

BAB IV

PEMBAHASAN DAN HASIL

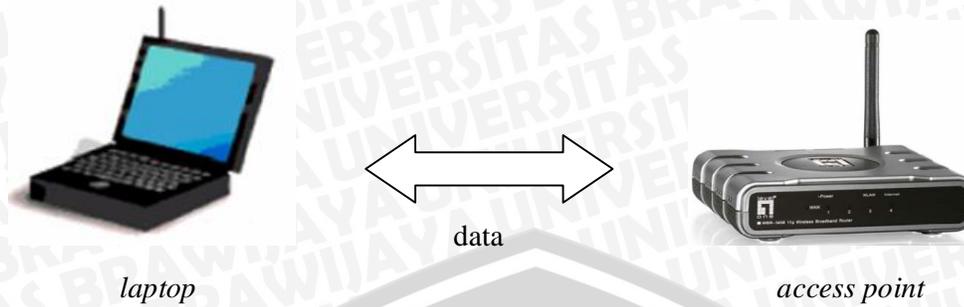
4.1 Umum

Sistem keamanan data pada WLAN merupakan hal yang sangat penting. Hal ini karena setiap pengguna menginginkan adanya keamanan saat mengirimkan data. Agar kebutuhan pengguna mengenai keamanan data dapat dipenuhi, pada WLAN diterapkan berbagai metode keamanan. Metode keamanan yang diterapkan pada WLAN diantaranya adalah WPA-PSK dan WPA2-PSK. WPA dan WPA2 adalah metode enkripsi data, sedangkan PSK adalah metode autentikasi antara *access point* dan *client* pada WLAN. Enkripsi adalah proses merubah data asli (*plaintext*) menjadi data teracak (*ciphertext*). WPA menggunakan enkripsi RC4, sedangkan WPA2 menggunakan enkripsi AES. Dalam skripsi ini akan dilakukan analisis terhadap data yang dienkripsi menggunakan RC4 dan AES. Data yang dianalisis merupakan data sebelum dan sesudah enkripsi. Analisis dilakukan terhadap waktu eksekusi dan spesifikasi perangkat yang digunakan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah proses enkripsi menggunakan RC4 dan AES berhasil atau tidak. Selain itu, analisis juga dilakukan terhadap *delay* dan *throughput*. Hal ini bertujuan untuk mengkaji apakah penerapan WPA-PSK dan WPA2-PSK pada WLAN mempengaruhi performansi jaringan.

4.2 Komponen Yang Berhubungan Dengan Keamanan WLAN.

Untuk mengkaji penerapan WPA-PSK dan WPA2-PSK pada WLAN, maka dalam pembahasan ini dijelaskan mengenai komponen WLAN yang berhubungan dengan keamanan data WLAN. Komponen WLAN yang berhubungan dengan keamanan data terdiri atas 2 komponen utama, yaitu *access point* dan *laptop*.

WPA-PSK dan WPA2-PSK merupakan metode keamanan data antara *access point* dan *client*. WPA dan WPA2 untuk mengenkripsi data yang bertujuan untuk melindungi data selama data ditransmisikan. Sedangkan PSK adalah metode autentikasi atau pencocokan identitas, dimana *key* (kunci) yang digunakan pada laptop (*client*) harus sama dengan *key* (kunci) yang digunakan pada *access point*. Autentikasi bertujuan agar pengguna yang tidak berhak tidak bisa terhubung dengan jaringan. Komponen WLAN untuk keamanan data ditunjukkan pada gambar 4.1 berikut :



Gambar 4.1 Komponen WLAN untuk keamanan data

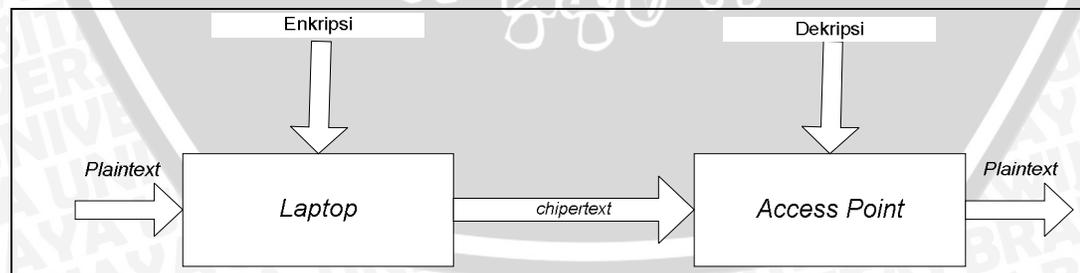
(Sumber : Pemodelan)

Dari gambar 4.1 diatas dapat dijelaskan bahwa :

1. *Access point* merupakan perangkat yang berfungsi untuk menghubungkan komputer *client* yang telah dilengkapi dengan *wireless adapter* untuk membentuk sebuah jaringan.
2. *Laptop* merupakan pengguna (*client*) yang dapat melakukan pertukaran data melalui *access point* secara *wireless* (tanpa kabel).

4.3 Sistem Keamanan Data Pada WLAN

Sistem keamanan data yang dikaji pada pembahasan ini adalah dengan menerapkan WPA-PSK dan WPA2-PSK untuk keamanan data pada WLAN. Penerapan WPA-PSK dan WPA2-PSK dilakukan dengan cara menerapkan algoritma RC4 dan AES untuk keamanan data. Penerapan WPA-PSK dan WPA2-PSK dilakukan pada dua terminal, yaitu terminal pengguna (*laptop*) dan terminal pengatur (*access point*). Penerapan ditekankan pada proses mengubah data *plaintext* menjadi *chipertext*, sehingga data aman dari pihak yang tidak berhak. Penerapan WPA-PSK dan WPA2-PSK pada WLAN dapat dilihat pada blok diagram berikut :



Gambar 4.2 Blok diagram penerapan enkripsi WPA-PSK dan WPA2-PSK pada WLAN

(Sumber : Pemodelan)

Dari gambar 4.2 diatas penerapan enkripsi RC4 dan AES pada WPA-PSK dan WPA2-PSK akan dijelaskan sebagai berikut :

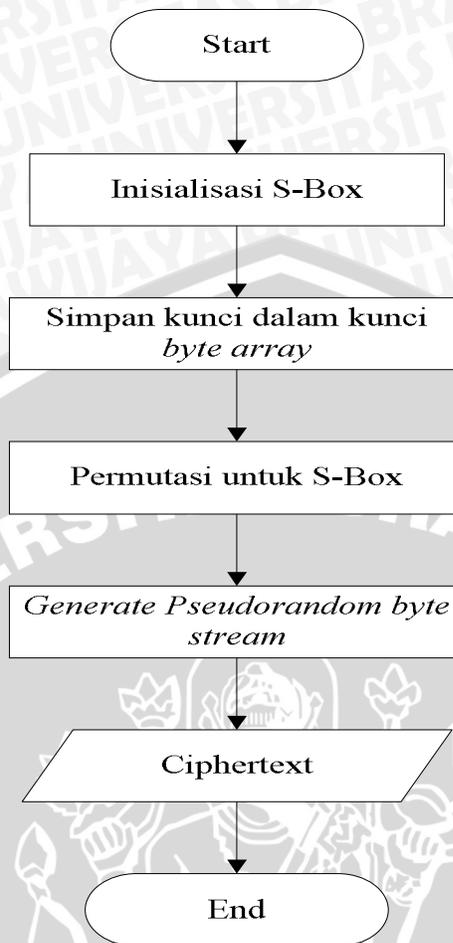
- Data yang berasal dari pengguna (*laptop*) yang berupa *plaintext* dienkripsi menggunakan algoritma RC4 dan AES, sehingga menjadi *chipertext*. Proses pengenkripsian ini dilakukan pada pengguna (*laptop*).
- Setelah data berhasil dienkripsi dan menjadi *chipertext*, data yang berupa *chipertext* dikirimkan ke tujuan (*access point*).
- Data *chipertext* diterima oleh *access point*. Dan *access point* melakukan proses dekripsi, sehingga data *chipertext* kembali menjadi *plaintext*.

4.4 Proses Enkripsi Data WLAN menggunakan algoritma RC4 pada WPA-PSK

Kunci yang digunakan pada RC4 mempunyai panjang 1 sampai 256 *bit*. Kunci tersebut digunakan untuk menginialisasi tabel sepanjang 256 *bit*. Tabel tersebut digunakan untuk menghasilkan *pseudo random bit*. Kemudian aliran *pseudo random bit* yang memproses *XOR* dengan *plaintext* untuk menghasilkan *ciphertext*. Masing-masing elemen dalam tabel saling ditukarkan minimal sekali.

RC4 mempunyai sebuah S-Box, S_0, S_1, \dots, S_{255} , yang berisi permutasi dari bilangan 0 sampai 255. Menggunakan dua buah indeks yaitu i dan j pada algoritmanya. Indeks i digunakan untuk memastikan bahwa suatu elemen berubah, sedangkan indeks j akan memastikan bahwa suatu elemen berubah secara random.

Diagram alir proses algoritma RC4 ditunjukkan pada gambar 4.3 berikut ini :



Gambar 4.3 Rangkaian proses algoritma RC4
[Sumber : Nugroho, 2004 : 71]

Langkah-langkah algoritma enkripsi pada RC4 :

1. Inisialisasi *S-Box*.

Pada tahapan ini, *S-Box* akan diisi dengan nilai sesuai indeksnya untuk mendapatkan *S-Box* awal. Algoritmanya adalah sebagai berikut :

- Isi *S-box* secara berurutan, yaitu $S_0=0, S_1=1, \dots, S_{255}=255$.

Dari algoritma diatas akan didapat urutan nilai *S-Box* sebagai berikut :

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127
128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159
160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191
192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207
208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223
224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239
240	240	241	242	243	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255

2. Menyimpan *key* dalam *Key Byte Array*.

Pada tahapan ini, kunci (*key*) yang akan digunakan untuk mengenkripsi atau dekripsi akan dimasukkan ke dalam *array* berukuran 256 *byte* secara berulang sampai seluruh *array* terisi. Algoritmanya adalah sebagai berikut:

- Jika panjang kunci K (masukan dari *user*) $<$ 256 karakter (*byte*), kunci tersebut di-*padding*, yaitu penambahan bit-bit isian pada akhir kunci.

Contoh :

Kunci dari user adalah '*kripto*'. Karena kurang dari 256 *byte*, maka kunci tersebut di-*padding* menjadi '*kriptokriptokripto. . . .*' hingga 256 karakter.

3. Pengacakan pada tabel *S-Box*.

Pada tahapan ini, akan dibangkitkan sebuah nilai yang akan dijadikan aturan untuk pengacakan pada *S-Box*. Misalkan untuk nilai $i = 2$ dihasilkan nilai $j = 26$, maka nilai pada $S(2)$ akan ditukar dengan nilai pada $S(26)$.

Algoritmanya sebagai berikut :

- $j = 0$
for $i = 0$ to 255

$$j = (j + S_i + K_i) \bmod 256$$

swap S_i dan S_j

Fungsi *swap* merupakan fungsi yang menukarkan nilai S ke- i dengan nilai S ke- j

4. Generate Pseudorandom byte stream.

Dari pengacakan S-box akan dihasilkan nilai *pseudorandom* yang berbeda-beda. Nilai ini kemudian dikenakan operasi XOR untuk menghasilkan *ciphertext* ataupun sebaliknya yaitu untuk menghasilkan *plaintext*. Algoritmanya adalah sebagai berikut :

$$i = (i + 1) \bmod 256$$

$$j = (j + S_i) \bmod 256$$

Swap S_i dan S_j

$$t = (S_i + S_j) \bmod 256$$

$$K = S_t$$

Nilai K akan di-XOR dengan *plaintext* untuk menghasilkan *ciphertext* atau di-XOR-kan dengan *ciphertext* untuk menghasilkan *plaintext*.

Exclusive OR (XOR) merupakan operator *Boolean* yang akan membandingkan dua angka untuk menentukan dua angka tersebut sama atau tidak. Jika angka biner sama, nilai 0 akan diberikan. Jika angka biner berubah, maka nilai 1 diberikan. Implementasi operasi XOR seperti berikut :

01100010 adalah huruf b dalam ASCII

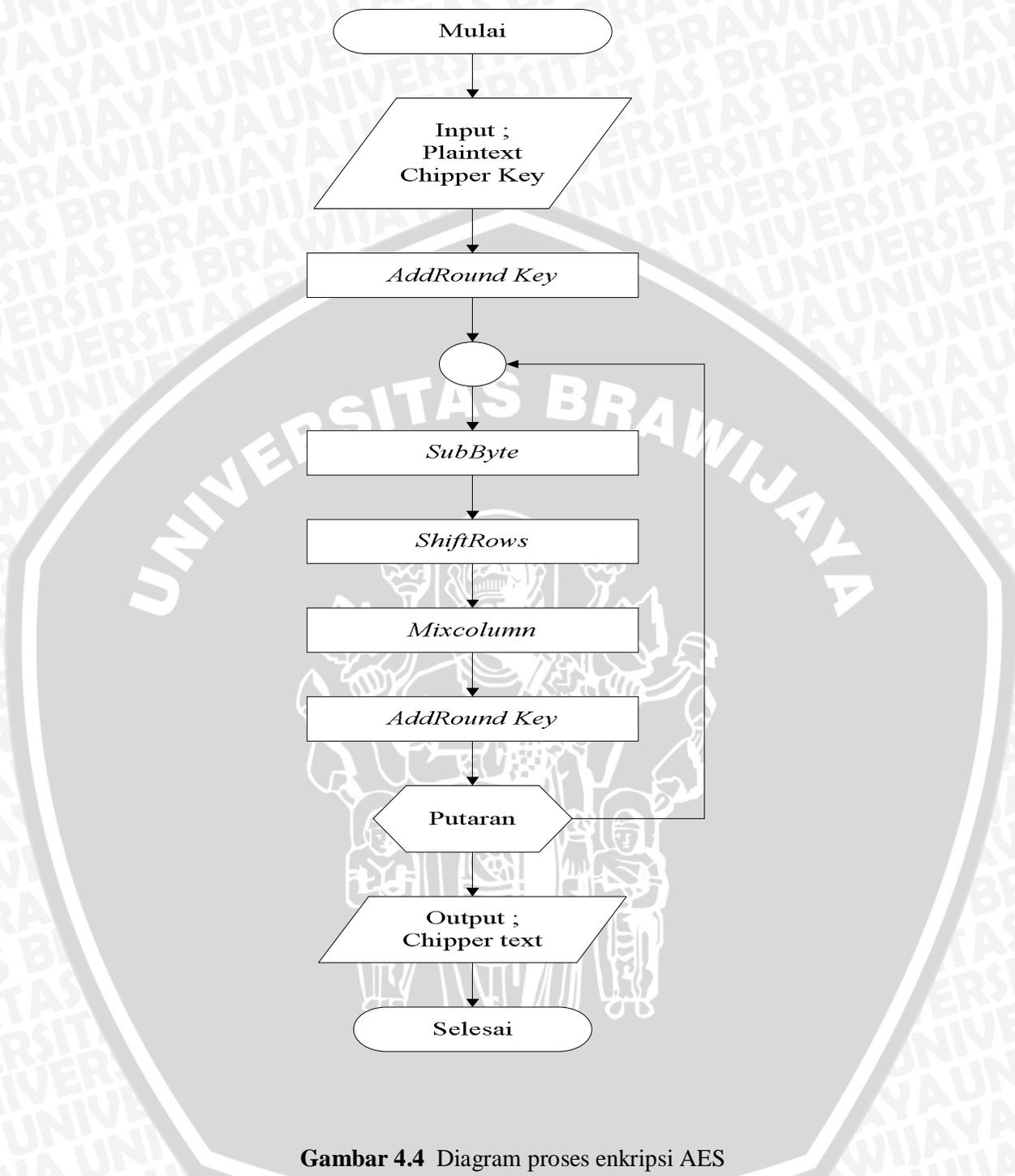
01101110 adalah huruf n dalam ASCII

00001100 adalah nilai XOR

4.5 Proses Enkripsi Data WLAN menggunakan algoritma AES pada WPA2-PSK

Enkripsi data menggunakan algoritma AES memproses masukan menjadi blok-blok dengan ukuran tiap blok sebesar 128 bit. Masukan tersebut, kemudian diacak dengan kunci yang telah dimasukkan sebesar 128 bit, 192 bit atau 256 bit. Dalam skripsi ini dibahas enkripsi data dengan kunci sebesar 128 bit. Proses enkripsi data menggunakan algoritma AES ini melalui beberapa tahapan. Tahapan tersebut yaitu, *SubByte*, *ShiftRows*, *MixColumns*, dan *AddRoundKey*. Tahapan tersebut dijalankan sebanyak $Nr-1$ sebagai *loop* utama (dengan $Nr = 10$ untuk AES-128). Setiap *loop* disebut *round*. *AddRoundKey* dieksekusi sebagai *round inisial* sebelum *loop* utama. Setelah *loop* utama tersebut berakhir (sembilan *round*), *SubBytes*, *ShiftRows*, *MixColumns*, dan *AddRoundKey*, dieksekusi secara berturut-turut sebagai *final round*. Keluaran dari proses enkripsi tersebut berupa data tersandi (*ciphertext*). Proses enkripsi menggunakan algoritma AES ditunjukkan pada gambar berikut ini:



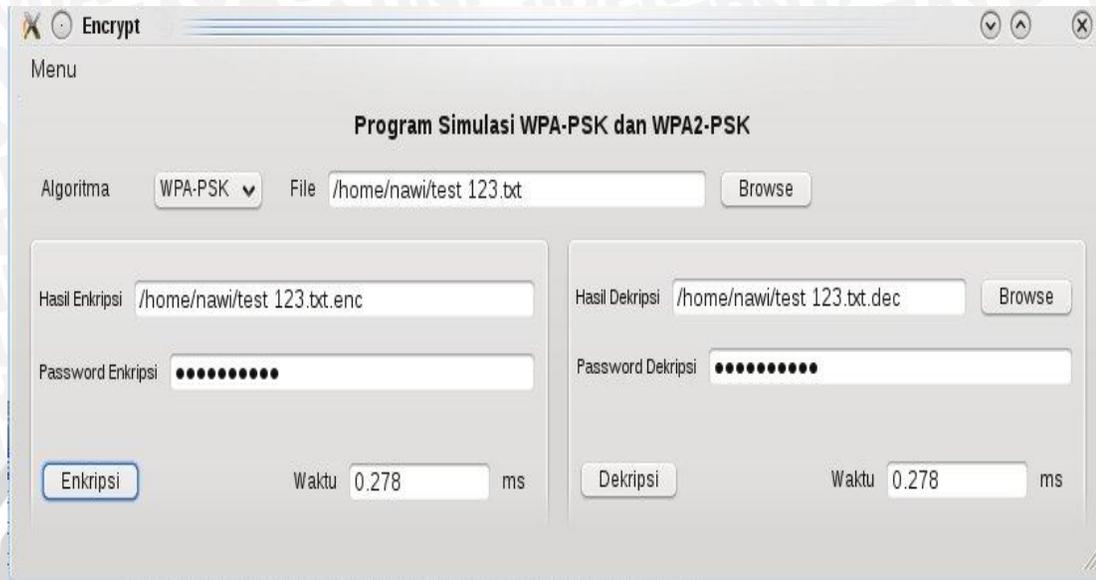


Gambar 4.4 Diagram proses enkripsi AES

[Sumber : Sidiq, Ahmad Fajar. 2007. *Jenis-jenis enkripsi*, hal 7]

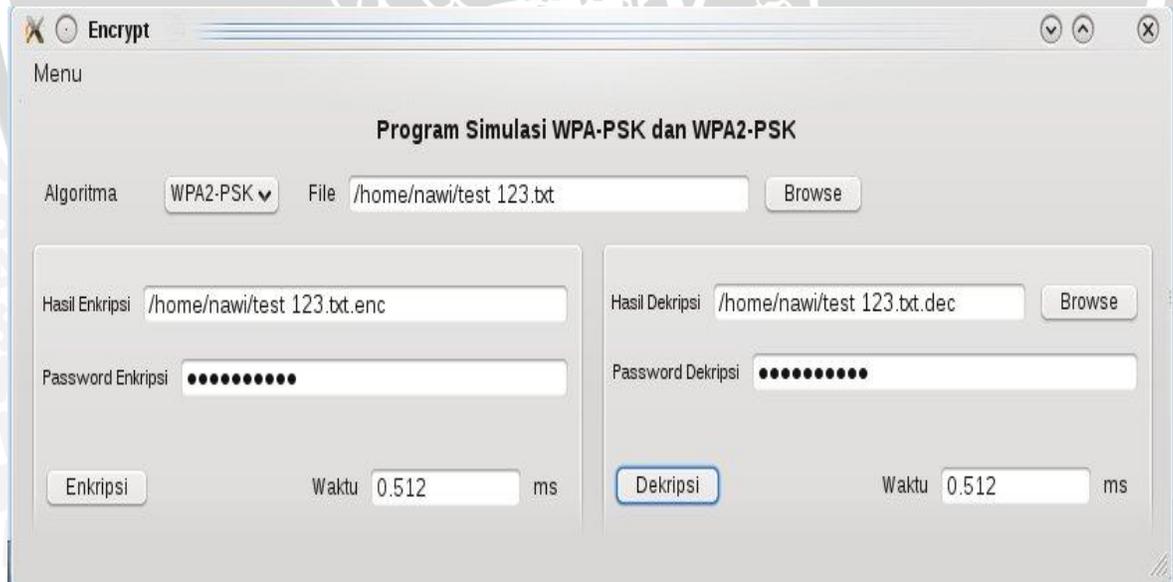
4.6 Analisis Terhadap Data WLAN menggunakan WPA-PSK dan WPA2-PSK

4.6.1 Enkripsi Data WLAN menggunakan algoritma RC4 pada WPA-PSK



Gambar 4.5 Model simulasi enkripsi menggunakan WPA-PSK
(Sumber : Pemodelan)

4.6.2 Enkripsi Data WLAN menggunakan algoritma AES pada WPA2-PSK



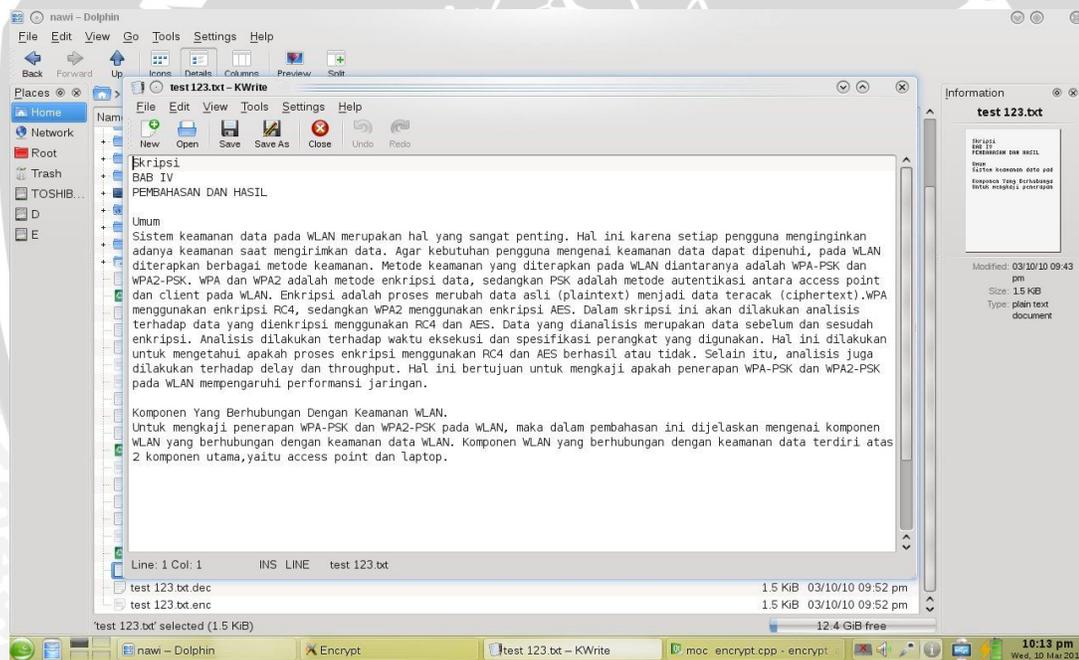
Gambar 4.6 Model simulasi enkripsi menggunakan WPA2-PSK
(Sumber : Pemodelan)

Keterangan gambar :

1. Algoritma : Pilihan algoritma yang dipakai, yaitu WPA-PSK dan WPA2-PSK
2. Hasil enkripsi : Adalah lokasi penyimpanan file hasil enkripsi.
3. Hasil dekripsi : Adalah lokasi penyimpanan file hasil dekripsi.
4. Enkripsi : Untuk mengenkripsi file.
5. Dekripsi : Untuk mengdekripsi file.
6. Waktu : Lamanya proses enkripsi / dekripsi.

4.6.3 Hasil enkripsi setelah penerapan WPA-PSK dan WPA2-PSK

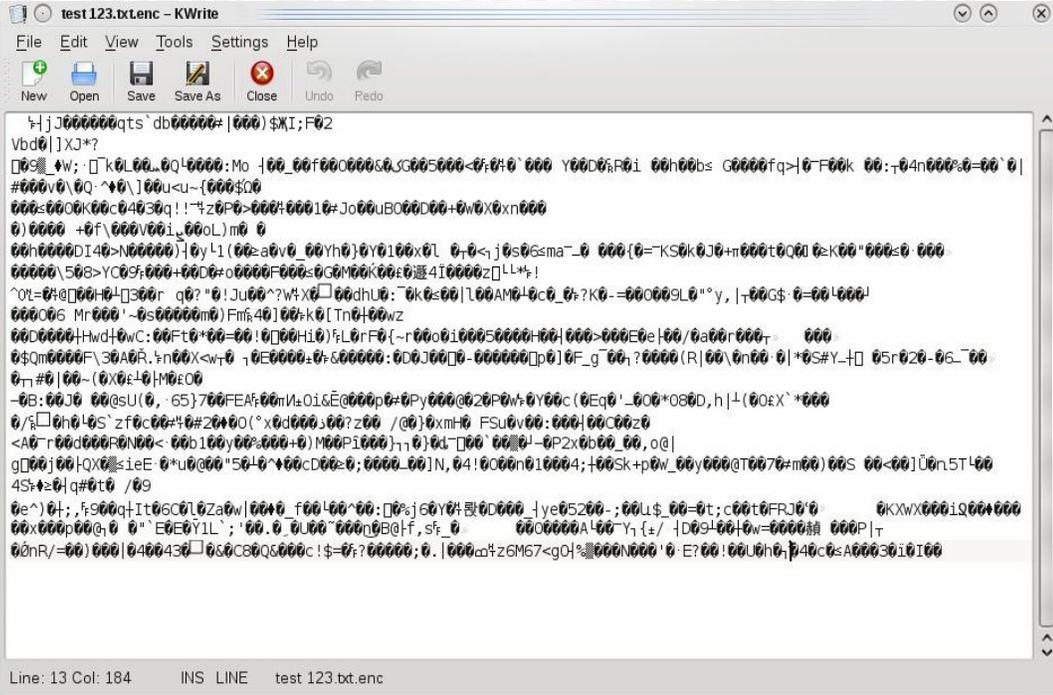
Pada pengujian simulasi dimasukkan data asli (*plaintext*) sebesar 1558 byte. Data ini akan dienkripsi menggunakan WPA-PSK dan WPA2-PSK. Berikut ini adalah gambar bentuk data asli (*plaintext*) :



Gambar 4.7 Data asli yang akan dienkripsi

(Sumber : Pemodelan)

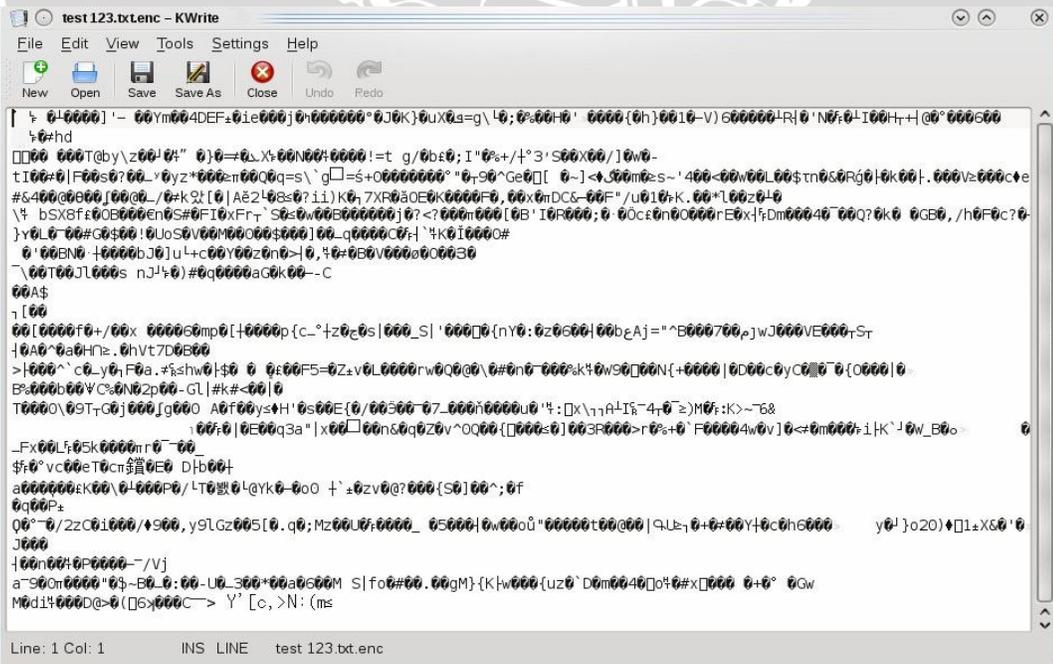
Pada pengujian pertama, data asli (*plaintext*) dienkripsi menggunakan WPA-PSK. Hasil dari proses enkripsi WPA-PSK ditunjukkan pada gambar 4.8 berikut ini:



Gambar 4.8 Data yang telah dienkripsi menggunakan WPA-PSK

(Sumber : Pemodelan)

Pada pengujian kedua, data asli (*plaintext*) dienkripsi menggunakan WPA2-PSK. Hasil proses enkripsi menggunakan WPA2-PSK ditunjukkan pada gambar 4.9 berikut ini :



Gambar 4.9 Data yang telah dienkripsi menggunakan WPA2-PSK

(Sumber : Pemodelan)

Dari hasil pengujian diatas, terlihat bahwa proses enkripsi menggunakan WPA-PSK dan WPA2-PSK membuat data asli (*plaintext*) menjadi data teracak (*ciphertext*) yang sulit dibaca, sehingga aman dari para penyusup. Dari pengujian juga nampak ada perubahan ukuran data sebelum dan sesudah enkripsi. Pada WPA-PSK besar data menjadi 1562 *byte*, dan pada WPA2-PSK besar data menjadi 1572 *byte*.

4.7 Pengaruh penerapan WPA-PSK dan WPA2-PSK terhadap Ukuran Data pada WLAN

Setelah penerapan WPA-PSK dan WPA2-PSK, panjang data mengalami penambahan dari 1558 *byte* menjadi 1562 *byte* untuk WPA-PSK dan menjadi 1572 *byte* untuk WPA2-PSK. Dari data diatas juga dapat diketahui bahwa besarnya data pada WPA-PSK mengalami penambahan 4 *byte*, dan pada WPA2-PSK mengalami penambahan data sebesar 14 *byte*.

Ukuran data hasil enkripsi pada WPA2-PSK lebih besar daripada WPA-PSK. Hal ini terjadi karena WPA-PSK menggunakan RC4 yang merupakan *stream cipher*, dimana proses enkripsinya dilakukan dengan cara bit per bit. Sedangkan WPA2-PSK menggunakan AES yang merupakan *block cipher*, dimana proses enkripsinya dilakukan per blok (*byte*). Berikut ini tabel perbandingan ukuran data sebelum dan sesudah penerapan WPA-PSK dan WPA2-PSK.

Tabel 4.1 Ukuran data sebelum dan sesudah penerapan WPA-PSK dan WPA2-PSK

Sebelum / Sesudah	Ukuran data (<i>byte</i>)	
	WPA-PSK	WPA2-PSK
Sebelum	1558	1558
Sesudah	1562	1572

(Sumber : Pengukuran)

4.8 Pengaruh penerapan WPA-PSK dan WPA2-PSK terhadap Format Data pada WLAN

Dengan diterapkannya WPA-PSK, maka terjadi perubahan format data pada WLAN. Sebelum diterapkannya WPA-PSK dan WPA2-PSK, format data WLAN sebagai berikut :

PLCP Preamble (18 byte)	PLCP Header (6 byte)	MAC Header (30 byte)	IP Header (20 byte)	TCP Header (20 byte)	Application Data (1460 byte)	FCS (4 byte)
-------------------------------	----------------------------	----------------------------	---------------------------	----------------------------	---------------------------------	-----------------

Gambar 4.10 Format Data sebelum diterapkannya WPA-PSK dan WPA2-PSK

(Sumber : Pemodelan)

Setelah diterapkannya WPA-PSK pada WLAN, terdapat tambahan sebesar 4 byte seperti ditunjukkan pada gambar 4.10 berikut ini :

WPA-PSK (4 byte)	PLCP Preamble (18 byte)	PLCP Header (6 byte)	MAC Header (30 byte)	IP Header (20 byte)	TCP Header (20 byte)	Application Data (1460 byte)	FCS (4 byte)
---------------------	-------------------------------	----------------------------	----------------------------	---------------------------	----------------------------	---------------------------------	-----------------

Gambar 4.11 Format Data sesudah diterapkannya WPA-PSK

(Sumber : Pemodelan)

Sedangkan pada WPA2-PSK, mengalami penambahan sebesar 14 byte seperti ditunjukkan pada gambar 4.11 berikut ini:

WPA2-PSK (14 byte)	PLCP Preamble (18 byte)	PLCP Header (6 byte)	MAC Header (30 byte)	IP Header (20 byte)	TCP Header (20 byte)	Application Data (1460 byte)	FCS (4 byte)
-----------------------	-------------------------------	----------------------------	----------------------------	---------------------------	----------------------------	---------------------------------	-----------------

Gambar 4.12 Format Data sesudah diterapkannya WPA2-PSK

(Sumber : Pemodelan)

4.9 Analisis delay jaringan WLAN

Dalam pembahasan ini, analisis dilakukan terhadap besarnya *delay* jaringan WLAN. Analisis delay ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besarnya delay jaringan, setelah ditambahkan delay enkripsi dan dekripsi dalam jaringan. Delay jaringan WLAN merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengirim data dari *laptop* ke *access point*. Besar delay jaringan WLAN merupakan penjumlahan dari delay proses, delay propagasi, delay transmisi, dan delay antrian. Dan secara matematis dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$T_{total} = 3t_p + 2t_{prop} + 2t_t + t_w$$

Setelah diterapkannya WPA-PSK dan WPA2-PSK, besar delay jaringan WLAN berubah menjadi penjumlahan dari delay enkripsi, delay dekripsi, delay proses, delay propagasi, delay transmisi dan delay antrian.

Secara matematis dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$T_{total} = t_e + t_d + 3t_p + 2t_{prop} + 2t_t + t_w$$

Dengan :

T_{total} = Delay total jaringan antara *laptop* dan *access point* (ms)

t_e = Delay enkripsi (ms)

t_d = Delay dekripsi (ms)

t_p = Delay proses (ms)

t_{prop} = Delay propagasi (ms)

t_t = Delay transmisi (ms)

t_w = Delay antrian (ms)

4.9.1 Delay Enkripsi

Delay enkripsi merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengenkripsi data. Delay enkripsi ini dipengaruhi *prosesor* yang digunakan, semakin cepat kinerja *prosesor*, semakin kecil nilai *delay* enkripsinya. Dengan asumsi besarnya paket dienkripsi sebesar 1558 *byte* atau 12464 bit, serta menggunakan prosesor 32 bit, maka berdasarkan persamaan (2.1) dapat dihitung besarnya *delay* enkripsi adalah sebagai berikut :

$$t_{enkripsi} = \frac{L}{V}$$

dengan :

$t_{enkripsi}$ = *delay* enkripsi (s)

L = panjang data yang dienkripsi (bit)

V = kecepatan enkripsi (bps)

Pengukuran besarnya *delay* enkripsi WPA-PSK pada beberapa komputer dengan prosesor yang berbeda ditunjukkan pada tabel 4.2 berikut ini :

Tabel 4.2 Delay enkripsi berdasarkan pengukuran menggunakan WPA-PSK

Spesifikasi Komputer	Kecepatan Prosesor (Mbps)	Panjang Data (bit)	Delay Enkripsi (s)
P4 1,8 GHz	57.600	12464	$2,78 \times 10^{-4}$
P4 2,8 GHz	89.600	12464	$2,62 \times 10^{-4}$
P4 Dual Core 1,6 GHz	102.400	12464	$2,01 \times 10^{-4}$

(Sumber : Pengukuran)

Besarnya delay enkripsi pada WPA2-PSK berdasarkan hasil pengukuran ditunjukkan pada tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Delay enkripsi berdasarkan pengukuran menggunakan WPA2-PSK

Spesifikasi Komputer	Kecepatan Prosesor (Mbps)	Panjang Data (bit)	Delay Enkripsi (s)
P4 1,8 GHz	57.600	12464	$5,15 \times 10^{-4}$
P4 2,8 GHz	89.600	12464	$5,03 \times 10^{-4}$
P4 Dual Core 1,6 GHz	102.400	12464	$4,96 \times 10^{-4}$

(Sumber : Pengukuran)

Sedangkan besarnya delay dekripsi berdasarkan hasil pengukuran pada WPA-PSK dan WPA2-PSK ditunjukkan pada tabel 4.4 dan 4.5

Tabel 4.4 Delay dekripsi berdasarkan pengukuran menggunakan WPA-PSK

Spesifikasi Komputer	Kecepatan Prosesor (Mbps)	Panjang Data (bit)	Delay Dekripsi (s)
P4 1,8 GHz	57.600	12464	$2,78 \times 10^{-4}$
P4 2,8 GHz	89.600	12464	$2,61 \times 10^{-4}$
P4 Dual Core 1,6 GHz	102.400	12464	$2,07 \times 10^{-4}$

(Sumber : Pengukuran)

Tabel 4.5 Delay dekripsi berdasarkan pengukuran menggunakan WPA2-PSK

Spesifikasi Komputer	Kecepatan Prosesor (Mbps)	Panjang Data (bit)	Delay Dekripsi (s)
P4 1,8 GHz	57.600	12464	$5,16 \times 10^{-4}$
P4 2,8 GHz	89.600	12464	$5,03 \times 10^{-4}$
P4 Dual Core 1,6 GHz	102.400	12464	$4,98 \times 10^{-4}$

(Sumber : Pengukuran)

4.9.2 Delay proses

Delay proses adalah waktu yang diperlukan untuk memproses paket data dari pengirim ke penerima. Delay proses pada jaringan WLAN berupa delay enkapsulasi dan dekapsulasi.

Besar delay enkapsulasi sebelum penerapan WPA-PSK dan WPA2-PSK adalah :

$$\begin{aligned}
 t_e &= \frac{W_{frame}}{C_{WLAN}} \times 8 \text{ bit / byte} \\
 &= \frac{1558 \text{ byte}}{11 \cdot 10^6 \text{ bit / s}} \times 8 \text{ bit / byte} = 1,133 \text{ ms}
 \end{aligned}$$

Sedangkan delay dekapsulasi sebelum penerapan WPA-PSK dan WPA2-PSK adalah :

$$\begin{aligned}
 t_d &= \frac{W_{frame}}{C_{WLAN}} \times 8 \text{ bit / byte} \\
 &= \frac{1558 \text{ byte}}{11 \cdot 10^6 \text{ bit / s}} \times 8 \text{ bit / byte} = 1,133 \text{ ms}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian delay proses sebelum diterapkannya WPA-PSK dan WPA2-PSK adalah :

$$\begin{aligned}
 t_{proses} &= t_e + t_d \\
 &= 1,133 \text{ ms} + 1,133 \text{ ms} \\
 &= 2,266 \text{ ms}
 \end{aligned}$$

Setelah diterapkannya WPA-PSK dan WPA2-PSK, frame mengalami penambahan lagi sebesar 4 byte pada WPA-PSK dan 14 byte pada WPA2-PSK, sehingga besarnya frame total untuk WPA-PSK menjadi :

$$\begin{aligned}
 W_{total\ WPA-PSK} &= W_{frame} + Pr\ preamble_{PLCP} + Header_{PLCP} + W_{WPA-PSK} \\
 &= 1534\text{byte} + 18\text{byte} + 6\text{byte} + 4\text{byte} \\
 &= 1562\ \text{byte}
 \end{aligned}$$

Sedangkan besar frame total untuk WPA2-PSK menjadi :

$$\begin{aligned}
 W_{total\ WPA2-PSK} &= W_{frame} + Pr\ preamble_{PLCP} + Header_{PLCP} + W_{WPA2-PSK} \\
 &= 1534\text{byte} + 18\text{byte} + 6\text{byte} + 14\text{byte} \\
 &= 1572\ \text{byte}
 \end{aligned}$$

Maka besar delay enkapsulasi pada WPA-PSK adalah :

$$\begin{aligned}
 t_e &= \frac{W_{frame}}{C_{WLAN}} \times 8\text{bit} / \text{byte} \\
 &= \frac{1562\text{byte}}{11.10^6\ \text{bit} / \text{s}} \times 8\text{bit} / \text{byte} = 1,136\text{ms}
 \end{aligned}$$

Sedangkan delay dekapsulasi pada WPA-PSK adalah :

$$\begin{aligned}
 t_d &= \frac{W_{frame}}{C_{WLAN}} \times 8\text{bit} / \text{byte} \\
 &= \frac{1562\text{byte}}{11.10^6\ \text{bit} / \text{s}} \times 8\text{bit} / \text{byte} = 1,136\text{ms}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian delay proses saat diterapkannya WPA-PSK adalah :

$$\begin{aligned}
 t_{proses} &= t_e + t_d \\
 &= 1,136\text{ms} + 1,136\text{ms} \\
 &= 2,272\text{ms}
 \end{aligned}$$

Delay enkapsulasi pada WPA2-PSK adalah :

$$\begin{aligned}
 t_e &= \frac{W_{frame}}{C_{WLAN}} \times 8\text{bit} / \text{byte} \\
 &= \frac{1572\text{byte}}{11.10^6\ \text{bit} / \text{s}} \times 8\text{bit} / \text{byte} = 1,143\text{ms}
 \end{aligned}$$

Sedangkan delay dekapsulasi pada WPA2-PSK adalah :

$$\begin{aligned}
 t_d &= \frac{W_{frame}}{C_{WLAN}} \times 8\text{bit} / \text{byte} \\
 &= \frac{1572\text{byte}}{11.10^6\ \text{bit} / \text{s}} \times 8\text{bit} / \text{byte} = 1,143\text{ms}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian delay proses saat diterapkannya WPA2-PSK adalah :

$$\begin{aligned}
 t_{proses} &= t_e + t_d \\
 &= 1,143ms + 1,143ms \\
 &= 2,286ms
 \end{aligned}$$

4.9.3 Delay propagasi

Delay propagasi adalah waktu perambatan atau perjalanan yang dibutuhkan oleh data dari satu *node* ke *node* yang lain melalui sebuah media transmisi. Kecepatan transmisi tergantung pada media transmisi antara pengirim dan penerima, serta jarak antara *node-node* tersebut.

Besarnya *delay propagasi* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$t_{prop} = \frac{d}{c}$$

$$t_{prop} = \frac{100 \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}}$$

$$t_{prop} = 3,33 \times 10^{-7} \text{ s}$$

dimana :

t_{prop} = waktu propagasi (s)

d = jarak antara *Access Point* ke *Client* (m)

c = kecepatan gelombang elektromagnetik (m/s)

4.9.4 Delay Transmisi

Delay transmisi adalah waktu yang dibutuhkan untuk meletakkan semua data pada medium, dipengaruhi oleh ukuran paket dan kapasitas media transmisi. Besar delay transmisi sesuai dengan persamaan adalah :

$$\begin{aligned}
 W_{frame\ total} &= W_{frame} + Pr\ eamble_{PLCP} + Header_{PLCP} \\
 &= 1534\text{byte} + 18\text{byte} + 6\text{byte} \\
 &= 1558\ \text{byte}
 \end{aligned}$$

Seperti pada gambar 4.10 dan 4.11, ukuran paket pada WPA-PSK mengalami penambahan 4 *byte* sehingga menjadi 1562 *byte*. Sedangkan pada WPA2-PSK mengalami penambahan 14 *byte* menjadi 1572 *byte*.

Maka besar delay transmisi pada WPA-PSK adalah :

$$\begin{aligned}
 t_{trans} &= \frac{W_{frame\ total}}{C_{trans}} \times 8(\text{bit / byte}) \\
 &= \frac{1562\text{byte}}{11.10^6} \times 8(\text{bit / byte}) = 1,136\text{ms}
 \end{aligned}$$

Sedangkan besar delay transmisi pada WPA2-PSK adalah :

$$\begin{aligned}
 t_{trans} &= \frac{W_{frame\ total}}{C_{trans}} \times 8(\text{bit / byte}) \\
 &= \frac{1572\text{byte}}{11.10^6} \times 8(\text{bit / byte}) = 1,143\text{ms}
 \end{aligned}$$

4.9.5 Delay antrian

Delay antrian adalah waktu dimana paket data tersebut berada dalam antrian untuk ditransmisikan. Selama waktu itu, paket data menunggu sampai selesainya paket lain ditransmisikan. Jika antrian kosong dan tidak ada paket lain yang ditransmisikan, maka delay tidak terjadi. Analisis ini menggunakan model antrian M/M/1.

Perangkat yang digunakan pada WLAN berupa *Ethernet* dengan kecepatan 11 Mbps dengan panjang data 1558 byte, maka berdasarkan persamaan (2.7) diperoleh nilai kecepatan pelayanan sebesar:

$$\begin{aligned}
 \mu_{WLAN} &= \frac{C_{WLAN}}{L} \\
 &= \frac{11.10^6\text{ bps}}{(1558 \times 8)\text{ bit / paket}} = 882,54\text{ paket / detik}
 \end{aligned}$$

Dalam pembahasan ini, diasumsikan bahwa nilai faktor utilisasi (ρ) diubah dari nilai 0,1 sampai 0,9 dengan kenaikan sebesar 0,1. Dari persamaan (2.8) diperoleh nilai kecepatan kedatangan paket pada node (λ) sebesar:

$$\begin{aligned}
 \lambda_{WLAN} &= \mu_{WLAN} \times \rho \\
 &= 882,54 \times 0,1 = 88,254\text{ paket / detik}
 \end{aligned}$$

Sehingga dapat ditentukan nilai *delay* antrian pada WLAN berdasarkan pada persamaan (2.11) yaitu:

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

$$\begin{aligned}
 &= \frac{88,254}{882,54(882,54 - 88,254)} + \frac{1}{882,54} \\
 &= 0,000126 + 0,00113 \\
 &= 0,001256 \text{ detik} \\
 &= 1,256 \times 10^{-3} \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama didapatkan nilai *delay* antrian pada WLAN dengan faktor utilisasi (ρ) sebesar 0,2 hingga 0,9, yaitu:

Tabel 4.6 Nilai *delay* antrian pada WLAN

Faktor Utilisasi	<i>Delay</i> Antrian WLAN (s)
0,1	$1,256 \cdot 10^{-3}$
0,2	$1,416 \cdot 10^{-3}$
0,3	$1,619 \cdot 10^{-3}$
0,4	$1,889 \cdot 10^{-3}$
0,5	$2,266 \cdot 10^{-3}$
0,6	$2,833 \cdot 10^{-3}$
0,7	$3,777 \cdot 10^{-3}$
0,8	$5,665 \cdot 10^{-3}$
0,9	$11,331 \cdot 10^{-3}$

(Sumber: Perhitungan)

4.9.6 Delay Total

Berdasarkan perhitungan tersebut besarnya *delay* dari *access point* ke *client* sebelum diterapkannya WPA-PSK dan WPA2-PSK adalah :

$$\begin{aligned}
 T_{\text{total}} &= 3t_p + 2t_{\text{prop}} + 2t_t + t_w \\
 &= (3 \times 2,266 \text{ ms}) + (2 \times 0,000333 \text{ ms}) + (2 \times 1,133 \text{ ms}) + 0,0036 \text{ ms} \\
 &= 9,068 \text{ ms}
 \end{aligned}$$

Besar *delay* total WLAN setelah diterapkannya WPA-PSK adalah :

$$\begin{aligned}
 T_{\text{total}} &= t_e + t_d + 3t_p + 2t_{\text{prop}} + 2t_t + t_w \\
 &= 0,278 \text{ ms} + 0,278 \text{ ms} + (3 \times 2,272 \text{ ms}) + (2 \times 0,000333 \text{ ms}) + (2 \times 1,136 \text{ ms}) + \\
 &= 0,0036 \text{ ms} \\
 &= 9,648 \text{ ms.}
 \end{aligned}$$

Sedangkan delay total WLAN setelah diterapkannya WPA2-PSK adalah :

$$\begin{aligned}
 T_{\text{total}} &= t_e + t_d + 3t_p + 2t_{\text{prop}} + 2t_t + t_w \\
 &= 0,515\text{ms} + 0,516\text{ms} + (3 \times 2,286\text{ms}) + (2 \times 0,000333\text{ms}) + (2 \times 1,143\text{ms}) + \\
 &= 0,0036\text{ms} \\
 &= 10,179\text{ms}
 \end{aligned}$$

4.9.7 Bit Rate

Bit Rate adalah banyaknya bit yang dihasilkan dalam satu detik dalam bit/detik.

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan program simulasi, maka diperoleh waktu enkripsi dan dekripsi untuk berbagai prosesor yang berbeda.

Dari waktu enkripsi dan dekripsi program seperti ditunjukkan pada tabel 4.2 dan 4.3 dapat diketahui bahwa :

- Jenis prosesor yang digunakan dalam proses enkripsi sangat berpengaruh terhadap kecepatan proses enkripsi.
- Semakin tinggi jenis prosesor yang digunakan, maka semakin kecil waktu yang diperlukan untuk proses enkripsi.

Dari tabel 4.2, dapat diketahui besarnya bit rate WPA-PSK adalah sebagai berikut :

Pada prosesor P4 1,8 G, dihasilkan :

$$\begin{aligned}
 \text{Bit rate} &= \frac{1562\text{byte}}{0,009519\text{s}} \\
 &= \frac{1562 \times 8\text{bit}}{0,009519} \\
 &= \frac{12496\text{bit}}{0,009519\text{s}} \\
 &= 1313157\text{bps} \\
 &= 1,313\text{Mbps}
 \end{aligned}$$

Dari prosesor P4 2,8 G, dihasilkan :

$$\begin{aligned}
 \text{Bit Rate} &= \frac{1562\text{byte}}{0,009486\text{s}} \\
 &= \frac{1562 \times 8\text{bit}}{0,009486} \\
 &= 1317310\text{bps} \\
 &= 1,317\text{Mbps}
 \end{aligned}$$

Dari prosesor P4 Dual Core 1,6 G, dihasilkan :

$$\begin{aligned}
 \text{Bit Rate} &= \frac{1562 \text{ byte}}{0,009371 \text{ s}} \\
 &= \frac{1562 \times 8 \text{ bit}}{0,009371 \text{ s}} \\
 &= 1333476 \text{ bps} \\
 &= 1,333 \text{ Mbps}
 \end{aligned}$$

Sedangkan *bit rate* dari WPA2-PSK adalah sebagai berikut :

Pada prosesor P4 1,8 G, dihasilkan :

$$\begin{aligned}
 \text{Bit rate} &= \frac{1572 \text{ byte}}{0,009994 \text{ s}} \\
 &= \frac{12576 \text{ bit}}{0,009994 \text{ s}} \\
 &= 1258355 \text{ bps} \\
 &= 1,258 \text{ Mbps}
 \end{aligned}$$

Dari prosesor P4 2,8 G, dihasilkan :

$$\begin{aligned}
 \text{Bit Rate} &= \frac{1572 \text{ byte}}{0,009969 \text{ s}} \\
 &= \frac{1572 \times 8 \text{ bit}}{0,009969 \text{ s}} \\
 &= 1261511 \text{ bps} \\
 &= 1,261 \text{ Mbps}
 \end{aligned}$$

Dari prosesor P4 Dual Core 1,6 G, dihasilkan :

$$\begin{aligned}
 \text{Bit Rate} &= \frac{1572 \text{ byte}}{0,009957 \text{ s}} \\
 &= \frac{1572 \times 8 \text{ bit}}{0,009957 \text{ s}} \\
 &= 1263031 \text{ bps} \\
 &= 1,263 \text{ Mbps}
 \end{aligned}$$

Dari hasil analisis data diatas, menunjukkan bahwa pada beberapa jenis kecepatan prosesor, bit rate pada WPA-PSK lebih besar daripada bit rate WPA2-PSK.

Dari perhitungan diatas dapat dibuat tabel sebagai berikut :

Tabel 4.7 *Bit Rate* pada WPA-PSK dan WPA2-PSK

Spesifikasi Komputer	Bit Rate (Mbps)	
	WPA-PSK	WPA2-PSK
P4 1,8 GHz	1,313	1,258
P4 2,8 GHz	1,317	1,261
P4 Dual Core 1,6 GHz	1,333	1,263

(Sumber : Perhitungan)

4.9.8 Probabilitas Bit Error (BER)

Bit error rate merupakan kualitas pentransmision dari sinyal yang diterima. Nilai BER berhubungan dengan energi per bit sinyal tiap kerapatan data *noise* (E_b/N_o). Berikut adalah persamaan BER (*Bit Error Rate*) :

$$\rho_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{N_o}}$$

ρ_b = *Bit Error Rate* (BER)

Untuk mendapatkan nilai BER, maka dicari nilai E_b/N_o .

Nilai perbandingan energi *bit* terhadap *noise* (E_b/N_o) dapat dicari dengan persamaan :

$$\left(\frac{E_b}{N_o} \right) = (RSL)_{dBW} - 10 \log(Br) + 228.6 dBW - 10 \log T_e]$$

dengan :

E_b / N_o = Energi *bit* terhadap *noise* (dB)

RSL = *Receive Signal Level* (dBW)

Br = *bit rate* (bps).

T_e = *effective noise temperature* (K).

Dimana *Receive Signal Level* (RSL) dapat dicari dengan persamaan :

$$RSL_{dBW} = EIRP_{dBW} - FSL + G_R$$

dengan :

$EIRP$ = *Effective Isotropically Radiated Power* (dBW).

FSL = *Free Space Loss* (dB).

Sedangkan *effective isotropically radiated power* dapat dicari dengan persamaan :

$$EIRP_{dBW} = P_t + G_t$$

dengan :

P_t = daya pancar (dBW).

G_t = antena *gain* (dB).

dan *Free Space Loss* (FSL) dapat dihitung dengan persamaan :

$$FSL = 32,45 + 20\log D + 20\log F$$

dengan :

FSL = *Free Space Loss* (dB).

D = jarak antara *access point* ke *client* (km).

F = frekuensi yang digunakan (MHz).

Pada analisis ini *datasheet* perangkat *access point* diperoleh dari salah satu vendor WLAN yang bernama Linksys dengan spesifikasi seperti Tabel 4.8

Tabel 4.8 Data Spesifikasi Perangkat AP

Parameter	Nilai
Frequency Range	2400 MHz
Antenna Gain	25,8 dB
Max RF Transmit Power	18 dBm
Receiver sensitivity	-85 dBm
Operating temperature	-4 to 140°F (-20 to 60°C)

(Sumber : www.linksys.com)

Berdasarkan persamaan diatas dapat dihitung :

4.9.9 Free Space Loss (FSL)

Rugi lintasan ruang bebas (*Free Space Loss*) merupakan rugi yang terjadi pada propagasi gelombang radio. Besar *Free Space Loss* tergantung pada jarak antara antena pemancar dan antena penerima serta frekuensi yang digunakan. *Free Space Loss* (FSL) dapat dihitung dengan persamaan :

$$FSL = 32,45 + 20\log D + 20\log F$$

Berdasarkan tabel 4.8 dapat dihitung besarnya FSL :

$$\begin{aligned} FSL &= 32,45 + 20\log D + 20\log F \\ &= 32,45 + 20\log D + 20\log F \\ &= 32,45 + 20\log (0,1) + 20\log(2400) \\ &= 32,45 - 20 + 67,6 \\ &= 80,05 \text{ dB.} \end{aligned}$$

Berikut ini besarnya *Free Space Loss* (FSL) pada WLAN pada jarak yang berbeda :

Tabel 4.9 Besarnya *Free Space Loss* pada WLAN

Jarak (m)	<i>Free Space Loss</i> (dB)
10	60,05
20	66,07
30	69,59
40	72,09
50	74,03
60	75,61
70	76,95
80	78,13
90	79,13
100	80,05

(Sumber : Perhitungan)

4.9.10 Receive Signal Level (RSL)

Level sinyal penerima (*Receive Signal Level*) besarnya sinyal yang dapat diterima oleh antena penerima. Besar *Receive Signal Level* tergantung pada besarnya *Free Space Loss* dan *Gain* antena. *Free Space Loss* dapat dihitung dengan persamaan :

$$RSL_{\text{dBW}} = EIRP_{\text{dBW}} - FSL + G_g$$

$$EIRP_{\text{dBW}} = P_t + G_t$$

$$= 18 \text{ dBm} + 25,8 \text{ dB}$$

$$= 43,8 \text{ dBm}$$

$$= (43,8 - 30) \text{ dBW}$$

$$= 13,8 \text{ dBW}$$

Berdasarkan tabel 4.8 dapat dihitung besarnya RSL :

$$RSL_{\text{dBW}} = EIRP_{\text{dBW}} - FSL + G_g$$

$$= 13,8 \text{ dBW} - 80 \text{ dB} + 25,8 \text{ dB}$$

$$= -40,4 \text{ dBW}$$

Besarnya *Receive Signal Level* (RSL) pada jarak yang berbeda antara pemancar dan penerima ditunjukkan pada tabel 4.10 berikut ini :

Tabel 4.10 Besarnya *Receive Signal Level* pada WLAN

Jarak (m)	<i>Receive Signal Loss</i> (dBw)
10	-20,45
20	-26,47
30	-29,99
40	-32,49
50	-34,43
60	-36,01
70	-37,35
80	-38,51
90	-39,53
100	-40,45

(Sumber : Perhitungan)

4.9.11 E_b / N_o

Adalah energi sinyal terhadap *noise* yang merupakan perbandingan dari energi per bit per kepadatan derau (*noise*) pada *access point*. Nilai E_b/N_o digunakan untuk menilai kualitas sinyal yang dikirim oleh transmitter, nilai E_b/N_o tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\left(\frac{E_b}{N_o} \right)_{dB} = (RSL)_{dBW} - 10 \log(Br) + 228.6 \text{ dBW} - 10 \log T_e$$

4.9.12 Probabilitas Bit Error

Berdasarkan data dari tabel 4.8 dapat dihitung :

$$\begin{aligned} \text{EIRP}_{dBW} &= P_t + G_t \\ &= 18 \text{ dBm} + 25,8 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 43,8 \text{ dBm} \\
 &= (43,8 - 30) \text{ dBW} \\
 &= 13,8 \text{ dBW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FSL &= 32,4 + 20\log D + 20\log F \\
 &= 32,4 + 20\log D + 20\log F \\
 &= 32,4 + 20\log (0,1) + 20\log(2400) \\
 &= 32,4 - 20 + 67,6 \\
 &= 80 \text{ dB.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 RSL_{\text{dBW}} &= EIRP_{\text{dBW}} - FSL + G_g \\
 &= 13,8 \text{ dBW} - 80 \text{ dB} + 25,8 \text{ dB} \\
 &= -40,4 \text{ dBW}
 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh besarnya E_b/N_o adalah :

$$\begin{aligned}
 \left(\frac{E_b}{N_o} \right)_{\text{dB}} &= (RSL)_{\text{dBW}} - 10\log(Br) + 228,6 \text{ dBW} - 10\log T_e \\
 &= -40,45 - 10\log(11 \times 10^6) + 228,6 - 10\log(273 + 20) \\
 &= -40,45 - 10(7,04) + 228,6 - 10(2,47) \\
 &= 93,05 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

$$93,05 = 20 \log E_b/N_o$$

$$93,05/20 = \log E_b/N_o$$

$$E_b/N_o = 10^{93,05/20}$$

$$E_b/N_o = 45186$$

Dengan diperolehnya nilai E_b/N_o , maka besarnya probabilitas bit salah (BER) dapat dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned}
 \rho_{bl} &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{N_o}} \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{45186} \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(212,57)
 \end{aligned}$$

Pada perhitungan BER didapatkan nilai E_b/N_o atau $x = 212,57$ maka besar nilai erfc (*error function complementary*) dapat dihitung berdasarkan persamaan :

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{e^{-x^2}}{x\sqrt{\pi}}$$

$$\begin{aligned} \text{erfc}(212,57) &= \frac{e^{-212,57^2}}{212,57\sqrt{3,14}} \\ &= 17,91 \times 10^{-20} \end{aligned}$$

Dengan didapatkan nilai $\text{erfc} = 17,91 \times 10^{-20}$ maka didapatkan nilai BER :

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{1}{2} \text{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \\ &= \frac{1}{2} \text{erfc}(212,57) \\ &= \frac{1}{2} \times 17,91 \times 10^{-20} \\ &= 8,955 \times 10^{-20} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan *probabilitas bit error* (ρ_b) dari *access point* ke *client* sebesar $8,955 \times 10^{-20}$.

Dengan cara yang sama untuk jarak yang berbeda diperoleh *probabilitas bit error* (ρ_b) dari *access point* ke *client* seperti pada tabel 4.11

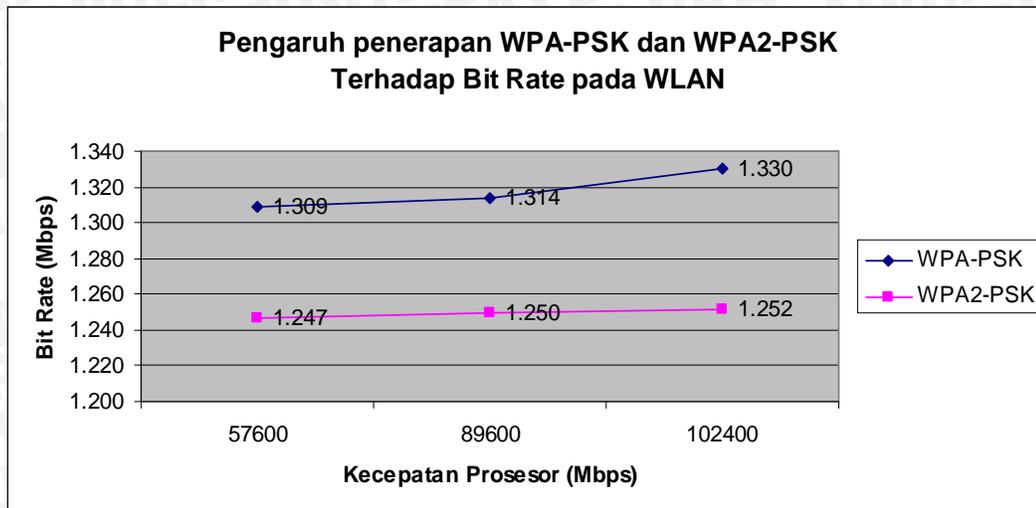
Tabel 4.11 Pengaruh jarak terhadap *bit error rate*

Jarak (m)	Pb
10	$1,073 \times 10^{-48}$
20	$2,890 \times 10^{-40}$
30	$2,036 \times 10^{-32}$
40	$5,641 \times 10^{-28}$
50	$2,678 \times 10^{-25}$
60	$1,657 \times 10^{-23}$
70	$3,193 \times 10^{-22}$
80	$2,963 \times 10^{-21}$
90	$1,688 \times 10^{-20}$
100	$8,955 \times 10^{-20}$

(Sumber : Perhitungan)

4.9.13 Analisis Bit Rate

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.6, dapat dibuat grafik pengaruh penerapan WPA-PSK dan WPA2-PSK terhadap *bit rate* pada jaringan WLAN sebagai berikut :



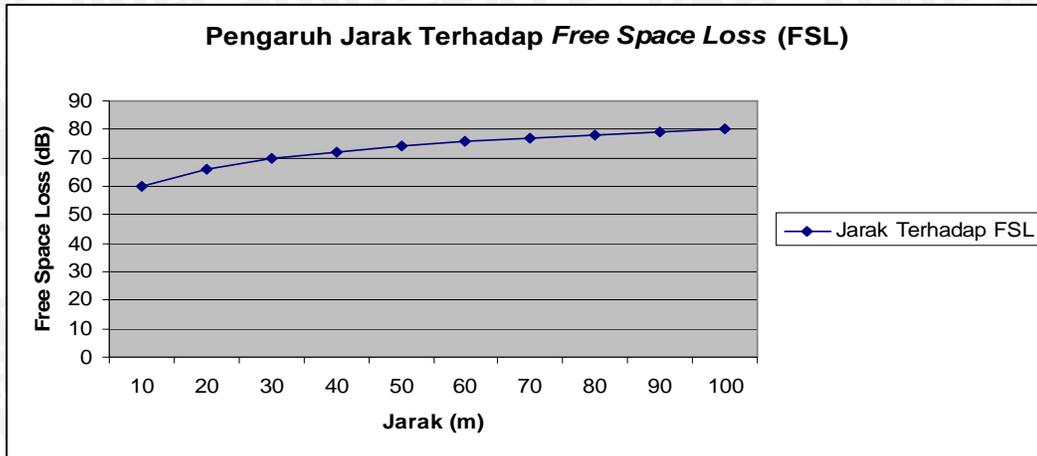
Grafik 4.1 Pengaruh WPA-PSK dan WPA2-PSK Terhadap *Bit Rate*
(sumber : Analisis)

Pada grafik nampak bahwa saat diterapkan WPA-PSK, bit rate pada WLAN sebesar 1,318 Mbps. Sedangkan saat diterapkan WPA2-PSK, bit rate pada WLAN menjadi 1,249 Mbps. Pada grafik diatas juga nampak bahwa kecepatan prosesor berbanding lurus dengan besarnya bit rate. Semakin besar kecepatan prosesor, maka semakin besar pula *bit rate*-nya.

4.9.14 Analisis Free Space Loss (FSL)

Pada propagasi gelombang radio, semakin jauh jarak antara pemancar dan penerima akan mengakibatkan daya sinyal yang diterima oleh penerima semakin kecil. Maka dapat diketahui bahwa hal yang paling mempengaruhi besarnya *freespace loss* adalah jarak antara pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*).

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.8, dapat dibuat grafik pengaruh *Free Space Loss* terhadap jarak antara pemancar dan penerima, sebagai berikut :



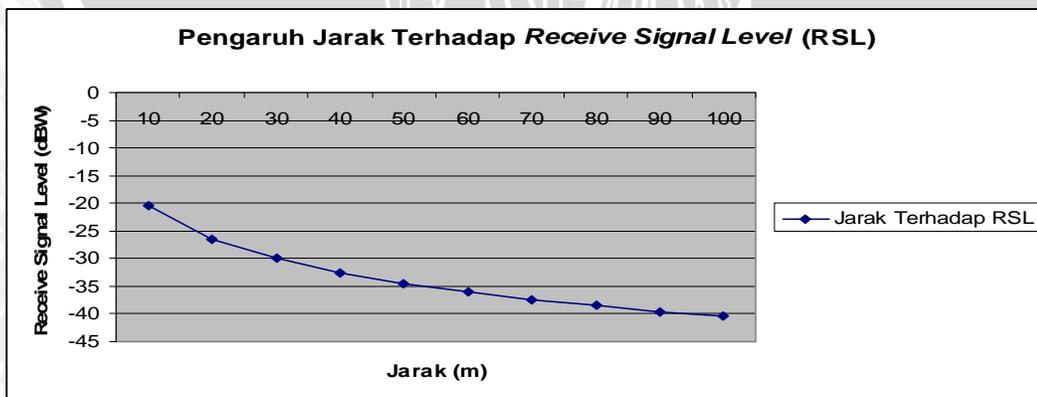
Grafik 4.2 Pengaruh Jarak Terhadap *Free Space Loss*
(sumber : Analisis)

Dari grafik 4.2 terlihat bahwa besarnya *freespace loss* berbanding lurus dengan jarak antara pemancar dan penerima. Semakin jauh jarak antara pemancar dan penerima, maka semakin besar pula *freespace loss*-nya. Dengan bertambah besarnya *freespace loss*, menyebabkan semakin kecilnya daya terima sinyal pada sisi penerima.

4.9.15 Analisis Receive Signal Level (RSL)

Level sinyal penerima (*Receive Signal Level*) besarnya sinyal yang dapat diterima oleh antena penerima. Besar *Receive Signal Level* tergantung pada besarnya *Free Space Loss* dan *Gain* antena.

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.10, yang menunjukkan pengaruh jarak terhadap besarnya Level sinyal penerima (*Receive Signal Level*), dapat dibuat grafik sebagai berikut :



Grafik 4.3 Pengaruh Jarak Terhadap *Receive Signal Level (RSL)*
(sumber : Analisis)

Dari grafik 4.3 diatas, menunjukkan bahwa besarnya *Receive Signal Level (RSL)* berbanding terbalik dengan fungsi jarak. Semakin jauh jarak antara transmitter (pemancar) dan receiver (penerima), maka semakin kecil pula level sinyal penerima (*Receive Signal Level*).

4.9.16 Analisis Probabilitas Bit Error (BER)

Dari tabel 4.7 dapat dibuat grafik sebagai berikut :

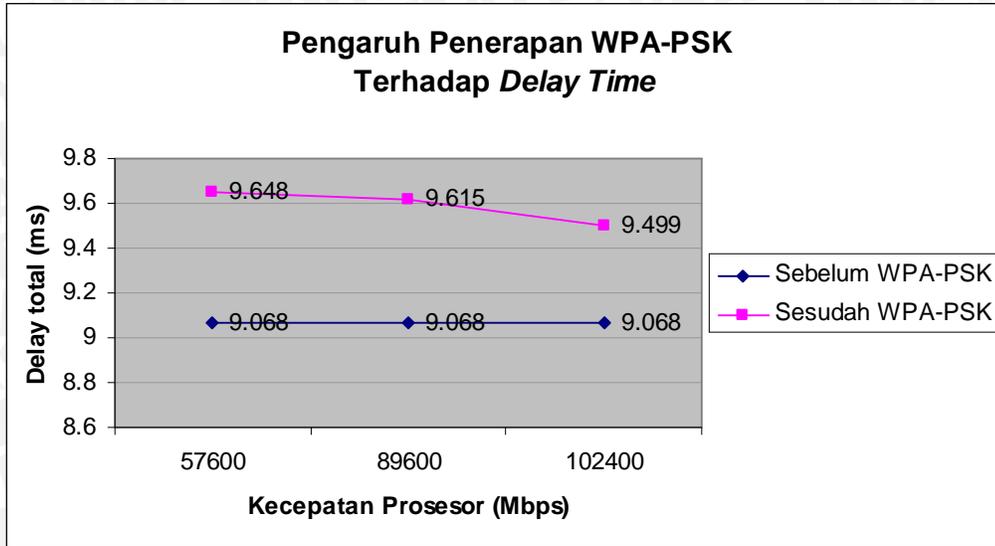


Grafik 4.4 Pengaruh Jarak Terhadap *Bit Error Rate*
(sumber : Analisis)

Dari grafik 4.4 diatas dapat dianalisis bahwa semakin jauh jarak antara access point dan client, maka bit error ratenya semakin besar.

4.9.17 Analisis Delay

Dari hasil perhitungan besarnya delay total pada WPA-PSK dan WPA2-PSK dapat dibuat grafik sebagai berikut :

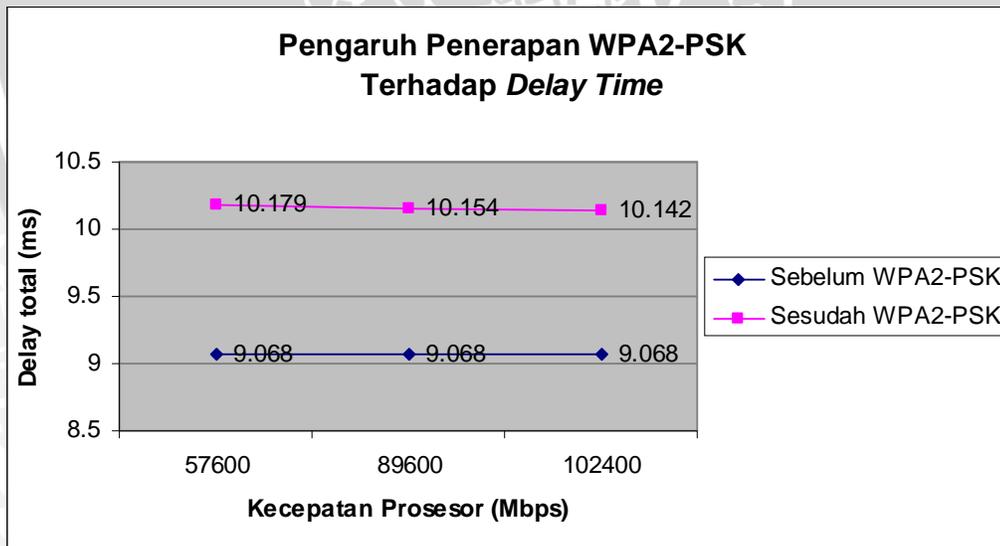


Grafik 4.5 Delay sebelum dan sesudah penerapan WPA-PSK

(Sumber : Analisis)

Dari grafik 4.5 dapat diketahui bahwa penerapan WPA-PSK menambah besar delay total pada WLAN. Sebelum penerapan WPA-PSK, delay WLAN sebesar 9,068 ms. Setelah diterapkan WPA-PSK, delay WLAN secara rata-rata menjadi 9,587 ms.

Sedangkan besarnya delay pada WPA2-PSK yang ditunjukkan pada tabel 4.4 dan 4.5 dapat dibuat grafik sebagai berikut :



Grafik 4.6 Delay sebelum dan sesudah penerapan WPA2-PSK

(Sumber : Analisis)

Dari grafik 4.6 dapat diketahui bahwa penerapan WPA2-PSK menambah besar delay total pada WLAN. Sebelum penerapan WPA2-PSK, delay WLAN sebesar 9,068 ms. Setelah diterapkan WPA2-PSK, delay WLAN secara rata-rata menjadi 10,158 ms.

4.9.18 Analisis Throughput

Throughput didefinisikan sebagai jumlah total *byte* yang diterima di sisi penerima dengan baik. *Throughput* yang dianalisis adalah throughput antara *access point* dan *client*. Besarnya *throughput* adalah :

$$\lambda = \frac{(1-\rho)}{t_i[1+(\alpha-1)\rho]} \cdot (l+l')$$

dimana :

ρ = probabilitas paket yang salah pada WLAN.

$(l+l')$ = panjang data ditambah panjang header.

α = konstanta propagasi

$$\alpha = \left[1 + \frac{t_{prop}}{t_i} \right]$$

Besarnya *throughput* sebelum penerapan WPA-PSK dan WPA2-PSK dengan nilai $\rho = 8,955 \times 10^{-20}$ adalah :

$$\alpha = \left[1 + \frac{t_{prop}}{t_i} \right]$$

$$\alpha = \left[1 + \frac{0,000333}{9,068} \right] = 1,0000367$$

$$\lambda = \frac{(1-\rho)}{t_i[1+(\alpha-1)\rho]} \cdot (l+l')$$

$$\lambda = \frac{(1-8,955 \times 10^{-20})}{8,963 \times 10^{-3} [1 + (1,0000367 - 1)8,955 \times 10^{-20}]} \cdot (12464)$$

$$\lambda = 1390606 \text{ bps}$$

Besarnya *throughput* sesudah penerapan WPA-PSK adalah :

$$\alpha = \left[1 + \frac{t_{prop}}{t_i} \right]$$

$$\alpha = \left[1 + \frac{0,000333}{9,648} \right] = 1,0000345$$

$$\lambda = \frac{(1-\rho)}{t_i[1+(\alpha-1)\rho]} \cdot (l+l')$$

$$\lambda = \frac{(1-8,955 \times 10^{-20})}{9,648 \times 10^{-3} [1+(1,0000345-1)8,955 \times 10^{-20}]} \cdot (12496)$$

$$\lambda = 1295191 \text{ bps}$$

Sedangkan besarnya *throughput* sesudah penerapan WPA2-PSK adalah :

$$\alpha = \left[1 + \frac{t_{prop}}{t_i} \right]$$

$$\alpha = \left[1 + \frac{0,000333}{10,179} \right] = 1,0000327$$

$$\lambda = \frac{(1-\rho)}{t_i[1+(\alpha-1)\rho]} \cdot (l+l')$$

$$\lambda = \frac{(1-8,955 \times 10^{-20})}{10,179 \times 10^{-3} [1+(1,0000327-1)8,955 \times 10^{-20}]} \cdot (12576)$$

$$\lambda = 1235485 \text{ bps}$$

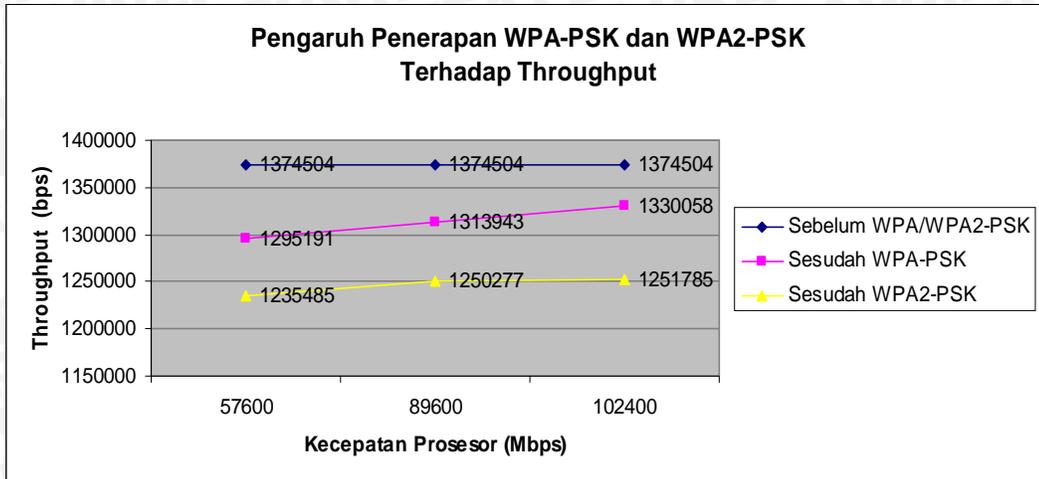
Besarnya *throughput* setelah penerapan WPA-PSK dan WPA2-PSK dengan beberapa spesifikasi kecepatan komputer disajikan pada tabel 4.13 berikut :

Tabel 4.13 Pengaruh penerapan WPA-PSK dan WPA2-PSK terhadap *throughput*

Spesifikasi Komputer	<i>Throughput (bps)</i>	
	WPA-PSK	WPA2-PSK
P4 1,8 GHz	1295191	1235485
P4 2,8 GHz	1313943	1250277
P4 Dual Core 1,6 GHz	1330058	1271785

(sumber : Analisis)

Dari tabel 4.13 diatas dapat dibuat grafik sebagai berikut :



Grafik 4.7 Pengaruh Penerapan WPA-PSK dan WPA2-PSK Terhadap *Throughput* Pada WLAN
(Sumber : Analisis)

Dari grafik 4.7 diatas, terlihat bahwa penerapan WPA-PSK dan WPA2-PSK mempengaruhi *throughput* pada WLAN. *Throughput* menjadi menurun setelah diterapkannya WPA-PSK dan WPA2-PSK. Dari grafik juga terlihat, bahwa *throughput* pada WPA-PSK lebih besar daripada *throughput* pada WPA2-PSK. *Throughput* pada WPA-PSK secara rata-rata menjadi 1313064 bps, sedangkan *throughput* pada WPA2-PSK secara rata-rata menjadi 1252515 bps.