LAMPIRAN I

PERHITUNGAN KEBUTUHAN AIR PANAS RATA-RATA UNTUK HOTEL

Analisis sistem..., Amir Erlangga, FT UI, 2008

Tabel I. Perhitungan kebutuhan air panas untuk hotel[3].

	Liter/Jam	Kamar Hotel	Cottage	Persen	Total (Liter/Jam)
Bak Cuci Tangan	7,60	217,00	48,00	0,70	1.127,84
Bak Cuci Tangan (umum)	30,00				30,00
Bak Mandi Rendam *	0,00				0,00
Mesin Cuci Piring	250,00				250,00
Bak Rendam Kaki	11,40				11,40
Bak Cuci Dapur	114,00				114,00
Bak Cuci Kecil, Dapur	38,00				38,00
Bak Cuci Pakaian	106,00				106,00
Bak Cuci Pel	114,00				114,00
Pancuran Mandi *	284,00				42.145,60
Bak Cuci Bulat	76,00				76,00
Bak Cuci Bulat Setengah Bulat	38,00				38,00
Faktor Pemakaian	0,25				
TOTAL					
(ltr/jam)					11.012,71
(ltr/bln)					7.929.151,20
Selisih Temperatur air panas					
40,00					
Q (kJ/bln)					1.332.097.401,60
Daya Pemanas Qh (kW)					513,93

Untuk perhitungan jumlah kebutuhan air panas pada bak mandi rendam dan pancuran mandi, diperhitungkan hanya salah satunya saja karena hampir tidak pernah terjadi orang mengisi bak mandi rendamnya sambil menggunakan pancuran mandinya secara bersamaan pada kapasitas penuh, dan pengguna bak mandi diasumsikan sebesar 80% orang yang menggunakannya.

[3] Soufyan Moh. Noerbambang, Takeo Morimura, Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing, Pradnya Paramita, 1993, halaman 114.

Analisis sistem..., Amir Erlangga, FT UI, 2008

LAMPIRAN II

TABEL PERHITUNGAN SISTEM CCHP
DENGAN KONFIGURASI *DIESEL ENGINE*

Analisis sistem..., Amir Erlangga, FT UI, 2008

Tabel II.A Biaya bahan bakar dengan sistem CCHP dengan konfigurasi *Diesel Engine* aktif 24 jam.

(%) Daya AC	Q_{gen} (kW)	Q_f (kW)	E_L (kW)	Q_h (kW)	Surplus Listrik (kW)	Surplus Heat (kW)	Biaya Bahan Bakar (Rp/bln)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	-900,36	-513,93	0,00
10	241,97	1.244,42	391,99	315,40	-465,19	-198,53	771.450.971,32
20	483,94	2.488,84	783,98	630,79	-30,02	116,86	1.542.901.942,64
30	725,91	3.733,25	1.175,97	946,19	405,14	432,26	2.314.352.913,96
40	967,88	4.977,67	1.567,97	1.261,59	840,31	747,66	3.085.803.885,28
50	1.209,85	6.222,09	1.959,96	1.576,98	1.275,48	1.063,05	3.857.254.856,60
60	1.451,82	7.466,51	2.351,95	1.892,38	1.710,65	1.378,45	4.628.705.827,92
70	1.693,79	8.710,93	2.743,94	2.207,77	2.145,81	1.693,84	5.400.156.799,24
80	1.935,76	9.955,34	3.135,93	2.523,17	2.580,98	2.009,24	6.171.607.770,56
90	2.177,73	11.199,76	3.527,92	2.838,57	3.016,15	2.324,64	6.943.058.741,87
100	2.419,70	12.444,18	3.919,92	3.153,96	3.451,32	2.640,03	7.714.509.713,19

Tabel II.B. Biaya total sistem CCHP dengan konfigurasi *Diesel Engine* aktif 24 jam.

(%) Daya AC	Biaya Solar Boiler (Rp/bln)	Biaya PLN (Rp/bln)	Biaya Tanpa CCHP (Rp/bln)	Biaya CCHP Total (Rp/bln)
0	354.507.399,00	404.354.823,97	758.862.222,97	758.862.222,97
10	136.947.935,68	208.919.514,54	758.862.222,97	1.117.318.421,54
20	-80.611.527,64	13.484.205,12	758.862.222,97	1.556.386.147,76
30	-298.170.990,96	-181.951.104,30	758.862.222,97	2.314.352.913,96
40	-515.730.454,28	-377.386.413,73	758.862.222,97	3.085.803.885,28
50	-733.289.917,59	-572.821.723,15	758.862.222,97	3.857.254.856,60
60	-950.849.380,91	-768.257.032,57	758.862.222,97	4.628.705.827,92
70	-1.168.408.844,23	-963.692.341,99	758.862.222,97	5.400.156.799,24
80	-1.385.968.307,55	-1.159.127.651,42	758.862.222,97	6.171.607.770,56
90	-1.603.527.770,87	-1.354.562.960,84	758.862.222,97	6.943.058.741,87
100	-1.821.087.234,19	-1.549.998.270,26	758.862.222,97	7.714.509.713,19

Tabel II.C. Biaya konfigurasi dengan *Diesel Engine* aktif pada WBP

(%) Daya AC	Q_{gen} (kW)	Q_F (kW)	E_L (kW)	Q_h (kW)	Surplus Listrik (kW)	Surplus Heat (kW)	Biaya Bahan Bakar (Rp/bln)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	-900,36	-513,93	0,00
10	241,97	1.244,42	391,99	315,40	-465,19	-198,53	128.575.161,89
20	483,94	2.488,84	783,98	630,79	-30,02	116,86	257.150.323,77
30	725,91	3.733,25	1.175,97	946,19	405,14	432,26	385.725.485,66
40	967,88	4.977,67	1.567,97	1.261,59	840,31	747,66	514.300.647,55
50	1.209,85	6.222,09	1.959,96	1.576,98	1.275,48	1.063,05	642.875.809,43
60	1.451,82	7.466,51	2.351,95	1.892,38	1.710,65	1.378,45	771.450.971,32
70	1.693,79	8.710,93	2.743,94	2.207,77	2.145,81	1.693,84	900.026.133,21
80	1.935,76	9.955,34	3.135,93	2.523,17	2.580,98	2.009,24	1.028.601.295,09
90	2.177,73	11.199,76	3.527,92	2.838,57	3.016,15	2.324,64	1.157.176.456,98
100	2.419,70	12.444,18	3.919,92	3.153,96	3.451,32	2.640,03	1.285.751.618,87

Tabel II.D. Biaya total kombinasi CCHP konfigurasi dengan *Diesel Engine* aktif pada WBP.

Daya AC (%)	Biaya Solar Boiler (Rp/bln)	Biaya PLN (Rp/bln)	Biaya Tanpa CCHP (Rp/bln)	Biaya CCHP Total (Rp/bln)	Listrik LWBP (Rp/bln)	Solar LWBP (Rp/bln)	Cost WBP + LWBP (kombinasi)
0	59.084.566,50	91.070.362,21	150.154.928,71	150.154.928,71	176.746.464,00	295.422.832,89	754.122.960,50
10	22.824.655,95	50.464.202,28	150.154.928,71	201.864.020,11	176.746.464,00	295.422.832,89	805.832.051,90
20	-13.435.254,61	3.257.089,97	150.154.928,71	260.407.413,74	176.746.464,00	295.422.832,89	864.375.445,53
30	-49.695.165,16	-43.950.022,34	150.154.928,71	385.725.485,66	176.746.464,00	295.422.832,89	989.693.517,45
40	-85.955.075,71	-91.157.134,66	150.154.928,71	514.300.647,55	176.746.464,00	295.422.832,89	1.118.268.679,34
50	-122.214.986,27	-138.364.246,97	150.154.928,71	642.875.809,43	176.746.464,00	295.422.832,89	1.246.843.841,22
60	-158.474.896,82	-185.571.359,28	150.154.928,71	771.450.971,32	176.746.464,00	295.422.832,89	1.375.419.003,11
70	-194.734.807,37	-232.778.471,59	150.154.928,71	900.026.133,21	176.746.464,00	295.422.832,89	1.503.994.165,00
80	-230.994.717,93	-279.985.583,90	150.154.928,71	1.028.601.295,09	176.746.464,00	295.422.832,89	1.632.569.326,88
90	-267.254.628,48	-327.192.696,21	150.154.928,71	1.157.176.456,98	176.746.464,00	295.422.832,89	1.761.144.488,77
100	-303.514.539,03	-374.399.808,52	150.154.928,71	1.285.751.618,87	176.746.464,00	295.422.832,89	1.889.719.650,66

Tabel II.E. Biaya konfigurasi dengan *Diesel Engine* aktif pada LWBP

Daya AC (%)	Q_{gen} (kW)	Q_F (kW)	E_L (kW)	Q_h (kW)	Surplus Listrik (kW)	Surplus Heat (kW)	Biaya Bahan Bakar (Rp/bln)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	-900,36	-513,93	0,00
10	241,97	1.244,42	391,99	315,40	-465,19	-198,53	642.875.809,43
20	483,94	2.488,84	783,98	630,79	-30,02	116,86	1.285.751.618,87
30	725,91	3.733,25	1.175,97	946,19	405,14	432,26	1.928.627.428,30
40	967,88	4.977,67	1.567,97	1.261,59	840,31	747,66	2.571.503.237,73
50	1.209,85	6.222,09	1.959,96	1.576,98	1.275,48	1.063,05	3.214.379.047,16
60	1.451,82	7.466,51	2.351,95	1.892,38	1.710,65	1.378,45	3.857.254.856,60
70	1.693,79	8.710,93	2.743,94	2.207,77	2.145,81	1.693,84	4.500.130.666,03
80	1.935,76	9.955,34	3.135,93	2.523,17	2.580,98	2.009,24	5.143.006.475,46
90	2.177,73	11.199,76	3.527,92	2.838,57	3.016,15	2.324,64	5.785.882.284,90
100	2.419,70	12.444,18	3.919,92	3.153,96	3.451,32	2.640,03	6.428.758.094,33

Tabel II.F. Tabel II.D. Biaya total kombinasi CCHP konfigurasi dengan *Diesel Engine* aktif pada LWBP.

Daya AC (%)	Biaya Solar Boiler (Rp/bln)	Biaya PLN (Rp/bln)	Biaya Tanpa CCHP (Rp/bln)	Biaya CCHP Total (Rp/bln)	Listrik WBP	Solar (WBP)	Cost LWBP + WBP (kombinasi)
0	295.422.832,50	176.744.022,38	472.166.854,88	472.166.854,88	91.071.373,70	59.084.566,50	754.121.529,98
10	114.123.279,73	70.492.600,29	472.166.854,88	827.491.689,46	91.071.373,70	59.084.566,50	1.109.446.364,56
20	-67.176.273,03	-35.758.821,79	472.166.854,88	1.285.751.618,87	91.071.373,70	59.084.566,50	1.567.706.293,97
30	-248.475.825,80	-142.010.243,88	472.166.854,88	1.928.627.428,30	91.071.373,70	59.084.566,50	2.210.582.103,40
40	-429.775.378,56	-248.261.665,96	472.166.854,88	2.571.503.237,73	91.071.373,70	59.084.566,50	2.853.457.912,83
50	-611.074.931,33	-354.513.088,05	472.166.854,88	3.214.379.047,16	91.071.373,70	59.084.566,50	3.496.333.722,26
60	-792.374.484,09	-460.764.510,14	472.166.854,88	3.857.254.856,60	91.071.373,70	59.084.566,50	4.139.209.531,70
70	-973.674.036,86	-567.015.932,22	472.166.854,88	4.500.130.666,03	91.071.373,70	59.084.566,50	4.782.085.341,13
80	-1.154.973.589,63	-673.267.354,31	472.166.854,88	5.143.006.475,46	91.071.373,70	59.084.566,50	5.424.961.150,56
90	-1.336.273.142,39	-779.518.776,39	472.166.854,88	5.785.882.284,90	91.071.373,70	59.084.566,50	6.067.836.960,00
100	-1.517.572.695,16	-885.770.198,48	472.166.854,88	6.428.758.094,33	91.071.373,70	59.084.566,50	6.710.712.769,43

Tabel II.G. Biaya konfigurasi dengan *Diesel Engine* aktif pada WBP dan menjual surplus listrik.

Daya AC (%)	Harga Jual Listrik (Rp/kWh)	Income Jual Listrik (Rp/bln)	Biaya Solar Boiler (Rp/bln)	Biaya PLN (Rp/bln)	Biaya Tanpa CCHP (Rp/bln)	Biaya CCHP Total (Rp/bln)
0	800	-86.434.560,00	59.084.566,50	91.070.362,21	150.154.928,71	150.154.928,71
10	800	-44.658.466,39	22.824.655,95	50.464.202,28	150.154.928,71	201.864.020,11
20	800	-2.882.372,78	-13.435.254,61	3.257.089,97	150.154.928,71	260.407.413,74
30	800	38.893.720,84	-49.695.165,16	-43.950.022,34	150.154.928,71	346.831.764,82
40	800	80.669.814,45	-85.955.075,71	-91.157.134,66	150.154.928,71	433.630.833,10
50	800	122.445.908,06	-122.214.986,27	-138.364.246,97	150.154.928,71	520.429.901,37
60	800	164.222.001,67	-158.474.896,82	-185.571.359,28	150.154.928,71	607.228.969,65
70	800	205.998.095,28	-194.734.807,37	-232.778.471,59	150.154.928,71	694.028.037,92
80	800	247.774.188,90	-230.994.717,93	-279.985.583,90	150.154.928,71	780.827.106,20
90	800	289.550.282,51	-267.254.628,48	-327.192.696,21	150.154.928,71	867.626.174,47
100	800	331.326.376,12	-303.514.539,03	-374.399.808,52	150.154.928,71	954.425.242,75

Tabel II.H. Biaya konfigurasi dengan *Diesel Engine* aktif pada LWBP dan menjual surplus listrik.

Daya AC (%)	Harga Jual	Income Jual Listrik (Rp/bln)	Biaya Solar Boiler (Rp/bln)	Biaya PLN (Rp/bln)	Biaya Tanpa CCHP (Rp/bln)	Biaya CCHP Total (Rp/bln)
0	400	-173.731.200,00	295.422.832,50	176.744.022,38	472.166.854,88	472.166.854,88
10	400	-69.290.965,97	114.123.279,73	70.492.600,29	472.166.854,88	827.491.689,46
20	400	35.149.268,06	-67.176.273,03	-35.758.821,79	472.166.854,88	1.250.602.350,81
30	400	139.589.502,09	-248.475.825,80	-142.010.243,88	472.166.854,88	1.789.037.926,21
40	400	244.029.736,12	-429.775.378,56	-248.261.665,96	472.166.854,88	2.327.473.501,61
50	400	348.469.970,15	-611.074.931,33	-354.513.088,05	472.166.854,88	2.865.909.077,01
60	400	452.910.204,18	-792.374.484,09	-460.764.510,14	472.166.854,88	3.404.344.652,42
70	400	557.350.438,21	-973.674.036,86	-567.015.932,22	472.166.854,88	3.942.780.227,82
80	400	661.790.672,24	-1.154.973.589,63	-673.267.354,31	472.166.854,88	4.481.215.803,22
90	400	766.230.906,27	-1.336.273.142,39	-779.518.776,39	472.166.854,88	5.019.651.378,63
100	400	870.671.140,30	-1.517.572.695,16	-885.770.198,48	472.166.854,88	5.558.086.954,03

Analisis sistem..., Amir Erlangga, FT UI, 2008

Tabel II.I. Biaya konfigurasi dengan *Diesel Engine* aktif 24 jam dan menjual surplus listrik.

(%) AC	Harga Jual LWBP (Rp/kWh)	Harga Jual WBP (Rp/kWh)	Income Jual Listrik (Rp/bln)	Biaya Bahan Bakar (Rp/bln)	Biaya CCHP Total (Rp/bln)	Biaya Tanpa CCHP (Rp/bln)	Selisih Biaya (Rp/bln)
0	400	800,00	-477.342.912,00	0,00	758.862.223,0	758.862.222,97	0,00
10	400	800,00	-241.307.983,09	771.450.971,32	1.117.318.421,5	758.862.222,97	-358.456.198,58
20	400	800,00	-5.273.054,19	1.542.901.942,64	1.556.386.147,8	758.862.222,97	-797.523.924,79
30	400	800,00	230.761.874,72	2.314.352.913,96	2.083.591.039,2	758.862.222,97	-1.324.728.816,27
40	400	800,00	466.796.803,63	3.085.803.885,28	2.619.007.081,6	758.862.222,97	-1.860.144.858,68
50	400	800,00	702.831.732,54	3.857.254.856,60	3.154.423.124,1	758.862.222,97	-2.395.560.901,09
60	400	800,00	938.866.661,44	4.628.705.827,92	3.689.839.166,5	758.862.222,97	-2.930.976.943,51
70	400	800,00	1.174.901.590,35	5.400.156.799,24	4.225.255.208,9	758.862.222,97	-3.466.392.985,92
80	400	800,00	1.410.936.519,26	6.171.607.770,56	4.760.671.251,3	758.862.222,97	-4.001.809.028,33
90	400	800,00	1.646.971.448,17	6.943.058.741,87	5.296.087.293,7	758.862.222,97	-4.537.225.070,74
100	400	800,00	1.883.006.377,07	7.714.509.713,19	5.831.503.336,1	758.862.222,97	-5.072.641.113,15

Analisis sistem..., Amir Erlangga, FT UI, 2008

LAMPIRAN III

TABEL PERHITUNGAN SISTEM CCHP DENGAN KONFIGURASI GAS *ENGINE*

Analisis sistem..., Amir Erlangga, FT UI, 2008

Tabel III.A. Biaya bahan bakar sistem CCHP dengan konfigurasi *Gas Engine* aktif 24 jam.

Daya AC (%)	Q_{gen} (kW)	Q_f (kW)	E_L (kW)	Q_h (kW)	Surplus Listrik (kW)	Surplus Heat (kW)	Biaya Bahan Bakar (Rp/bln)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	-900,36	-513,93	0,00
10	241,97	1340,13	545,43	317,88	-311,75	-196,05	303.027.592,94
20	483,94	2680,26	1090,87	635,76	276,86	121,83	606.055.185,89
30	725,91	4020,39	1636,30	953,63	865,47	439,70	909.082.778,83
40	967,88	5360,52	2181,73	1271,51	1454,08	757,58	1.212.110.371,78
50	1209,85	6700,65	2727,17	1589,39	2042,69	1075,46	1.515.137.964,72
60	1451,82	8040,78	3272,60	1907,27	2631,29	1393,34	1.818.165.557,66
70	1693,79	9380,91	3818,03	2225,15	3219,90	1711,22	2.121.193.150,61
80	1935,76	10721,04	4363,47	2543,03	3808,51	2029,10	2.424.220.743,55
90	2177,73	12061,18	4908,90	2860,90	4397,12	2346,97	2.727.248.336,49
100	2419,70	13401,31	5454,33	3178,78	4985,73	2664,85	3.030.275.929,44

Tabel III.B. Biaya total sistem CCHP dengan konfigurasi *Gas Engine* aktif 24 jam.

Daya AC (%)	Biaya Solar Boiler (Rp/bln)	Biaya PLN (Rp/bln)	Biaya Tanpa CCHP (Rp/bln)	Biaya CCHP Total (Rp/bln)
0	354.507.399,00	404.354.823,97	758.862.222,97	758.862.222,97
10	135.235.894,90	140.008.397,81	758.862.222,97	578.271.885,65
20	-84.035.609,20	-124.338.028,35	758.862.222,97	606.055.185,89
30	-303.307.113,30	-388.684.454,50	758.862.222,97	909.082.778,83
40	-522.578.617,41	-653.030.880,66	758.862.222,97	1.212.110.371,78
50	-741.850.121,51	-917.377.306,81	758.862.222,97	1.515.137.964,72
60	-961.121.625,61	-1.181.723.732,97	758.862.222,97	1.818.165.557,66
70	-1.180.393.129,71	-1.446.070.159,12	758.862.222,97	2.121.193.150,61
80	-1.399.664.633,81	-1.710.416.585,28	758.862.222,97	2.424.220.743,55
90	-1.618.936.137,91	-1.974.763.011,43	758.862.222,97	2.727.248.336,49
100	-1.838.207.642,01	-2.239.109.437,59	758.862.222,97	3.030.275.929,44

Analisis sistem..., Amir Erlangga, FT UI, 2008

Tabel III.C. Biaya konfigurasi dengan *Gas Engine* aktif pada WBP.

Daya AC (%)	Q_{gen} (kW)	Q_f (kW)	E_L (kW)	Q_h (kW)	Surplus Listrik (kW)	Surplus Heat (kW)	Biaya Bahan Bakar (Rp/bln)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	-900,36	-513,93	0,00
10	241,97	1340,13	545,43	317,88	-311,75	-196,05	50.504.598,82
20	483,94	2680,26	1090,87	635,76	276,86	121,83	101.009.197,65
30	725,91	4020,39	1636,30	953,63	865,47	439,70	151.513.796,47
40	967,88	5360,52	2181,73	1271,51	1454,08	757,58	202.018.395,30
50	1209,85	6700,65	2727,17	1589,39	2042,69	1075,46	252.522.994,12
60	1451,82	8040,78	3272,60	1907,27	2631,29	1393,34	303.027.592,94
70	1693,79	9380,91	3818,03	2225,15	3219,90	1711,22	353.532.191,77
80	1935,76	10721,04	4363,47	2543,03	3808,51	2029,10	404.036.790,59
90	2177,73	12061,18	4908,90	2860,90	4397,12	2346,97	454.541.389,42
100	2419,70	13401,31	5454,33	3178,78	4985,73	2664,85	505.045.988,24

Tabel III.D. Biaya total kombinasi CCHP konfigurasi dengan *Gas Engine* aktif pada WBP.

Daya AC (%)	Biaya Solar Boiler (Rp/bln)	Biaya PLN (Rp/bln)	Biaya Tanpa CCHP (Rp/bln)	Biaya CCHP Total (Rp/bln)	Listrik LWBP (Rp/bln)	Solar LWBP (Rp/bln)	WBP + LWBP (kombinasi)
0	59.084.566,50	91.070.362,21	150.154.928,71	150.154.928,71	176.746.464	295.4228.32,9	758.862.222,97
10	22.539.315,82	31.533.234,54	150.154.928,71	104.577.149,18	176.746464	295.4228.32,9	708.545.180,97
20	-14.005.934,87	-28.003.893,13	150.154.928,71	101.009.197,65	176.746.464	295.4228.32,9	704.977.229,44
30	-50.551.185,55	-87.541.020,81	150.154.928,71	151.513.796,47	176.746.464	295.4228.32,9	755.481.828,26
40	-87.096.436,23	-147.078.148,48	150.154.928,71	202.018.395,30	176.746.464	295.4228.32,9	805.986.427,09
50	-123.641.686,92	-206.615.276,15	150.154.928,71	252.522.994,12	176.746.464	295.4228.32,9	856.491.025,91
60	-160.186.937,60	-266.152.403,82	150.154.928,71	303.027.592,94	176.746.464	295.4228.32,9	906.995.624,73
70	-196.732.188,28	-325.689.531,49	150.154.928,71	353.532.191,77	176.746.464	295.4228.32,9	957.500.223,56
80	-233.277.438,97	-385.226.659,17	150.154.928,71	404.036.790,59	176.746.464	295.4228.32,9	1.008.004.822,38
90	-269.822.689,65	-444.763.786,84	150.154.928,71	454.541.389,42	176.746.464	295.4228.32,9	1.058.509.421,21
100	-306.367.940,34	-504.300.914,51	150.154.928,71	505.045.988,24	176.746.464	295.4228.32,9	1.109.014.020,03

Tabel III.E. Biaya konfigurasi dengan *Gas Engine* aktif pada LWBP.

Daya AC (%)	Q_{gen} (kW)	Q_f (kW)	E_L (kW)	Q_h (kW)	Surplus Listrik (kW)	Surplus Heat (kW)	Biaya Bahan Bakar (Rp/bln)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	-900,36	-513,93	0,00
10	241,97	1340,13	545,43	317,88	-311,75	-196,05	252.522.994,12
20	483,94	2680,26	1090,87	635,76	276,86	121,83	505.045.988,24
30	725,91	4020,39	1636,30	953,63	865,47	439,70	757.568.982,36
40	967,88	5360,52	2181,73	1271,51	1454,08	757,58	1.010.091.976,48
50	1209,85	6700,65	2727,17	1589,39	2042,69	1075,46	1.262.614.970,60
60	1451,82	8040,78	3272,60	1907,27	2631,29	1393,34	1.515.137.964,72
70	1693,79	9380,91	3818,03	2225,15	3219,90	1711,22	1.767.660.958,84
80	1935,76	10721,04	4363,47	2543,03	3808,51	2029,10	2.020.183.952,96
90	2177,73	12061,18	4908,90	2860,90	4397,12	2346,97	2.272.706.947,08
100	2419,70	13401,31	5454,33	3178,78	4985,73	2664,85	2.525.229.941,20

Tabel III.F. Biaya total kombinasi CCHP konfigurasi dengan *Gas Engine* aktif pada LWBP.

Daya AC (%)	Biaya Solar Boiler (Rp/bln)	Biaya PLN (Rp/bln)	Biaya Tanpa CCHP (Rp/bln)	Biaya CCHP Total (Rp/bln)	Listrik WBP (Rp/bln)	Solar WBP (Rp/bln)	WBP + LWBP (kombinasi)
0	295.422.832,50	176.744.022,38	472.166.854,88	472.166.854,88	91.071.373,70	59.084.566,50	758.862.222,97
10	112.696.579,08	33.028.008,19	472.166.854,88	398.247.581,39	91.071.373,70	59.084.566,50	698.984.973,98
20	-70.029.674,34	-110.688.006,00	472.166.854,88	505.045.988,24	91.071.373,70	59.084.566,50	805.783.380,83
30	-252.755.927,75	-254.404.020,19	472.166.854,88	757.568.982,36	91.071.373,70	59.084.566,50	1.058.306.374,95
40	-435.482.181,17	-398.120.034,38	472.166.854,88	1.010.091.976,48	91.071.373,70	59.084.566,50	1.310.829.369,07
50	-618.208.434,59	-541.836.048,57	472.166.854,88	1.262.614.970,60	91.071.373,70	59.084.566,50	1.563.352.363,19
60	-800.934.688,01	-685.552.062,76	472.166.854,88	1.515.137.964,72	91.071.373,70	59.084.566,50	1.815.875.357,31
70	-983.660.941,42	-829.268.076,96	472.166.854,88	1.767.660.958,84	91.071.373,70	59.084.566,50	2.068.398.351,43
80	-1.166.387.194,84	-972.984.091,15	472.166.854,88	2.020.183.952,96	91.071.373,70	59.084.566,50	2.320.921.345,55
90	-1.349.113.448,26	-1.116.700.105,34	472.166.854,88	2.272.706.947,08	91.071.373,70	59.084.566,50	2.573.444.339,67
100	-1.531.839.701,68	-1.260.416.119,53	472.166.854,88	2.525.229.941,20	91.071.373,70	59.084.566,50	2.825.967.333,79

Analisis sistem..., Amir Erlangga, FT UI, 2008

LAMPIRAN IV

TABEL PERHITUNGAN SISTEM CCHP
DENGAN KONFIGURASI TURBIN GAS

Analisis sistem..., Amir Erlangga, FT UI, 2008

Tabel IV.A. Biaya bahan bakar sistem CCHP dengan konfigurasi Turbin Gas aktif 24 jam.

Daya AC (%)	Q_{gen} (kW)	Q_f (kW)	E_L (kW)	Q_h (kW)	Surplus Listrik (kW)	Surplus Heat (kW)	Biaya Bahan Bakar (Rp/bln)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	-900,36	-513,93	0,00
10	241,97	452,28	80,96	53,37	-776,23	-460,56	102.268.778,30
20	483,94	904,56	161,92	106,74	-652,09	-407,19	204.537.556,59
30	725,91	1356,84	242,87	160,11	-527,96	-353,82	306.806.334,89
40	967,88	1809,12	323,83	213,48	-403,82	-300,45	409.075.113,19
50	1209,85	2261,40	404,79	266,85	-279,69	-247,08	511.343.891,48
60	1451,82	2713,68	485,75	320,21	-155,55	-193,72	613.612.669,78
70	1693,79	3165,96	566,71	373,58	-31,42	-140,35	715.881.448,08
80	1935,76	3618,25	647,67	426,95	92,71	-86,98	818.150.226,37
90	2177,73	4070,53	728,62	480,32	216,85	-33,61	920.419.004,67
100	2419,70	4522,81	809,58	533,69	340,98	19,76	1.022.687.782,97

Tabel IV.B. Biaya total sistem CCHP dengan konfigurasi Turbin Gas aktif 24 jam.

Daya AC (%)	Biaya Solar Boiler (Rp/bln)	Biaya PLN (Rp/bln)	Biaya Tanpa CCHP (Rp/bln)	Biaya CCHP Total (Rp/bln)
0	354.507.399,00	404.354.823,97	758.862.222,97	758.862.222,97
10	317.693.539,40	348.605.704,18	758.862.222,97	768.568.021,87
20	280.879.679,79	292.856.584,39	758.862.222,97	778.273.820,78
30	244.065.820,19	237.107.464,61	758.862.222,97	787.979.619,69
40	207.251.960,59	181.358.344,82	758.862.222,97	797.685.418,59
50	170.438.100,98	125.609.225,03	758.862.222,97	807.391.217,50
60	133.624.241,38	69.860.105,25	758.862.222,97	817.097.016,41
70	96.810.381,78	14.110.985,46	758.862.222,97	826.802.815,32
80	59.996.522,18	-41.638.134,33	758.862.222,97	878.146.748,55
90	23.182.662,57	-97.387.254,11	758.862.222,97	943.601.667,24
100	-13.631.197,03	-153.136.373,90	758.862.222,97	1.022.687.782,97

Analisis sistem..., Amir Erlangga, FT UI, 2008

Tabel IV.C. Biaya konfigurasi dengan Turbin Gas aktif pada WBP.

Daya AC (%)	Q_{gen} (kW)	Q_f (kW)	E_L (kW)	Q_h (kW)	Surplus Listrik (kW)	Surplus Heat (kW)	Biaya Bahan Bakar (Rp/bln)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	-900,36	-513,93	0,00
10	241,97	452,28	80,96	53,37	-776,23	-460,56	17.044.796,38
20	483,94	904,56	161,92	106,74	-652,09	-407,19	34.089.592,77
30	725,91	1356,84	242,87	160,11	-527,96	-353,82	51.134.389,15
40	967,88	1809,12	323,83	213,48	-403,82	-300,45	68.179.185,53
50	1209,85	2261,40	404,79	266,85	-279,69	-247,08	85.223.981,91
60	1451,82	2713,68	485,75	320,21	-155,55	-193,72	102.268.778,30
70	1693,79	3165,96	566,71	373,58	-31,42	-140,35	119.313.574,68
80	1935,76	3618,25	647,67	426,95	92,71	-86,98	136.358.371,06
90	2177,73	4070,53	728,62	480,32	216,85	-33,61	153.403.167,45
100	2419,70	4522,81	809,58	533,69	340,98	19,76	170.447.963,83

Tabel IV.D. Biaya total kombinasi CCHP konfigurasi dengan Turbin Gas aktif pada WBP.

Daya AC (%)	Biaya Solar Boiler (Rp/bln)	Biaya PLN (Rp/bln)	Biaya Tanpa CCHP (Rp/bln)	Biaya CCHP Total (Rp/bln)	Listrik LWBP (Rp/bln)	Solar LWBP (Rp/bln)	WBP + LWBP (kombinasi)
0	59.084.566,50	91.070.362,21	150.154.928,71	150.154.928,71	176746464	295422832,9	758.862.222,97
10	52.948.923,23	78.514.329,17	150.154.928,71	148.508.048,78	176746464	295422832,9	752.476.080,57
20	46.813.279,97	65.958.296,12	150.154.928,71	146.861.168,85	176746464	295422832,9	750.829.200,64
30	40.677.636,70	53.402.263,07	150.154.928,71	145.214.288,92	176746464	295422832,9	749.182.320,71
40	34.541.993,43	40.846.230,03	150.154.928,71	143.567.408,99	176746464	295422832,9	747.535.440,78
50	28.406.350,16	28.290.196,98	150.154.928,71	141.920.529,06	176746464	295422832,9	745.888.560,85
60	22.270.706,90	15.734.163,94	150.154.928,71	140.273.649,13	176746464	295422832,9	744.241.680,92
70	16.135.063,63	3.178.130,89	150.154.928,71	138.626.769,20	176746464	295422832,9	742.594.800,99
80	9.999.420,36	-9.377.902,15	150.154.928,71	146.357.791,42	176746464	295422832,9	750.325.823,21
90	3.863.777,10	-21.933.935,20	150.154.928,71	157.266.944,54	176746464	295422832,9	761.234.976,33
100	-2.271.866,17	-34.489.968,25	150.154.928,71	170.447.963,83	176746464	295422832,9	774.415.995,62

Analisis sistem..., Amir Erlangga, FT UI, 2008

Tabel IV.E. Biaya konfigurasi dengan Turbin Gas aktif pada LWBP.

Daya AC (%)	Q_{gen} (kW)	Q_f (kW)	E_L (kW)	Q_h (kW)	Surplus Listrik (kW)	Surplus Heat (kW)	Biaya Bahan Bakar (Rp/bln)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	-900,36	-513,93	0,00
10	241,97	452,28	80,96	53,37	-776,23	-460,56	102.268.778,30
20	483,94	904,56	161,92	106,74	-652,09	-407,19	204.537.556,59
30	725,91	1356,84	242,87	160,11	-527,96	-353,82	306.806.334,89
40	967,88	1809,12	323,83	213,48	-403,82	-300,45	409.075.113,19
50	1209,85	2261,40	404,79	266,85	-279,69	-247,08	511.343.891,48
60	1451,82	2713,68	485,75	320,21	-155,55	-193,72	613.612.669,78
70	1693,79	3165,96	566,71	373,58	-31,42	-140,35	715.881.448,08
80	1935,76	3618,25	647,67	426,95	92,71	-86,98	818.150.226,37
90	2177,73	4070,53	728,62	480,32	216,85	-33,61	920.419.004,67
100	2419,70	4522,81	809,58	533,69	340,98	19,76	1.022.687.782,97

Tabel IV.F. Biaya total kombinasi CCHP konfigurasi dengan Turbin Gas aktif pada LWBP.

Daya AC (%)	Biaya Solar Boiler (Rp/bln)	Biaya PLN (Rp/bln)	Biaya Tanpa CCHP (Rp/bln)	Biaya CCHP Total (Rp/bln)	Listrik WBP (Rp/bln)	Solar WBP (Rp/bln)	WBP + LWBP (kombinasi)
0	354.507.399,00	176.744.022,38	531.251.421,38	531.251.421,38	91.071.373,70	59.084.566,50	758.862.222,97
10	317.693.539,40	146.435.153,04	531.251.421,38	566.397.470,74	91.071.373,70	59.084.566,50	867.134.863,33
20	280.879.679,79	116.126.283,70	531.251.421,38	601.543.520,09	91.071.373,70	59.084.566,50	902.280.912,68
30	244.065.820,19	85.817.414,37	531.251.421,38	636.689.569,45	91.071.373,70	59.084.566,50	937.426.962,04
40	207.251.960,59	55.508.545,03	531.251.421,38	671.835.618,80	91.071.373,70	59.084.566,50	972.573.011,39
50	170.438.100,98	25.199.675,69	531.251.421,38	706.981.668,16	91.071.373,70	59.084.566,50	1.007.719.060,75
60	133.624.241,38	-5.109.193,65	531.251.421,38	747.236.911,16	91.071.373,70	59.084.566,50	1.047.974.303,75
70	96.810.381,78	-35.418.062,99	531.251.421,38	812.691.829,86	91.071.373,70	59.084.566,50	1.113.429.222,45
80	59.996.522,18	-65.726.932,32	531.251.421,38	878.146.748,55	91.071.373,70	59.084.566,50	1.178.884.141,14
90	23.182.662,57	-96.035.801,66	531.251.421,38	943.601.667,24	91.071.373,70	59.084.566,50	1.244.339.059,83
100	-13.631.197,03	-126.344.671,00	531.251.421,38	1.022.687.782,97	91.071.373,70	59.084.566,50	1.323.425.175,56

LAMPIRAN V

PERHITUNGAN ALAT PENUKAR KALOR

Analisis sistem..., Amir Erlangga, FT UI, 2008

Alat penukar kalor digunakan sebanyak dua buah yaitu pada aliran *flue gas* dan pada aliran air pendingin *gas engine*, namun untuk konfigurasi dengan turbin gas hanya digunakan satu penukar kalor pada aliran *flue gas* saja.

I. Perhitungan Penukar Kalor Pada Konfigurasi *Gas Engine*

I.A. Perhitungan Penukar Kalor Pada Aliran *Flue Gas*

Temperatur *flue gas* masuk penukar kalor (Th_1) = 200 °C.

Temperatur *flue gas* keluar penukar kalor (Th_2) = 131,28 °C.

Panas jenis *flue gas* (Cp_{fg}) = 0,93 kJ/kg °C.

Laju aliran *flue gas* ($\dot{m}_{fg}$) = 1,18 kg/s.

Sehingga energi yang terserap dari *flue gas*

$$\dot{Q}_{h1} = 1{,}18\frac{kg}{s} \times 0{,}93\frac{kJ}{kg \cdot °C} \times (150-60)°C$$

= 75,58 kW.

Temperatur air dingin (Tw_1) = 25 °C.

Temperatur air panas (Tw_2) = 65 °C.

Dengan panas jenis air (Cp_{air} = 4,187 kj/kg °C) diperoleh laju air panas dari alat penukar kalor pada aliran *flue gas* $\dot{m}_{w1-2}$ = 0,61 kg/s.

Log Mean Temperatur Difference (LMTD)

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

$$= \frac{(200-65)-(131{,}28-25)}{\ln\left(\frac{200-65}{131{,}28-25}\right)}$$

= 120,07 °C.

Nilai P dan R:

$$P = \frac{Tc_2 - Tc_1}{Th_1 - Tc_1} = \frac{65-25}{200-25} = 0{,}23.$$

$$R = \frac{Th_1 - Th_2}{Tc_2 - Tc_1} = \frac{200-65}{65-25} = 1{,}72$$

Analisis sistem..., Amir Erlangga, FT UI, 2008

Dari diagram hubungan P, R dan F diperoleh nilai F = 0,95

Dengan $U = 50 \frac{W}{m^2 \cdot °C}$ [4], dan persamaan (2.7) diperoleh luas perpindahan kalor

$$A = \frac{\dot{Q}_{h1}}{U \cdot F \cdot \Delta T_{LMTD}}$$

$$= \frac{75{,}58.kW}{50 \frac{W}{m^2 \cdot °C} \cdot 0{,}95 \cdot 120{,}07°C}$$

$= 13{,}25\ m^2$.

I.B. Perhitungan Penukar Kalor Pada Aliran Air Pendingin

Temperatur air pendingin dari *gas engine* (T_D) = 80 °C .

Temperatur air pendingin kembali ke *gas engine* (T_E) = 40 °C.

Panas jenis air pendingin (Cp_{cw}) = 4,187 kj/kg °C.

Laju masa aliran air pendingin ($\dot{m}_{cw}$) = 1,45 kg/s.

Energi yang dapat diserap dari air pendingin

$$\dot{Q}_{h2} = 1{,}45 \frac{kg}{s} \times 4{,}187 \frac{kJ}{kg \cdot °C} \times (80 - 40)°C$$

= 242,29 kW.

Temperatur air dingin (Tw_3) = 25 °C.

Temperatur air panas (Tw_4) = 65 °C.

Laju air panas dari alat penukar kalor pada aliran air pendingin $\dot{m}_{w3-4}$ = 1,5 kg/s.

Perbedaan temperatur rata-rata (ΔT) = 5 °C.

Dengan menggunakan persamaan (2.6) dan nilai $U = 850 \frac{W}{m^2 \cdot °C}$ [5], diperoleh luas perpindahan kalor untuk penukar kalor pada aliran air pendingin A:

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta T$$

$$A = \frac{\dot{Q}}{U \cdot \Delta T} = \frac{242{,}29 \cdot kW}{850 \frac{W}{m^2 \cdot °C} \times 5 \cdot °C} = 57{,}01\ m^2.$$

[4] Yunus A. Cengel, *Heat Transfer: A Practical Approach*, McGraw-Hill, 2003, halaman 673.
[5] Yunus A. Cengel, *Heat Transfer: A Practical Approach*, McGraw-Hill, 2003, halaman 673.

Analisis sistem..., Amir Erlangga, FT UI, 2008

II. Perhitungan Penukar Kalor Pada Turbin Gas

Temperatur *flue gas* masuk penukar kalor (Th_1) = 200 °C.

Temperatur *flue gas* keluar penukar kalor (Th_2) = 131,28 °C.

Dari hasil perhitungan dengan *Cycle Tempo* pada subbab 3.1.1 diperoleh bahwa jumlah energi yang terserap pada sistem pemanas $\dot{Q}_h$ = 220,27 kW, laju aliran *flue gas* $\dot{m}_{fg}$ = 3,006 kg/s dan dengan penurunan temperatur *flue gas* ΔT = 68,72°C, maka dapat diperoleh Cp_{fg} = 1,07 kJ/kg.°C.

Dari tabel Lampiran IV perhitungan untuk konfigurasi dengan turbin gas:

Panas yang diserap sistem pemanas ($\dot{Q}_h$) = 373,59 kW.

Laju aliran *flue gas* ($\dot{m}_{fg}$) = 5,08 kg/s.

Dan dengan:

Temperatur air dingin (Tw_1) = 25 °C.

Temperatur air panas (Tw_2) = 65 °C.

Dapat diperoleh:

Log Mean Temperatur Difference (LMTD)

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

$$= \frac{(200-65)-(131{,}28-25)}{\ln\left(\frac{200-65}{131{,}28-25}\right)}$$

= 120,07 °C.

Nilai P dan R:

$$P = \frac{Tc_2 - Tc_1}{Th_1 - Tc_1} = \frac{65-25}{200-25} = 0{,}23.$$

$$R = \frac{Th_1 - Th_2}{Tc_2 - Tc_1} = \frac{200-65}{65-25} = 1{,}72$$

Dari diagram hubungan P, R dan F diperoleh nilai F = 0,95.

Analisis sistem..., Amir Erlangga, FT UI, 2008

Dengan $U = 50 \frac{W}{m^2 \cdot °C}$ [6], dan persamaan (2.7) diperoleh luas perpindahan kalor

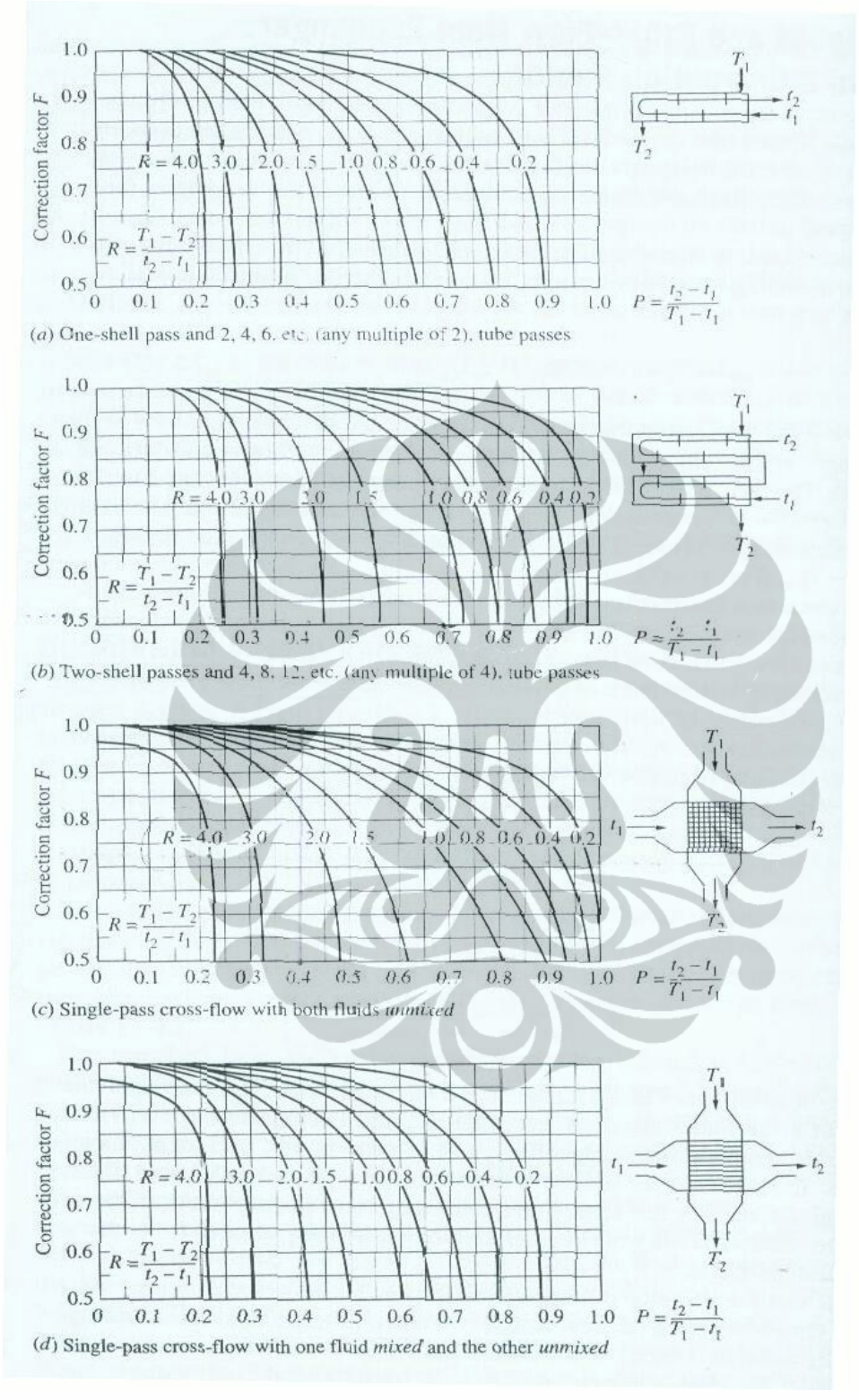
$$A = \frac{\dot{Q}_{h1}}{U \cdot F \cdot \Delta T_{LMTD}}$$

$$= \frac{373{,}59.kW}{50 \frac{W}{m^2 \cdot °C} \cdot 0{,}8 \cdot 120{,}07°C}$$

$$= 65{,}05 \text{ m}^2.$$

[6] Yunus A. Cengel, *Heat Transfer: A Practical Approach*, McGraw-Hill, 2003, halaman 673.

Analisis sistem..., Amir Erlangga, FT UI, 2008



Faktor koreksi F dan hubungannya dengan P dan R pada alat penukar kalor