-jaringan, sehingga memungkinkan dukungan lebih banyak jalur maya dalam jaringan. Bidang *Virtual channel identifier* (VCI) digunakan untuk dari dan ke pengguna akhir. Maka, VCI banyak berfungsi sebagai titik akses layanan.

Bidang *Payload Type* menunjukkan jenis informasi dalam bidang informasi. Bidang ini membawa informasi pengguna, informasi kemacetan, dan isi informasi sel. Bidang *Cell Loss Priority* (CLP) digunakan untuk memberi petunjuk kepada jaringan

bila terjadi kemacetan. Nilai 0 berarti sel dengan prioritas relatif tinggi, sedangkan 1 untuk sel prioritas rendah. Sedangkan bidang *Header Error Control* (HEC) digunakan untuk *error control* dan *shynchronization*.

2.5 Standar Error

Error dapat terjadi pada pentransmisian data dikarenakan atenuasi dan *noise* baik itu diantaranya *thermal noise*, *Intermodulation noise*, *crosstalk* dan *impuls noise*. Dalam segi teknikal kemungkinan *error* akan meningkat jika kinerja perangkat yang digunakan tidak baik dan kondisi medium fisik seperti kabel atau konektor tidak memenuhi standar yang telah ditetapkan.

Pada *Ethernet*, terdapat kondisi-kondisi dimana suatu pentransmisian dikatakan *error*, yakni:

- *Runt*

Runt adalah frame data yang lebih kecil dari 64 bytes atau FCS mengalami kerusakan yang disebabkan oleh perangkat lunak atau rusaknya port NIC.

- *Long*

Frame yang memiliki ukuran 1518 sampai dengan 6000 bytes, kebanyakan hal ini dikarenakan kesalahan *hardware* dan *software* pada stasiun pengirim

- *Giant*

Frame yang memiliki ukuran lebih dari 6000 bytes, kebanyakan hal ini dikarenakan kesalahan *hardware* dan *software* pada stasiun pengirim

- *Dribble*

Sebuah *frame* dikatakan *dribble* jika lebih dari 1518 byte tetapi masih bisa diproses. Hal ini menjadi masalah jika *Inter Packet Gap* terlalu kecil atau bahkan tidak ada, sehingga 2 *frame* digabung bersama

- *Jabber*

Hal ini terjadi jika peralatan terutama NIC mengalami gangguan elektrik, sehingga mengirimkan sinyal yang salah. Misalnya NIC mengirimkan sinyal ke penerima yang mengindikasikan bahwa jaringan sibuk, padahal jaringan tidak sibuk.

- *FCS error atau CRC error*

Frame rusak yang memiliki nomor bit yang salah dikarenakan gangguan pada media transmisi

- *Alignment error*

Salah satu atau beberapa bagian dari frame hilang

- *Collisions*

Tabrakan antar frame pada jaringan

Setiap jaringan dan protokol memiliki standar *error* yang berbeda. Pada skripsi ini akan digunakan standar *error* ANSI dengan BER 10^{-8} untuk LAN dengan *Ethernet* 100BaseTx dan AF-PHY-0015.000 ATM *Forum standard* dengan BER 10^{-10} untuk MAN dengan protokol ATM

2.6 *Error Detection*

Error Detection adalah proses pelacakan kesalahan selama transmisi data berlangsung, yaitu perubahan satu atau beberapa bit dari nilai "1" ke "0" atau sebaliknya. Metode ini memastikan bahwa data yang diterima sama dengan data yang dikirim. *Error Detection* mendeteksi bit yang *error* dan berusaha untuk merubah bit yang *error* menjadi bit yang benar dimana penerima mendeteksi *error* dan membuang PDU yang *error*.

Error dapat disebabkan oleh beberapa hal, antara lain *noise*, baik *black noise* maupun *white noise*, sinyal elektrik yang tidak sesuai, kebisingan atau gangguan lain selama transmisi dari *transmitter* ke *receiver* yang mengakibatkan terjadi perubahan data seperti bit 0 berubah menjadi 1 atau sebaliknya.

Terdapat beberapa teknik *Error Detection*, seperti Parity Check, CRC (*Cyclic Redudancy Check*). Pada skripsi ini *Error Detection* yang digunakan dalam analisa performansi adalah CRC yang beroperasi pada sebuah *frame/block*. Untuk lebih jelasnya metode dan contoh penggunaan CRC dapat dilihat pada bagian lampiran.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Kajian yang digunakan dalam skripsi ini adalah kajian yang bersifat analisis, yaitu analisis terhadap performansi ARQ pada pengendalian kesalahan data jika diterapkan mekanisme *Stop and Wait* ARQ, *Go Back- N* ARQ, dan *Selective Reject* ARQ dengan menganalisis parameter *delay*, dan utilitas dengan probabilitas *error* yang berbeda, serta mengetahui pengaruh ketiga mekanisme tersebut jika diterapkan dalam hubungan LAN dan MAN. Metodologi yang digunakan pada skripsi ini meliputi:

1. Studi Literatur
2. Pengambilan Data
3. Perhitungan dan Analisa Data
4. Pengambilan Kesimpulan

3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari dan memahami konsep yang terkait dengan penerapan ARQ pada hubungan LAN dengan menerapkan protokol 100Base-TX *Ethernet* dan MAN dengan protokol ATM (*Asynchronous Transfer Mode*). Studi literatur yang dilakukan adalah mengenai karakteristik, parameter, serta teori pengantar lain yang menunjang dalam penulisan skripsi ini.

3.2 Pengambilan Data

Data-data yang diperlukan dalam kajian ini terdiri dari data sekunder yang bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, internet. Data sekunder yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini

3.3 Perhitungan dan Analisis Data

Metode analisis data yang dilakukan adalah mengumpulkan beberapa nilai parameter dari data sekunder sesuai dengan standar yang digunakan untuk kemudian dianalisis, yang meliputi performansi sebagai berikut :

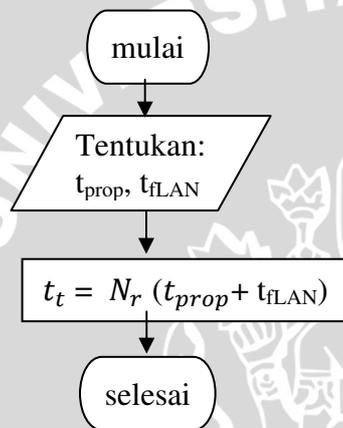
1. *Delay* transmisi dan *delay* propagasi teknik *Stop and Wait* ARQ, *Go Back- N* ARQ, dan *Selective Reject* ARQ pada hubungan LAN dengan protokol 100Base-TX *Ethernet*

2. *Delay* transmisi dan *delay* propagasi teknik *Stop and Wait ARQ*, *Go Back- N ARQ*, dan *Selective Reject ARQ* pada hubungan MAN dengan protokol ATM
3. Utilitas mekanisme ARQ pada hubungan LAN (100Base-TX *Ethernet*) dan MAN (ATM) dengan probabilitas *error* yang berbeda dengan teknik:

- *Stop and Wait ARQ*
- *Selective Reject ARQ*
- *Go Back- N ARQ*

Berikut langkah – langkah perhitungan untuk mendapatkan performansi – performansi yang diinginkan :

1. Mencari *delay* pada hubungan LAN dengan cara:



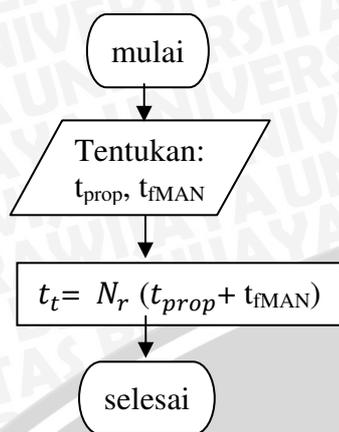
Dengan:

- t_t = total *delay* transmisi dan propagasi
- t_{prop} = waktu perambatan dari sumber ke tujuan
- t_{LAN} = waktu untuk mentransmisikan sebuah *frame* (LAN)
- N_r = banyaknya *frame* yang ditransmisikan jika terjadi *error*

Gambar 3.1 Flowchart *delay* LAN
(Sumber : Perancangan 2011)

Khusus untuk *Stop and Wait ARQ* $t_T = N_r (2t_{prop} + t_{frameLAN})$

2. Mencari *delay* pada hubungan MAN dengan cara:



Dengan:

t_t = total *delay* transmisi dan propagasi

t_{prop} = waktu perambatan dari sumber ke tujuan

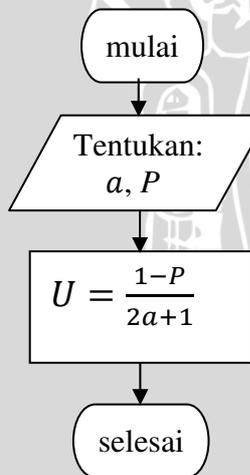
t_{fMAN} = waktu untuk mentransmisikan sebuah *frame* (MAN)

N_r = banyaknya *frame* yang ditransmisikan jika terjadi *error*

Gambar 3.2 Flowchart *delay* MAN
(Sumber : Perancangan 2011)

Khusus untuk *Stop and Wait ARQ* $t_T = N_r(2t_{prop} + t_{frameLAN})$

3. Mencari Utilitas



Dengan:

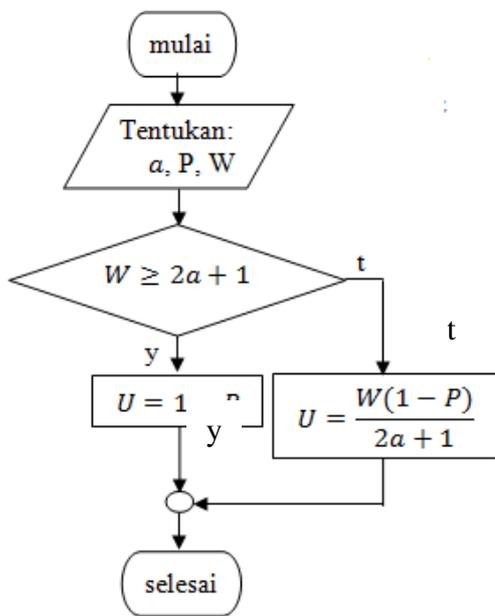
U = Utilitas

a = Perbandingan waktu propagasi dan waktu transmisi

P = Probabilitas kesalahan pengiriman *frame*

Gambar 3.3 Flowchart Utilitas *Stop and wait ARQ*
(Sumber : Perancangan 2011)

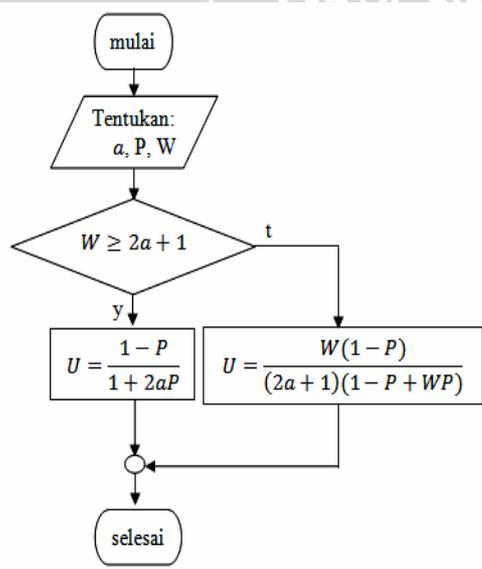




Gambar 3.4 Flowchart Utilitas Selective Reject ARQ
(Sumber : Perancangan 2011)

Dengan:

- U = Utilitas
- a = Perbandingan waktu propagasi dan waktu transmisi
- P = Probabilitas kesalahan pengiriman *frame*
- W = Ukuran *window*



Gambar 3.5 Flowchart Utilitas Go Back- N ARQ
(Sumber : Perancangan 2011)

Dengan:

- U = Utilitas
- a = Perbandingan waktu propagasi dan waktu transmisi
- P = Probabilitas kesalahan pengiriman *frame*
- W = Ukuran *window*

3.4 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan dari teori, hasil simulasi, serta perhitungan dan analisis data yang telah dilakukan. Tahap selanjutnya dilakukan pemberian saran yang dimaksudkan kepada pembaca yang akan melakukan studi tentang skripsi ini ataupun sebagai bahan pendukung dari penelitian-penelitian selanjutnya.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

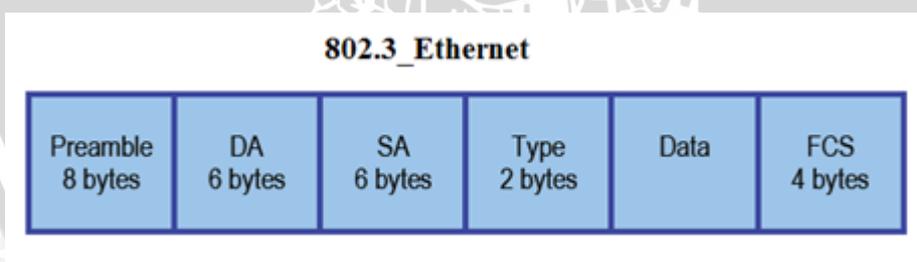
2.7 Umum

Analisis performansi ARQ yang dilakukan pada bab ini berdasarkan pada teori dan persamaan yang terdapat pada Bab II. Performansi ARQ pada LAN dan MAN meliputi *delay* (*meliputi delay transmisi dan delay propagasi*), utilitas, dan parameter-parameter lain yang dibutuhkan untuk perhitungan dengan menggunakan mekanisme *Stop and Wait ARQ*, *Go Back- N ARQ*, dan *Selective Reject*. Hasil analisis akan disimulasikan dengan menggunakan program Matlab 7.5.0 (R2007b). Hasil perhitungan performansi ARQ pada LAN dan MAN dengan menggunakan masing-masing mekanisme ARQ merupakan hasil yang ingin dicapai dalam penulisan skripsi ini.

2.8 Analisis Performansi *Automatic Repeat Request* (ARQ) pada LAN

Dalam sub-bab ini akan dibahas performansi *Automatic Repeat Request* (ARQ) pada LAN dengan menggunakan mekanisme *Stop and Wait ARQ*, *Go Back- N ARQ* dan *Selective Reject* terdiri dari *delay* (*meliputi delay transmisi dan delay propagasi*) dan utilitas.

Pada LAN, format *frame* yang digunakan adalah standard *Frame 802.3 Ethernet*



Gambar 4.1 *Frame 802.3 Ethernet.*
(Sumber : Lammlle, 2005)

Panjang total untuk 1 frame adalah 1526 byte. Kecepatan bit rate sesuai dengan standar *100Base-TX* yakni 100 Mbps.

Pada analisa berikut kita asumsikan panjang frame maksimal yakni 1526 byte dan kedua stasiun di hubungkan oleh kabel UTP cat-5 yang mempunyai kecepatan transmisi 2×10^8 m/s dengan panjang 10 - 100 m

Maka dapat kita hitung kecepatan transmisi sebuah frame dari persamaan (2.7) yakni:

$$t_{frame} = \frac{L}{R} = \frac{1526 \text{ byte}}{100 \text{ Mbps}} = \frac{12208 \text{ bit}}{100 \text{ Mbps}} = 0,12208 \text{ ms}$$

dan kecepatan propagasi dari persamaan (2.6) sebesar dengan mengasumsikan jarak kabel adalah 100m :

$$t_{prop} = \frac{d}{V} = \frac{100 \text{ m}}{2 \times 10^8 \text{ m/s}} = 0,0005 \text{ ms}$$

Sehingga diperoleh a sesuai persamaan (2.5) :

$$a = \frac{t_{prop}}{t_{frame}} = \frac{0,0005 \text{ ms}}{0,12208 \text{ ms}} = 0,0040956$$

Sesuai dengan standar ANSI untuk *Ethernet* 100BaseTX, BER harus lebih kecil dari 10^{-8} . Dengan menggunakan standar BER minimum yakni 10^{-8} , maka jumlah frame yang dikirim jika terjadi error dapat dianalisis.

4.2.1 Analisis Performansi *Stop and Wait* ARQ pada LAN

Perhitungan jumlah frame yang dikirim pada LAN dengan menggunakan mekanisme *Stop and Wait* ARQ dari persamaan (2.14):

$$N_r = \frac{1}{1 - P} = \frac{1}{1 - 10^{-8}} = 1,00000001$$

Dengan mengubah parameter BER maka didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

Tabel 4.1 Hasil Analisis BER terhadap N_r Stop and Wait ARQ pada LAN

P	N_r Stop and Wait ARQ
10^{-8}	1,0000000100000
10^{-9}	1,0000000010000
10^{-10}	1,0000000001000
10^{-11}	1,0000000000100
10^{-12}	1,0000000000010
10^{-13}	1,0000000000001

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

4.2.2 Analisis Performansi Go Back- N ARQ pada LAN

Untuk Go Back- N ARQ menggunakan persamaan (2.18):

$$N_r = \frac{1 - P + KP}{1 - P}$$

dimana K setara dengan $(2a + 1)$ untuk $W \geq 2a + 1$, dan $K = W$ untuk $W < 2a + 1$.

Jika ditetapkan ukuran window (W) = 3,

$$W = 3$$

$$2a + 1 = 2(0,0040956) + 1 = 1,0081912$$

Karena $W \geq 2a + 1$, maka:

$$N_r = \frac{1 - P + (2a + 1)P}{1 - P} = \frac{1 - 10^{-8} + (1,0081912)10^{-8}}{1 - 10^{-8}} = 1,00000001008191$$

Dengan mengubah parameter BER maka didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

Tabel 4.2 Hasil Analisis BER terhadap N_r Go Back- N ARQ ($W=3$) pada LAN

P	a	N_r
10^{-8}	0.004095674967234600262123197903014416775885	1.000000010081913600163828006880744026868
10^{-9}	0.004095674967234600262123197903014416775885	1.000000001008191350942660551466906947273
10^{-10}	0.004095674967234600262123197903014416775885	1.000000000100819135003528833552777522936
10^{-11}	0.004095674967234600262123197903014416775885	1.00000000001008191349944551114023691907
10^{-12}	0.004095674967234600262123197903014416775885	1.000000000001008191349935477391874181873
10^{-13}	0.004095674967234600262123197903014416775885	1.000000000000100819134993457001965923985

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Panjang kabel yang berbeda akan mengubah nilai a , sehingga nilai N_r juga berubah.

Jika diasumsuikan panjang (d) = 10 m, sesuai persamaan (2.8), maka nilai a adalah:

$$a = \frac{Rd}{VL} = \frac{100Mbps \times 10m}{2 \times 10^8 m/s \times 12208 bit} = 0,00040956$$

Karena nilai $W \geq 2a + 1$, dan dengan menetapkan nilai BER sebesar 10^{-10} , maka:

$$N_r = \frac{1 - P + (2a + 1)P}{1 - P} = \frac{1 - 10^{-8} + (1,00081912)10^{-8}}{1 - 10^{-8}} = 1.00000000010008191350935$$

Jika probabilitas *error* disamakan yakni diasumsikan BER = 10^{-10} untuk setiap jarak (d) yang berbeda, maka didapatkan perhitungan sebagai berikut

Tabel 4.3 Hasil Analisis *d* terhadap N_r Go Back- N ARQ (W=3) pada LAN

<i>d</i> (m)	<i>a</i>	N_r
10	0.0004095674967234600262123197903014416775885	1.000000000100081913509352883356177752294
25	0.001023918741808650065530799475753604193971	1.000000000100204783758382208388944380734
50	0.002047837483617300131061598951507208387942	1.000000000100409567506764416776888761468
75	0.003071756225425950196592398427260812581914	1.000000000100614351255146625164833142202
100	0.004095674967234600262123197903014416775885	1.000000000100819135003528833552777522936

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Jika ditetapkan ukuran window (W) = 8,

$$W = 8$$

$$2a + 1 = 2(0,0040956) + 1 = 1,0081912$$

Karena $W \geq 2a + 1$, maka:

$$N_r = \frac{1 - P + (2a + 1)P}{1 - P} = \frac{1 - 10^{-8} + (1,0081912)10^{-8}}{1 - 10^{-8}} = 1,0000000100819121$$

Tabel 4.4 Hasil Analisis BER terhadap N_r Go Back- N ARQ (W=8) pada LAN

<i>P</i>	<i>a</i>	N_r
10^{-8}	0,0040956	1.000000010081913600163828006880744026868
10^{-9}	0,0040956	1.000000001008191350942660551466906947273
10^{-10}	0,0040956	1.000000000100819135003528833552777522936
10^{-11}	0,0040956	1.0000000001008191349944551114023691907
10^{-12}	0,0040956	1.00000000001008191349935477391874181873
10^{-13}	0,0040956	1.00000000000100819134993457001965923985

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)



Seperti analisis sebelumnya, jarak mempengaruhi nilai N_r , tetapi jarak yang diasumsikan pada hubungan LAN yakni berkisar 10-100m tidak mengubah kondisi $W \geq 2a + 1$. Jika ditetapkan BER = 10^{-10} , maka didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.5 Hasil Analisis d terhadap N_r Go Back- N ARQ ($W = 8$) pada LAN

d (m)	a	N_r
10	0.0004095674967234600262123197903014416775885	1.000000000100081913509352883356177752294
25	0.001023918741808650065530799475753604193971	1.000000000100204783758382208388944380734
50	0.002047837483617300131061598951507208387942	1.000000000100409567506764416776888761468
75	0.003071756225425950196592398427260812581914	1.000000000100614351255146625164833142202
100	0.004095674967234600262123197903014416775885	1.000000000100819135003528833552777522936

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

4.2.3 Analisis Performansi Selective Reject ARQ pada LAN

Untuk *Selective Reject* ARQ dengan menggunakan persamaan (2.14):

$$N_r = \frac{1}{1 - P} = \frac{1}{1 - 10^{-8}} = 1,00000001$$

Dengan mengubah parameter BER maka didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

Tabel 4.6 Hasil Analisis BER terhadap N_r Selective Reject ARQ pada LAN

P	N_r Stop and Wait ARQ
10^{-8}	1,0000000100000
10^{-9}	1,0000000010000
10^{-10}	1,0000000001000
10^{-11}	1,0000000000100
10^{-12}	1,0000000000010
10^{-13}	1,0000000000001

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Berikut ini tabel yang lebih lengkap sehingga perbandingan performansi antara ketiga mekanisme ARQ yang diterapkan pada LAN dapat dilihat dengan mudah

Tabel 4.7 Hasil Analisis BER terhadap N_r pada LAN untuk masing-masing ARQ

P	Stop and Wait ARQ	N_r	
		Go Back- N ARQ $W = 3$	Selective Reject ARQ
10^{-8}	1,0000000100000	1.000000010081913600163828006880744026868	1,0000000100000
10^{-9}	1,0000000010000	1.000000001008191350942660551466906947273	1,0000000010000
10^{-10}	1,0000000001000	1.000000000100819135003528833552777522936	1,0000000001000
10^{-11}	1,0000000000100	1.00000000001008191349944551114023691907	1,0000000000100
10^{-12}	1,0000000000010	1.000000000001008191349935477391874181873	1,0000000000010
10^{-13}	1,0000000000001	1.000000000000100819134993457001965923985	1,0000000000001

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Tabel 4.8 Hasil Analisis d terhadap N_r pada LAN untuk masing-masing ARQ

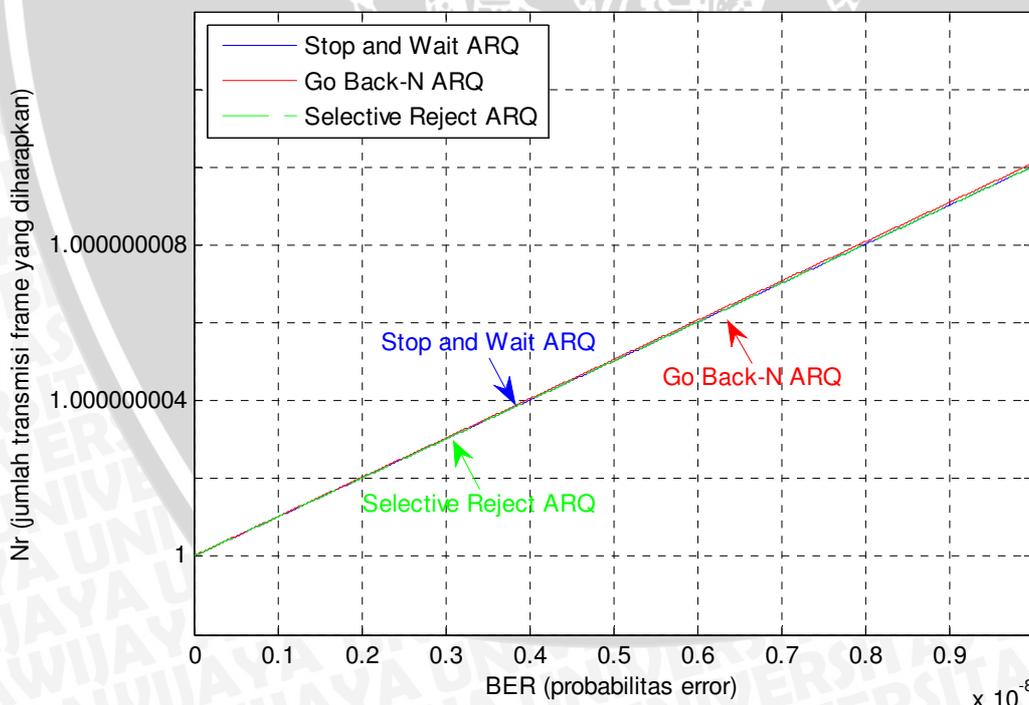
d (m)	N_r		
	Stop and Wait ARQ	Go Back- N ARQ	
		$W = 3$	
10	1,0000000001000	1,000000000100081913509352883356177752294	1,0000000001000
25	1,0000000001000	1,000000000100204783758382208388944380734	1,0000000001000
50	1,0000000001000	1,000000000100409567506764416776888761468	1,0000000001000
75	1,0000000001000	1,000000000100614351255146625164833142202	1,0000000001000
100	1,0000000001000	1,000000000100819135003528833552777522936	1,0000000001000

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Tabel 4.9 Hasil Analisis BER terhadap N_r pada LAN dengan Go Back- N ARQ untuk masing-masing Window

P	N_r	
	Go Back- N ARQ	
	$W = 3$	$W = 8$
10^{-8}	1.000000010081913600163828006880744026868	1.000000010081913600163828006880744026868
10^{-9}	1.000000001008191350942660551466906947273	1.000000001008191350942660551466906947273
10^{-10}	1.000000000100819135003528833552777522936	1.000000000100819135003528833552777522936
10^{-11}	1.00000000001008191349944551114023691907	1.00000000001008191349944551114023691907
10^{-12}	1.000000000001008191349935477391874181873	1.000000000001008191349935477391874181873
10^{-13}	1.000000000000100819134993457001965923985	1.000000000000100819134993457001965923985

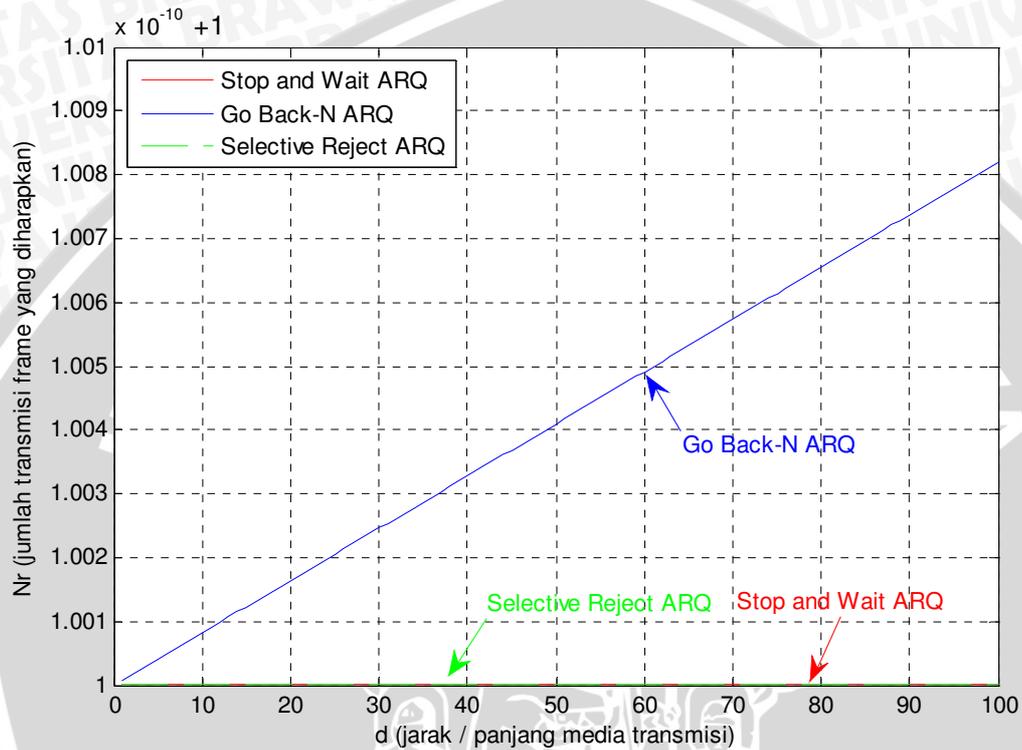
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)



Gambar 4.2 Hubungan jumlah transmisi frame yang diharapkan (N_r) terhadap BER (Bit Error Rate) pada LAN

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Dari tabel 4.7 dan tabel 4.9, dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar nilai BER maka nilai N_r juga semakin besar. *Selective Reject ARQ* dan *Stop and Wait ARQ* memiliki nilai N_r yang sama seiring bertambahnya nilai BER. Sedangkan *Go Back-N ARQ* memiliki nilai N_r yang lebih tinggi dibandingkan kedua ARQ lainnya untuk nilai BER yang sama.



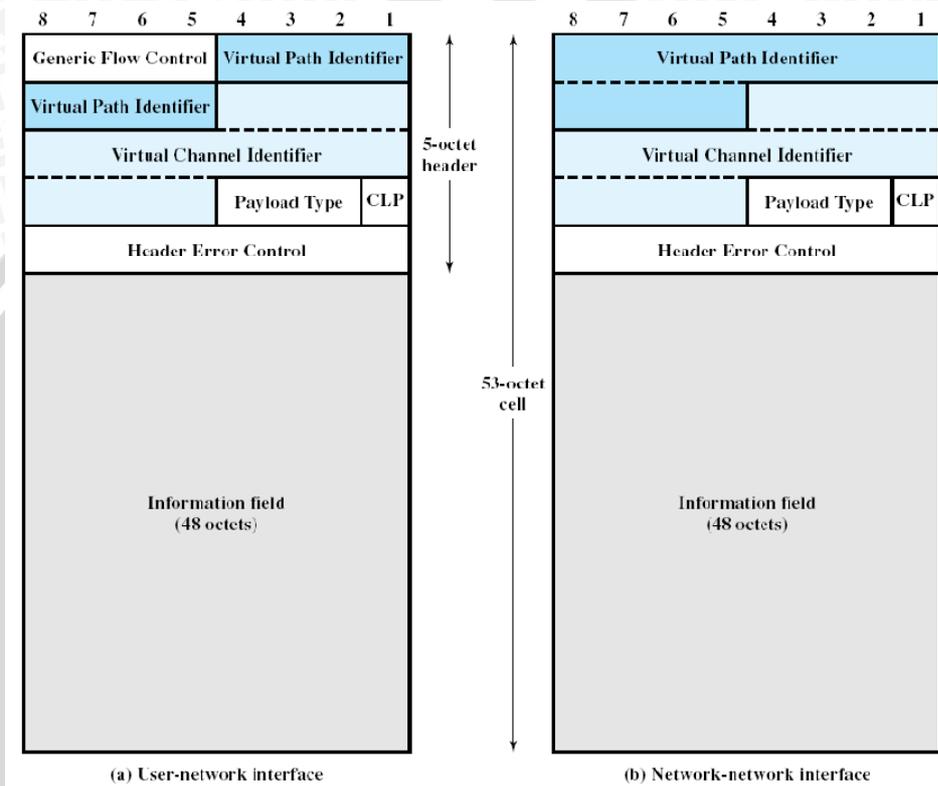
Gambar 4.3 Hubungan jumlah transmisi frame yang diharapkan (N_r) terhadap panjang media transmisi pada LAN
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Dari tabel 4.8 ditarik kesimpulan bahwa semakin besar panjang media transmisi, maka nilai N_r juga semakin besar. *Selective Reject ARQ* dan *Stop and Wait ARQ* memiliki nilai N_r yang sama seiring bertambahnya nilai BER. Sedangkan *Go Back-N ARQ* memiliki nilai N_r yang lebih tinggi dibandingkan kedua ARQ lainnya untuk panjang media transmisi yang sama.

4.3 Analisis Performansi *Automatic Repeat Request* (ARQ) pada MAN

Dalam sub-bab ini akan dibahas performansi *Automatic Repeat Request* (ARQ) pada MAN dengan menggunakan mekanisme *Stop and Wait ARQ*, *Go Back- N ARQ* dan *Selective Reject* terdiri dari *delay* (meliputi *delay transmisi* dan *delay propagasi*) dan utilitas.

Pada MAN, format *frame* yang digunakan mengikuti format *ATM frame*



Gambar 4.4 Format *Frame* ATM
(Sumber : Stallings, 2007)

Panjang total untuk 1 frame adalah 53 octet atau 53 byte. Kecepatan bit rate menggunakan salah satu kecepatan dari standar ATM I.432 (622.08 Mbps, 155.52 Mbps, 51.84 Mbps, or 25.6 Mbps) yakni sebesar 155,53 Mbps. Kita asumsikan kedua stasiun di hubungkan *fiber* optik yang mempunyai kecepatan transmisi 2×10^8 m/s dengan panjang 100 km

Maka dapat kita hitung kecepatan transmisi sebuah frame yakni dengan persamaan (2.7) :

$$t_{frame} = \frac{L}{R} = \frac{53 \text{ byte}}{155,53 \text{ Mbps}} = \frac{424 \text{ bit}}{155,53 \text{ Mbps}} = 0,0027261 \text{ ms}$$

dan kecepatan propagasi dengan persamaan (2.6) sebesar:

$$t_{prop} = \frac{d}{V} = \frac{1 \text{ km}}{2 \times 10^8 \text{ m/s}} = 0,005 \text{ ms}$$

Sehingga diperoleh nilai a sesuai persamaan (2.5):

$$a = \frac{t_{prop}}{t_{frame}} = \frac{0,005 \text{ ms}}{0,0027261 \text{ ms}} = 1,83408$$

Sesuai dengan standar *ATM Forum standard*, BER harus lebih kecil dari 10^{-10} maka jumlah frame yang dikirim jika terjadi error dapat dihitung.

4.3.1 Analisis Performansi *Stop and Wait ARQ* pada MAN

Perhitungan jumlah frame yang dikirim pada MAN dengan menggunakan mekanisme *Stop and Wait ARQ* dari persamaan (2.14):

$$N_r = \frac{1}{1 - P} = \frac{1}{1 - 10^{-10}} = 1,0000000001$$

Dengan mengubah parameter BER maka didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

Tabel 4.10 Hasil Analisis BER terhadap N_r *Stop and Wait ARQ* pada MAN

P	N_r <i>Stop and Wait ARQ</i>
10^{-10}	1,000000000100000
10^{-11}	1,000000000010000
10^{-12}	1,000000000001000
10^{-13}	1,000000000000100
10^{-14}	1,000000000000010
10^{-15}	1,000000000000001

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

4.3.2 Analisis Performansi *Go Back- N ARQ* pada MAN

Untuk *Go Back- N ARQ* menggunakan persamaan (2.18):

$$N_r = \frac{1 - P + KP}{1 - P}$$

dimana K setara dengan $(2a + 1)$ untuk $W \geq 2a + 1$, dan $K = W$ untuk $W < 2a + 1$.

Jika ditetapkan ukuran window (W) = 3,

Tabel 4.12 Hasil Analisis d terhadap N_r Metode *Go Back- N ARQ* ($W=3$) pada MAN

d (m)	a	N_r
100	0.1834122005795825538314808701074795495396	1.000000000136682440129584754779
500	0.9170610028979127691574043505373977476982	1.000000000283412200607923773892
1000	1.834122005795825538314808701074795495396	1.000000000300000000030000000003
1500	2.751183008693738307472213051612193243095	1.000000000300000000030000000003
2000	3.668244011591651076629617402149590990793	1.000000000300000000030000000003

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Jika ditetapkan ukuran window (W) = 8,

$$W = 8$$

$$2a + 1 = 2(1,83408) + 1 = 4,66816$$

Karena $W \geq 2a + 1$, maka:

$$N_r = \frac{1 - P + (2a + 1)P}{1 - P} = \frac{1 - 10^{-10} + (1,366816037)10^{-10}}{1 - 10^{-10}}$$

$$= 1.0000000003$$

Dengan mengubah parameter BER maka didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

Tabel 4.13 Hasil Analisis BER terhadap N_r Metode *Go Back- N ARQ* ($W=8$) pada MAN

P	a	N_r
10^{-10}	1.8341220057958	1.000000000466824401205847547783546494993
10^{-11}	1.8341220057958	1.000000000046682440116383335167460007373
10^{-12}	1.8341220057958	1.00000000004668244011596319320641213721
10^{-13}	1.8341220057958	1.00000000000466824401159211790103077661
10^{-14}	1.8341220057958	1.00000000000046682440115916977590697333
10^{-15}	1.8341220057958	1.00000000000004668244011591655744873629

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Panjang kabel yang berbeda akan mengubah nilai a , sehingga nilai N_r juga berubah.

Jika diasumsikan panjang (d) = 100 m, sesuai persamaan (2.8), maka nilai a adalah:

$$a = \frac{Rd}{VL} = \frac{155,53 \text{ Mbps} \times 100\text{m}}{2 \times 10^8 \times 424\text{bit}} = 0.18341220057$$

$$2a + 1 = 2(0.18341220057) + 1 = 1,366816037$$

Karena $W \geq 2a + 1$, maka:

$$N_r = \frac{1 - P + (2a + 1)P}{1 - P} = \frac{1 - 10^{-10} + (1,366816037)10^{-10}}{1 - 10^{-10}}$$

$$= 1.0000000003$$

Jika probabilitas *error* disamakan yakni diasumsikan BER = 10^{-10} untuk setiap jarak (d) yang berbeda, maka didapatkan perhitungan sebagai berikut

Tabel 4.14 Hasil Analisis N_r Metode *Go Back- N* ARQ ($W=8$) pada MAN

d (m)	a	N_r
100	0.1834122005795825538314808701074795495396	1.000000000136682440129584754779
500	0.9170610028979127691574043505373977476982	1.000000000283412200607923773892
1000	1.834122005795825538314808701074795495396	1.000000000466824401205847547783
1500	2.751183008693738307472213051612193243095	1.000000000650236601803771321674
2000	3.66824401159165107662961740214959090793	1.000000000800000000080000000008

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

4.3.3 Analisis Performansi *Selective Reject ARQ* pada MAN

Untuk *Selective Reject ARQ* dengan menggunakan persamaan (2.14):

$$N_r = \frac{1}{1-P} = \frac{1}{1-10^{-10}} = 1,0000000001$$

Dengan mengubah parameter BER maka didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

Tabel 4.15 Hasil Analisis BER terhadap N_r *Selective Reject ARQ* pada MAN

P	N_r Stop and Wait ARQ
10^{-10}	1,000000000100000
10^{-11}	1,00000000010000
10^{-12}	1,00000000001000
10^{-13}	1,00000000000100
10^{-14}	1,00000000000010
10^{-15}	1,00000000000001

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Berikut ini tabel yang lebih lengkap sehingga perbandingan performansi antara ketiga mekanisme ARQ yang diterapkan pada MAN dapat dilihat dengan mudah

Tabel 4.16 Hasil Analisis BER terhadap N_r pada MAN untuk masing-masing ARQ

P	N_r		
	Stop and Wait ARQ	<i>Go Back- N</i> ARQ	
		$W = 3$	
			<i>Selective Reject ARQ</i>
10^{-10}	1,000000000100000	1.000000000300000000030000000003000000	1,000000000100000
10^{-11}	1,00000000010000	1.0000000000300000000030000000003000	1,00000000010000
10^{-12}	1,00000000001000	1.00000000003000000000300000000003	1,00000000001000
10^{-13}	1,00000000000100	1.00000000000300000000003000000000	1,00000000000100
10^{-14}	1,00000000000010	1.00000000000030000000000030000000	1,00000000000010
10^{-15}	1,00000000000001	1.00000000000003000000000000300000	1,00000000000001

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Tabel 4.17 Hasil Analisis d terhadap N_r pada MAN untuk masing-masing ARQ

$d(m)$	N_r		
	Stop and Wait ARQ	Go Back- N ARQ	
		$W=3$	
100	1,000000000100000	1,000000000136682440129584754779	1,000000000100000
500	1,000000000100000	1,000000000283412200607923773892	1,000000000100000
1000	1,000000000100000	1,000000000300000000030000000003	1,000000000100000
1500	1,000000000100000	1,000000000300000000030000000003	1,000000000100000
2000	1,000000000100000	1,000000000300000000030000000003	1,000000000100000

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Tabel 4.18 Hasil Analisis BER terhadap N_r pada MAN dengan Go Back- N ARQ untuk masing-masing Window

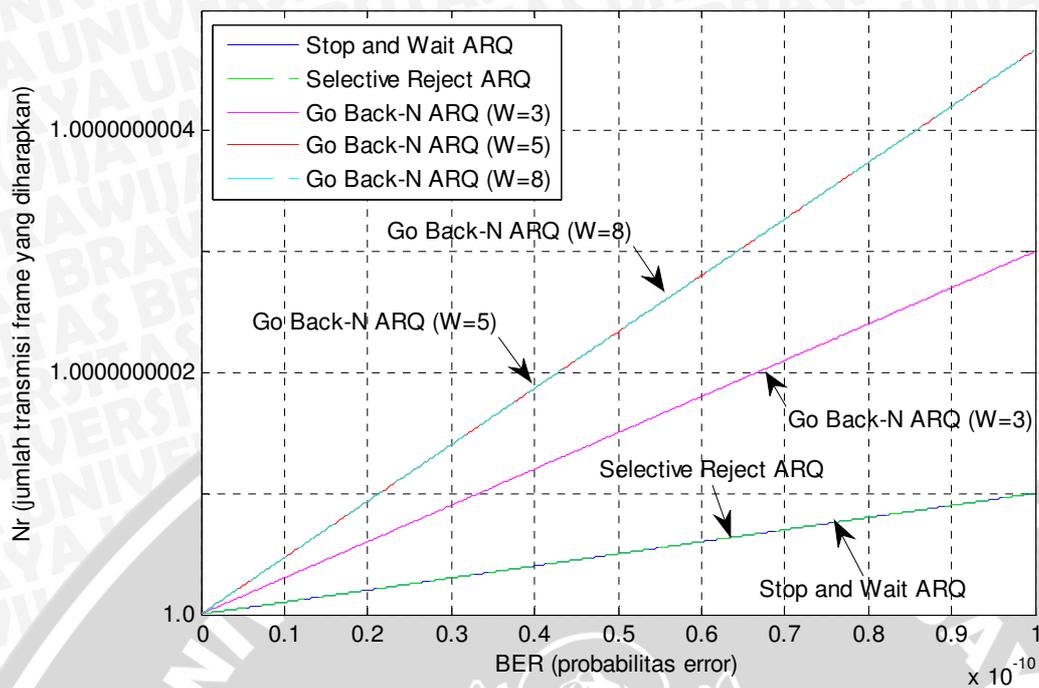
P	N_r	
	Go Back- N ARQ	
	$W=3$	$W=8$
10^{-10}	1.000000000300000000030000000003000000	1.000000000466824401205847547783546494993
10^{-11}	1.0000000003000000000300000000030000	1.00000000046682440116383335167460007373
10^{-12}	1.0000000003000000000300000000030000	1.0000000004668244011596319320641213721
10^{-13}	1.0000000003000000000300000000030000	1.000000000466824401159211790103077661
10^{-14}	1.0000000003000000000300000000030000	1.00000000046682440115916977590697333
10^{-15}	1.0000000003000000000300000000030000	1.0000000004668244011591655744873629

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Tabel 4.19 Hasil Analisis d terhadap N_r pada MAN dengan Go Back- N ARQ untuk masing-masing Window

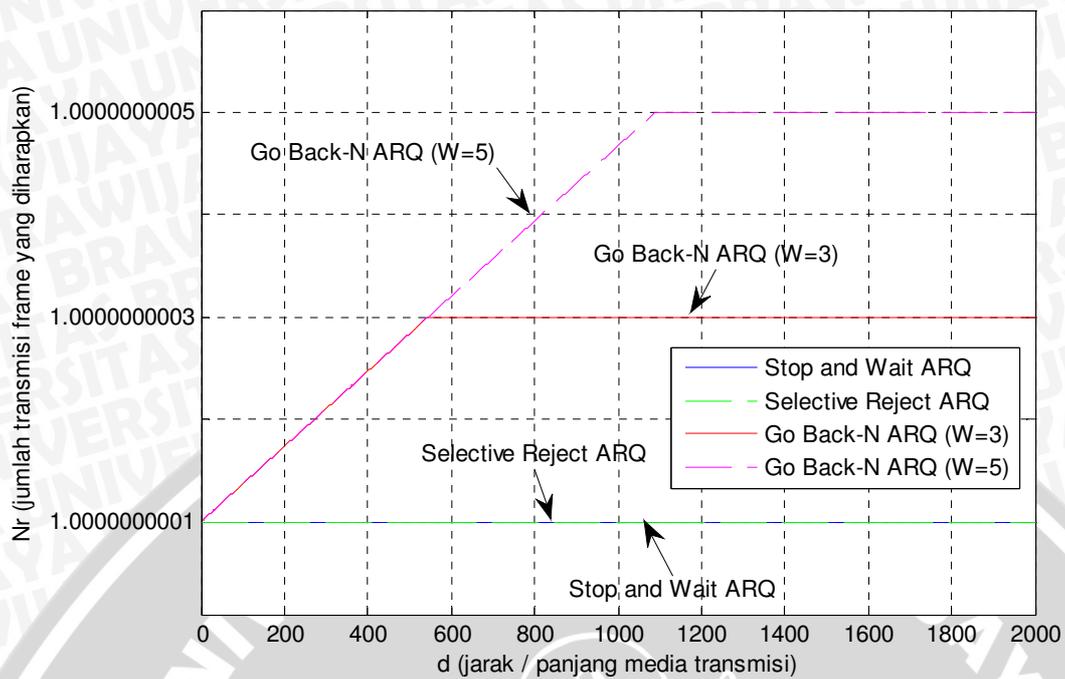
$d(m)$	N_r	
	Go Back- N ARQ	
	$W=3$	$W=8$
100	1,000000000136682440129584754779	1,000000000136682440129584754779
500	1,000000000283412200607923773892	1,000000000283412200607923773892
1000	1,000000000300000000030000000003	1,000000000466824401205847547783
1500	1,000000000300000000030000000003	1,000000000650236601803771321674
2000	1,000000000300000000030000000003	1,000000000800000000080000000008

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)



Gambar 4.5 Hubungan jumlah transmisi frame yang diharapkan (N_r) terhadap BER (*Bit Error Rate*) pada MAN
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Dari tabel 4.16, tabel 4.18, dan Gambar 4.5 dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar nilai BER maka nilai N_r juga semakin besar. *Selective Reject ARQ* dan *Stop and Wait ARQ* memiliki nilai N_r yang sama seiring bertambahnya nilai BER. Sedangkan *Go Back-N ARQ* memiliki nilai N_r yang lebih tinggi dibandingkan kedua ARQ lainnya untuk nilai BER yang sama. Semakin besar ukuran *window* yang digunakan pada *Go Back-N ARQ*, maka nilai N_r juga semakin besar, akan tetapi nilai N_r akan sama untuk setiap *window* jika nilai $2a+1$ telah melebihi ukuran *window*.



Gambar 4.6 Hubungan jumlah transmisi frame yang diharapkan (N_r) terhadap panjang media transmisi pada MAN
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Dari tabel 4.17, tabel 4.19, dan Gambar 4.6 dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin panjang media transmisi maka nilai N_r juga semakin besar. *Selective Reject ARQ* dan *Stop and Wait ARQ* memiliki nilai N_r yang sama seiring bertambahnya panjang media transmisi. Sedangkan *Go Back-N ARQ* memiliki nilai N_r yang lebih tinggi dibandingkan kedua ARQ lainnya untuk panjang media transmisi yang sama. Semakin besar ukuran *window* yang digunakan pada *Go Back-N ARQ*, maka semakin besar nilai panjang media transmisi yang dibutuhkan untuk mencapai nilai N_r yang konstan.

4.4 Analisis Utilitas *Stop and Wait* ARQ pada Hubungan LAN dan MAN

Dalam sub-bab ini akan dibahas performansi utilitas mekanisme *Stop and Wait* ARQ jika diterapkan pada hubungan LAN dan MAN. Untuk menganalisis utilitas *Stop and Wait* ARQ digunakan persamaan persamaan (2.15)

$$U = \frac{1 - P}{2a + 1}$$

Utilitas akan dianalisis dengan 2 cara. Cara pertama dengan mengubah parameter BER dan yang kedua dengan mengubah parameter d (jarak kabel) yang nantinya akan mempengaruhi nilai a .

4.4.1 Analisis Utilitas Mengubah Parameter BER

Pada sub bab ini akan dibahas performansi utilitas dengan mengubah parameter BER pada hubungan LAN dan MAN

4.4.1.1 Analisis Utilitas Mengubah Parameter BER pada LAN

Sesuai yang didapatkan dari analisis pada sub bab 4.2, d (jarak / panjang kabel ditetapkan 100 m) sehingga didapatkan $a = 0,0040956$, dan ditetapkan juga $P = 10^{-10}$. Dengan menggunakan persamaan (2.15), didapatkan hasil sebagai berikut

$$U = \frac{1 - P}{2a + 1} = \frac{1 - 10^{-10}}{2(0,0040956) + 1} = 0.991875203$$

Jika variabel P (probabilitas kesalahan / BER) diubah, didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 4.20 Hasil Analisis BER terhadap Utilitas *Stop and Wait* ARQ pada LAN

P	a	U
10^{-8}	0,0040956	0.9918751932011699707507312317192070198245
10^{-9}	0,0040956	0.991875202128046798830029249268768280793
10^{-10}	0,0040956	0.9918752030207344816379590510237244068898
10^{-11}	0,0040956	0.9918752031100032499187520311992200194995
10^{-12}	0,0040956	0.9918752031189301267468313292167695807605
10^{-13}	0,0040956	0.9918752031198228144296392590185245368866

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

4.4.1.2 Analisis Utilitas Mengubah Parameter BER pada MAN

Sesuai yang didapatkan dari analisis pada sub bab 4.3, d (jarak / panjang kabel ditetapkan 1 km) sehingga didapatkan $a = 1,83408$, dan ditetapkan juga $P = 10^{-10}$. Dengan menggunakan persamaan (2.15), didapatkan hasil sebagai berikut

$$U = \frac{1 - P}{2a + 1} = \frac{1 - 10^{-10}}{2(1,83408) + 1} = 0.214217164$$

Jika variabel P (probabilitas kesalahan / BER) diubah, didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 4.21 Hasil Analisis BER terhadap Utilitas *Stop and Wait* ARQ pada MAN

P	a	U
10^{-10}	1,83408	0.2142133096335397333039972968937852130661
10^{-11}	1,83408	0.214213309652818931172943792678039619365
10^{-12}	1,83408	0.2142133096547468509598384422564650599949
10^{-13}	1,83408	0.2142133096549396429385279072143076040578
10^{-14}	1,83408	0.2142133096549589221363968537100918584641
10^{-15}	1,83408	0.2142133096549608500561837483596702839048

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

4.4.2 Analisis Utilitas Mengubah Parameter d

Pada sub bab ini akan dibahas performansi utilitas dengan mengubah parameter jarak (d) pada hubungan LAN dan MAN

4.4.2.1 Analisis Utilitas Mengubah Parameter d pada LAN

Sesuai yang didapatkan dari analisis pada sub bab 4.2, d (jarak / panjang kabel ditetapkan 100 m) sehingga didapatkan $a = 0,0040956$, dan ditetapkan juga $P = 10^{-10}$. Dengan menggunakan persamaan (2.15), didapatkan hasil sebagai berikut

$$U = \frac{1 - P}{2a + 1} = \frac{1 - 10^{-10}}{2(0,0040956) + 1} = 0.99187519$$

Jika variabel d (panjang kabel) diubah, didapatkan tabel sebagai berikut

Tabel 4.22 Hasil Analisis d terhadap Utilitas *Stop and Wait* ARQ pada LAN

d (m)	a	U
10	0.0004095674967234600262123197903014416775885	0.9991815254477001145850384678343427729579
25	0.001023918741808650065530799475753604193971	0.9979563474846072100057222267636720346604
50	0.002047837483617300131061598951507208387942	0.9959210212041116005873715124816446402349
75	0.003071756225425950196592398427260812581914	0.9938939898982333306195554831881462183506
100	0.004095674967234600262123197903014416775885	0.9918751932011699707507312317192070198245

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

4.4.2.2 Analisis Utilitas Mengubah Parameter d pada MAN

Sesuai yang didapatkan dari analisis pada sub bab 4.3, d (jarak / panjang kabel ditetapkan 1 km) sehingga didapatkan $a = 1.834122$, dan ditetapkan juga $P = 10^{-10}$. Dengan menggunakan persamaan (2.15), didapatkan hasil sebagai berikut

$$U = \frac{1 - P}{2a + 1} = \frac{1 - 10^{-10}}{2(1.834122) + 1} = 0.21421330$$

Jika variabel d (panjang kabel) diubah, didapatkan tabel sebagai berikut

Tabel 4.23 Hasil Analisis d terhadap Utilitas *Stop and Wait* ARQ pada MAN

d (m)	a	U
100	0.1834122005795825538314808701074795495396	0.7316228691497812726443197981804031024395
500	0.9170610028979127691574043505373977476982	0.3528429573444558056457980093449476449955
1000	1.834122005795825538314808701074795495396	0.2142133075128279677198827606258005201908
1500	2.751183008693738307472213051612193243095	0.1537901722735965610032663699290876165654
2000	3.668244011591651076629617402149590990793	0.1199545884572803956684164902908990103889

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

4.5 Analisis Utilitas *Selective Reject* ARQ pada hubungan LAN dan MAN

Dalam sub-bab ini akan dibahas performansi utilitas mekanisme *Selective Reject* ARQ jika diterapkan pada hubungan LAN dan MAN. Untuk menganalisis utilitas *Selective Reject* ARQ digunakan persamaan persamaan (2.15)

$$U = \begin{cases} \frac{1 - P}{2a + 1} & W \geq 2a + 1 \\ \frac{W(1 - P)}{2a + 1} & W < 2a + 1 \end{cases}$$

Utilitas akan dianalisis dengan 2 cara. Cara pertama dengan mengubah parameter BER dan yang kedua dengan mengubah parameter d (jarak kabel) yang nantinya akan mempengaruhi nilai a .

4.5.1 Analisis Utilitas Mengubah Parameter BER

Pada sub bab ini akan dibahas performansi utilitas dengan mengubah parameter BER pada hubungan LAN dan MAN

4.5.1.1 Analisis Utilitas Mengubah Parameter BER pada LAN

Sesuai yang didapatkan dari analisis pada sub bab 4.2, d (jarak / panjang kabel ditetapkan 100 m) sehingga didapatkan $a = 0,0040956$, dan ditetapkan juga $P = 10^{-10}$.

Jika ukuran window, $W = 3$, maka didapatkan $W \geq 2a + 1$, dengan menggunakan persamaan (2.15), didapatkan hasil sebagai berikut

$$U = 1 - P = 1 - 10^{-8} = 0.99999999$$

Jika variabel P (probabilitas kesalahan / BER) diubah, didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 4.24 Hasil Analisis Utilitas *Selective Reject* ARQ ($W = 3$) pada LAN

P	a	U
10^{-8}	0,0040956	0.999999900000
10^{-9}	0,0040956	0.999999990000
10^{-10}	0,0040956	0.999999999000
10^{-11}	0,0040956	0.999999999900
10^{-12}	0,0040956	0.999999999990
10^{-13}	0,0040956	0.999999999999

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Jika $W = 8$, maka $W \geq 2a + 1$, dengan menggunakan persamaan (2.15), didapatkan hasil yang sama seperti perhitungan $W = 3$

Tabel 4.25 Hasil Analisis BER terhadap Utilitas *Selective Reject* ARQ ($W = 8$) pada LAN

P	a	U
10^{-8}	0,0040956	0.999999900000
10^{-9}	0,0040956	0.999999990000
10^{-10}	0,0040956	0.999999999000
10^{-11}	0,0040956	0.999999999900
10^{-12}	0,0040956	0.999999999990
10^{-13}	0,0040956	0.999999999999

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

4.5.1.2 Analisis Utilitas Mengubah Parameter BER pada MAN

Sesuai yang didapatkan dari analisis pada sub bab 4.3, d (jarak / panjang kabel ditetapkan 1 km) sehingga didapatkan $a = 1,83408$, dan ditetapkan juga $P = 10^{-10}$.

Jika ukuran window $W = 3$, maka $W < 2a + 1$, dengan menggunakan persamaan (2.15), didapatkan hasil sebagai berikut

$$U = \frac{W(1 - P)}{2a + 1} = \frac{3(1 - 10^{-10})}{2(1,83408) + 1} = 0.64265149$$

Jika variabel P (probabilitas kesalahan / BER) diubah, didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 4.26 Hasil Analisis BER terhadap Utilitas *Selective Reject* ARQ ($W = 3$) pada MAN

P	a	U
10^{-10}	1,83408	0.6426399289006191999119918906813556391983
10^{-11}	1,83408	0.6426399289584567935188313780341188580949
10^{-12}	1,83408	0.6426399289642405528795153267693951799845
10^{-13}	1,83408	0.6426399289648189288155837216429228121735
10^{-14}	1,83408	0.6426399289648767664091905611302755753924
10^{-15}	1,83408	0.6426399289648825501685512450790108517143

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Jika $W = 8$, maka $W \geq 2a + 1$, dengan menggunakan persamaan (2.15), didapatkan hasil sebagai berikut

$$U = 1 - P = 1 - 10^{-10} = 0.9999999999$$

Jika variabel P (probabilitas kesalahan / BER) diubah, didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 4.27 Hasil Analisis BER terhadap Utilitas *Selective Reject* ARQ ($W = 8$) pada MAN

P	a	U
10^{-10}	1,83408	0.999999999900000
10^{-11}	1,83408	0.999999999900000
10^{-12}	1,83408	0.999999999900000
10^{-13}	1,83408	0.999999999999000
10^{-14}	1,83408	0.999999999999900
10^{-15}	1,83408	0.999999999999999

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

4.5.2 Analisis Utilitas Mengubah Parameter d

Pada sub bab ini akan dibahas performansi utilitas dengan mengubah parameter jarak (d) pada hubungan LAN dan MAN

4.5.2.1 Analisis Utilitas Mengubah Parameter d pada LAN

Sesuai yang didapatkan dari analisis pada sub bab 4.2, d (jarak / panjang kabel ditetapkan 100 m) sehingga didapatkan $a = 0,0040956$, dan ditetapkan juga $P = 10^{-10}$.

Jika ukuran window, $W = 3$, maka $W \geq 2a + 1$, dengan menggunakan persamaan (2.15), didapatkan hasil sebagai berikut

$$U = 1 - P = 1 - 10^{-10} = 0.9999999999$$

Jika variabel d (panjang kabel) diubah, didapatkan tabel sebagai berikut

Tabel 4.28 Hasil Analisis d terhadap Utilitas *Selective Reject* ARQ ($W = 3$) pada LAN

d (m)	a	U
10	0.0004095674967234600262123197903014416775885	0.9999999999
25	0.001023918741808650065530799475753604193971	0.9999999999
50	0.002047837483617300131061598951507208387942	0.9999999999
75	0.003071756225425950196592398427260812581914	0.9999999999
100	0.004095674967234600262123197903014416775885	0.9999999999

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Jika $W = 8$, maka $W \geq 2a + 1$, dengan menggunakan persamaan (2.15), didapatkan hasil yang sama seperti perhitungan $W = 3$

Tabel 4.29 Hasil Analisis d terhadap Utilitas *Selective Reject* ARQ ($W = 8$) pada LAN

d (m)	a	U
10	0.0004095674967234600262123197903014416775885	0.9999999999
25	0.001023918741808650065530799475753604193971	0.9999999999
50	0.002047837483617300131061598951507208387942	0.9999999999
75	0.003071756225425950196592398427260812581914	0.9999999999
100	0.004095674967234600262123197903014416775885	0.9999999999

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

4.5.2.2 Analisis Utilitas Mengubah Parameter d pada MAN

Sesuai yang didapatkan dari analisis pada sub bab 4.3, d (jarak / panjang kabel ditetapkan 1 km) sehingga didapatkan $a = 1,83408$, dan ditetapkan juga $P = 10^{-10}$.

Jika ukuran window, $W = 3$, maka $W < 2a + 1$, dengan menggunakan persamaan (2.15), didapatkan hasil sebagai berikut

$$U = \frac{W(1 - P)}{2a + 1} = \frac{3(1 - 10^{-10})}{2(1.834122) + 1} = 0.6426399289$$

Jika variabel d (panjang kabel) diubah, didapatkan tabel sebagai berikut

Tabel 4.30 Hasil Analisis d terhadap Utilitas *Selective Reject* ARQ ($W = 3$) pada MAN

d (m)	a	U
100	0.1834122005795825538314808701074795495396	0.9999999999
500	0.9170610028979127691574043505373977476982	0.9999999999
1000	1.834122005795825538314808701074795495396	0.6426399289006191999119918906813556391983
1500	2.751183008693738307472213051612193243095	0.4613705213883578452112985935992688747101
2000	3.668244011591651076629617402149590990793	0.3598637689344924998129903503020755871003

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Jika $W = 8$, maka $W < 2a + 1$, dengan menggunakan persamaan (2.15), didapatkan hasil sebagai berikut

$$U = 1 - P = 1 - 10^{-10} = 0.9999999999$$

Jika variabel d (panjang kabel) diubah, didapatkan tabel sebagai berikut

Tabel 4.31 Hasil Analisis d terhadap Utilitas *Selective Reject* ARQ ($W = 8$) pada MAN

d (m)	a	U
100	0.1834122005795825538314808701074795495396	0.9999999999
500	0.9170610028979127691574043505373977476982	0.9999999999
1000	1.834122005795825538314808701074795495396	0.9999999999
1500	2.751183008693738307472213051612193243095	0.9999999999
2000	3.668244011591651076629617402149590990793	0.3598637689344924998129903503020755871003

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

4.6 Analisis Utilitas *Go Back- N* ARQ pada hubungan LAN dan MAN

Dalam sub-bab ini akan dibahas performansi utilitas mekanisme *Go Back- N* ARQ jika diterapkan pada hubungan LAN dan MAN. Untuk menganalisis utilitas *Go Back- N* ARQ digunakan persamaan persamaan (2.19)

$$U = \begin{cases} \frac{1 - P}{1 + 2aP} & W \geq 2a + 1 \\ \frac{W(1 - P)}{(2a + 1)(1 - P + WP)} & W < 2a + 1 \end{cases}$$

Utilitas akan dianalisis dengan 2 cara. Cara pertama dengan mengubah parameter BER dan yang kedua dengan mengubah parameter d (jarak kabel) yang nantinya akan mempengaruhi nilai a .

4.6.1 Analisis Utilitas Mengubah Parameter BER

Pada sub bab ini akan dibahas performansi utilitas dengan mengubah parameter BER pada hubungan LAN dan MAN

4.6.1.1 Analisis Utilitas Mengubah Parameter BER pada LAN

Sesuai yang didapatkan dari analisis pada sub bab 4.2, d (jarak / panjang kabel ditetapkan 100 m) sehingga didapatkan $a = 0,0040956$, dan ditetapkan juga $P = 10^{-10}$.

Jika ukuran window, $W = 3$, maka $W \geq 2a + 1$, dengan menggunakan persamaan (2.19), didapatkan hasil sebagai berikut

$$U = \frac{1 - P}{1 + 2aP} = \frac{1 - 10^{-10}}{1 + 2(0,0040956)(10^{-10})} = 0.9999999998$$

Jika variabel P (probabilitas kesalahan / BER) diubah, didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 4.32 Hasil Analisis BER terhadap Utilitas *Go Back- N ARQ* ($W = 3$) pada LAN

P	a	U
10^{-8}	0,0040956	0.9999999899180865014811528095117011132444
10^{-9}	0,0040956	0.9999999989918086500737892476239040854553
10^{-10}	0,0040956	0.999999998991808650066356644290574740626
10^{-11}	0,0040956	0.99999999899180865006561338395723577872
10^{-12}	0,0040956	0.9999999989918086500655390579239018223
10^{-13}	0,0040956	0.9999999998991808650065531625320568426

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Jika $W = 8$, maka $W \geq 2a + 1$, dengan menggunakan persamaan (2.19), didapatkan hasil yang sama seperti perhitungan $W = 3$

Tabel 4.33 Hasil Analisis BER terhadap Utilitas *Go Back- N ARQ* ($W = 8$) pada LAN

P	a	U
10^{-8}	0,0040956	0.9999999899180865014811528095117011132444
10^{-9}	0,0040956	0.9999999989918086500737892476239040854553
10^{-10}	0,0040956	0.999999998991808650066356644290574740626
10^{-11}	0,0040956	0.99999999899180865006561338395723577872
10^{-12}	0,0040956	0.9999999989918086500655390579239018223
10^{-13}	0,0040956	0.9999999998991808650065531625320568426

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

4.6.1.2 Analisis Utilitas Mengubah Parameter BER pada MAN

Sesuai yang didapatkan dari analisis pada sub bab 4.3, d (jarak / panjang kabel ditetapkan 1 km) sehingga didapatkan $a = 1,83408$, dan ditetapkan juga $P = 10^{-10}$.

Jika ukuran window, $W = 3$, maka $W < 2a + 1$, dengan menggunakan persamaan (2.19), didapatkan hasil sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{W(1 - P)}{(2a + 1)(1 - P + WP)} \\
 &= \frac{3(1 - 10^{-10})}{(2(1,83408) + 1)(1 - 10^{-10} + (3)(10^{-10}))} \\
 &= 0.6426514943
 \end{aligned}$$

Jika variabel P (probabilitas kesalahan / BER) diubah, didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 4.34 Hasil Analisis BER terhadap Utilitas *Go Back- N ARQ* ($W = 3$) pada MAN

P	a	U
10^{-10}	1,83408	0.6426399287720912141575736478498409096283
10^{-11}	1,83408	0.6426399289456039949399192981353204721322
10^{-12}	1,83408	0.6426399289629552730215894162233520011521
10^{-13}	1,83408	0.6426399289646904008297907835627568540168
10^{-14}	1,83408	0.6426399289648639136106112638520033631671
10^{-15}	1,83408	0.6426399289648812648886933153164810743277

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Jika $W = 8$, maka $W \geq 2a + 1$, dengan menggunakan persamaan (2.19), didapatkan hasil sebagai berikut

$$U = \frac{1 - P}{1 + 2aP} = \frac{1 - 10^{-10}}{1 + 2(1,83408)(10^{-10})} = 0.99999999953$$

Jika variabel P (probabilitas kesalahan / BER) diubah, didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 4.35 Hasil Analisis BER terhadap Utilitas *Go Back- N ARQ* ($W = 8$) pada MAN

P	a	U
10^{-10}	1,83408	0.9999999995331755990120774736759189047812
10^{-11}	1,83408	0.999999999533175598857959150476579760446
10^{-12}	1,83408	0.99999999953317559884254731815104894422
10^{-13}	1,83408	0.9999999995331755988410061349184398936
10^{-14}	1,83408	0.999999999533175598840852016595178429
10^{-15}	1,83408	0.99999999953317559884083660476285228

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

4.6.2 Analisis Utilitas Mengubah Parameter d

Pada sub bab ini akan dibahas performansi utilitas dengan mengubah parameter jarak (d) pada hubungan LAN dan MAN

4.6.2.1 Analisis Utilitas Mengubah Parameter d pada LAN

Sesuai yang didapatkan dari analisis pada sub bab 4.2, d (jarak / panjang kabel ditetapkan 100 m) sehingga didapatkan $a = 0,0040956$, dan ditetapkan juga $P = 10^{-10}$.

Jika ukuran window, $W = 3$, maka $W \geq 2a + 1$, dengan menggunakan persamaan (2.19), didapatkan hasil sebagai berikut

$$U = \frac{1 - P}{1 + 2aP} = \frac{1 - 10^{-10}}{1 + 2(0,0040956)(10^{-10})} = 0.9999999998$$

Jika variabel d (panjang kabel) diubah, didapatkan tabel sebagai berikut

Tabel 4.36 Hasil Analisis d terhadap Utilitas *Go Back- N ARQ* ($W = 3$) pada LAN

d (m)	a	U
10	0.0004095674967234600262123197903014416775885	0.999999998999180865006635060545133794638
25	0.001023918741808650065530799475753604193971	0.999999998997952162516587902981136019842
50	0.002047837483617300131061598951507208387942	0.999999998995904325033176644689943816905
75	0.003071756225425950196592398427260812581914	0.999999998993856487549766225126423390671
100	0.004095674967234600262123197903014416775885	0.999999998991808650066356644290574740626

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Jika $W = 8$, maka $W \geq 2a + 1$, dengan menggunakan persamaan (2.19), didapatkan hasil yang sama seperti perhitungan $W = 3$

Tabel 4.37 Hasil Analisis d terhadap Utilitas *Go Back- N ARQ* ($W = 8$) pada LAN

d (m)	a	U
10	0.0004095674967234600262123197903014416775885	0.999999998999180865006635060545133794638
25	0.001023918741808650065530799475753604193971	0.999999998997952162516587902981136019842
50	0.002047837483617300131061598951507208387942	0.999999998995904325033176644689943816905
75	0.003071756225425950196592398427260812581914	0.999999998993856487549766225126423390671
100	0.004095674967234600262123197903014416775885	0.999999998991808650066356644290574740626

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

4.6.2.2 Analisis Utilitas Mengubah Parameter d pada MAN

Sesuai yang didapatkan dari analisis pada sub bab 4.3, d (jarak / panjang kabel ditetapkan 1 km) sehingga didapatkan $a = 1,83408$, dan ditetapkan juga $P = 10^{-10}$.

Jika $W = 3$, maka $W < 2a + 1$, dengan menggunakan persamaan (2.19), didapatkan hasil sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{W(1 - P)}{(2a + 1)(1 - P + WP)} \\
 &= \frac{3(1 - 10^{-10})}{(2(1,83408) + 1)(1 - 10^{-10} + (3)(10^{-10}))} \\
 &= 0.6426514943
 \end{aligned}$$

Jika variabel d (panjang kabel) diubah, didapatkan tabel sebagai berikut

Tabel 4.38 Hasil Analisis d terhadap Utilitas *Go Back- N ARQ* ($W=3$) pada MAN

d (m)	a	U
100	0.1834122005795825538314808701074795495396	0.999999998633175598890973346579693578864
500	0.9170610028979127691574043505373977476982	0.99999999716587799472398701538388411735
1000	1.834122005795825538314808701074795495396	0.6426399287720912141575736478498409096283
1500	2.751183008693738307472213051612193243095	0.4613705212960837409520818454088525056283
2000	3.668244011591651076629617402149590990793	0.3598637688625197460404864010939783068815

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)



Jika $W = 8$, maka $W \geq 2a + 1$, dengan menggunakan persamaan (2.19), didapatkan hasil sebagai berikut

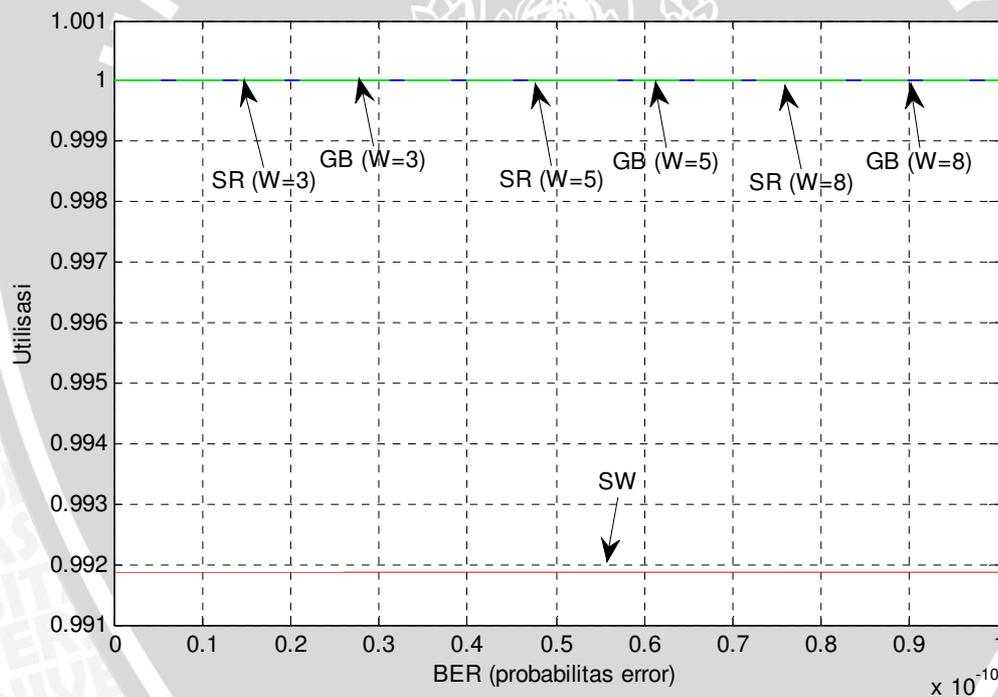
$$U = \frac{1 - P}{1 + 2aP} = \frac{1 - 10^{-10}}{1 + 2(1,83408)(10^{-10})} = 0.9999999995$$

Jika variabel d (panjang kabel) diubah, didapatkan tabel sebagai berikut

Tabel 4.39 Hasil Analisis d terhadap Utilitas Go Back- N ARQ ($W = 8$) pada MAN

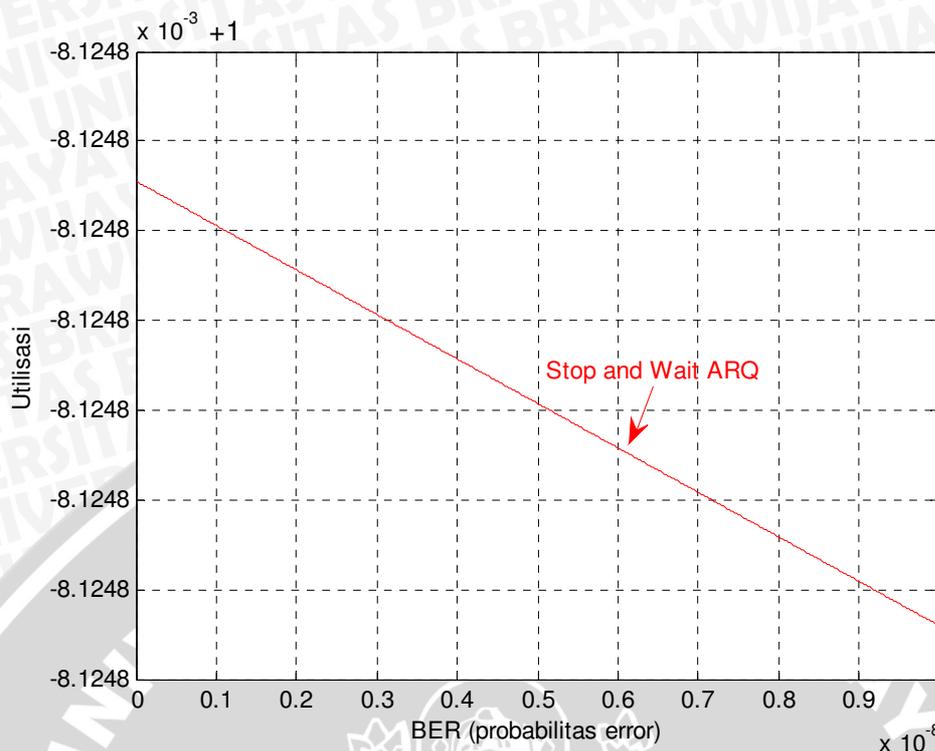
d (m)	a	U
100	0.1834122005795825538314808701074795495396	0.9999999998633175598890973346579693578864
500	0.9170610028979127691574043505373977476982	0.999999999716587799472398701538388411735
1000	1.834122005795825538314808701074795495396	0.9999999995331755990120774736759189047812
1500	2.751183008693738307472213051612193243095	0.9999999993497633986190363163755715217478
2000	3.668244011591651076629617402149590990793	0.959636716486900964627143592232010510375

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

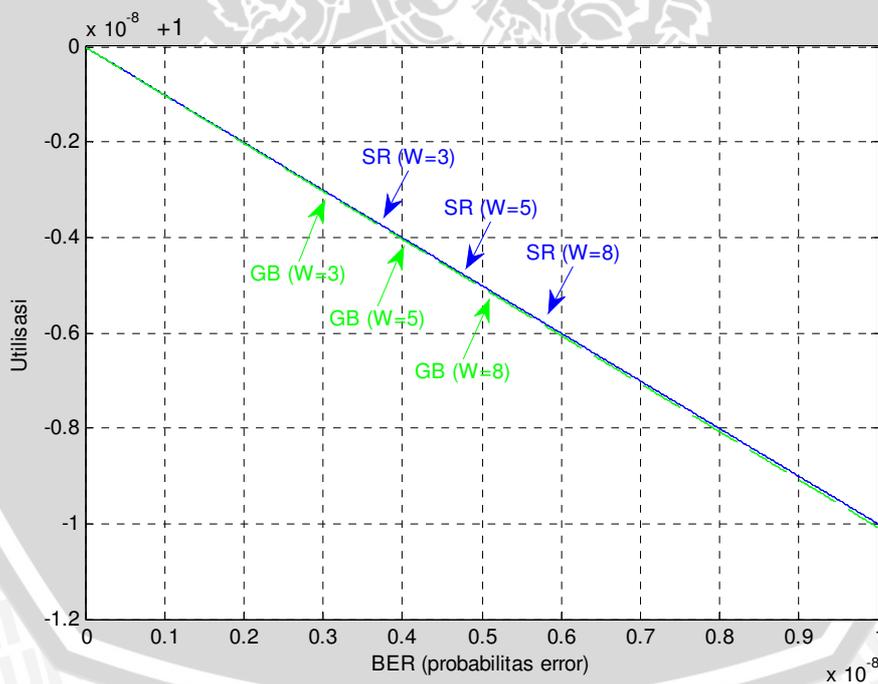


Gambar 4.7 Hubungan Utilitas masing-masing ARQ terhadap BER (*Bit Error Rate*) pada LAN (SW = Stop And Wait, SR = Selective Reject, GB = Go Back-N, W = Window)

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)



Gambar 4.7a Hubungan Utilitas *Stop and Wait ARQ* terhadap BER (*Bit Error Rate*) pada LAN
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

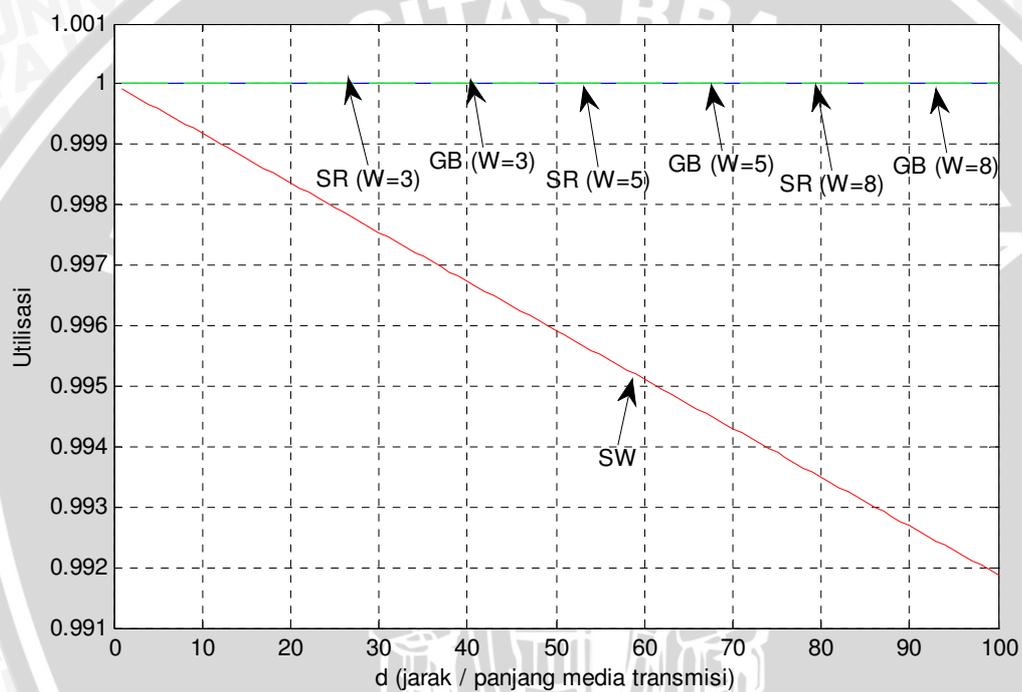


Gambar 4.7b Hubungan Utilitas *Selective Reject ARQ* dan *Go Back-N ARQ* terhadap BER (*Bit Error Rate*) pada LAN

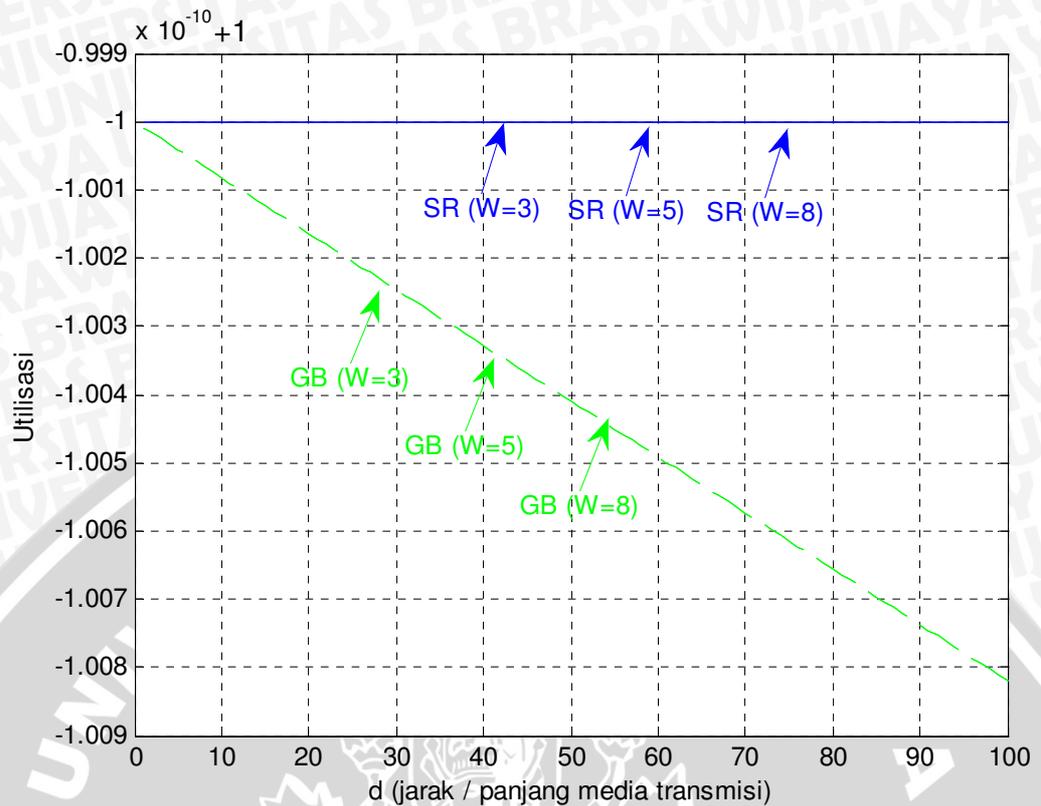
(SR = Selective Reject, GB = Go Back-N, W = Window)

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Dari tabel 4. 20, 4.24, 4.25, 4.32, dan 4.33, dapat ditak kesimpulan bahwa semakin besar nilai BER, maka nilai utilitas akan semakin kecil. Pada nilai BER yang sama, *Selective Reject ARQ* memiliki nilai utilitas yang paling besar dibandingkan kedua ARQ lainnya. Utilitas *Go Back-N ARQ* memiliki nilai yang sedikit lebih kecil dibandingkan utilitas *Selective Reject ARQ*. Sedangkan *Stop and Wait ARQ* memiliki utilitas yang terendah. Utilitas untuk ARQ dengan *sliding window* (*Selective Reject ARQ* dan *Go Back-N ARQ*) memiliki nilai yang sama untuk ukuran *window* yang berbeda.

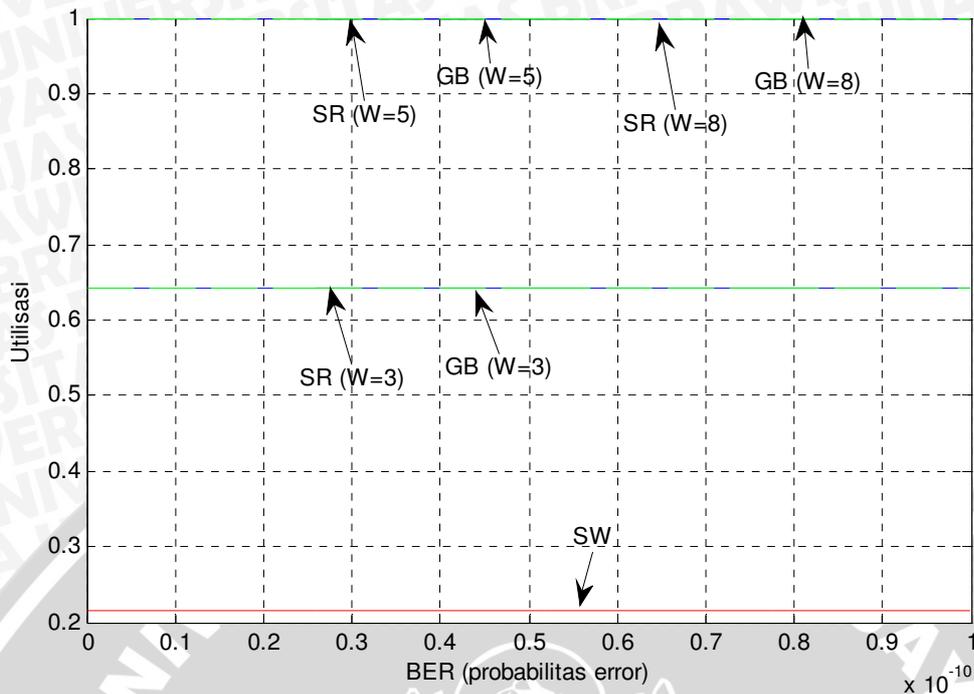


Gambar 4.8 Hubungan Utilitas masing-masing ARQ terhadap panjang media transmisi pada LAN (SW = Stop And Wait, SR = Selective Reject, GB = Go Back-N, W = Window)
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

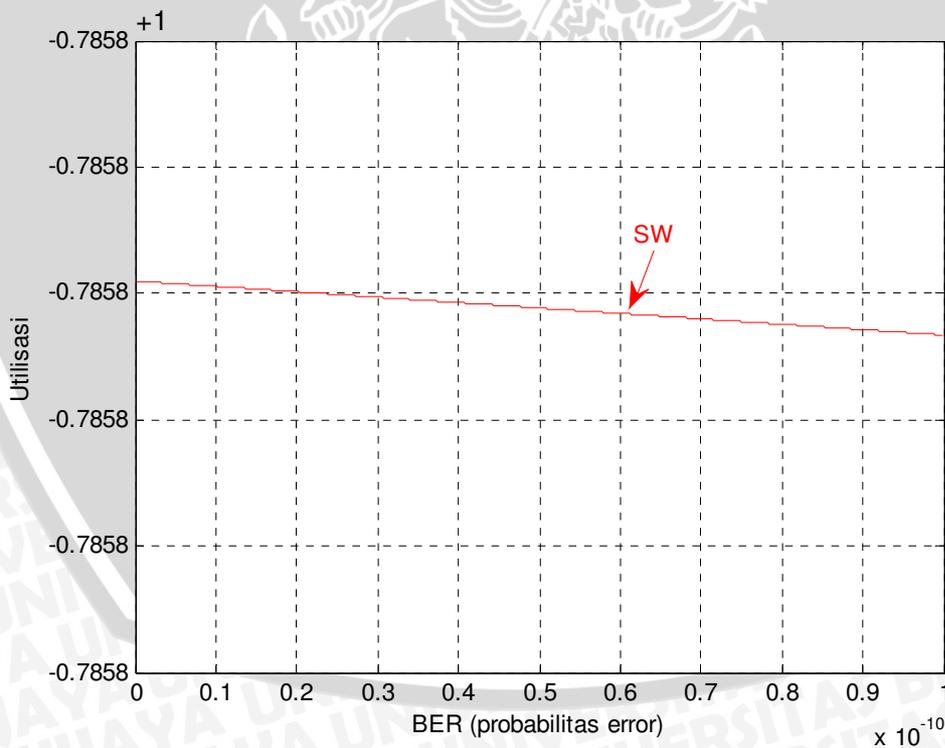


Gambar 4.8a Hubungan Utilitas *Selective Reject ARQ* dan *Go Back-N ARQ* terhadap panjang media transmisi pada LAN
 (SR = *Selective Reject*, GB = *Go Back-N*, W = Window)
 (Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

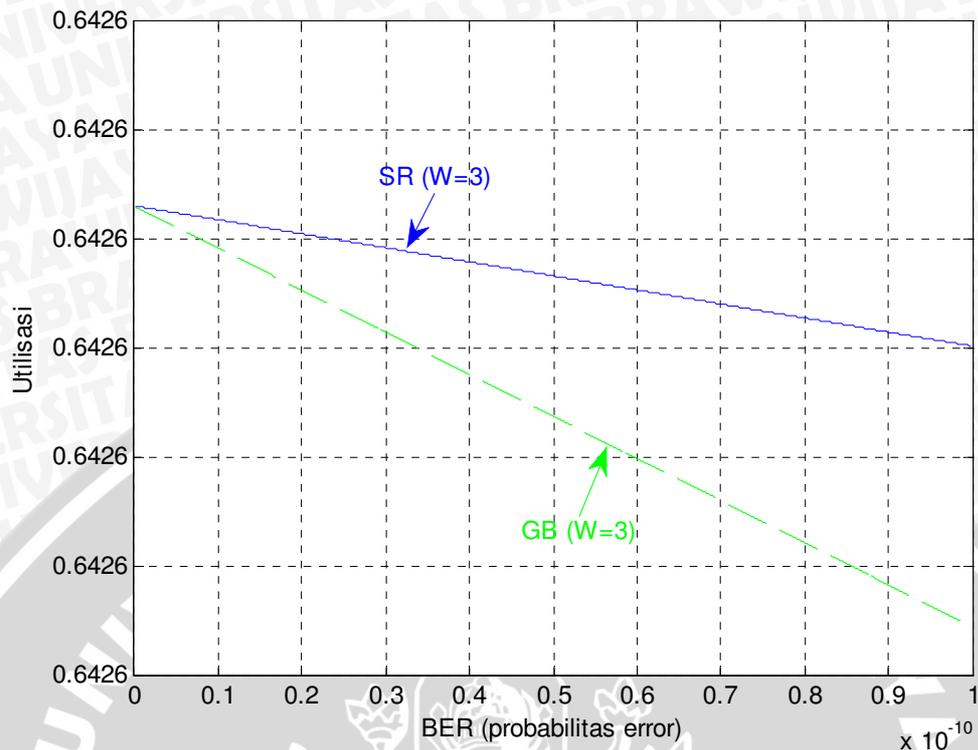
Dari tabel 4.22, 4.28, 4.29, 4.36, dan 4.37, dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin panjang media transmisi, maka nilai utilitas akan semakin kecil. Pada panjang media transmisi yang sama, *Selective Reject ARQ* memiliki nilai utilitas yang paling besar dibandingkan kedua ARQ lainnya. Utilitas *Go Back-N ARQ* memiliki nilai yang sedikit lebih kecil dibandingkan utilitas *Selective Reject ARQ*. Sedangkan *Stop and Wait ARQ* memiliki utilitas yang terendah. Utilitas untuk ARQ dengan *sliding window* (*Selective Reject ARQ* dan *Go Back-N ARQ*) memiliki nilai yang sama untuk ukuran *window* yang berbeda.



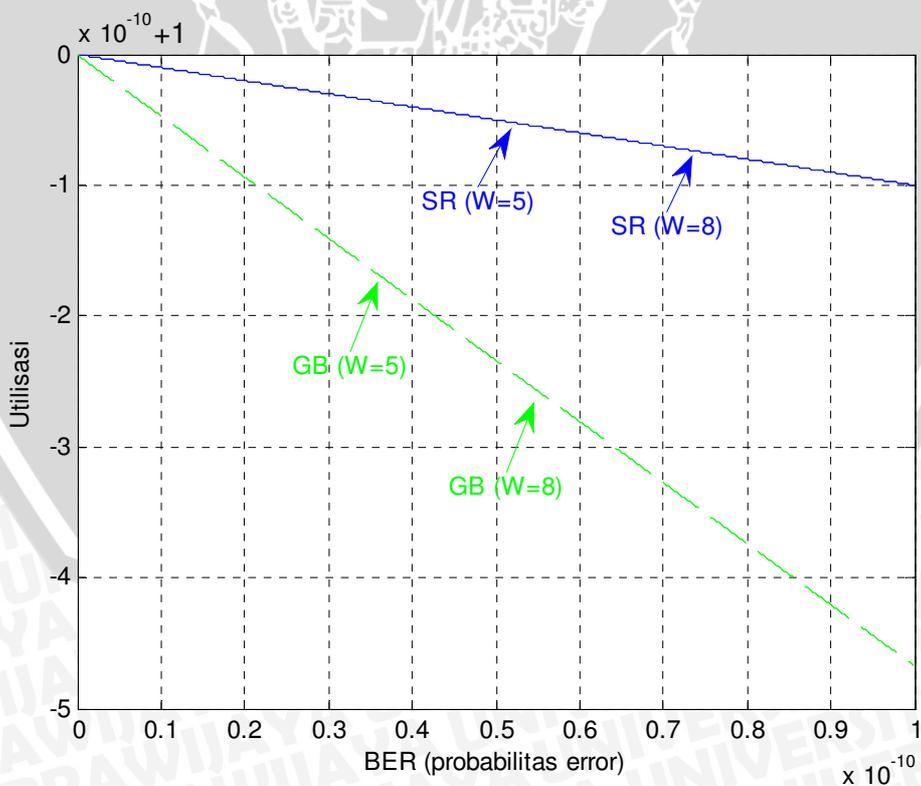
Gambar 4.9 Hubungan Utilitas masing-masing ARQ terhadap BER (*Bit Error Rate*) pada MAN (SW = Stop And Wait, SR = Selective Reject, GB = Go Back-N, W = Window)
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)



Gambar 4.9a Hubungan Utilitas *Stop and Wait* ARQ terhadap BER (*Bit Error Rate*) pada MAN (SW = Stop And Wait)
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

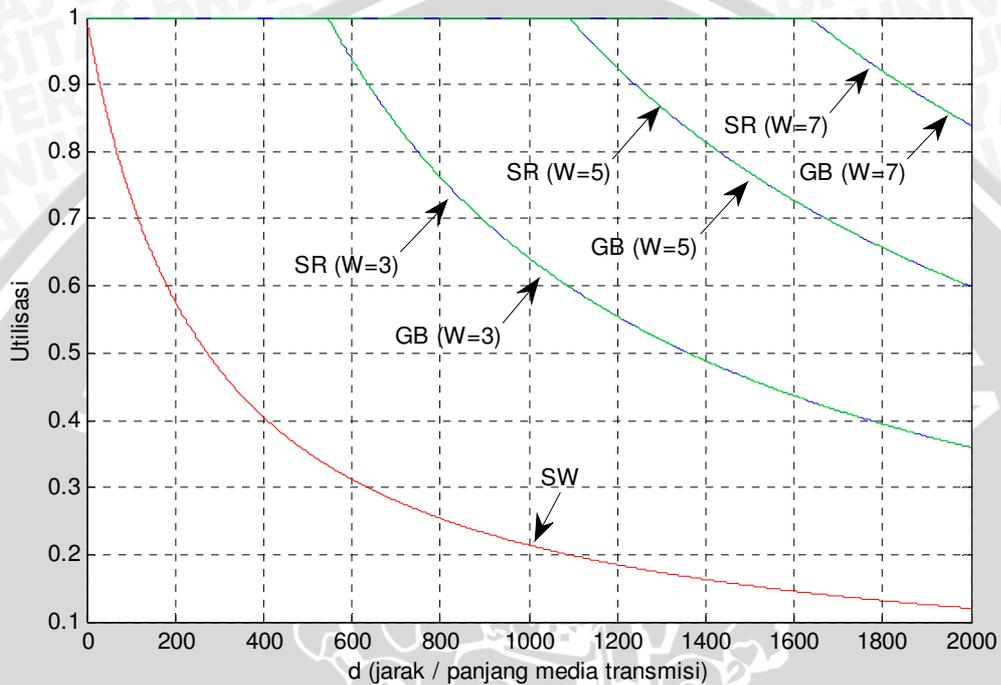


Gambar 4.9b Hubungan Utilitas *Selective Reject ARQ* dan *Go Back-N ARQ* (dengan ukuran window = 3) terhadap BER (*Bit Error Rate*) pada MAN (SW = Stop And Wait, SR = Selective Reject, GB = Go Back-N, W = Window) (Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)



Gambar 4.9c Hubungan Utilitas *Selective Reject ARQ* dan *Go Back-N ARQ* untuk W = 5 dan W=8 terhadap BER (*Bit Error Rate*) pada MAN (SW = Stop And Wait, SR = Selective Reject, GB = Go Back-N, W = Window) (Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Dari tabel 4.21, 4.26, 4.27, 4.34, dan 4.35, dapat ditak kesimpulan bahwa semakin besar nilai BER, maka nilai utilitas akan semakin kecil. Pada nilai BER yang sama, *Selective Reject ARQ* memiliki nilai utilitas yang paling besar dibandingkan kedua ARQ lainnya. Utilitas *Go Back-N ARQ* memiliki nilai yang sedikit lebih kecil dibandingkan utilitas *Selective Reject ARQ*. Sedangkan *Stop and Wait ARQ* memiliki utilitas yang terendah.



Gambar 4.10 Hubungan Utilitas masing-masing ARQ terhadap panjang media transmisi pada MAN (SW = Stop And Wait, SR = Selective Reject, GB = Go Back-N, W = Window)
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Dari tabel 4. 23, 4. 30, 4.31, 4.38, dan 4.39 dapat ditak kesimpulan bahwa semakin panjang media transmisi, maka nilai utilitas akan semakin kecil. Pada panjang media transmisi yang sama, *Selective Reject ARQ* memiliki nilai utilitas yang paling besar dibandingkan kedua ARQ lainnya. Utilitas *Go Back-N ARQ* memiliki nilai yang sedikit lebih kecil dibandingkan utilitas *Selective Reject ARQ*. Sedangkan *Stop and Wait ARQ* memiliki utilitas yang terendah. Nilai utilitas untuk ARQ dengan *sliding window* (*Selective Reject ARQ* dan *Go Back-N ARQ*) akan cenderung konstan untuk *Selective Reject ARQ*, atau mengalami penurunan yang kecil untuk *Go Back-N ARQ*, sampai pada titik dimana ukuran window sama dengan nilai $2a+1$. Setelah ukuran window menjadi lebih kecil dari nilai $2a+1$, maka nilai utilitas akan mengalami penurunan yang lebih tinggi. Semakin besar ukuran *window* yang digunakan, maka titik

dimana ukuran window sama dengan nilai $2a+1$ akan tercapai pada panjang media transmisi yang lebih besar

4.7 Analisis Delay ARQ pada hubungan LAN dan MAN

4.7.1 Analisis Delay ARQ pada hubungan LAN

Melalui pembahasan pada sub bab 4.2, kita dapatkan nilai N_r pada masing-masing metode ARQ. Dengan mempertimbangkan faktor probabilitas error, dan persamaan (2.12), diketahui bahwa waktu total yang digunakan untuk mentransmisikan sebuah frame adalah

$$t_T = N_r t_t$$

Dimana t_T = waktu total transmisi frame jika terjadi *error*

N_r = jumlah transmisi frame yang diharapkan jika terjadi *error*

t_t = waktu total transmisi frame bebas *error*

Sesuai persamaan (2.2),

$$t_t = n(2t_{prop} + t_{frame})$$

melalui sub bab 4.2 kita dapatkan nilai $t_{prop} = 0,0005 \text{ ms}$ dan $t_{frame} = 0,12208 \text{ ms}$, dan untuk pentransmisi frame tunggal, nilai $n = 1$

$$t_t = 1(2(0,0005) + 0,12208) = 0.12308 \text{ ms}$$

Maka dapat kita analisis nilai t_T sebagai berikut

Dengan menetapkan BER = 10^{-10} didapatkan $N_r = 1,0000000001000$

$$\begin{aligned} t_T &= N_r t_t \\ &= (1,0000000001000)(0.12308) = 0.123080000012308 \text{ ms} \end{aligned}$$

Tabel 4.40 Hasil Analisis BER terhadap Delay total Stop and Wait ARQ pada LAN untuk frame tunggal

P	N_r Stop and Wait ARQ	t_T
10^{-8}	1,0000000100000	0.123080001230800000
10^{-9}	1,0000000010000	0.123080000123080000
10^{-10}	1,0000000001000	0.123080000012308000
10^{-11}	1,0000000000100	0.123080000001230800
10^{-12}	1,0000000000010	0.123080000000123080
10^{-13}	1,0000000000001	0.123080000000012308

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Tabel 4.41 Hasil Analisis BER terhadap *Delay* total *Go Back- N ARQ* pada LAN untuk frame tunggal

P	N_r <i>Go Back- N ARQ</i> ($W = 3$)	t_T
10^{-8}	1.0000000100819121008191210081912	0.123080001240881741368817413688172896
10^{-9}	1.0000000010081912010081912010081	0.123080000124088173020088173020076948
10^{-10}	1.0000000001008191200100819120010	0.12308000001240881729084088172908308
10^{-11}	1.0000000000100819120001008191200	0.1230800000012408817289724088172896
10^{-12}	1.0000000000010081912000010081912	0.123080000000124088172896124088172896
10^{-13}	1.0000000000001008191200000100819	0.123080000000012408817289601240880252

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Tabel 4.42 Hasil Analisis d terhadap *Delay* total *Go Back- N ARQ* pada LAN untuk frame tunggal

$d(m)$	N_r <i>Go Back- N ARQ</i> ($W = 3$)	t_T
10	1.000000000100081913509352883356177752294	0.1230800000123180819147311528834783577524
25	1.000000000100204783758382208388944380734	0.1230800000123332047849816822085112743807
50	1.000000000100409567506764416776888761468	0.1230800000123584095687325644168994687615
75	1.000000000100614351255146625164833142202	0.1230800000123836143524834466252876631422
100	1.00000000010081913500352883355277522936	0.123080000012408819136234328833675857523

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Tabel 4.43 Hasil Analisis BER terhadap *Delay* total *Selective Reject ARQ* pada LAN untuk frame tunggal

P	N_r <i>Selective Reject ARQ</i> ($W = 3$)	t_T
10-8	1,0000000100000	0.123080001230800000
10-9	1,0000000010000	0.123080000123080000
10-10	1,0000000001000	0.123080000012308000
10-11	1,0000000000100	0.123080000001230800
10-12	1,0000000000010	0.123080000000123080
10-13	1,0000000000001	0.123080000000012308

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Pada komunikasi data, data yang ditransmisikan memiliki ukuran yang bervariasi. Dengan ukuran data yang berbeda, maka waktu transmisi (*delay*) juga akan berbeda. Berikut analisis *delay* pada LAN dengan mengubah variabel ukuran data .

Karena data yang akan ditransmisikan dipecah menjadi beberapa frame, maka:

$$n = \frac{S}{L_x}$$

Dimana n = jumlah frame yang akan ditransmisikan

S = ukuran data yang akan ditransmisikan

L_x = ukuran *field* data maksimum pada 1 *frame*

Misalkan data yang akan ditransmisikan berukuran 4,5 KB dan ukuran frame maximum pada LAN bernilai 1526 byte dengan maximum 1500 byte *field* data, maka

$$n = \frac{S}{L_x} = \frac{4500 \text{ byte}}{1500 \text{ byte}} = 3$$

Dan dengan persamaan (2.12) dan (2.2) kita bisa mendapatkan nilai *delay* untuk data yang ditransmisikan.

$$t_T = N_r t_t = N_r n (2t_{prop} + t_{frame})$$

Misalkan kita ambil data $N_r = 1,0000000001$ (N_r pada *Stop and Wait* ARQ dengan BER = 10^{-10}), maka

$$t_T = N_r n (2t_{prop} + t_{frame})$$

$$t_T = (1,0000000001)(3)(2(0,0005) + (0,12208)) = 0.369240000036924 \text{ ms}$$

Pada mekanisme ARQ yang menggunakan metode *sliding window* seperti *Go Back-N* ARQ dan *Selective Reject* ARQ, beberapa frame akan ditransmisikan sekaligus. Dalam hal ini berlaku

$$n_w = \frac{n}{W} = \frac{S}{WL_x}$$

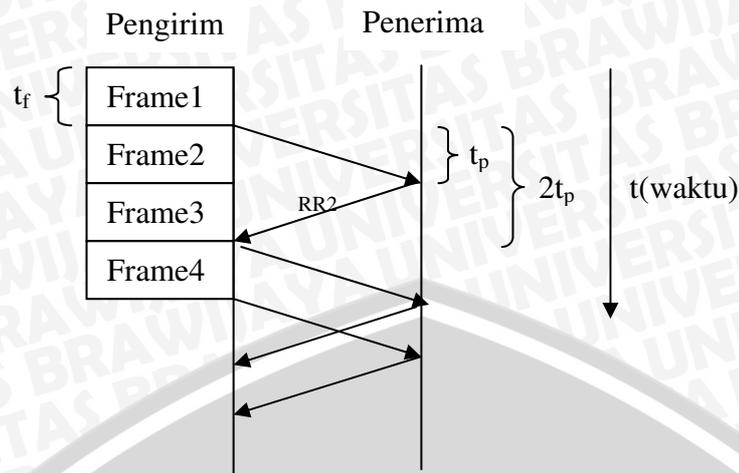
Dimana n_w = jumlah paket pentransmisi frame

S = ukuran data yang akan ditransmisikan

L_x = ukuran *field* data maksimum pada 1 *frame*

W = ukuran *window* yang digunakan

Pada Gambar 2.10, dapat kita lihat bahwa jika $W \geq 2a + 1$, maka *frame* akan dikirimkan secara langsung tanpa waktu tunggu, misalkan kita ambil contoh pentransmisi dengan menggunakan ukuran *window* $W = 3$,



Gambar 4.11 Mekanisme *Sliding Window* dengan $W \geq 2a + 1$
(Sumber : Perancangan 2012)

Dari Gambar 4.11, dapat kita lihat bahwa waktu total yang dibutuhkan untuk mengirimkan semua frame adalah

$$t_T = N_r t_t = N_r n t_f + 2t_p = N_r n t_{frame} + 2t_{prop}$$

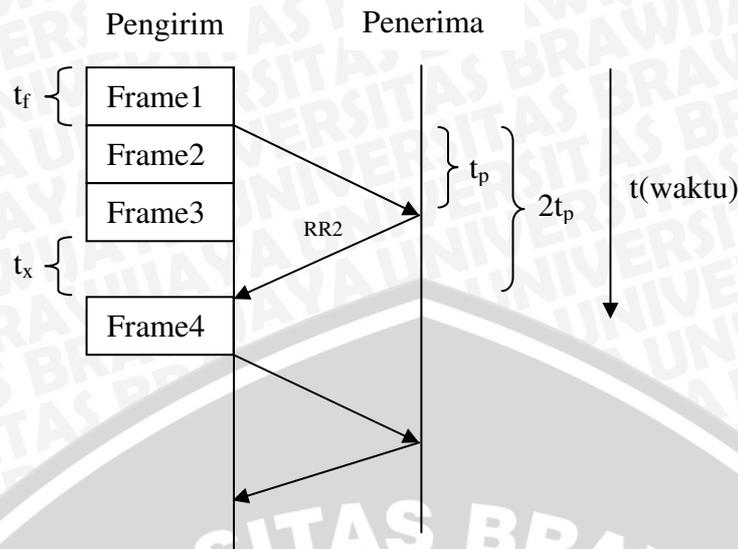
Dimana N_r = jumlah transmisi *frame* yang diharapkan.

t_{frame} = waktu untuk mentransmisikan sebuah *frame*

t_{prop} = waktu perambatan dari sumber ke tujuan

n = jumlah frame yang akan ditransmisikan

Tetapi, jika $W < 2a + 1$, maka *frame* akan dikirimkan akan mengalami waktu tunggu, misalkan kita ambil contoh pentransmisian dengan menggunakan ukuran window $W = 3$



Gambar 4.12 Mekanisme *Sliding Window* dengan $W < 2a + 1$
(Sumber : Perancangan 2012)

Maka waktu total yang dibutuhkan untuk mengirimkan semua frame adalah

$$t_T = N_r t_t = N_r n t_f + (n_w - 1) t_x + 2t_p$$

$$= N_r n t_{frame} + (n_w - 1) t_x + 2t_{prop}$$

Dengan

$$t_x = 2t_{prop} - (W - 1)t_{frame}$$

Dimana N_r = jumlah transmisi *frame* yang diharapkan.

t_{frame} = waktu untuk mentransmisikan sebuah *frame*

t_{prop} = waktu perambatan dari sumber ke tujuan

n = jumlah *frame* yang akan ditransmisikan

t_x = waktu tunggu sebelum *frame* ditransmisikan

n_w = jumlah paket pentransmision *frame*

W = ukuran *window*

Dengan kedua persamaan tersebut, kita bisa mendapatkan nilai *delay* untuk data yang ditransmisikan. Misalkan data yang akan ditransmisikan berukuran 4,5 KB dan ukuran *frame* maximum pada LAN bernilai 1526 byte dengan maximum 1500 byte *field* data, maka

$$n = \frac{S}{L_x} = \frac{4500 \text{ byte}}{1500 \text{ byte}} = 3$$

N_r untuk *Selective Reject ARQ* ($W=3$) pada tabel 4.6, $N_r = 1,0000000001$ (N_r pada *Stop and Wait ARQ* dengan $BER = 10^{-10}$), karena $W \geq 2a + 1$, maka

$$\begin{aligned}
 t_T &= N_r n t_{frame} + 2t_{prop} \\
 &= (1,0000000001)(3)(0,12208) + 2(0,0005) \\
 &= 0.367240000036624 \text{ ms}
 \end{aligned}$$

Misalkan kita tetapkan $BER = 10^{-10}$ dan d (panjang media transmisi) = 100 m, dan nilai N_r didapatkan dari tabel 4.6, dengan mengubah variabel ukuran data kita dapatkan *delay* sebagai berikut:

Tabel 4.44 Hasil Analisis Ukuran Data terhadap *Delay* total *Stop and Wait ARQ* pada LAN

S (KB)	n	t_T (ms)
4,5	3	0.369240000036924
45	30	3.69240000036924
450	300	36.9240000036924
4500	3000	369.240000036924
45000	30000	3692.40000036924
450000	300000	36924.0000036924

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Tabel 4.45 Hasil Analisis Ukuran Data terhadap *Delay* total *Go Back- N ARQ* pada LAN

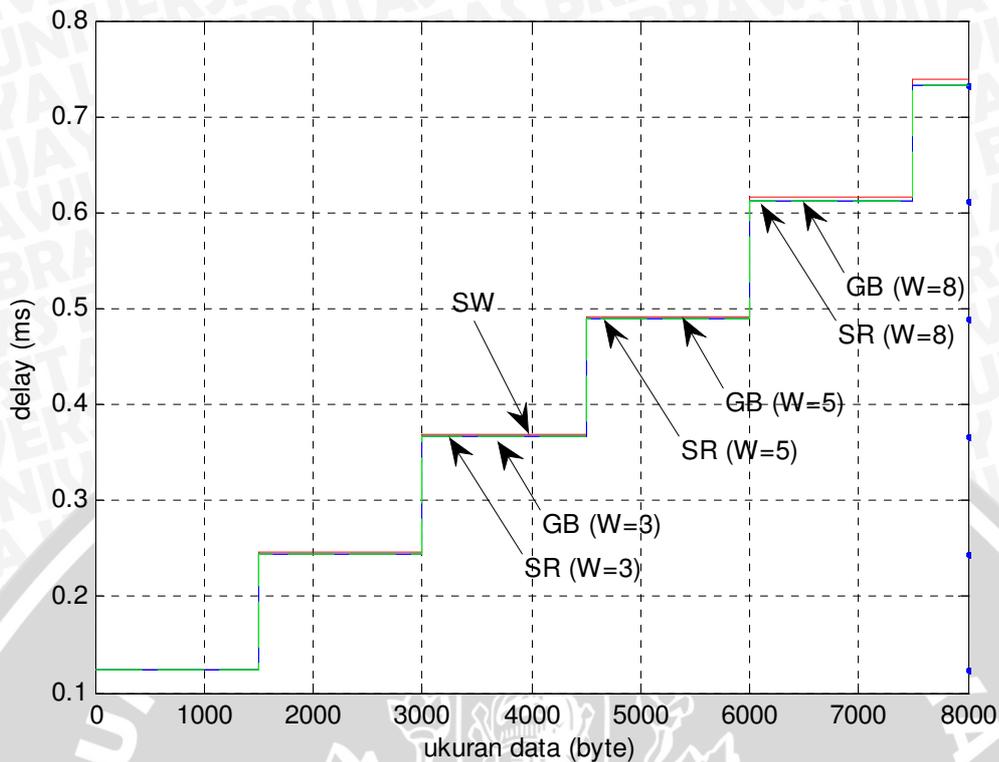
S (KB)	n	t_T (ms)
4,5	3	0.3672400000369240000036924000003692400001
45	30	3.663400000369240000036924000003692400001
450	300	36.62500000369240000036924000003692400001
4500	3000	366.2410000369240000036924000003692400001
45000	30000	3662.401000369240000036924000003692400001
450000	300000	36624.00100369240000036924000003692400001

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Tabel 4.46 Hasil Analisis Ukuran Data terhadap *Delay* total *Selective Reject ARQ* pada LAN

S (KB)	n	t_T
4,5	3	0.367240000036624
45	30	3.66340000036624
450	300	36.6250000036624
4500	3000	366.241000036624
45000	30000	3662.40100036624
450000	300000	36624.0010036624

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)



Gambar 4.13 Hubungan delay total masing-masing ARQ terhadap ukuran data pada LAN (SW = Stop And Wait, SR = Selective Reject, GB = Go Back-N, W = Window)
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Dari tabel 4.44, 4.45, dan 4.46, dapat ditak kesimpulan bahwa semakin besar ukuran data yang ditransmisikan, maka *delay* akan semakin besar. Pada ukuran data yang sama, *Selective Reject* ARQ memiliki nilai *delay* yang paling kecil dibandingkan kedua ARQ lainnya. *Go Back-N* ARQ memiliki nilai *delay* sedikit lebih besar dibandingkan *Selective Reject* ARQ. Sedangkan *Stop and Wait* ARQ memiliki *delay* yang tertinggi. Untuk ARQ dengan *sliding window* (*Selective Reject* ARQ dan *Go Back-N* ARQ) semakin besar ukuran *window* yang digunakan, maka *delay* akan semakin kecil. Jika terdapat data memiliki ukuran yang berbeda tetapi masih memiliki frame yang sama (data dipecah menjadi beberapa frame sebeulm ditransmisikan), maka *delay* yang diperlukan untuk mentransmisikan seluruh data akan sama

4.7.2 Analisis Delay ARQ pada hubungan MAN

Melalui pembahasan pada sub bab 4.3, kita dapatkan nilai N_r pada masing-masing metode ARQ. Dengan mempertimbangkan faktor probabilitas error, dan persamaan (2.12), diketahui bahwa waktu total yang digunakan untuk mentransmisikan sebuah frame adalah

$$t_T = N_r t_t$$

Dimana t_T = waktu total transmisi frame jika terjadi *error*

N_r = jumlah transmisi frame yang diharapkan jika terjadi *error*

t_t = waktu total transmisi frame bebas *error*

Sesuai persamaan (2.2),

$$t_T = n(2t_{prop} + t_{frame})$$

melalui sub bab 4.2 kita dapatkan nilai $t_{prop} = 0,005 \text{ ms}$ dan $t_{frame} = 0,0027261 \text{ ms}$, dan untuk pentransmisi frame tunggal, nilai $n = 1$

$$t_t = 1(2(0,005) + 0,0027261) = 0.0127261 \text{ ms}$$

Maka dapat kita analisis nilai t_T sebagai berikut

Dengan menetapkan BER = 10^{-10} didapatkan $N_r = 1,0000000001000$

$$\begin{aligned} t_T &= N_r t_t \\ &= (1,0000000001000)(0.0127261) = 1.2726100127261 \text{ ms} \end{aligned}$$

Tabel 4.47 Hasil Analisis BER terhadap Delay total Stop and Wait ARQ pada MAN untuk frame tunggal

P	N_r Stop and Wait ARQ	t_T
10^{-8}	1,0000000100000	0.012726100127261
10^{-9}	1,0000000010000	0.12726100127261
10^{-10}	1,0000000001000	1.2726100127261
10^{-11}	1,0000000000100	12.726100127261
10^{-12}	1,0000000000010	127.26100127261
10^{-13}	1,0000000000001	1272.6100127261

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Tabel 4.48 Hasil Analisis BER terhadap *Delay* total *Go Back- N ARQ* pada MAN untuk frame tunggal

P	N_r <i>Go Back- N ARQ</i> ($W=3$)	t_T
10^{-8}	1,0000000100819121008191210081912	0.01272610012830342158623421586234203032
10^{-9}	1,0000000010081912010081912010081	0.01272610001283034204315034204314918141
10^{-10}	1,0000000001008191200100819120010	0.0127261000012830342031603034203159261
10^{-11}	1,0000000000100819120001008191200	0.012726100000128303420304483034203032
10^{-12}	1,0000000000010081912000010081912	0.01272610000001283034203033283034203032
10^{-13}	1,0000000000001008191200000100819	0.01272610000000128303420303212830326759

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Tabel 4.49 Hasil Analisis d terhadap *Delay* total *Go Back- N ARQ* pada MAN untuk frame tunggal

$d(m)$	N_r <i>Go Back- N ARQ</i> ($W =3$)	t_T
10	1.000000000100081913509352883356177752294	0.01272610000127365243951137572887905369347
25	1.000000000100204783758382208388944380734	0.01272610000127521609858754782217854508366
50	1.000000000100409567506764416776888761468	0.01272610000127782219704783464434436406732
75	1.000000000100614351255146625164833142202	0.01272610000128042829550812146651018305098
100	1.000000000100819135003528833552777522936	0.01272610000128303439396840828867600203464

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Tabel 4.50 Hasil Analisis BER terhadap *Selective Reject ARQ* pada MAN untuk frame tunggal

P	N_r <i>Selective Reject ARQ</i> ($W =3$)	t_T
10-8	1,0000000100000	0.012726100127261
10-9	1,0000000010000	0.12726100127261
10-10	1,0000000001000	1.2726100127261
10-11	1,0000000000100	12.726100127261
10-12	1,0000000000010	127.26100127261
10-13	1,0000000000001	1272.6100127261

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Pada komunikasi data, data yang ditransmisikan memiliki ukuran yang bervariasi. Dengan ukuran data yang berbeda, maka waktu transmisi (*delay*) juga akan berbeda. Berikut analisis *delay* pada LAN dengan mengubah variabel ukuran data .

Karena data yang akan ditransmisikan dipecah menjadi beberapa frame, maka:

$$n = \frac{S}{L_x}$$

Dimana n = jumlah frame yang akan ditransmisikan

S = ukuran data yang akan ditransmisikan

L_x = ukuran *field* data maksimum pada 1 *frame*

Misalkan data yang akan ditransmisikan berukuran 4,578 KB dan ukuran frame maximum pada MAN bernilai 53 byte dengan maximum 48 byte *field* data, maka

$$n = \frac{S}{L_x} = \frac{4032 \text{ byte}}{48 \text{ byte}} = 84$$

Dan dengan persamaan (2.12) dan (2.2) kita bisa mendapatkan nilai *delay* untuk data yang ditransmisikan.

$$t_T = N_r t_t = N_r n (2t_{prop} + t_{frame})$$

Misalkan kita ambil data $N_r = 1,0000000001$ (N_r pada *Stop and Wait* ARQ dengan BER = 10^{-10}), maka

$$t_T = N_r n (2t_{prop} + t_{frame})$$

$$t_T = (1,0000000001)(84)(2(0,005) + (0,0027261)) = 1.068992400106899 \text{ ms}$$

Pada mekanisme ARQ yang menggunakan metode *sliding window* seperti *Go Back-N* ARQ dan *Selective Reject* ARQ, beberapa frame akan ditransmisikan sekaligus. Dalam hal ini berlaku

$$n_w = \frac{n}{W} = \frac{S}{WL_x}$$

Dimana n_w = jumlah paket pentransmisian frame

S = ukuran data yang akan ditransmisikan

L_x = ukuran *field* data maksimum pada 1 *frame*

W = ukuran *window* yang digunakan

Seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 4.7.1, didapatkan:

Untuk $W < 2a + 1$,

$$t_T = N_r t_t = N_r n t_f + 2t_p = N_r n t_{frame} + 2t_{prop}$$

Untuk $W \geq 2a + 1$,

$$t_T = N_r t_t = N_r n t_f + (n_w - 1) t_x + 2t_p = N_r n t_{frame} + (n_w - 1) t_x + 2t_{prop}$$

Dengan $t_x = 2t_{prop} - (W - 1)t_{frame}$

Dimana N_r = jumlah transmisi *frame* yang diharapkan.

t_{frame} = waktu untuk mentransmisikan sebuah *frame*

t_{prop} = waktu perambatan dari sumber ke tujuan

n = jumlah *frame* yang akan ditransmisikan

t_x = waktu tunggu sebelum *frame* ditransmisikan

n_w = jumlah paket pentransmisiian *frame*

Misalkan data yang akan ditransmisikan berukuran 4,578 KB dan ukuran *frame* maximum pada MAN bernilai 53 byte dengan maximum 48 byte *field* data, maka

$$n = \frac{S}{L_x} = \frac{4032 \text{ byte}}{48 \text{ byte}} = 84$$

Misalkan kita ambil nilai N_r untuk *Selective Reject* ARQ ($W=8$) pada tabel 4.15, $N_r = 1,0000000001$ (N_r pada *Stop and Wait* ARQ dengan $BER = 10^{-10}$) dan ukuran *window* yang digunakan $W = 8$, karena $W \geq 2a + 1$, maka

$$\begin{aligned} t_T &= N_r n t_{frame} + 2t_{prop} \\ &= (1,0000000001)(84)(0,0027261) + 2(0,005) \\ &= 0.23899240002289924 \text{ ms} \end{aligned}$$

Misalkan kita tetapkan $BER = 10^{-10}$ dan d (panjang media transmisi) = 1 km, dan nilai N_r didapatkan dari tabel 4.15, dengan mengubah variabel ukuran data kita dapatkan *delay* sebagai berikut:

Tabel 4.51 Hasil Analisis Ukuran Data terhadap *Delay total Stop and Wait* ARQ pada MAN

S (KB)	n	t_T (ms)
4,032	84	1.06899240010689924
40,32	840	10.6899240010689924
403,2	8400	106.899240010689924
4032	84000	1068.99240010689924
40320	840000	10689.9240010689924
403200	8400000	106899.240010689924

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Tabel 4.52 Hasil Analisis Ukuran Data terhadap *Delay total Go Back- N* ARQ pada MAN

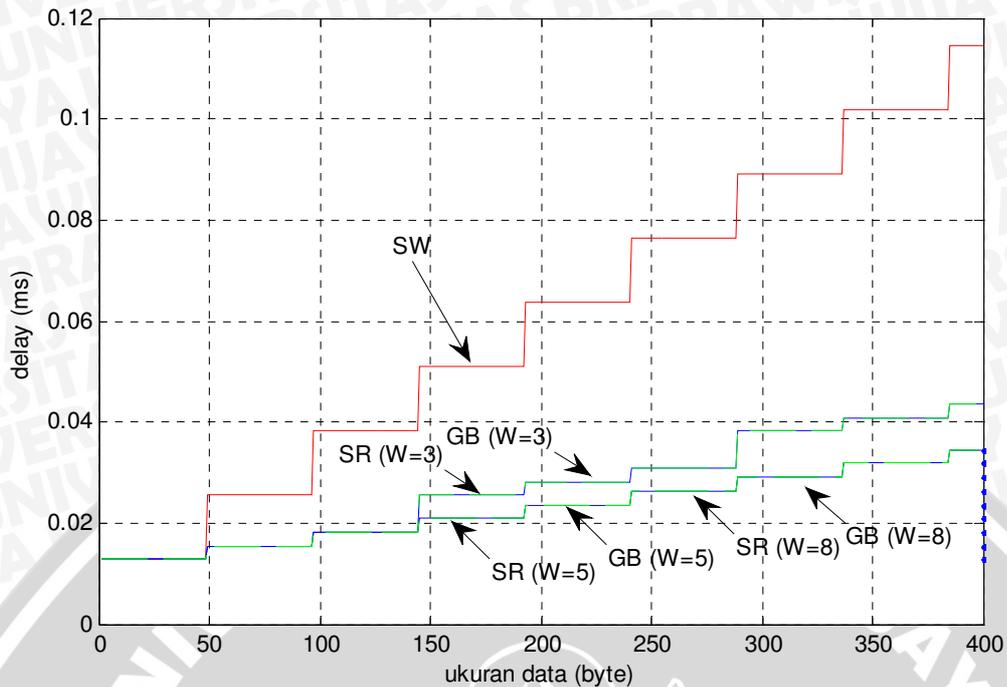
S (KB)	n	t_T (ms)
4,032	84	0.2389924001068992400106899240010689924
40,32	840	2.2999240010689924001068992400106899240010689924
403,2	8400	22.909240010689924001068992400106899240010689924
4032	84000	229.00240010689924001068992400106899240010689924
40320	840000	2289.9340010689924001068992400106899240010689924
403200	8400000	22899.250010689924001068992400106899240010689924

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Tabel 4.53 Hasil Analisis Ukuran Data terhadap *Delay total Selective Reject* ARQ pada MAN

S (KB)	n	t_T
4,032	84	0.23899240002289924
40,32	840	2.2999240002289924
403,2	8400	22.909240002289924
4032	84000	229.00240002289924
40320	840000	2289.9340002289924
403200	8400000	22899.250002289924

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)



Gambar 4.14 Hubungan delay total masing-masing ARQ terhadap ukuran data pada MAN (SW = Stop And Wait, SR = Selective Reject, GB = Go Back-N, W = Window)
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Dari tabel 4.51, 4.52, dan 4.53, dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar ukuran data yang ditransmisikan, maka *delay* akan semakin besar. Pada ukuran data yang sama, *Selective Reject* ARQ memiliki nilai *delay* yang paling kecil dibandingkan kedua ARQ lainnya. *Go Back-N* ARQ memiliki nilai *delay* sedikit lebih besar dibandingkan *Selective Reject* ARQ. Sedangkan *Stop and Wait* ARQ memiliki *delay* yang tertinggi. Untuk ARQ dengan *sliding window* (*Selective Reject* ARQ dan *Go Back-N* ARQ) semakin besar ukuran *window* yang digunakan, maka *delay* akan semakin kecil. Jika terdapat data memiliki ukuran yang berbeda tetapi masih memiliki frame yang sama (data dipecah menjadi beberapa frame sebelum ditransmisikan), maka *delay* yang diperlukan untuk mentransmisikan seluruh data akan sama

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan simulasi perhitungan dengan menggunakan Matlab R2010a, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan analisis *delay* mekanisme ARQ pada LAN dapat disimpulkan:
 - a. Nilai probabilitas *error* atau BER (*Bit Error Rate*) berbanding lurus dengan *delay* yang dibutuhkan untuk mentransmisikan data. Pada nilai BER = 0 (minimum), N_r (konstanta *delay* atau jumlah transmisi *frame* yang diharapkan) untuk semua metode ARQ bernilai 1, dan pada saat nilai BER maksimum yakni 10^{-8} (standar *fast ethernet* pada LAN), nilai N_r *Go back-N* ARQ = 1,00000001008 (dengan ukuran *window* = 3) , N_r *Stop and Wait* ARQ (dengan ukuran *window* = 3) dan N_r *Selective Reject* ARQ memiliki nilai yang sama, yakni 1,00000001. Semakin besar nilai N_r , maka *delay* juga akan semakin besar (pada panjang media transmisi dan ukuran data yang sama).
 - b. Mekanisme ARQ yang memiliki *delay* tertinggi adalah *Stop and Wait* ARQ. Sedangkan *delay* terendah terjadi pada *Selective Reject* ARQ. *Delay Go Back-N* ARQ memiliki nilai yang hampir sama dengan *delay* pada *Selective Reject*, tetapi *delay Selective Reject* lebih rendah.
2. Berdasarkan analisis *delay* mekanisme ARQ pada MAN dapat disimpulkan:
 - a. Nilai probabilitas *error* atau BER (*Bit Error Rate*) berbanding lurus dengan *delay* yang dibutuhkan untuk mentransmisikan data. Pada nilai BER = 0 (minimum), N_r (konstanta *delay* atau jumlah transmisi *frame* yang diharapkan) untuk semua metode ARQ bernilai 1, dan pada saat nilai BER maksimum yakni 10^{-10} (standar ATM pada MAN), nilai N_r *Go back-N* ARQ = 1,0000000003 (dengan ukuran *window* = 3) , N_r *Stop and Wait* ARQ (dengan ukuran *window* = 3) dan N_r *Selective Reject* ARQ memiliki nilai yang sama, yakni 1,0000000001. Semakin besar nilai N_r , maka *delay* juga akan semakin besar (pada panjang media transmisi dan ukuran data yang sama).
 - b. Mekanisme ARQ yang memiliki *delay* tertinggi adalah *Stop and Wait* ARQ. Sedangkan *delay* terendah terjadi pada *Selective Reject* ARQ. *Delay Go Back-N* ARQ memiliki nilai yang hampir sama dengan *delay* pada *Selective Reject*, tetapi *delay Selective Reject* lebih rendah.

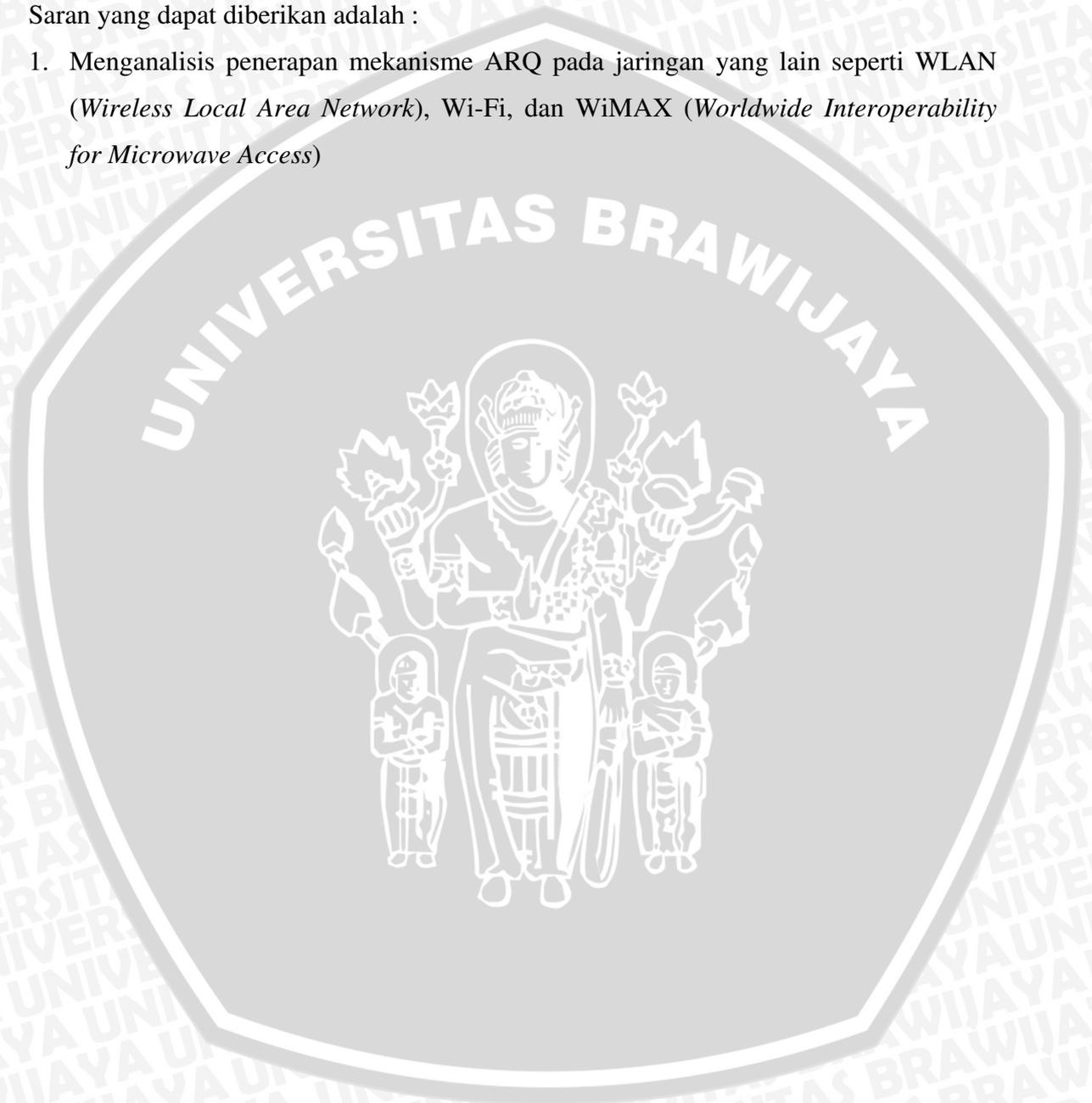
3. Pada LAN dan MAN dengan *Stop and Wait* ARQ, nilai utilitas mengalami penurunan yang lebih tinggi seiring bertambahnya panjang media transmisi, dibandingkan dengan kedua mekanisme ARQ lainnya. Pada nilai BER yang sama, utilitas *Stop and Wait* ARQ memiliki nilai yang paling rendah dibandingkan dengan utilitas pada *Selective Reject* ARQ dan *Go Back-N* ARQ.
4. Pada LAN, nilai utilitas *Selective Reject* ARQ mengalami penurunan seiring bertambahnya panjang media transmisi. Sedangkan pada MAN, seiring bertambahnya panjang media transmisi, nilai utilitas akan tetap konstan sampai pada jarak 545.2324 m (untuk ukuran window = 3), 1090.46486 m (window = 5), dan 1090.46486 m (window = 8). Setelah melebihi batas jarak tersebut, nilai utilitas akan mengalami penurunan. Semakin besar ukuran *window* yang digunakan, maka batas jarak dimana nilai utilitas memiliki nilai yang konstan akan semakin besar.
5. Pada , nilai utilitas *Go Back-N* ARQ mengalami penurunan seiring bertambahnya panjang media transmisi. Sedangkan pada MAN semakin panjang media transmisi, nilai utilitas akan mengalami penurunan yang rendah sampai pada batas jarak (panjang media transmisi) 545.2324 m (untuk ukuran window = 3), 1090.46486 m (window = 5), dan 1090.46486 m (window = 8), setelah melewati batas jarak tersebut, nilai utilitas akan mengalami penurunan yang lebih tinggi seiring bertambahnya panjang media transmisi. Semakin besar ukuran *window* yang digunakan, maka semakin besar batas jarak untuk mendapatkan penurunan nilai utilitas yang kecil.
6. Berdasarkan hasil analisis utilitas mekanisme ARQ pada LAN dan MAN dapat disimpulkan:
 - a. Mekanisme ARQ yang memiliki utilitas paling baik adalah *Selective Reject* ARQ. Utilitas *Go Back-N* ARQ memiliki nilai yang hampir sama dengan *Selective Reject* ARQ, tetapi *Selective Reject* ARQ memiliki utilitas yang lebih baik. *Stop and Wait* ARQ memiliki nilai utilitas yang terburuk dibandingkan kedua mekanisme ARQ lainnya dalam penerapannya pada LAN dan MAN
 - b. Pada ketiga mekanisme ARQ tersebut, jika nilai BER semakin besar, maka nilai utilitas semakin kecil.
 - c. Pada mekanisme ARQ dengan *sliding-window* seperti *Go Back-N* ARQ dan *Selective Reject* ARQ, semakin besar ukuran window yang digunakan, maka nilai utilitas juga semakin baik

- d. Semakin besar nilai *delay* transmisi, maka *delay* total dan utilitas akan semakin besar. Sedangkan semakin besar *delay* propagasi, maka *delay* total semakin besar, dan nilai utilitas semakin kecil.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan adalah :

1. Menganalisis penerapan mekanisme ARQ pada jaringan yang lain seperti WLAN (*Wireless Local Area Network*), Wi-Fi, dan WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*)



DAFTAR PUSTAKA

- Forouzan, Behrouz A. 2007. *“Data Communications and Networking, Fourth Edition”*. New York: McGraw-Hill
- Freeman, Roger L. 2005. *Fundamentals Of Telecommunications, Second Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc
- Lammle, Todd. 2005. *“CCNA Cisco Certified Network Associate Study Guide”*. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo.
- Stallings, William. 2001. *“Komunikasi Data Dan Komputer. Dasar-Dasar Komunikasi Data”*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Sutantha, Edhy. 2003. *“Komunikasi Data dan Jaringan komputer”*. Jakarta: Salemba.
- Tanenbaum, Andrew S. 2003. *“Computer Network, Fourth Edition”*. USA: Prantice Hall.
- Mlinarsky, Fanny. 1996. *“155 Mb/s ATM Bit Error Rate Test”*. Marlborough
- Horiuchi, Shin, Jon Beckwith, Peter Keefe, Adam Healey. *Fast Ethernet Consortium, Clause 25, Physical Medium Dependent (PMD) Test Suite Version 3.4*. University of New Hampshire InterOperability Lab.

LAMPIRAN 1 :

Listing Program Matlab Menghitung Pengaruh BER (Bit Error Rate) terhadap Nr (jumlah transmisi frame yang diharapkan) pada LAN

```
P=10^(-13):10^(-13):10^(-8); %P = probabilitas error / BER
a=0.004095674967234600262123197903014416775885; %a = (t_prop/t_frame)
w3=3; %wx = ukuran window yang digunakan
w5=5;
w8=8;
%Nr_a = Nr Stop and Wait ARQ
Nr_a=1./(1-P);

%Nr_b = Nr Selective Reject ARQ
Nr_b=1./(1-P);

%Ne_c = Nr Go Back and AQR
%w=3
if w3 < (2*a + 1)
    k = w3;
else
    k = (2*a + 1);
end
Nr_gb_w3=(1-P+(k)*P)./(1-P);
%w=5
if w5 < (2*a + 1)
    k = w5;
else
    k = (2*a + 1);
end
Nr_gb_w5=(1-P+(k)*P)./(1-P);
%w=8
if w8 < (2*a + 1)
    k = w8;
else
    k = (2*a + 1);
end
Nr_gb_w8=(1-P+(k)*P)./(1-P);

plot(P,Nr_a,'b');
grid on;
xlabel('BER (probabilitas error)');
ylabel('Nr (jumlah transmisi frame yang diharapkan)');
hold on;
plot(P,Nr_b,'g--')
hold on;
plot(P,Nr_gb_w3,'m')
hold on;
plot(P,Nr_gb_w5,'r')
hold on;
plot(P,Nr_gb_w8,'c--')
```



LAMPIRAN 2 :

Listing Program Matlab Menghitung Pengaruh d (Panjang Media Transmisi) terhadap Nr (jumlah transmisi frame yang diharapkan) pada LAN

```
for d=1:1:100; %d = panjang media transmisi
P=10^(-10); %P = probabilitas error / BER
w3=3; %wx = ukuran window yang digunakan
w5=5;
a(d)=100*(10^6).*d/(2*(10^8)*12208); %a = (t_prop/t_frame)
%Nr_sw = Nr Stop and Wait ARQ
Nr_sw(d)=1/(1-P)*(d./d);

%Nr_sr = Nr Selective Reject ARQ
Nr_sr(d)=1/(1-P)*(d./d);

%Nr_gb = Nr Go Back and AQR
%w=3
if w3 < (2*a(d)+ 1)
k = w3;
else
k = (2.*a(d) +1);
end
Nr_gb_w3(d)=(1-P+(k).*P)./(1-P);

%w=5
if w5 < (2*a(d)+ 1)
k = w5;
else
k = (2.*a(d) +1);
end
Nr_gb_w5(d)=(1-P+(k).*P)./(1-P);

x(d)=d;
end
plot(x,Nr_sw-1,'b');
grid on;
xlabel('d (jarak / panjang media transmisi)');
ylabel('Nr (jumlah transmisi frame yang diharapkan)');
hold on;
plot(x,Nr_sr-1,'g--')
hold on;
plot(x,Nr_gb_w3-1,'r')
hold on;
plot(x,Nr_gb_w5-1,'m--')
```

LAMPIRAN 3 :

Listing Program Matlab Menghitung Pengaruh BER (Bit Error Rate) terhadap Nr (jumlah transmisi frame yang diharapkan) pada MAN

```
P=10^(-15):10^(-13):10^(-10); %P = probabilitas error / BER
a=1.834080188679245283018867924528301886793; %a = (t_prop/t_frame)
w3=3; %wx = ukuran window yang digunakan
w5=5;
w8=8;
%Nr_a = Nr Stop and Wait ARQ
Nr_a=1./(1-P);

%Nr_b = Nr Selective Reject ARQ
Nr_b=1./(1-P);

%Ne_c = Nr Go Back and AQR
%w=3
if w3 < (2*a + 1)
    k = w3;
else
    k = (2*a + 1);
end
Nr_gb_w3=(1-P+(k)*P)./(1-P);
%w=5
if w5 < (2*a + 1)
    k = w5;
else
    k = (2*a + 1);
end
Nr_gb_w5=(1-P+(k)*P)./(1-P);
%w=8
if w8 < (2*a + 1)
    k = w8;
else
    k = (2*a + 1);
end
Nr_gb_w8=(1-P+(k)*P)./(1-P);

plot(P,Nr_a,'b');
grid on;
xlabel('BER (probabilitas error)');
ylabel('Nr (jumlah transmisi frame yang diharapkan)');
hold on;
plot(P,Nr_b,'g--')
hold on;
plot(P,Nr_gb_w3,'m')
hold on;
plot(P,Nr_gb_w5,'r')
hold on;
plot(P,Nr_gb_w8,'c--')
```

LAMPIRAN 4 :

Listing Program Matlab Menghitung Pengaruh d (Panjang Media Transmisi) terhadap Nr (jumlah transmisi frame yang diharapkan) pada MAN

```
for d=1:1:2000; %d = panjang media transmisi
P=10^(-10); %P = probabilitas error / BER
w3=3; %wx = ukuran window yang digunakan
w5=5;
a(d)=155.53*(10^6)*d/(2*(10^8)*424); %a = (t_prop/t_frame)
%Nr_sw = Nr Stop and Wait ARQ
Nr_sw(d)=1/(1-P)*(d./d);

%Nr_sr = Nr Selective Reject ARQ
Nr_sr(d)=1/(1-P)*(d./d);

%Nr_gb = Nr Go Back and AQR
%w=3
if w3 < (2*a(d)+ 1)
k = w3;
else
k = (2.*a(d) +1);
end
Nr_gb_w3(d)=(1-P+(k).*P)./(1-P);

%w=5
if w5 < (2*a(d)+ 1)
k = w5;
else
k = (2.*a(d) +1);
end
Nr_gb_w5(d)=(1-P+(k).*P)./(1-P);

x(d)=d;
end
plot(x,Nr_sw,'b');
grid on;
xlabel('d (jarak / panjang media transmisi)');
ylabel('Nr (jumlah transmisi frame yang diharapkan)');
hold on;
plot(x,Nr_sr,'g--')
hold on;
plot(x,Nr_gb_w3,'r')
hold on;
plot(x,Nr_gb_w5,'m--')
```

LAMPIRAN 5 :**Listing Program Matlab Menghitung Pengaruh BER (Bit Error Rate) terhadap Nr Utilitas pada LAN**

```

p=10^(-13):10^(-13):10^(-8); %p = probabilitas error / BER
d=100; %d = panjang media transmisi
w3=3; %wx = ukuran window yang digunakan
w5=5;
w8=8;
a=0.004095674967234600262123197903014416775885; %a = (t_prop/t_frame)

%Stop And Wait
u_sw=(1-p)/(2*a+1);

%selective Reject
%w=3
if w3 < (2*a+1)
    u_sr_w3=w3*(1-p)/(2*a+1);
else
    u_sr_w3=1-p;
end
%w=5
if w5 < (2*a+1)
    u_sr_w5=w5*(1-p)/(2*a+1);
else
    u_sr_w5=1-p;
end
%w=8
if w8 < (2*a+1)
    u_sr_w8=w8*(1-p)/(2*a+1);
else
    u_sr_w8=1-p;
end

%Go Back And
%w=3
if w3 < (2*a+1)
    u_gb_w3=(w3*(1-p))./((2*a+1)*(1-p+w3*p));
else
    u_gb_w3=(1-p)./(1+2*a*p);
end
%w=5
if w5 < (2*a+1)
    u_gb_w5=(w5*(1-p))./((2*a+1)*(1-p+w3*p));
else
    u_gb_w5=(1-p)./(1+2*a*p);
end
%w=8
if w8 < (2*a+1)
    u_gb_w8=(w8*(1-p))./((2*a+1)*(1-p+w3*p));
else
    u_gb_w8=(1-p)./(1+2*a*p);
end

plot(p,u_sw,'r');
grid on;
xlabel('BER (probabilitas error)');
ylabel('Utilitas');
hold on;
plot(p,u_sr_w3,'b');

```

```
hold on;  
plot(p,u_sr_w5,'b');  
hold on;  
plot(p,u_sr_w8,'b');  
hold on;  
plot(p,u_gb_w3,'g--');  
hold on;  
plot(p,u_gb_w5,'g--');  
hold on;  
plot(p,u_gb_w8,'g--');
```



LAMPIRAN 6 :

Listing Program Matlab Menghitung Pengaruh d (Panjang Media Transmisi) terhadap Utilitas pada LAN

```
for d=1:1:100;      %d = panjang media transmisi
p=10^(-10);      %p = probabilitas error / BER
w3=3;           %wx = ukuran window yang digunakan
w5=5;
w7=7;
a(d)=100*(10^6)*d/(2*(10^8)*12208);    %a = (t_prop/t_frame)

%Stop And Wait
u_sw(d)=(1-p)/(2*a(d)+1);

%selective Reject
if w3 < (2*a(d)+1)
    u_sr_w3(d)=w3*(1-p)/(2*a(d)+1);
else
    u_sr_w3(d)=1-p;
end

if w5 < (2*a(d)+1)
    u_sr_w5(d)=w5*(1-p)/(2*a(d)+1);
else
    u_sr_w5(d)=1-p;
end

if w7 < (2*a(d)+1)
    u_sr_w7(d)=w7*(1-p)/(2*a(d)+1);
else
    u_sr_w7(d)=1-p;
end

%Go Back And
if w3 < (2*a(d) +1)
    u_gb_w3(d)=(w3*(1-p))/((2*a(d)+1)*(1-p+w3*p));
else
    u_gb_w3(d)=(1-p)/(1+2*a(d)*p);
end

if w5 < (2*a(d) +1)
    u_gb_w5(d)=(w5*(1-p))/((2*a(d)+1)*(1-p+w5*p));
else
    u_gb_w5(d)=(1-p)/(1+2*a(d)*p);
end

if w7 < (2*a(d) +1)
    u_gb_w7(d)=(w7*(1-p))/((2*a(d)+1)*(1-p+w7*p));
else
    u_gb_w7(d)=(1-p)/(1+2*a(d)*p);
end

x(d)=d;
end
plot(x,u_sw,'r');
grid on;
xlabel('d (jarak / panjang media transmisi)');
ylabel('Utilitas');
hold on;
```

```
plot(x,u_sr_w3,'b');  
hold on;  
plot(x,u_gb_w3,'g--');  
hold on;  
plot(x,u_sr_w5,'b');  
hold on;  
plot(x,u_gb_w5,'g--');  
hold on;  
plot(x,u_sr_w7,'b');  
hold on;  
plot(x,u_gb_w7,'g--');
```



LAMPIRAN 7 :**Listing Program Matlab Menghitung Pengaruh BER (Bit Error Rate) terhadap Nr Utilitas pada MAN**

```

p=10^(-15):10^(-15):10^(-10); %p = probabilitas error / BER
d=1000; %d = panjang media transmisi
w3=3; %wx = ukuran window yang digunakan
w5=5;
w8=8;
a=1.834122005795825538314808701074795495396; %a = (t_prop/t_frame)

%Stop And Wait
u_sw=(1-p)/(2*a+1);

%selective Reject
%w=3
if w3 < (2*a+1)
    u_sr_w3=w3*(1-p)/(2*a+1);
else
    u_sr_w3=1-p;
end
%w=5
if w5 < (2*a+1)
    u_sr_w5=w5*(1-p)/(2*a+1);
else
    u_sr_w5=1-p;
end
%w=8
if w8 < (2*a+1)
    u_sr_w8=w8*(1-p)/(2*a+1);
else
    u_sr_w8=1-p;
end

%Go Back And
%w=3
if w3 < (2*a+1)
    u_gb_w3=(w3*(1-p))./((2*a+1)*(1-p+w3*p));
else
    u_gb_w3=(1-p)./(1+2*a*p);
end
%w=5
if w5 < (2*a+1)
    u_gb_w5=(w5*(1-p))./((2*a+1)*(1-p+w3*p));
else
    u_gb_w5=(1-p)./(1+2*a*p);
end
%w=8
if w8 < (2*a+1)
    u_gb_w8=(w8*(1-p))./((2*a+1)*(1-p+w3*p));
else
    u_gb_w8=(1-p)./(1+2*a*p);
end

plot(p,u_sw,'r');
grid on;
xlabel('BER (probabilitas error)');
ylabel('Utilitas');
hold on;
plot(p,u_sr_w3,'b');

```

```
hold on;  
plot(p,u_sr_w5,'b');  
hold on;  
plot(p,u_sr_w8,'b');  
hold on;  
plot(p,u_gb_w3,'g--');  
hold on;  
plot(p,u_gb_w5,'g--');  
hold on;  
plot(p,u_gb_w8,'g--');
```



LAMPIRAN 8 :

Listing Program Matlab Menghitung Pengaruh d (Panjang Media Transmisi) terhadap Utilitas pada MAN

```
for d=1:1:2000; %d = panjang media transmisi
p=10^(-10); %p = probabilitas error / BER
w3=3; %wx = ukuran window yang digunakan
w5=5;
w7=7;
a(d)=155.53*(10^6)*d/(2*(10^8)*424); %a = (t_prop/t_frame)

%Stop And Wait
u_sw(d)=(1-p)/(2*a(d)+1);

%selective Reject
if w3 < (2*a(d)+1)
    u_sr_w3(d)=w3*(1-p)/(2*a(d)+1);
else
    u_sr_w3(d)=1-p;
end

if w5 < (2*a(d)+1)
    u_sr_w5(d)=w5*(1-p)/(2*a(d)+1);
else
    u_sr_w5(d)=1-p;
end

if w7 < (2*a(d)+1)
    u_sr_w7(d)=w7*(1-p)/(2*a(d)+1);
else
    u_sr_w7(d)=1-p;
end

%Go Back And
if w3 < (2*a(d) +1)
    u_gb_w3(d)=(w3*(1-p))/((2*a(d)+1)*(1-p+w3*p));
else
    u_gb_w3(d)=(1-p)/(1+2*a(d)*p);
end

if w5 < (2*a(d) +1)
    u_gb_w5(d)=(w5*(1-p))/((2*a(d)+1)*(1-p+w5*p));
else
    u_gb_w5(d)=(1-p)/(1+2*a(d)*p);
end

if w7 < (2*a(d) +1)
    u_gb_w7(d)=(w7*(1-p))/((2*a(d)+1)*(1-p+w7*p));
else
    u_gb_w7(d)=(1-p)/(1+2*a(d)*p);
end

x(d)=d;
end
plot(x,u_sw,'r');
grid on;
xlabel('d (jarak / panjang media transmisi)');
ylabel('Utilitas');
hold on;
```

```
plot(x,u_sr_w3,'b');  
hold on;  
plot(x,u_gb_w3,'g--');  
hold on;  
plot(x,u_sr_w5,'b');  
hold on;  
plot(x,u_gb_w5,'g--');  
hold on;  
plot(x,u_sr_w7,'b');  
hold on;  
plot(x,u_gb_w7,'g--');
```



LAMPIRAN 9 :**Listing Program Matlab Menghitung Pengaruh S (Ukuran Data) terhadap Delay Total pada LAN**

```

lx=1500;           %lx = ukuran frame
tp=0.0005;        %tp = waktu propagasi (ms)
tf=0.12208;      %tf = waktu transmisi (ms)
a=tp/tf;
nr_sw=1.000000000100000; %Nr stop and Wait (d=100, p=10^(-10))
nr_gb=1.000000000100819; %Nr Go Back-N
nr_sr=1.000000000100000; %Nr Selective reject
w3=3; %wx = ukuran window yang digunakan
w5=5;
w8=8;
tx_w3=2*tp-(w3-1)*tf; %tx_wx = waktu sisa dengan window = x
tx_w5=2*tp-(w5-1)*tf;
tx_w8=2*tp-(w8-1)*tf;
for s=1:1:8000; %s = ukuran data yang ditransmisikan
    n(s)=ceil(s/lx); %n = banyaknya frame yang akan ditransmisikan
    nw3(s)=ceil(n(s)/w3); %nwx = jumlah pentransmisi frame
                        % dengan window = x
    nw5(s)=ceil(n(s)/w5);
    nw8(s)=ceil(n(s)/w8);

    % Stop and Wait
    tT_sw(s)=nr_sw*n(s)*(2*tp+tf);

    % Selective Reject
    if w3 < (2*a+1)
        tT_sr_w3(s)=n(s)*nr_sr*tf+(nw3(s)-1)*tx_w3+2*tp;
    else
        tT_sr_w3(s)=n(s)*nr_sr*tf+2*tp;
    end

    if w5 < (2*a+1)
        tT_sr_w5(s)=n(s)*nr_sr*tf+(nw5(s)-1)*tx_w5+2*tp;
    else %jika w>=2a+1
        tT_sr_w5(s)=n(s)*nr_sr*tf+2*tp;
    end

    if w8 < (2*a+1)
        tT_sr_w8(s)=n(s)*nr_sr*tf+(nw8(s)-1)*tx_w8+2*tp;
    else %jika w>=2a+1
        tT_sr_w8(s)=n(s)*nr_sr*tf+2*tp;
    end

    %Go Back-N
    if w3 < (2*a+1)
        tT_gb_w3(s)=n(s)*nr_gb*tf+(nw3(s)-1)*tx_w3+2*tp;
    else
        tT_gb_w3(s)=n(s)*nr_gb*tf+2*tp;
    end

    if w5 < (2*a+1)
        tT_gb_w5(s)=n(s)*nr_gb*tf+(nw5(s)-1)*tx_w5+2*tp;
    else %jika w>=2a+1
        tT_gb_w5(s)=n(s)*nr_gb*tf+2*tp;
    end
end

```

```
if w8 < (2*a+1)
    tT_gb_w8(s)=n(s)*nr_gb*tf+(nw8(s)-1)*tx_w8+2*tp;
else %jika w>=2a+1
    tT_gb_w8(s)=n(s)*nr_gb*tf+2*tp;
end
x(s)=s;
end

plot(x,tT_sw,'r');
grid on;
xlabel('ukuran data (byte)');
ylabel('delay (ms)');
hold on;
plot(x,tT_gb_w3,'b');
hold on;
plot(x,tT_sr_w3,'g--');
hold on;
plot(s,tT_gb_w5,'b');
hold on;
plot(x,tT_sr_w5,'g--');
hold on;
plot(x,tT_gb_w8,'b');
hold on;
plot(x,tT_sr_w8,'g--');
```



LAMPIRAN 10 :

Listing Program Matlab Menghitung Pengaruh S (Ukuran Data) terhadap Delay Total pada MAN

```
lx=48;           %lx = ukuran frame
tp=0.005;       %tp = waktu propagasi (ms)
tf=0.0027261;  %tf = waktu transmisi (ms)
a=tp/tf;
nr_sw=1.000000000100000; %Nr stop and Wait (d=100, p=10^(-10))
nr_gb_w3=1.000000000300000000030000000003000000; %Nr Go Back-N (w=3)
nr_gb_w5=1.000000000466824401205847547783546494993;%Nr Go Back-N (w=5)
nr_gb_w8=1.000000000466824401205847547783546494993;%Nr Go Back-N (w=8)
nr_sr=1.000000000100000; %Nr Selective reject
w3=3; %wx = ukuran window yang digunakan
w5=5;
w8=8;
tx_w3=2*tp-(w3-1)*tf; %tx_wx = waktu sisa dengan window = x
tx_w5=2*tp-(w5-1)*tf;
tx_w8=2*tp-(w8-1)*tf;
for s=1:1:400; %s = ukuran data yang ditransmisikan
    n(s)=ceil(s/lx); %n = banyaknya frame yang akan ditransmisikan
    nw3(s)=ceil(n(s)/w3); %nw3 = jumlah pentransmisiian frame dengan
    % window = x
    nw5(s)=ceil(n(s)/w5);
    nw8(s)=ceil(n(s)/w8);

    % Stop and Wait
    tT_sw(s)=nr_sw*n(s)*(2*tp+tf);

    % Selective Reject
    if w3 < (2*a+1)
        tT_sr_w3(s)=n(s)*nr_sr*tf+(nw3(s)-1)*tx_w3+2*tp;
    else
        tT_sr_w3(s)=n(s)*nr_gsr*tf+2*tp;
    end

    if w5 < (2*a+1)
        tT_sr_w5(s)=n(s)*nr_sr*tf+(nw5(s)-1)*tx_w5+2*tp;
    else %jika w>=2a+1
        tT_sr_w5(s)=n(s)*nr_sr*tf+2*tp;
    end

    if w8 < (2*a+1)
        tT_sr_w8(s)=n(s)*nr_sr*tf+(nw8(s)-1)*tx_w8+2*tp;
    else %jika w>=2a+1
        tT_sr_w8(s)=n(s)*nr_sr*tf+2*tp;
    end

    %Go Back-N
    if w3 < (2*a+1)
        tT_gb_w3(s)=n(s)*nr_gb_w3*tf+(nw3(s)-1)*tx_w3+2*tp;
    else
        tT_gb_w3(s)=n(s)*nr_gb_w3*tf+2*tp;
    end

    if w5 < (2*a+1)
        tT_gb_w5(s)=n(s)*nr_gb_w5*tf+(nw5(s)-1)*tx_w5+2*tp;
    else %jika w>=2a+1
        tT_gb_w5(s)=n(s)*nr_gb_w5*tf+2*tp;
    end
```

```
end

if w8 < (2*a+1)
    tT_gb_w8(s)=n(s)*nr_gb_w8*tf+(nw8(s)-1)*tx_w8+2*tp;
else %jika w>=2a+1
    tT_gb_w8(s)=n(s)*nr_gb_w8*tf+2*tp;
end
x(s)=s;
end

plot(x,tT_sw,'r');
grid on;
xlabel('ukuran data (byte)');
ylabel('delay (ms)');
hold on;
plot(x,tT_gb_w3,'b');
hold on;
plot(x,tT_sr_w3,'g--');
hold on;
plot(s,tT_gb_w5,'b');
hold on;
plot(x,tT_sr_w5,'g--');
hold on;
plot(x,tT_gb_w8,'b');
hold on;
plot(x,tT_sr_w8,'g--');
```



LAMPIRAN 11 :

Error Detection CRC (Cyclic Redudancy Check)

Kode pendeteksian kesalahan (*error detection*) yang paling umum serta paling hebat adapah CRC (*Cyclic Redudancy Check*). Metode ini dapat digambarkan sebagai berikut, dengan adanya blok bit k -bit data atau pesan, *transmitter* mengirimkan suatu deretan n -bit yang disebut sebagai *Frame Check Sequence (FCS)*, sehingga frame yang dihasilkan terdiri dari $k+n$ bit. Kemudian frame dengan $k+n$ bit tersebut dibagi dengan suatu pembagi yang telah ditetapkan dan kemudian di transmisikan. Selanjutnya, *receiver* membagi frame yang datang tersebut dengan pembagi yang telah ditetapkan sebelumnya. Bila ada sisa, maka diasumsikan pada frame tidak terdapat kesalahan atau *error*.

Untuk memperjelas, dapat dilihat contoh sebagai berikut:

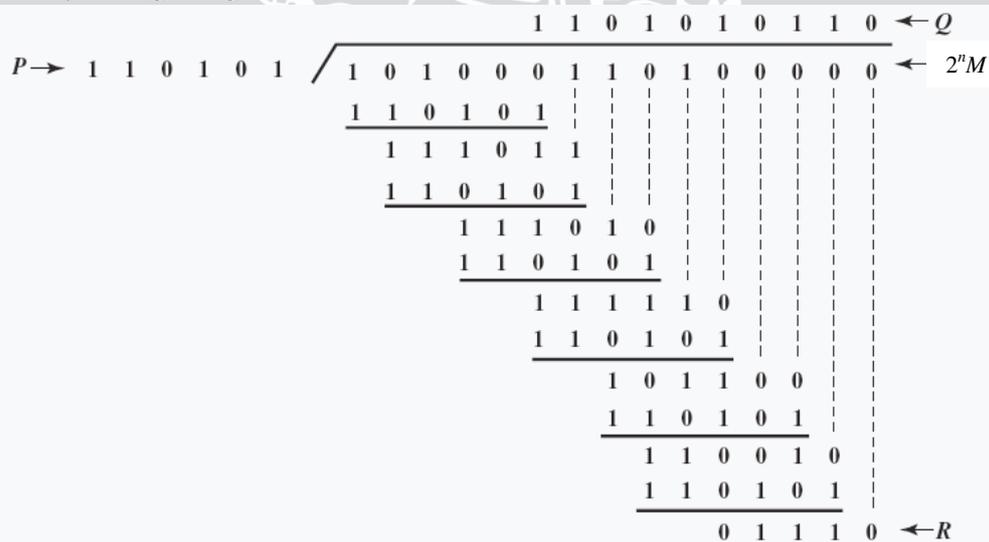
$T = (k+n)$ -bit frame untuk ditransmisikan dengan $n < k$

$M = k$ -bit pesan, bit k pertama dari T

$R = n$ -bit FCS, bit n terakhir dari T

$P =$ pola $n+1$, ini merupakan pembagi yang sudah ditetapkan sebelumnya

1. Diketahui:
 Pesan $M = 1010001101$ (10 bit)
 Pola $P = 110101$ (6 bit)
 FCS $R =$ akan dikalkulasikan (5bit)
2. Pesan dikalikan dengan 2^5 ($2^n M$), menghasilkan 101000110100000
3. Hasilnya dibagi dengan P



4. Sisanya (R) ditambahkan dengan $2^n M$ untuk mendapatkan $T = 101000110101110$, yang nantinya akan ditransmisikan
5. Bila tidak terdapat kesalahan atau *error*, receiver akan menerima *frame* dengan T utuh. Setelah *frame* yang diterima, maka T akan dibagi dengan P



