

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Bab ini akan menjelaskan analisis performansi *Medium Access Control* (MAC) layer pada *Wireless Personal Area Network* (WPAN). Metode analisis yang digunakan dalam bab ini adalah analisis matematis, yaitu dilakukan dengan mengumpulkan nilai-nilai parameter yang berupa data sekunder serta melakukan perhitungan menggunakan persamaan-persamaan yang telah dijelaskan dalam Bab II. Untuk itu ada beberapa tahapan analisis yang dilakukan, yaitu:

1. Menentukan model sistem yang akan digunakan pada analisis performansi *Medium Access Control* (MAC) Layer pada *Wireless Personal Area Network* (WPAN).
2. Menentukan parameter-parameter analisis performansi *Medium Access Control* (MAC) Layer pada *Wireless Personal Area Network* (WPAN).
3. Perhitungan analisis performansi *Medium Access Control* (MAC) layer meliputi *delay*, *throughput*, dan *bandwidth efficiency* pada *Wireless Personal Area network* (WPAN).

4.2 Model Sistem

Model sistem yang akan dianalisis adalah kondisi kanal ideal, tidak terjadi transmisi *error*, tidak ada paket yang hilang jika terjadi tabrakan, dan tidak ada *hidden node* atau station lain yang tersembunyi. Pada perhitungan tanpa *acknowledgments* (NACK), waktu *turn around* dan waktu transmisi untuk sebuah ACK diabaikan.

4.3 Parameter – Parameter Analisis

Dalam proses analisis diperlukan beberapa parameter awal yang digunakan sebagai dasar perhitungan. Parameter - parameter tersebut meliputi *frequency bands*, *address bits*, *payload*, *data rate*, panjang masing-masing *header* dan *footer*.

Tabel 4.1 Parameter – Parameter Analisis

Parameter	Nilai
<i>Frequency bands</i>	915 MHz dan 2,4 GHz
<i>Data Rate</i>	40 kbps dan 250 kbps
<i>Symbol Rate</i>	40000 dan 62500 (baud/s)
<i>Address bits</i>	16 bits dan 64 bits
<i>Payload</i>	10, 20, 30, 40, 50, dan 60 (Bytes)
L_{PHY}	6 Bytes
L_{MAC_HDR}	3 Bytes
L_{MAC_FTR}	2 Bytes
BO_{slots}	3,5

Sumber: Latre, *et al.*, 2006

4.4 Perhitungan Analisis Performansi (*Medium Access Control*) MAC Layer Pada *Wireless Personal Area Network* (WPAN)

Pada perhitungan ini akan menganalisis *throughput*, *delay*, dan *bandwidth efficiency* pada jaringan *Wireless Personal Area Network* (WPAN).

4.4.1 Perhitungan *throughput*, *delay*, dan *bandwidth efficiency* dengan *frequency bands* 915 MHz.

Perhitungan yang akan digunakan dalam analisis ini dilakukan dengan menggunakan persamaan (2-1) hingga (2-9) , *data rate* 40 kbps , dan *address bits* 16 dan 64 bit.

1. 16 Bit + ACK

Untuk *payload* (x) 10 Byte, akan diperoleh $T_{frame}(x)$:

$$T_{frame}(x) = 8 \times \left(\frac{L_{PHY} + L_{MAC_HDR} + L_{address} + x + L_{MAC_FTR}}{R_{data}} \right)$$

$$T_{frame}(x) = 8 \times \left(\frac{6+3+2+10+2}{40000} \right) = 0,00736$$

Waktu transmisi *Acknowledgment*

$$T_{ACK} = 8 \times \left(\frac{L_{PHY} + L_{MAC_HDR} + L_{MAC_FTR}}{R_{data}} \right)$$

$$T_{ACK} = 8 \times \left(\frac{6+3+2}{40000} \right) = 0,00352$$

Untuk mencari waktu IFS, maka

$$MPDU = L_{MAC_HDR} + L_{MAC_FTR} + \text{payload}$$

$$MPDU = 3 + 2 + 10 = 15 \text{ Byte}$$

Karena MPDU lebih kecil dari 18 Byte, maka akan digunakan T_{SIFS} ,

sehingga diperoleh :

$$T_{SIFS} = 12 \times T_s = 12 \times \frac{1}{40000} = 0,0003 \text{ s}$$

Untuk mendapatkan periode *back off*, maka :

$$T_{BOslots} = 20 \times T_S$$

$$T_{BO} = BO_{slots} \times T_{BOslots} = 3,5 \times 20 \times \frac{1}{40000} = 1,75 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

Sedangkan waktu *turn around* didapat :

$$T_{TA} = 12 \times T_S = 12 \times \frac{1}{40000} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

Dengan menggunakan *payload* 10 Byte, maka akan diperoleh waktu tunda:

$$delay(x) = T_{BO} + T_{frame}(x) + T_{TA} + T_{ACK} + T_{IFS}(x)$$

$$delay(x) = 0,00175 + 0,00736 + 0,0003 + 0,00352 + 0,0003$$

$$delay(x) = 0.00915 \text{ s}$$

$$TP = \frac{8 \cdot x}{delay(x)} = \frac{8 \cdot 80}{0,00915} = 69945,3$$

Dan, *bandwidth efficiency* adalah :

$$\eta = \frac{TP}{R_{data}} = \frac{69,9453}{40000bps} = 1,7486$$

Dengan perhitungan yang sama menggunakan persamaan (2-1) hingga (2-9) untuk *payload* (x) yang berbeda yaitu 20, 30, 40, 50, dan 60 Byte akan didapat hasil perhitungan *delay*, *throughput* dan *bandwidth efficiency* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan *Delay*, *Throughput* dan *Bandwidth Efficiency* untuk 16 bit + ACK Dengan Frekuensi 915 MHz.

<i>Payload</i> (Byte)	<i>Delay</i> (s)	<i>Throughput</i> (kbps)	<i>Bandwidth Efficiency</i> (%)
10	0.00915	69,9453	17,486
20	0.01185	108,0168	27,004
30	0.01385	138,6281	34,657
40	0.01585	161,5141	40,379
50	0.01785	179,2717	44,818
60	0.01985	193,4508	48,363

Sumber : Hasil Analisis

Hasil analisis untuk perubahan nilai parameter Payload terhadap *delay*, *throughput*, dan *bandwidth efficiency* untuk 16 Bit + ACK pada frekuensi 915 Mhz ditunjukkan secara grafis dalam gambar 4.1, 4.2, dan 4.3.

2. 16 Bits NACK

Untuk *payload* (x) 10 Byte, akan diperoleh $T_{frame}(x)$:

$$T_{frame}(x) = 8 \times \left(\frac{L_{PHY} + L_{MAC_HDR} + L_{address} + x + L_{MAC_FTR}}{R_{data}} \right)$$

$$T_{frame}(x) = 8 \times \left(\frac{6 + 3 + 2 + 10 + 2}{40000} \right) = 0,00736$$

Untuk mencari waktu IFS, maka :

$$MPDU = L_{MAC_HDR} + L_{MAC_FTR} + payload$$

$$MPDU = 3 + 2 + 10 = 15 \text{ Byte}$$

Karena MPDU lebih kecil dari 18 Byte, maka akan digunakan T_{SIFS} ,

sehingga diperoleh :

$$T_{SIFS} = 12 \times T_S = 12 \times \frac{1}{40000} = 0,0003 \text{ s}$$

Untuk mendapatkan periode *back off*, maka :

$$T_{BOslots} = 20 \times T_S$$

$$T_{BO} = BO_{slots} \times T_{BOslots} = 3,5 \times 20 \times \frac{1}{40000} = 1,75 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

Dengan menggunakan *payload* 10 Byte akan diperoleh waktu tunda :

$$delay(x) = T_{BO} + T_{frame}(x) + T_{IFS}(x)$$

$$delay(x) = 0,00175 + 0,0736 + 0,0003$$

$$delay(x) = 0.00665 \text{ s}$$

Sehingga *throughput* diperoleh :

$$TP = \frac{8 \times x}{delay(x)} = \frac{8 \times 80}{0,00665} = 96240,6$$

Dan, efisiensi *bandwidth* adalah :

$$\eta = \frac{TP}{R_{data}} = \frac{96.2406}{40000 \text{ bps}} = 2,4060$$

Dan dengan perhitungan yang sama menggunakan persamaan (2-1) Sampai persamaan (2-9) untuk *payload* (x) yang lain yaitu 20, 30, 40, 50, dan 60 Byte akan didapat hasil perhitungan *delay*, *throughput* dan *bandwidth efficiency* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan *Delay*, *Throughput* dan *Bandwidth Efficiency* untuk 16 bit + NACK Dengan Frekuensi 915 MHz.

<i>Payload</i> (Byte)	<i>Delay</i> (s)	<i>Throughput</i> (kbps)	<i>Bandwidth Efficiency</i> (%)
10	0.00665	96,2406	15,459
20	0.00336	136,8983	34,225
30	0.01385	169,1629	42.29
40	0.01335	191,7602	47,940
50	0.01535	208,4690	52,117
60	0.01735	221,3256	55,331

Sumber : Hasil Analisis

Hasil analisis untuk perubahan nilai parameter *Payload terhadap delay, throughput, dan bandwidth efficiency* untuk 16 Bit + NACK pada frekuensi 915 Mhz ditunjukkan secara grafis dalam gambar 4.1, 4.2, dan 4.3.

3. 64 Bit + ACK

Untuk *payload* (x) 10 Byte, akan diperoleh $T_{frame}(x)$:

$$T_{frame}(x) = 8 \times \left(\frac{L_{PHY} + L_{MAC_HDR} + L_{address} + x + L_{MAC_FTR}}{R_{data}} \right)$$

$$T_{frame}(x) = 8 \times \left(\frac{6 + 3 + 8 + 10 + 2}{40000} \right) = 0,00736$$

Waktu transmisi *Acknowledment* T_{ACK} diperoleh :

$$T_{ACK} = 8 \times \left(\frac{6 + 3 + 2}{40000} \right) = 0,00352$$

Untuk mencari waktu IFS, maka :

$$MPDU = L_{MAC_HDR} + L_{MAC_FTR} + payload$$

$$MPDU = 3 + 2 + 10 = 15 \text{ Byte}$$

Karena MPDU lebih kecil dari 18 Byte, maka akan digunakan T_{SIFS} ,

Sehingga diperoleh :

$$T_{SIFS} = 12 \times T_s = 12 \times \frac{1}{40000} = 0,0003 \text{ s}$$

Untuk mendapatkan periode *back off*, maka :

$$T_{BOslots} = 20 \times T_s$$

$$T_{BO} = BO_{slots} \times T_{BOslots} = 3,5 \times 20 \times \frac{1}{40000} = 1,75 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

Sedangkan waktu *turn around* didapat :

$$T_{TA} = 12 \times T_s = 12 \times \frac{1}{40000} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

Dengan menggunakan *payload* 10 Byte akan diperoleh waktu tunda :

$$delay(x) = T_{BO} + T_{frame}(x) + T_{TA} + T_{ACK} + T_{IFS}(x)$$

$$delay(x) = 0,00175 + 0,00736 + 0,0003 + 0,00352 + 0,0003$$

$$delay(x) = 0,00785 \text{ s}$$

Sehingga *throughput* diperoleh :

$$TP = \frac{8 \cdot x}{delay(x)} = \frac{8 \cdot 80}{0,00785} = 81528,6 \text{ bps}$$

Dan, efisiensi *bandwidth* adalah :

$$\eta = \frac{TP}{R_{data}} = \frac{81528,6}{40000 \text{ bps}} = 2,0382$$

Dan dengan perhitungan yang sama menggunakan persamaan (2-1)

Sampai persamaan (2-9) untuk *payload* (x) yang lain yaitu 20, 30, 40,

50, dan 60 Byte akan didapat hasil perhitungan *delay*, *throughput*

dan *bandwidth efficiency* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan *Delay*, *Throughput* dan *Bandwidth Efficiency* untuk 64 bit + ACK Dengan Frekuensi 915 MHz

<i>Payload</i> (Byte)	<i>Delay</i> (s)	<i>Throughput</i> (kbps)	<i>Bandwidth Efficiency</i> (%)
10	0.00785	61,8357	20,382
20	0.01305	98,0842	24,521
30	0.01505	127,5747	31,894
40	0.01705	150,1466	37,537
50	0.01905	167,9790	41,995
60	0.02105	182,42280	45,606

Sumber : Hasil Analisis

Hasil analisis untuk perubahan nilai parameter Payload terhadap *delay*, *throughput*, dan *bandwidth efficiency* untuk 64 Bit + ACK pada frekuensi 915 Mhz ditunjukkan secara grafis dalam gambar 4.1, 4.2, dan 4.3.

4. 64 Bits NACK

Untuk *payload* (x) 10 Byte, akan diperoleh $T_{frame}(x)$:

$$T_{frame}(x) = 8 \times \left(\frac{L_{PHY} + L_{MAC_HDR} + L_{address} + x + L_{MAC_FTR}}{R_{data}} \right)$$

$$T_{frame}(x) = 8 \times \left(\frac{6 + 3 + 8 + 10 + 2}{40000} \right) = 0,00736$$

Untuk mencari waktu IFS, maka :

$$MPDU = L_{MAC_HDR} + L_{MAC_FTR} + payload$$

$$MPDU = 3 + 2 + 10 = 15 \text{ Byte}$$

Karena MPDU lebih kecil dari 18 Byte, maka akan digunakan T_{SIFS} , sehingga diperoleh :

$$T_{SIFS} = 12 \times T_s = 12 \times \frac{1}{40000} = 0,0003 \text{ s}$$

Untuk mendapatkan periode *back off*, maka :

$$T_{BOslots} = 20 \times T_s$$

$$T_{BO} = BO_{slots} \times T_{BOslots} = 3,5 \times 20 \times \frac{1}{40000} = 1,75 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

Dengan menggunakan *payload* 10 Byte akan diperoleh waktu tunda :

$$delay(x) = T_{BO} + T_{frame}(x) + T_{IFS}(x)$$

$$delay(x) = 0,00175 + 0,00736 + 0,0003$$

$$delay(x) = 0,00785 \text{ s}$$

Sehingga *throughput* diperoleh :

$$TP = \frac{8 \cdot x}{delay(x)} = \frac{8 \cdot 80}{0,00785} = 246913,5 \text{ bps}$$

Dan, efisiensi *bandwidth* adalah :

$$\eta = \frac{TP}{R_{data}} = \frac{246913,5}{40000 \text{ bps}} = 9,876$$

Dan dengan perhitungan yang sama menggunakan persamaan (2-1)

Sampai persamaan (2-9) untuk *payload* (x) yang lain yaitu 20, 30, 40,

50, dan 60 Byte akan didapat hasil perhitungan *delay*, *throughput* dan

bandwidth efficiency seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

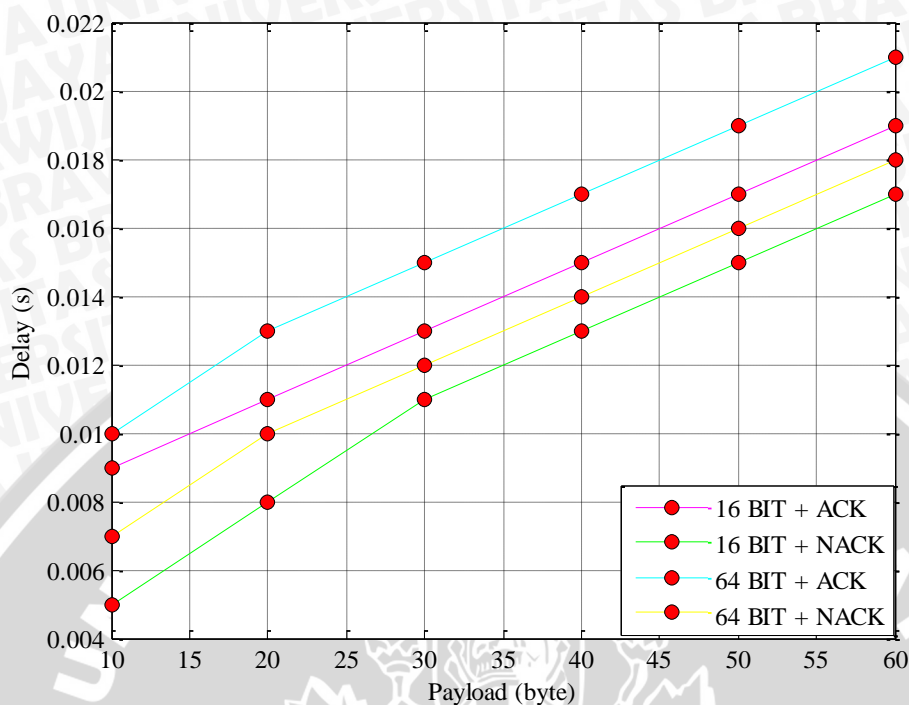
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan *Delay*, *Throughput* dan *Bandwidth Efficiency* untuk 64 bit NACK Dengan Frekuensi 915 MHz

<i>Payload</i> (Byte)	<i>Delay</i> (s)	<i>Throughput</i> (kbps)	<i>Bandwidth Efficiency</i> (%)
10	0.00785	81,52860	20,382
20	0.01055	121,3270	30,332
30	0.01255	152,9880	38,247
40	0.01455	175,9450	43,986
50	0.01655	193,3534	48,338
60	0.01855	207,0080	51,752

Sumber : Hasil Analisis

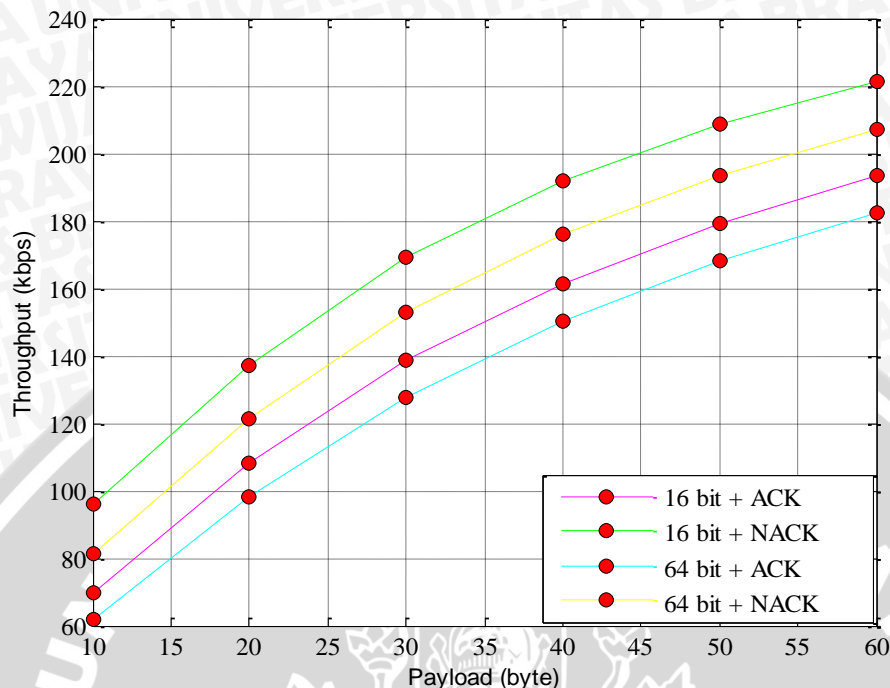
Hasil analisis untuk perubahan nilai parameter *Payload* terhadap *delay*, *throughput*, dan *bandwidth efficiency* untuk 64 Bit + NACK pada frekuensi 915 Mhz ditunjukkan secara grafis dalam gambar 4.1, 4.2, dan 4.3.

Dari Tabel 4.2, 4.3, 4.4, dan 4.5 diperoleh grafik perbandingan *delay*, *throughput* dan *bandwidth efficiency* dari setiap *address bits* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3.

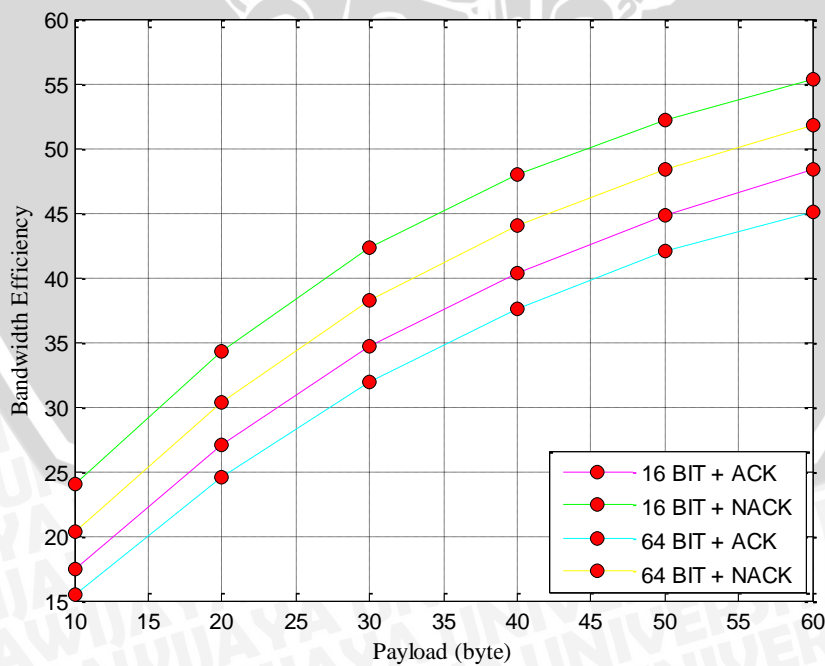


Gambar 4.1 Grafik perbandingan *Delay* untuk *address bits* yang berbeda pada Frekuensi 915 MHz.
Sumber : Simulasi Matlab

Kajian analisis pada Gambar 4.1, *delay* yang dihasilkan 16 bit dan 64 bit dengan *acknowledgmet* (ACK) lebih besar daripada *delay* 16 bit dan 64 bit tanpa *acknowledgment* (NACK), hal ini terjadi karena diperlukan waktu transmisi yang lebih lama untuk mentransmisikan data apabila menggunakan *acknowledgmet* (ACK). Nilai *delay* ini berbanding terbalik dengan nilai *throughput* dan *bandwidth efficiency*.



Gambar 4.2 Grafik perbandingan *Throughput* untuk *address bits* yang berbeda pada frekuensi 915 MHz
Sumber : Simulasi Matlab



Gambar 4.3 Grafik perbandingan *Bandwidth Efficiency* untuk *address bits* yang berbeda pada Frekuensi 915 MHz.
Sumber : Simulasi Matlab

Kajian analisis gambar 4.2 dan 4.3, pada gambar 4.2 dapat kita analisis bahwa *throughput* yang dihasilkan akan lebih besar pada 16 bit dan 64 bit tanpa *acknowledgment* (NACK), sama halnya pada gambar 4.3 dimana *bandwidth efficiency* pada 16 bit dan 64 bit tanpa *acknowledgment* (NACK) akan lebih besar dibandingkan dengan *address bits* yang memakai *acknowledgment* (ACK), hal ini terjadi karena waktu transmisi akan lebih pendek untuk *bit address* tanpa *acknowledgment* (NACK) dibandingkan dengan *address bits* dengan *acknowledgment* (ACK) sehingga didapat *throughput* dan *bandwidth efficiency* yang lebih besar.

Listing program untuk gambar 4.1, 4.2, dan 4.3 terlampir dalam lampiran II.



4.4.2 Perhitungan *Throughput*, *delay*, dan *bandwidth* dengan *Frequency Bands*

2,4 GHz.

Perhitungan yang akan digunakan dalam analisis ini dilakukan dengan menggunakan persamaan – persamaan (2-1) hingga (2-9). Dengan menggunakan *data rate* 250 kbps dan *address bits* 16 dan 64 bit. Maka akan diperoleh sebagai berikut :

1. 16 Bit + ACK

Untuk *payload* (x) 10 Byte, akan diperoleh $T_{frame}(x)$:

$$T_{frame}(x) = 8 \times \left(\frac{L_{PHY} + L_{MAC_HDR} + L_{address} + x + L_{MAC_FTR}}{R_{data}} \right)$$

$$T_{frame}(x) = 8 \times \left(\frac{6 + 3 + 2 + 10 + 2}{250000} \right) = 0,00092$$

Waktu transmisi *Acknowledgment* T_{ACK} diperoleh :

$$T_{ACK} = 8 \times \left(\frac{L_{PHY} + L_{MAC_HDR} + L_{MAC_FTR}}{R_{data}} \right)$$

$$T_{ACK} = 8 \times \left(\frac{6 + 3 + 2}{250000} \right) = 0,00352$$

$$MPDU = L_{MAC_HDR} + L_{MAC_FTR} + payload$$

$$MPDU = 3 + 2 + 10 = 15 \text{ Byte}$$

Karena MPDU lebih kecil dari 18 Byte, maka akan digunakan T_{SIFS} , sehingga diperoleh:

$$T_{SIFS} = 12 \times T_s = 12 \times \frac{1}{62500} = 0,000192s$$

Untuk mendapatkan periode *back off*, maka :

$$T_{BOslots} = 20 \times T_s$$

$$T_{BO} = BO_{slots} \times T_{BOslots} = 3,5 \times 20 \times \frac{1}{62500} = 0,00112 \text{ s}$$

Sedangkan waktu *turn around* didapat :

$$T_{TA} = 12 \times T_s = 12 \times \frac{1}{62500} = 0,000192 \text{ s}$$

Dengan menggunakan *payload* 10 Byte akan diperoleh waktu tunda :

$$delay(x) = T_{BO} + T_{frame}(x) + T_{TA} + T_{ACK} + T_{IFS}(x)$$

$$delay(x) = 0,00112 + 0,00092 + 0,000192 + 0,00352 + 0,000192$$

$$delay(x) = 0,002592 \text{ s}$$

Sehingga *throughput* diperoleh :

$$TP = \frac{8 \cdot x}{delay(x)} = \frac{8 \cdot 80}{0,002592} = 246913,5 \text{ bps}$$

Dan, efisiensi *bandwidth* adalah :

$$\eta = \frac{TP}{R_{data}} = \frac{246913,5}{250000 \text{ bps}} = 0,9876$$

Dan dengan perhitungan yang sama menggunakan persamaan (2-1) sampai persamaan (2-9) untuk *payload* (x) yang lain yaitu 20, 30, 40, 50, dan 60 Byte akan didapat hasil perhitungan *delay*, *throughput* dan *bandwidth efficiency* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan *Delay*, *Throughput* dan *Bandwidth Efficiency* untuk 16 bit + ACK Dengan Frekuensi 2,4 GHz.

<i>Payload</i> (Byte)	<i>Delay</i> (s)	<i>Throughput</i> (kbps)	<i>Bandwidth Efficiency</i> (%)
10	0.00259	246,9135	9,876
20	0.00336	380,9523	15,238
30	0.00368	521,7391	20,870
40	0.00400	640,0000	25,600
50	0.00432	740,7407	29,630
60	0.00419	916,0305	36,641

Sumber : Hasil Analisis

Hasil analisis untuk perubahan nilai parameter Payload terhadap *delay*, *throughput*, dan *bandwidth efficiency* untuk 16 Bit + ACK pada frekuensi 2,4 Ghz ditunjukkan secara grafis dalam gambar 4.4, 4.5, dan 4.6.

2. 16 Bit NACK

Untuk *payload* (x) 10 Byte, akan diperoleh $T_{frame}(x)$:

$$T_{frame}(x) = 8 \times \left(\frac{L_{PHY} + L_{MAC_HDR} + L_{address} + x + L_{MAC_FTR}}{R_{data}} \right)$$

$$T_{frame}(x) = 8 \times \left(\frac{6 + 3 + 2 + 10 + 2}{250000} \right) = 0,00092$$

Untuk mencari waktu IFS, maka :

$$MPDU = L_{MAC_HDR} + L_{MAC_FTR} + payload$$

$$MPDU = 3 + 2 + 10 = 15 \text{ Byte}$$

Karena MPDU lebih kecil dari 18 Byte, maka akan digunakan T_{SIFS} ,

sehingga diperoleh :

$$T_{SIFS} = 12 \times T_s = 12 \times \frac{1}{62500} = 0,000192s$$

Untuk mendapatkan periode *back off*, maka :

$$T_{BOslots} = 20 \times T_s$$

$$T_{BO} = BO_{slots} \times T_{BOslots} = 3,5 \times 20 \times \frac{1}{62500} = 0,00112s$$

Dengan menggunakan *payload* 10 Byte akan diperoleh waktu tunda :

$$delay(x) = T_{BO} + T_{frame}(x) + T_{IFS}(x)$$

$$delay(x) = 0,00112 + 0,00092 + 0,000192$$

$$delay(x) = 0,002048$$

Sehingga *throughput* diperoleh :

$$TP = \frac{8 \cdot x}{delay(x)} = \frac{8 \cdot 80}{0,0020} = 312500 \text{ bps}$$

Dan, efisiensi *bandwidth* adalah :

$$\eta = \frac{TP}{R_{data}} = \frac{312500}{250000 \text{ bps}} = 1,25$$

Dan dengan perhitungan yang sama menggunakan persamaan (2-1) sampai persamaan (2-9) untuk *payload* (x) yang lain yaitu 20, 30, 40, 50, dan 60 Byte akan didapat hasil perhitungan *delay*, *throughput* dan *bandwidth efficiency* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan *Delay*, *Throughput* dan *Bandwidth Efficiency* untuk 16 bit NACK Dengan Frekuensi 2,4 GHz.

<i>Payload</i> (Byte)	<i>Delay</i> (s)	<i>Throughput</i> (kbps)	<i>Bandwidth Efficiency</i> (%)
10	0.002048	312,5000	12,50
20	0.002816	454,5454	17,02
30	0.003136	612,2448	24,490
40	0.003456	740,7407	29,630
50	0.003776	847,4576	33,898
60	0.003648	1052,6315	42,105

Sumber : Hasil Analisis

Hasil analisis untuk perubahan nilai parameter Payload terhadap *delay*, *throughput*, dan *bandwidth efficiency* untuk 16 Bit + NACK pada frekuensi 2,4 Ghz ditunjukkan secara grafis dalam gambar 4.4, 4.5, dan 4.6.

3. 64 Bit + ACK

Untuk *payload* (x) 10 Byte, akan diperoleh $T_{frame}(x)$:

$$T_{frame}(x) = 8 \times \left(\frac{L_{PHY} + L_{MAC_HDR} + L_{address} + x + L_{MAC_FTR}}{R_{data}} \right)$$

$$T_{frame}(x) = 8 \times \left(\frac{6 + 3 + 8 + 10 + 2}{250000} \right) = 0,000928$$

Waktu transmisi *Acknowledgment* T_{ACK} diperoleh :

$$T_{ACK} = 8 \times \left(\frac{6 + 3 + 2}{250000} \right) = 0,000352$$

Untuk mencari waktu IFS, maka :

$$MPDU = L_{MAC_HDR} + L_{MAC_FTR} + payload$$

$$MPDU = 3 + 2 + 10 = 15 \text{ Byte}$$

Karena MPDU lebih kecil dari 18 Byte, maka akan digunakan T_{SIFS} , sehingga diperoleh :

$$T_{SIFS} = 12 \times T_s = 12 \times \frac{1}{62500} = 0,000192s$$

Untuk mendapatkan periode *back off*, maka :

$$T_{BOslots} = 20 \times T_s$$

$$T_{BO} = BO_{slots} \times T_{BOslots} = 3,5 \times 20 \times \frac{1}{62500} = 0,00112s$$

Sedangkan waktu *turn around* didapat :

$$T_{TA} = 12 \times T_s = 12 \times \frac{1}{62500} = 0,000192s$$

Dengan menggunakan *payload* 10 Byte akan diperoleh waktu tunda :

$$delay(x) = T_{BO} + T_{frame}(x) + T_{TA} + T_{ACK} + T_{IFS}(x)$$

$$delay(x) = 0,00112 + 0,000928 + 0,000192 + 0,000352 + 0,000192$$

$$delay(x) = 0,002784s$$

Sehingga *throughput* diperoleh :

$$TP = \frac{8 \cdot x}{delay(x)} = \frac{8 \cdot 80}{0,0027} = 229885 \text{ bps}$$

Dan, efisiensi *bandwidth* adalah :

$$\eta = \frac{TP}{R_{data}} = \frac{229885}{250000 \text{ bps}} = 0,919$$

Dan dengan perhitungan yang sama menggunakan persamaan (2-1) sampai persamaan (2-9) untuk *payload* (x) yang lain yaitu 20, 30, 40, 50, dan 60 Byte akan

didapat hasil perhitungan *delay*, *throughput* dan *bandwidth efficiency* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan *Delay*, *Throughput* dan *Bandwidth Efficiency* untuk 64 bit + ACK Dengan Frekuensi 2,4 GHz.

<i>Payload</i> (Byte)	<i>Delay</i> (s)	<i>Throughput</i> (kbps)	<i>Bandwidth Efficiency</i> (%)
10	0.002784	229,8850	9,1954
20	0.003552	360,3603	14,414
30	0.003872	495,8677	19,835
40	0.004192	610,6870	24,427
50	0.004512	709,2198	28,369
60	0.004384	875,9124	35,036

Sumber : Hasil Analisis

Hasil analisis untuk perubahan nilai parameter Payload terhadap *delay*, *throughput*, dan *bandwidth efficiency* untuk 64 Bit + ACK pada frekuensi 2,4 Ghz ditunjukkan secara grafis dalam gambar 4.4, 4.5, dan 4.6.

4. 64 Bit NACK

Untuk *payload* (x) 10 Byte, akan diperoleh $T_{frame}(x)$:

$$T_{frame}(x) = 8 \times \left(\frac{L_{PHY} + L_{MAC_HDR} + L_{address} + x + L_{MAC_FTR}}{R_{data}} \right)$$

$$T_{frame}(x) = 8 \times \left(\frac{6 + 3 + 8 + 10 + 2}{250000} \right) = 0,000928$$

Untuk mencari waktu IFS, maka :

$$MPDU = L_{MAC_HDR} + L_{MAC_FTR} + payload$$

$$MPDU = 3 + 2 + 10 = 15 \text{ Byte}$$

Karena MPDU lebih kecil dari 18 Byte, maka akan digunakan T_{SIFS} ,

Sehingga diperoleh :

$$T_{SIFS} = 12 \times T_s = 12 \times \frac{1}{62500} = 0,000192s$$

Untuk mendapatkan periode *back off*, maka :

$$T_{BOslots} = 20 \times T_s$$

$$T_{BO} = BO_{slots} \times T_{BOslots} = 3,5 \times 20 \times \frac{1}{62500} = 0,00112s$$

Dengan menggunakan *payload* 10 Byte akan diperoleh waktu tunda :

$$delay(x) = T_{BO} + T_{frame}(x) + T_{IFS}(x)$$

$$delay(x) = 0,00112 + 0,000928 + 0,000192$$

$$delay(x) = 0,002240s$$

Sehingga *throughput* diperoleh :

$$TP = \frac{8 \cdot x}{delay(x)} = \frac{8 \cdot 80}{0,00224} = 285714,2 \text{ bps}$$

Dan, efisiensi *bandwidth* adalah :

$$\eta = \frac{TP}{R_{data}} = \frac{285714,2}{250000bps} = 1.1429$$

Dengan perhitungan yang sama menggunakan persamaan (2-1) sampai persamaan (2-9) untuk *payload* (x) yang lain yaitu 20, 30, 40, 50, dan 60 Byte akan didapat hasil perhitungan *delay*, *throughput* dan *bandwidth efficiency* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.9.

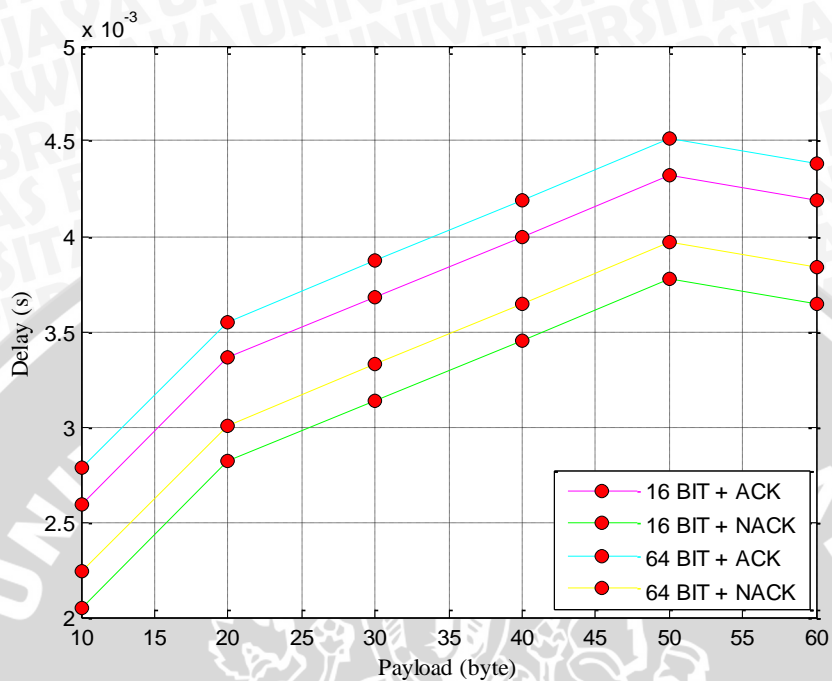
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan *Delay*, *Throughput* dan *Bandwidth Efficiency* untuk 64 bits NACK Dengan Frekuensi 2,4 GHz

<i>Payload</i> (Byte)	<i>Delay</i> (s)	<i>Throughput</i> (kbps)	<i>Bandwidth Efficiency</i>
10	0.002240	285,7142	11,429
20	0.003008	425,5319	17,021
30	0.003328	576,9230	23,077
40	0.003648	701,7543	28,070
50	0.003968	806,4516	32,258
60	0.003840	1000,000	40,000

Sumber : Hasil Analisis

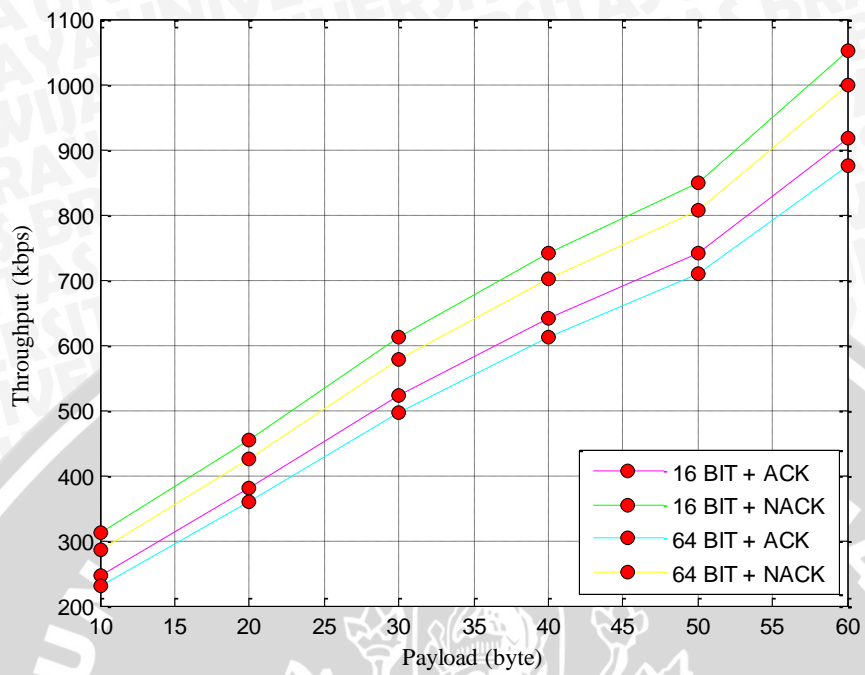
Hasil analisis untuk perubahan nilai parameter Payload terhadap *delay*, *throughput*, dan *bandwidth efficiency* untuk 64 Bit + NACK pada frekuensi 2,4 Ghz ditunjukkan secara grafis dalam gambar 4.4, 4.5, dan 4.6.

Dari Tabel 4.6, 4.7, 4.8, dan 4.9 diperoleh grafik perbandingan *throughput* dan *bandwidth efficiency* dari setiap *address bits* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4, 4.5, dan 4.6.

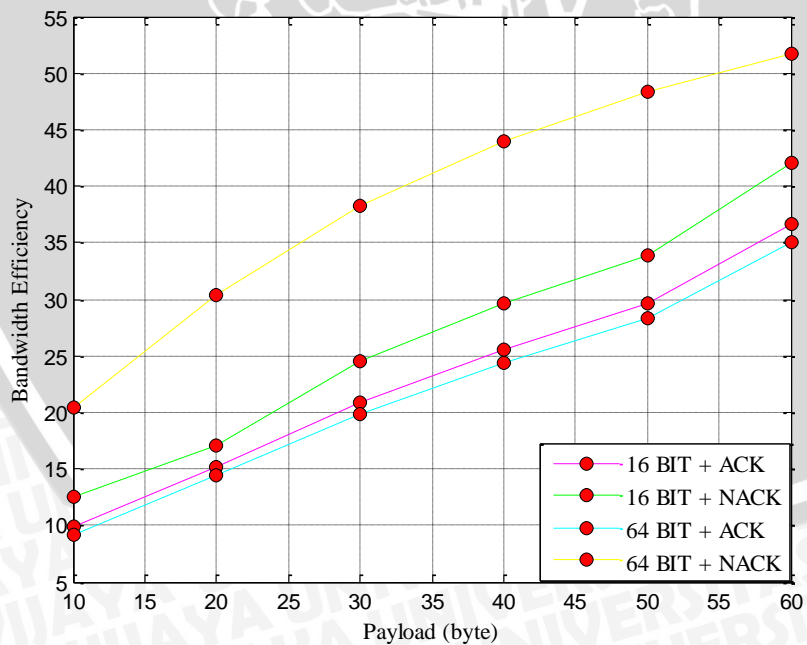


Gambar 4.4 Grafik perbandingan *Delay* untuk *address bits* yang berbeda pada Frekuensi 2,4 GHz
Sumber : Hasil Analisis

Kajian analisis pada Gambar 4.4, *delay* yang dihasilkan 16 bit dan 64 bit dengan *acknowledgmet* (ACK) lebih besar daripada *delay* 16 bit dan 64 bit tanpa *acknowledgment* (NACK), hal ini terjadi karena diperlukan waktu transmisi yang lebih lama untuk mentransmisikan data apabila menggunakan *acknowledgmet* (ACK). Nilai *delay* ini berbanding terbalik dengan nilai *throughput* dan *bandwidth efficiency*.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan *Throughput* untuk *address bits* yang berbeda pada Frekuensi 2,4 GHz
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan *Bandwidth Efficiency* untuk *address bits* yang berbeda pada Frekuensi 2,4 GHz
Sumber : Hasil Analisis

Kajian analisis gambar 4.5 dan 4.6, pada gambar 4.5 dapat kita analisis bahwa *throughput* yang dihasilkan akan lebih besar pada 16 bit dan 64 bit tanpa *acknowledgment* (NACK), sama halnya pada gambar 4.6 dimana *bandwidth efficiency* pada 16 bit dan 64 bit tanpa *acknowledgment* (NACK) akan lebih besar dibandingkan dengan *address bits* yang memakai *acknowledgment* (ACK), hal ini terjadi karena waktu transmisi akan lebih pendek untuk *bit address* tanpa *acknowledgment* (NACK) dibandingkan dengan *address bits* dengan *acknowledgment* (ACK) sehingga didapat *throughput* dan *bandwidth efficiency* yang lebih besar.

Listing program untuk gambar 4.4, 4.5, dan 4.6 terlampir dalam lampiran II.

4.4.3 Perbandingan perhitungan *delay* secara teori dengan *Standard IEEE spesifikasi 802.15.4 (Low Rate WPAN)*

Perbandingan perhitungan secara teori dengan *Standard IEEE spesifikasi 802.15.4 (Low Rate WPAN)* dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan 4.11.

Tabel 4.10 Perbandingan nilai *delay* secara teori dengan *Standard IEEE spesifikasi 802.15.4 (Low Rate WPAN)*

	# address bits		915 Mhz	2,4 Ghz
			<i>Minimum delay (ms)</i>	<i>Minimum delay (ms)</i>
Perhitungan	16 bits	ACK	9,15	2,5
		no ACK	6,65	2,0
	64 bits	ACK	7,85	2,7
		no ACK	7,85	2,2
Standard IEEE 802.15.4	16 bits	ACK	10,35	3,46
		no ACK	7,85	3,92
	64 bits	ACK	11,45	3,30
		No ACK	8,95	2,75

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa nilai *minimum delay* untuk perhitungan secara teori dibawah nilai *minimum delay Standard* IEEE spesifikasi 802.15. 4 (*Low Rate WPAN*). Dengan demikian nilai tersebut sudah memenuhi Standar IEEE spesifikasi 802.15. 4 (*Low Rate WPAN*) yang menetapkan nilai *minimum delay* adalah tidak boleh melebihi dari nilai standar.



