Bab 7
Analisis Hasil Eksperimen

7.1. Tingkat Performansi Sistem Aktual

Skenario yang dijalankan pada model simulasi dengan konfigurasi sistem aktual berhasil menunjukan tingkat performansi sistem meliputi tingkat utilisasi dan panjang antrian maksimum. Tingkat utilisasi gardu hasil skenario model simulasi dengan konfigurasi sistem aktual ditunjukan pada tabel 7.1 sedangkan panjang antrian maksimum yang terjadi ditunjukan pada tabel 7.2.

Tabel 7.1. %Utilisasi hasil skenario konfigurasi sistem aktual

		% Utilisasi							
Replikasi	**Arrival**	**Gardu 2**	**Gardu 4**	**Gardu 8**	**Gardu 10**	**Gardu 12**	**Gardu 14**	**Gardu 16**	**Gardu 18**
1	27139	42.49	57.96	48.75	48.02	55.22	53.65	45.59	40.68
2	29381	47.56	63.14	51.83	51.73	59.43	58.67	50.02	45.62
3	27118	42.72	58.03	49.47	48.54	54.53	53.17	45.12	40.76
4	27236	43.07	58.26	49.24	48.55	55.11	54.52	45.19	41.30
5	28535	45.58	60.67	50.63	49.90	58.23	56.55	48.37	43.41
6	28284	45.87	60.85	50.45	49.96	56.97	55.54	48.18	42.18
7	29149	46.56	63.13	51.74	51.17	59.28	57.69	49.29	44.18
8	30227	49.61	64.67	53.48	51.94	61.20	60.33	51.58	46.09
9	25357	38.95	55.00	46.88	46.04	51.47	50.59	41.55	37.07
10	29540	47.51	62.62	52.17	51.90	60.35	59.11	50.58	45.43
11	28417	44.89	60.85	50.79	50.32	57.15	56.28	48.06	43.02
12	28339	44.86	60.92	50.52	50.67	57.58	56.43	47.71	42.74
13	26293	40.53	56.76	47.97	47.63	52.71	51.70	43.71	39.10
14	27358	42.74	58.78	50.16	48.67	55.62	54.47	47.02	40.66
15	30465	50.26	64.82	53.13	52.77	61.65	60.24	52.02	47.38
16	28997	46.66	62.72	52.05	51.22	58.35	57.75	48.95	43.74
17	27101	42.65	57.87	49.20	48.09	54.28	54.04	44.75	41.08
18	26788	41.81	57.55	49.17	48.30	54.75	53.37	44.75	39.82
19	26923	42.18	57.93	48.95	48.53	54.03	53.86	44.58	40.86
20	24901	38.14	53.89	46.19	45.53	50.54	49.77	41.19	36.10
21	26670	41.08	57.69	49.46	47.42	53.45	52.32	45.07	39.04
22	26875	42.43	58.05	49.10	48.43	54.34	53.07	44.98	40.18
23	27878	43.99	60.30	49.76	49.42	56.79	55.22	46.59	41.75
24	27835	44.28	59.53	49.84	49.02	56.45	55.02	46.86	41.63
25	29930	47.88	64.09	52.72	52.38	59.90	59.47	51.06	45.48
Rata-Rata	27869.44	44.172	59.843	50.146	49.446	56.375	55.313	46.911	41.972

Tabel 7.2. Panjang antrian maksimum hasil skenario konfigurasi sistem aktual

Replikasi	Arrival	Panjang antrian maksimum							
		Gardu 2	Gardu 4	Gardu 8	Gardu 10	Gardu 12	Gardu 14	Gardu 16	Gardu 18
1	27139	6	5	5	6	5	6	5	4
2	29381	5	5	6	6	6	5	5	5
3	27118	6	5	7	6	5	5	5	5
4	27236	6	5	5	7	5	5	6	5
5	28535	5	5	6	6	6	6	5	6
6	28284	5	5	5	6	5	5	6	5
7	29149	5	6	7	7	6	6	6	6
8	30227	5	6	6	6	5	6	6	6
9	25357	4	5	6	5	5	4	4	4
10	29540	7	5	6	7	6	5	5	5
11	28417	5	6	6	6	5	5	6	5
12	28339	4	6	6	6	5	5	5	5
13	26293	4	5	5	6	6	5	4	5
14	27358	5	5	5	6	5	5	5	6
15	30465	5	5	6	6	5	6	5	6
16	28997	6	5	6	6	6	5	5	6
17	27101	5	5	5	6	5	4	6	5
18	26788	4	4	6	5	5	5	5	4
19	26923	6	6	5	6	6	5	5	6
20	24901	4	5	5	8	5	5	5	4
21	26670	4	5	6	6	6	5	4	6
22	26875	7	5	6	5	5	6	5	5
23	27878	5	5	6	5	5	6	5	4
24	27835	5	5	6	6	7	5	5	5
25	29930	5	5	6	5	6	6	5	7
Rata-rata	27869.44	5.12	5.16	5.76	6	5.44	5.24	5.12	5.2

Berdasarkan tabel 7.1 dan tabel 7.2 di atas, estimasi tingkat performansi sistem aktual dapat diidentifikasi dari 25 replikasi model yang dijalankan. Hasil tersebut menunjukan nilai rata-rata kedatangan harian sebesar 27869 dengan estimasi tingkat utilisasi harian rata-rata dan panjang antrian maksimum dalam sistem aktual untuk setiap gardu yang dibuka adalah sebagai berikut:

a. Pada gardu 2 diperoleh estimasi tingkat utilisasi sebesar 44.172% dan panjang antrian maksimum sebanyak 5.12 kendaraan pada *peak hours*.
b. Pada gardu 4 diperoleh estimasi utilisasi sebesar 59.832% dan panjang antrian maksimum sebanyak 5.16 kendaraan pada *peak hours*.
c. Pada gardu 8 diperoleh estimasi tingkat utilisasi sebesar 50.146% dan panjang antrian maksimum sebanyak 5.76 kendaraan pada *peak hours*.

d. Pada gardu 10 diperoleh estimasi tingkat utilisasi sebesar 49.446% dan panjang antrian maksimum sebanyak 6 kendaraan pada *peak hours*.
e. Pada gardu 12 diperoleh estimasi tingkat utilisasi sebesar 56.375% dan panjang antrian maksimum sebanyak 5.44 kendaraan pada *peak hours*.
f. Pada gardu 14 diperoleh estimasi tingkat utilisasi sebesar 55.313% dan panjang antrian maksimum sebanyak 5.24 kendaraan pada *peak hours*.
g. Pada gardu 16 diperoleh estimasi tingkat utilisasi sebesar 46.911% dan panjang antrian maksimum sebanyak 5.12 kendaraan pada *peak hours*.
h. Pada gardu 18 diperoleh estimasi tingkat utilisasi sebesar 41.972% dan panjang antrian maksimum sebanyak 5.2 kendaraan pada *peak hours*.

7.3. Analisis Jumlah Gardu Optimal Operasional Per Jam

Berdasarkan eksperimentasi model menggunakan 160 skenario yang dijalankan, diperoleh pengaturan gardu optimal yang harus dibuka untuk memaksimasi tingkat utilisasi atau meminimasi antrian rata-rata tanpa mengakibatkan kemacetan atau inefisiensi utilitas gardu yang berlebihan.

Tabel 7.3. Siklus kedatangan harian kendaraan

Interval waktu		**Persentase**
05:30:00	**06:30:00**	3.09%
06:30:00	**07:30:00**	4.08%
07:30:00	**08:30:00**	5.04%
08:30:00	**09:30:00**	5.38%
09:30:00	**10:30:00**	5.68%
10:30:00	**11:30:00**	5.56%
11:30:00	**12:30:00**	5.20%
12:30:00	**13:30:00**	4.90%
13:30:00	**14:30:00**	5.40%
14:30:00	**15:30:00**	5.69%
15:30:00	**16:30:00**	5.89%
16:30:00	**17:30:00**	6.22%
17:30:00	**18:30:00**	5.85%
18:30:00	**19:30:00**	5.37%
19:30:00	**20:30:00**	4.85%
20:30:00	**21:30:00**	4.15%
21:30:00	**22:30:00**	3.65%
22:30:00	**23:30:00**	2.92%
23:30:00	**00:30:00**	2.35%
00:30:00	**01:30:00**	2.02%
01:30:00	**02:30:00**	1.70%
02:30:00	**03:30:00**	1.57%
03:30:00	**04:30:00**	1.62%
04:30:00	**05:30:00**	1.82%
Total		100.00%

Menggunakan hasil tersebut dapat diidentifikasi pengaturan gardu optimal yang harus dibuka pada setiap jam dengan asumsi tidak ada perubahan signifikan dari siklus kedatangan harian kendaraan. Siklus kedatangan harian yang digunakan ditunjukan pada tabel 7.3.

Identifikasi pengaturan gardu optimal yang harus dibuka pada setiap jam dilakukan dengan mempertimbangkan tingkat utilisasi yang diperoleh. Pengaturan gardu optimal yang dianalisis dibuat berdasarkan beberapa batasan tingkat utilisasi maksimal gardu yaitu 50%, 60%, 70%, 80%, dan 90% dengan asumsi jumlah gardu tersedia tetap yaitu 8 gardu. Untuk menentukan pengaturan gardu yang optimal volume kendaraan harian yang digunakan adalah rata-rata volume kendaraan harian hasil skenario eksperimen sistem aktual pada tabel 7.2 yaitu sebesar 27869 kendaraan. Menggunakan siklus kedatangan harian pada tabel 7.3 dengan volume kendaraan sebesar 27869 diperoleh ekspektasi volume kendaraan pada setiap interval waktu dan perbandingan jumlah gardu optimal yang dibuka beserta rata-rata tingkat utilisasinya pada tabel 7.4.

Tabel 7.4. Perbandingan hasil output tingkat utilisasi konfigurasi sistem aktual dengan konfigurasi hasil optimasi

Interval waktu		Volume kendaraan	Kondisi Aktual		Hasil skenario eksperimen									
					Utilisasi maks 50%		Utilisasi maks 60%		Utilisasi maks 70%		Utilisasi maks 80%		Utilisasi maks 90%	
			Gardu dibuka	%utilisasi	Gardu dibuka	%utilisasi	Gardu dibuka	%utilisasi	Gardu dibuka	%utilisasi	Gardu dibuka	%utilisasi	Gardu dibuka	%utilisasi
05:30:00	06:30:00	862	8	36.97	6	49.53	5	59.46	5	59.46	4	72.79	4	72.79
06:30:00	07:30:00	1138	8	48.7	8	48.82	7	55.83	6	65.09	5	78.74	5	78.74
07:30:00	08:30:00	1405	8	61.22	8	59.96	8	59.96	7	68.71	7	68.71	6	80.15
08:30:00	09:30:00	1500	8	65.94	8	63.92	8	63.92	8	63.92	7	73.30	6	85.51
09:30:00	10:30:00	1583	8	69.84	8	67.39	8	67.39	8	67.39	7	77.30	6	90.19
10:30:00	11:30:00	1550	8	69.05	8	66.01	8	66.01	8	66.01	7	75.71	6	88.32
11:30:00	12:30:00	1450	8	63.99	8	61.84	8	61.84	8	61.84	7	70.89	6	82.69
12:30:00	13:30:00	1366	8	59.21	8	58.33	8	58.33	7	66.83	6	77.95	6	77.95
13:30:00	14:30:00	1505	8	66.03	8	64.13	8	64.13	8	64.13	7	73.54	6	85.79
14:30:00	15:30:00	1586	8	69.65	8	67.51	8	67.51	8	67.51	7	77.45	6	90.35
15:30:00	16:30:00	1642	8	73.36	8	69.85	8	69.85	8	69.85	8	69.85	7	80.15
16:30:00	17:30:00	1734	8	76.27	8	73.69	8	73.69	8	73.69	8	73.69	7	84.59
17:30:00	18:30:00	1631	8	73.56	8	69.39	8	69.39	8	69.39	8	69.39	7	79.62
18:30:00	19:30:00	1497	8	65.79	8	63.80	8	63.80	8	63.80	7	73.15	6	85.34
19:30:00	20:30:00	1352	8	59.92	8	57.75	8	57.75	7	66.16	6	77.16	6	77.16
20:30:00	21:30:00	1157	8	51.34	8	49.62	7	56.74	6	66.16	6	66.16	5	80.06
21:30:00	22:30:00	1018	6	44.88	8	43.82	6	58.33	6	58.33	5	70.35	4	85.21
22:30:00	23:30:00	814	6	47.68	6	46.82	5	56.11	4	68.97	4	68.97	4	68.97
23:30:00	00:30:00	655	6	38.6	5	45.00	4	56.31	4	56.31	3	75.93	3	75.93
00:30:00	01:30:00	563	6	34.38	4	48.99	4	48.99	3	65.35	3	65.35	3	65.35
01:30:00	02:30:00	474	6	28.08	4	41.90	3	55.12	3	55.12	3	55.12	3	55.12
02:30:00	03:30:00	438	6	25.37	4	39.04	3	50.99	3	50.99	3	50.99	3	50.99
03:30:00	04:30:00	452	6	26.91	4	40.15	3	52.60	3	52.60	3	52.60	3	52.60
04:30:00	05:30:00	508	6	29.16	4	44.61	3	59.03	3	59.03	3	59.03	3	59.03

Rata-rata	**53.58**	**-**	**55.91**	**-**	**60.55**	**-**	**63.61**	**-**	**69.76**	**-**	**76.36**

Tabel 7.5. Perbandingan hasil output panjang antrian maksimum sistem aktual dengan hasil optimasi

Interval waktu		**Volume kendaraan**	**Kondisi Aktual**		**Hasil skenario eksperimen**									
					Utilisasi maks 50%		**Utilisasi maks 60%**		**Utilisasi maks 70%**		**Utilisasi maks 80%**		**Utilisasi maks 90%**	
			Gardu dibuka	**Panjang antrian**	**Gardu dibuka**	**Panjang antrian**	**Gardu dibuka**	**Panjang antrian**	**Gardu dibuka**	**Panjang antrian**	**Gardu dibuka**	**Panjang antrian**	**Gardu dibuka**	**Panjang antrian**
05:30:00	**06:30:00**	862	8	3	6	5	5	5	5	5	4	6	4	6
06:30:00	**07:30:00**	1138	8	4	8	4	7	4	6	5	5	6	5	6
07:30:00	**08:30:00**	1405	8	5	8	5	8	5	7	5	7	5	6	6
08:30:00	**09:30:00**	1500	8	5	8	5	8	5	8	5	7	5	6	7
09:30:00	**10:30:00**	1583	8	5	8	5	8	5	8	5	7	6	6	8
10:30:00	**11:30:00**	1550	8	5	8	5	8	5	8	5	7	6	6	8
11:30:00	**12:30:00**	1450	8	5	8	5	8	5	8	5	7	5	6	7
12:30:00	**13:30:00**	1366	8	5	8	5	8	5	7	5	6	6	6	6
13:30:00	**14:30:00**	1505	8	5	8	5	8	5	8	5	7	5	6	7
14:30:00	**15:30:00**	1586	8	5	8	5	8	5	8	5	7	6	6	8
15:30:00	**16:30:00**	1642	8	5	8	5	8	5	8	5	8	5	7	7
16:30:00	**17:30:00**	1734	8	5	8	5	8	5	8	5	8	5	7	7
17:30:00	**18:30:00**	1631	8	5	8	5	8	5	8	5	8	5	7	7
18:30:00	**19:30:00**	1497	8	5	8	5	8	5	8	5	7	5	6	7
19:30:00	**20:30:00**	1352	8	5	8	5	8	5	7	5	6	5	6	6
20:30:00	**21:30:00**	1157	8	4	8	4	7	4	6	5	6	5	5	6
21:30:00	**22:30:00**	1018	6	4	8	3	6	3	6	5	5	5	4	9
22:30:00	**23:30:00**	814	6	4	6	4	5	4	4	5	4	5	4	5
23:30:00	**00:30:00**	655	6	4	5	4	4	4	4	5	3	9	3	9
00:30:00	**01:30:00**	563	6	3	4	4	4	4	3	5	3	6	3	6
01:30:00	**02:30:00**	474	6	3	4	4	3	5	3	5	3	5	3	5
02:30:00	**03:30:00**	438	6	3	4	4	3	5	3	5	3	5	3	5
03:30:00	**04:30:00**	452	6	3	4	4	3	5	3	5	3	5	3	5
04:30:00	**05:30:00**	508	6	3	4	4	3	5	3	5	3	5	3	5
Antrian tertinggi														

Catatan: Panjang antrian dalam satuan unit mobil

Berdasarkan hasil pada tabel 7.5 dan 7.6, jika dibandingkan dengan performansi sistem aktual hasil skenario eksperimen terjadi perubahan performansi sebagai berikut:

1. Pada perbandingan hasil optimasi batas utilisasi maksimum 50% dengan hasil performansi aktual diperoleh peningkatan utilisasi rata-rata harian sebesar 2.33% menjadi 55.91% dengan pengurangan 1 hingga 2 gardu pada beberapa interval waktu. Selain itu diperoleh panjang antrian maksimum harian sebanyak 5 kendaraan pada *peak hours,* sama seperti panjang antrian maksimum harian performansi aktual hanya peningkatan antrian sebanyak 1 kendaraan pada pukul 00:30 hingga 5:30.
2. Pada perbandingan hasil optimasi batas utilisasi maksimum 60% dengan hasil performansi aktual diperoleh peningkatan utilisasi rata-rata harian sebesar 6.97% menjadi 60.55% dengan pengurangan 1 hingga 3 gardu pada

beberapa interval waktu tanpa menyebabkan perubahan panjang antrian maksimum yang terjadi baik pada *peak hours* maupun jam-jam normal.

3. Pada perbandingan hasil optimasi batas utilisasi maksimum 70% dengan hasil performansi aktual diperoleh peningkatan utilisasi rata-rata harian sebesar 10.03% menjadi 63.61% dengan pengurangan 1 hingga 3 gardu pada beberapa interval waktu. Hal ini menyebabkan peningkatan antrian maksimum pada jam-jam malam menjadi 5 kendaraan namun tidak terjadi peningkatan pada antrian maksimum pada *peak hours*.
4. Pada perbandingan hasil optimasi batas utilisasi maksimum 80% dengan hasil performansi aktual diperoleh peningkatan utilisasi rata-rata harian sebesar 16.18% menjadi 69.76% dengan pengurangan 1 hingga 3 gardu pada beberapa interval waktu. Hal ini menyebabkan peningkatan antrian maksimum baik pada *peak hours* maupun jam normal sebesar 1 hingga 4 kendaraan.
5. Pada perbandingan hasil optimasi batas utilisasi maksimum 80% dengan hasil performansi aktual diperoleh peningkatan utilisasi rata-rata harian sebesar 22.78% menjadi 76.36% dengan pengurangan 1 hingga 3 gardu pada mayoritas interval waktu. Hal ini menyebabkan peningkatan antrian maksimum baik pada *peak hours* maupun jam normal sebesar 2 hingga 5 kendaraan.

7.3. Analisis Beban Kerja Operator

Beban kerja operator pada setiap gardu diukur berdasarkan tingkat utilisasi pada setiap shift yang diperoleh dari hasil skenario model dengan konfigurasi sistem aktual. Kemudian dibandingkan dengan konfigurasi gardu hasil optimasi untuk setiap batasan. Perbandingan dilakukan dengan membandingkan deviasi dari setiap utilisasi pada setiap shift pada hasil aktual dengan setiap skenario optimasi.

Tabel 7.6. Beban kerja operator hasil skenario konfigurasi sistem aktual (persen)

	%Utilisasi								Rata-rata
Shift	**Gardu2**	**Gardu4**	**Gardu8**	**Gardu10**	**Gardu12**	**Gardu14**	**Gardu16**	**Gardu18**	
Shift1	48.53	63.37	71.85	70.7	59.77	58.44	50.22	45.42	58.5375

Shift2	56.93	70.91	78.46	77.53	67.32	66.32	58.4	53.27	66.1425
Shift3	27.06	45.25	0	0	42.03	41.18	32.12	27.22	26.8575

Pada tabel 7.6 terlihat terjadi ketidakseimbangan beban kerja pada setiap shift. Pada shift 1 dan shift 2 beban kerja operator gardu 4, 8 dan gardu 10 cenderung lebih besar dari rata-rata beban kerja pada shift tersebut. Selain itu terlihat pula ketidakseimbangan beban kerja rata-rata setiap shift. Beban kerja pada shift 1 dan shift 2 lebih besar jika dibandingkan dengan shift 3.

Tabel 7.7. Perbandingan beban kerja rata-rata operator hasil optimasi dengan performansi aktual

Shift	**Aktual**	**Optimasi utilisasi maks 50%**	**Optimasi utilisasi maks 60%**	**Optimasi utilisasi maks 70%**	**Optimasi utilisasi maks 80%**	**Optimasi utilisasi maks 90%**
Shift1	58.5375	59.475	61.593	64.906	74.424	82.043
Shift2	66.1425	64.468	65.358	67.586	72.549	82.883
Shift3	26.8575	43.791	54.685	58.338	62.293	64.150
Standar deviasi	20.83575	10.78932	5.41308	4.758265	6.530216	10.58135

Berdasarkan hasil perbandingan pada tabel 7.7 dapat diidentifikasi bahwa untuk meratakan beban kerja opsi optimasi dengan batasan utilisasi 70% memberikan hasil yang paling optimal, hal ini terlihat dari nilai standar deviasi yang memiliki nilai terkecil dibandingkan dengan opsi lain termasuk kondisi aktual sistem.

7.4. Analisis Kapasitas Maksimum Gardu

Berdasarkan hasil eksperimentasi yang dilakukan diperoleh hasil bahwa gerbang tol Cileunyi memiliki kapasitas maksimum sebesar 41000 kendaraan per hari dimana setelah volume meningkat dari nilai tersebut akan terjadi kemacetan berlebih. Pada tahun 2013 volume kendaraan rata-rata berada pada angka 27680 kendaraan per hari dan tahun 2014 berada pada angka 29150 kendaraan per hari[1] maka dapat terlihat peningkatan sebesar 1470 kendaraan atau sebesar 5%. Jika diasumsikan peningkatan tetap sebesar 5% setiap tahun maka dapat diperkirakan

[1] Diperoleh dari data rekapitulasi volume lalu lintas transaksi cabang Purbaleunyi tahun 2013 – 2015 PT Jasamarga.

volume kendaraan per hari pada tahun-tahun berikutnya. Perkiraan tersebut dapat dilihat pada tabel 7.8.

Tabel 7.8. Perkiraan peningkatan volume kendaraan per hari di gerbang tol Cileunyi

Tahun	**Volume per hari**
2013	27686
2014	29152
2015	30609.58
2016	32140.06
2017	33747.06
2018	35434.41
2019	37206.14
2020	39066.44
2021	41019.76
2022	43070.75

Berdasarkan tabel 7.11 dan data hasil eksperimen maka diperkirakan gerbang tol Cileunyi akan mengalami *overcapacity* pada tahun 2021, itupun jika peningkatan volume kendaraan tetap setiap tahun yaitu sebesar 5%. Jika ternyata peningkatan volume kendaraan semakin besar setiap tahun maka *overcapacity* dapat terjadi lebih cepat.