

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Uji Konsistensi Data Curah Hujan

Sebelum data curah hujan digunakan untuk analisa data lebih lanjut, maka terlebih dahulu dilakukan uji konsistensi terhadap data curah hujan pada stasiun-stasiun penakar hujan yang dipakai. Pengujian konsistensi dilakukan dengan menggunakan cara kurva massa ganda (*double mass curve*). Langkah pertama yaitu mengakumulasi curah hujan tahunan pada stasiun hujan yang diuji. Data hujan tahunan untuk masing-masing stasiun hujan disajikan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Curah Hujan Maksimum Tahunan Stasiun Hujan yang Diuji

Tahun	St K.D.PU.AIR	St Boyolangu	St Ngantru
1993	66	77	84
1994	136	75	104
1995	121	64	87
1996	72	65	114
1997	108	114	72
1998	101	78	75
1999	91	100	78
2000	123	135	120
2001	110	150	98
2002	99	75	162
2003	93	99	83
2004	82	138	137
2005	163	93	88
2006	63	52	94
2007	80	107	166
2008	83	79	91
2009	58	60	65
2010	118	85	73
2011	78	94	80
2012	145,5	109	63

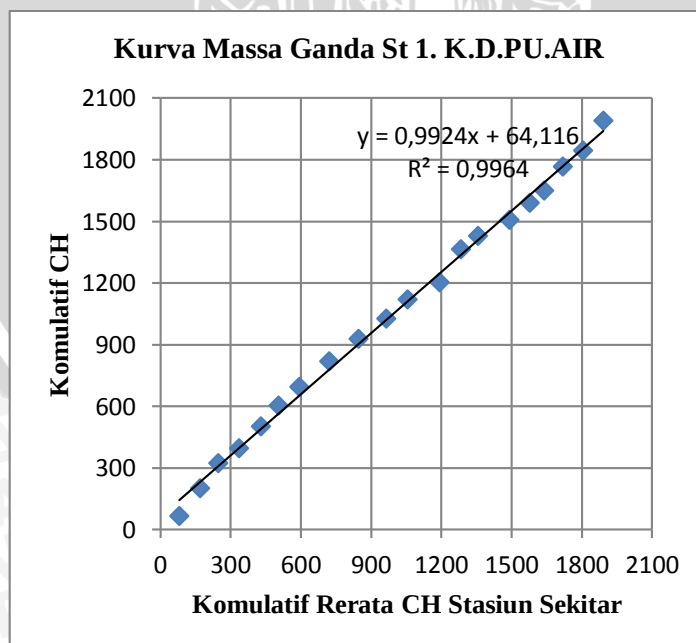
Sumber: Hasil Perhitungan

Setelah didapatkan curah hujan tahunan pada masing-masing stasiun hujan, kemudian membandingkan harga pada suatu stasiun yang diuji dengan harga pada stasiun sekitar dengan melakukan pengeplotan pada kurva massa ganda (*double mass curve*).

Tabel 4.2 Uji Konsistensi Stasiun Hujan K.D.PU.AIR

Tahun	Hujan Tahunan Stasiun (mm)			
	CH Maksimum Tahunan	Komulatif	Rerata CH Stasiun Sekitar	Komulatif Rerata CH Stasiun Sekitar
1993	66	66	80,50	80,50
1994	136	202	89,50	170,00
1995	121	323	75,50	245,50
1996	72	395	89,50	335,00
1997	108	503	93,00	428,00
1998	101	604	76,50	504,50
1999	91	695	89,00	593,50
2000	123	818	127,50	721,00
2001	110	928	124,00	845,00
2002	99	1027	118,50	963,50
2003	93	1120	91,00	1054,50
2004	82	1202	137,50	1192,00
2005	163	1365	90,50	1282,50
2006	63	1428	73,00	1355,50
2007	80	1508	136,50	1492,00
2008	83	1591	85,00	1577,00
2009	58	1649	62,50	1639,50
2010	118	1767	79,00	1718,50
2011	78	1845	87,00	1805,50
2012	145,5	1990,5	86,00	1891,50

Sumber: Hasil Perhitungan



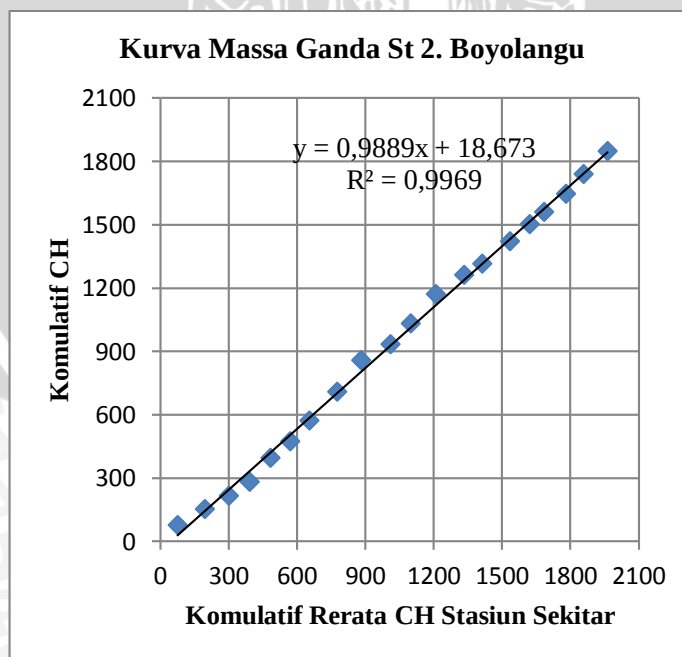
Gambar 4. 1 Kurva Massa Ganda Stasiun Hujan K.D.PU.AIR

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.3 Uji Konsistensi Stasiun Boyolangu

Tahun	Hujan Tahunan Stasiun (mm)			
	CH Maksimum Tahunan	Kumulatif	Rerata CH Stasiun Sekitar	Kumulatif Rerata CH Stasiun Sekitar
1993	77	77	75,00	75,00
1994	75	152	120,00	195,00
1995	64	216	104,00	299,00
1996	65	281	93,00	392,00
1997	114	395	90,00	482,00
1998	78	473	88,00	570,00
1999	100	573	84,50	654,50
2000	135	708	121,50	776,00
2001	150	858	104,00	880,00
2002	75	933	130,50	1010,50
2003	99	1032	88,00	1098,50
2004	138	1170	109,50	1208,00
2005	93	1263	125,50	1333,50
2006	52	1315	78,50	1412,00
2007	107	1422	123,00	1535,00
2008	79	1501	87,00	1622,00
2009	60	1561	61,50	1683,50
2010	85	1646	95,50	1779,00
2011	94	1740	79,00	1858,00
2012	109	1849	104,25	1962,25

Sumber: Hasil Perhitungan



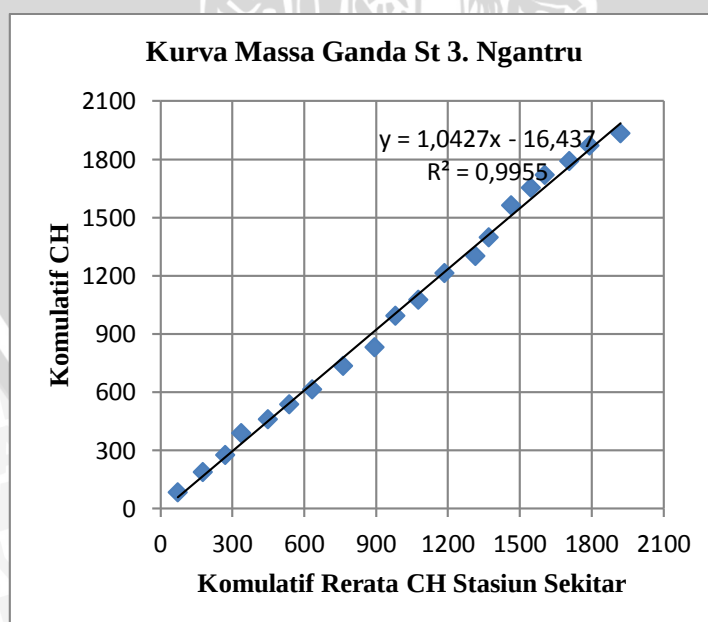
Gambar 4. 2 Kurva Massa Ganda Stasiun Hujan Boyolangu

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.4 Uji Konsistensi Stasiun Hujan Ngantru

Tahun	Hujan Tahunan Stasiun (mm)			
	CH Maksimum Tahunan	Komulatif	Rerata CH Stasiun Sekitar	Komulatif Rerata CH Stasiun Sekitar
1993	84	84	71,50	71,50
1994	104	188	105,50	177,00
1995	87	275	92,50	269,50
1996	114	389	68,50	338,00
1997	72	461	111,00	449,00
1998	75	536	89,50	538,50
1999	78	614	95,50	634,00
2000	120	734	129,00	763,00
2001	98	832	130,00	893,00
2002	162	994	87,00	980,00
2003	83	1077	96,00	1076,00
2004	137	1214	110,00	1186,00
2005	88	1302	128,00	1314,00
2006	94	1396	57,50	1371,50
2007	166	1562	93,50	1465,00
2008	91	1653	81,00	1546,00
2009	65	1718	59,00	1605,00
2010	73	1791	101,50	1706,50
2011	80	1871	86,00	1792,50
2012	63	1934	127,25	1919,75

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.3 Kurva Massa Ganda Stasiun Hujan Ngantru

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari hasil kurva massa ganda pada setiap stasiun hujan yang diuji tidak didapatkan penyimpangan oleh karena itu data hujan pada semua stasiun yang diuji dinyatakan konsisten dan layak dipergunakan untuk simulasi lebih lanjut.

4.2 Uji Kesesuaian Data

Data curah hujan historis perlu diuji untuk mengetahui data tersebut homogen atau tidak baik antara ketiga stasiun dan antara waktu yang berurutan. Dalam studi ini dilakukan uji *Analysis of Variances* (ANOVA).

4.2.1 Uji ANOVA

Pada Uji ANOVA ini akan diuji homogenitas data hujan hasil bangkitan. Dibawah ini disajikan hasil perhitungan Uji ANOVA untuk data hujan hasil bangkitan pada ketiga stasiun hujan secara serempak. Uji yang dilakukan bersifat dua arah, artinya akan diketahui apakah data hujan hasil bangkitan homogen secara vertikal (antar tahun) dan horizontal (antar stasiun).

Tabel 4.5 Perhitungan Rerata Curah Hujan Per Kelas

No. Kelas	Curah Hujan Maksimum Tahunan				Rerata Tahun
	Tahun	St K.D.PU.AIR	St Boyolagu	St Ngantru	
1	1993	66	77	84	75,67
2	1994	136	75	104	105,00
3	1995	121	64	87	90,67
4	1996	72	65	114	83,67
5	1997	108	114	72	98,00
6	1998	101	78	75	84,67
7	1999	91	100	78	89,67
8	2000	123	135	120	126,00
9	2001	110	150	98	119,33
10	2002	99	75	162	112,00
11	2003	93	99	83	91,67
12	2004	82	138	137	119,00
13	2005	163	93	88	114,67
14	2006	63	52	94	69,67
15	2007	80	107	166	117,67
16	2008	83	79	91	84,33
17	2009	58	60	65	61,00
18	2010	118	85	73	92,00
19	2011	78	94	80	84,00
20	2012	145,5	109	63	105,83
Total Kelas		1990,5	1849	1934	1924,50
Rerata Kelas		99,525	92,45	96,7	96,23

Tabel 4.6 Perhitungan Uji Homogenitas dengan Metode ANOVA

$n. (\bar{X}_i - \bar{X})^2$	$k. (\bar{X}_j - \bar{X})^2$	$(X_{ij} - \bar{X}_i - \bar{X}_j + \bar{X})^2$		
		St K.D.PU.AIR	St Boyolagu	St Ngantru
217,80	1267,94	168,13	26,10	61,75
285,01	231,00	767,29	687,75	2,18
4,51	92,69	730,80	524,03	17,15
	473,14	224,00	221,76	891,52
	9,45	44,89	391,05	700,93
	400,79	169,87	8,36	102,85
	129,04	3,87	199,05	147,42
	2659,65	39,69	163,20	41,93
	1601,99	159,60	1186,23	475,60
	746,55	265,69	1103,90	2452,73
	62,34	3,87	123,40	83,57
	1556,10	1624,09	518,70	307,13
	1020,29	2028,00	320,11	736,67
	2116,04	99,33	192,98	569,22
	1379,24	1678,27	47,50	2290,42
	424,24	21,47	2,43	38,34
	3722,40	39,69	7,70	12,43
	53,55	515,29	10,40	379,28
	448,35	86,49	189,75	20,03
	276,96	1322,53	48,19	1875,61
$(n-1) \cdot \sum_{i=1}^k n. (\bar{X}_i - \bar{X})^2$		= 9639		
$(k-1) \cdot \sum_{j=1}^n k. (\bar{X}_j - \bar{X})^2$		= 37343,43		
$F_1 = \frac{(n-1) \cdot \sum_{i=1}^k n. (\bar{X}_i - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i - \bar{X}_j + \bar{X})^2}$		= 0,35		
$F_2 = \frac{(k-1) \cdot \sum_{j=1}^n k. (\bar{X}_j - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i - \bar{X}_j + \bar{X})^2}$		= 1,37		

Jumlah pengamatan per kelas (n) = 20

Jumlah kelas (k) = 3

Hipotesa:

Hipotesa 1 : H_0 : data hujan homogen antar kelas

H_1 : data hujan tidak homogen antar kelas

Hipotesa 2 : H_0 : data hujan homogen antar tahun

H_1 : data hujan tidak homogen antar tahun

Kemudian nilai F_{cr} dapat dicari menggunakan tabel F:

➤ Untuk $F_1 (= 0,35)$:

Dengan, $n_1 = k-1$

$= 3-1$

$= 2$

$n_2 = (k-1)(n-1)$

$= (3-1)(20-1)$

$= 38$

Didapatkan nilai masing-masing F_{cr} dari beragam nilai α (%) sebagai berikut:

α (10%) = 2,45 $F_1 < F_{cr}$

α (5%) = 3,25 $F_1 < F_{cr}$

α (2,5%) = 4,08 $F_1 < F_{cr}$

α (2,5%) = 5,25 $F_1 < F_{cr}$

Hasil uji homogenitas antar kelas (stasiun curah hujan) menunjukkan bahwa $F_1 < F_{cr}$, maka H_0 diterima (hipotesa 1 = hujan homogen antar kelas/stasiun)

➤ Untuk $F_2 (= 1,37)$:

Dengan, $n_1 = n-1$

$= 20-1$

$= 19$

$n_2 = (k-1)(n-1)$

$= (3-1)(20-1)$

$= 38$

Didapatkan nilai masing-masing F_{cr} dari beragam nilai α (%) sebagai berikut:

α (10%) = 1,63 $F_2 < F_{cr}$

α (5%) = 1,87 $F_2 < F_{cr}$

α (2,5%) = 2,12 $F_2 < F_{cr}$

α (2,5%) = 2,48 $F_2 < F_{cr}$

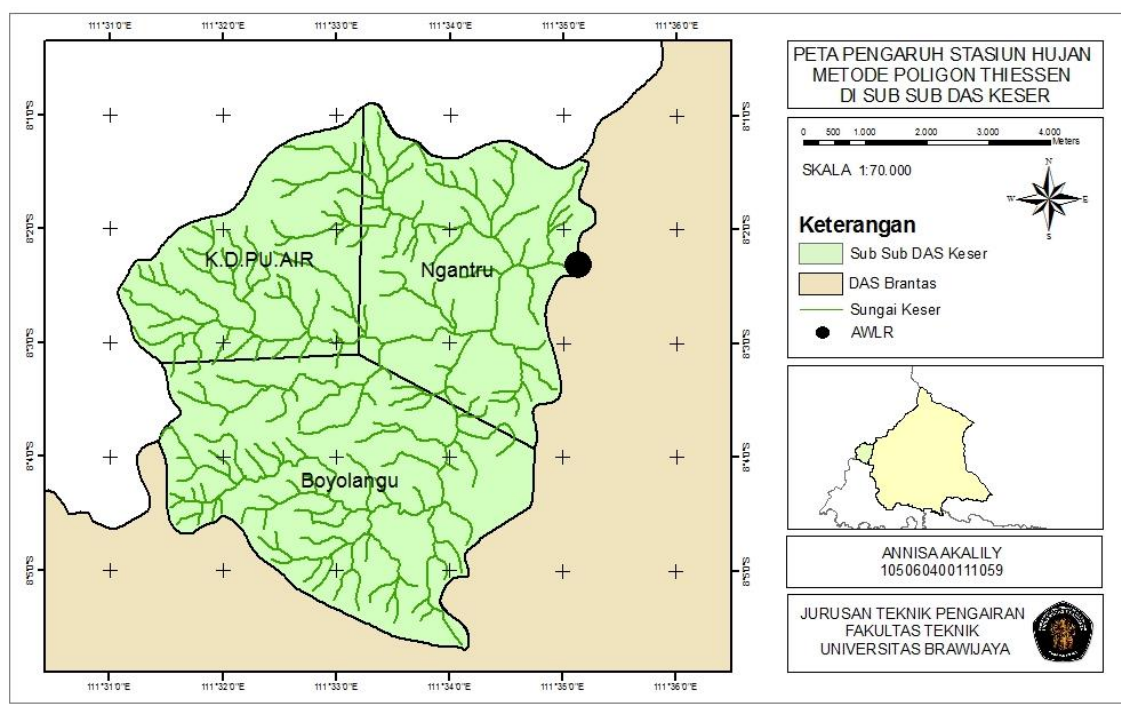
Hasil uji homogenitas antar tahun menunjukkan bahwa $F_2 < F_{cr}$, maka H_0 diterima (hipotesa 2 = hujan homogen antar tahun)

Dengan demikian data hujan historis secara tahunan pada ketiga stasiun hujan dinyatakan homogen antar kelas maupun antar tahun.

4.3 Curah Hujan Rerata Daerah

Dalam kajian ini, perhitungan curah hujan rerata harian daerah menggunakan Metode Poligon Thiessen karena cara ini memberikan bobot tertentu untuk setiap stasiun hujan, dengan pengertian bahwa setiap stasiun hujan dianggap mewakili hujan dalam

suatu daerah dengan luas tertentu dan luas tersebut merupakan faktor koreksi bagi hujan di stasiun yang bersangkutan. Pembagian luas daerah pengaruh dapat dilihat pada gambar Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Luas Daerah Pengaruh Metode Poligon Thiessen

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan pembagian luas daerah pengaruh Metode Poligon Thiessen didapatkan:

Luas daerah pengaruh stasiun K.D.PU.AIR (A_1) = 10,48 km²

Luas daerah pengaruh stasiun Boyolangu (A_2) = 18,89 km²

Luas daerah pengaruh stasiun Ngantru (A_3) = 14,03 km²

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan (2-2) sebagai berikut:

$$R = \frac{R_1 \cdot A_1 + R_2 \cdot A_2 + R_3 \cdot A_3 + \dots + R_n \cdot A_n}{\sum A}$$

Misalnya perhitungan hujan rerata harian daerah pada tanggal 1 Januari 1993:

$$R = \frac{8 \cdot 10,48 + 25 \cdot 18,89 + 14 \cdot 14,03}{43,39} = 17,34 \text{ mm}$$

Dengan cara yang sama, dihitung besarnya hujan rerata harian daerah untuk hari-hari berikutnya (tahun 1993-2012). Hasil perhitungan hujan rerata harian daerah selengkapnya untuk data hujan harian historis dan hujan harian sintetis disajikan pada Lampiran 2.

4.4 Perhitungan Evapotranspirasi

Pehitungan evapotranspirasi potensial menggunakan metode Penman. Data klimatologi diambil dari Stasiun Bagong yang berada pada ketinggian +110 m di atas

permukaan air laut. Data klimatologi yang digunakan adalah data rata-rata dari tahun 2001-2010. Berikut ini adalah contoh analisa perhitungan Evapotranspirasi pada Bulan Januari:

- Temperatur (t) = 26°C
- Kecepatan Angin (u) = $0,58 \text{ m/dt}$
- Kelembaban Relatif (RH) = $83,3 \%$
- Kecerahan Matahari (n/N) = 55%

Tabel 4.7 Besaran nilai angot (Ra) dalam evaporasi ekuivalen (mm/hati) dalam hubungannya dengan letak lintang

Bulan	Lintang Utara			1	Lintang Selatan				
	5	4	2	0	2	4	6	8	10
Januari	13.00	14.30	14.70	15.00	15.30	15.50	15.80	16.10	16.10
Februari	14.00	15.00	15.30	15.50	15.70	15.80	16.00	16.10	16.00
Maret	15.00	15.50	15.60	15.70	15.70	15.60	15.60	15.50	15.30
April	15.10	15.50	15.30	15.30	15.70	14.90	14.70	14.40	14.00
Mei	15.30	14.90	14.60	14.40	14.10	13.80	13.40	13.10	13.60
Juni	15.00	14.40	14.20	13.90	13.50	13.20	12.80	12.40	12.60
Juli	15.10	14.60	14.30	14.10	13.70	13.40	13.10	12.70	11.80
Agustus	15.30	14.10	14.90	14.80	14.50	14.30	14.00	13.70	12.20
September	15.10	15.30	15.30	15.30	15.20	15.10	15.00	14.90	13.30
Oktober	15.70	15.10	15.30	15.40	15.50	15.60	15.70	15.80	14.60
November	14.30	14.50	14.80	15.10	15.30	15.50	15.80	16.00	15.60
Desember	14.60	14.10	14.40	14.80	15.10	15.40	15.70	16.00	16.00
Min	13.00	14.10	14.20	13.90	13.50	13.20	12.80	12.40	11.80
Max	15.70	15.50	15.60	15.70	15.70	15.80	16.00	16.10	16.10
Rerata	14.80	14.90	14.90	14.90	14.90	14.80	14.80	14.70	14.20

Sumber: Suhardjono, 1994 : 59

Tabel 4.8 Hubungan Suhu dengan Besarnya Tekanan Uap

Suhu (t) $^{\circ}\text{C}$	Ea mbar	w mbar	f(t)
20	23.40	0.69	14.60
21	24.90	0.70	14.80
22	26.40	0.71	15.00
23	28.10	0.72	15.20
24	29.80	0.73	15.40
24.2	30.213	0.737	15.445
24.4	30.581	0.739	15.491
24.6	30.950	0.741	15.538
24.8	31.319	0.743	15.581
25.0	31.688	0.745	15.627
25.2	32.073	0.747	15.672
25.4	32.458	0.749	15.717
25.6	32.844	0.751	15.763
25.8	33.230	0.753	15.808

Suhu (t) °C	Ea mbar	w mbar	f(t)
26.0	33.617	0.755	15.853
26.2	34.024	0.757	15.898
26.4	34.431	0.759	15.944
26.6	34.839	0.761	15.898
26.8	35.247	0.763	16.034
27.0	35.656	0.765	16.079
27.2	36.085	0.767	16.124
27.4	36.515	0.769	16.170
27.6	36.945	0.771	16.215
27.8	37.376	0.773	16.260
28.0	37.807	0.775	16.305
28.2	38.259	0.777	16.350
28.4	38.711	0.779	16.395
28.6	39.163	0.781	16.440
28.8	39.616	0.783	16.485
29.0	40.070	0.785	16.530
29.2	40.544	0.787	16.575
29.4	41.019	0.789	16.620
29.6	41.494	0.791	16.666
29.8	41.969	0.793	16.711
30.0	42.445	0.795	16.755

Sumber: Suhardjono, 1994 : 58

Tabel 4.9 Besaran angka koreksi untuk rumus Penman

Bulan	c
Januari	1.10
Februari	1.10
Maret	1.00
April	1.00
Mei	0.95
Juni	0.95
Juli	1.00
Agustus	1.00
September	1.10
Oktober	1.10
November	1.15
Desember	1.15

Sumber: Suhardjono, 1994 : 64

1. Dari tabel 4.7 hubungan lintang dan nilai angot didapatkan nilai $R\gamma = 16,10$ mm/hr
2. Dari tabel 4.8 hubungan antara suhu dengan tekanan uap jenuh ($e\gamma$) didapatkan nilai
 $e\gamma = 33,62$ mbar
 $w = 0,775$ mbar
3. Tekanan uap nyata (e_d) didapatkan dari perkalian antara tekanan uap jenuh ($e\gamma$) dengan kelembaban relatif (R_h)

$$ed = ey \cdot Rh$$

$$= 33,62 \times 83,3/100$$

$$= 18,49 \text{ mbar}$$

4. Radiasi gelombang pendek (R_s)

$$R_s = [0,25 + (0,54 \times (n/N)/100)] \times R_y$$

$$= [0,25 + (0,54 \times 55/100)] \times 16,10$$

$$= 4,82 \text{ mm/hr}$$

5. Fungsi suhu [$f(t)$] didapatkan dari tabel 4.15

$$f(t) = 15,85$$

6. Fungsi tekanan uap [$f(ed)$]

$$f(ed) = 0,34 - [0,044 \times (ed)^{0.5}]$$

$$= 0,34 - [0,044 \times (18,49)^{0.5}]$$

$$= 0,151$$

7. Fungsi kecerahan matahari [$f(n/N)$]

$$f(n/N) = 0,1 + (0,9 \times (n/N)/100)$$

$$= 0,1 + (0,9 \times 55/100)$$

$$= 0,595$$

8. Radiasi gelombang panjang (R_n)

$$R_n = f(t) \times f(ed) \times f(n/N)$$

$$= 15,85 \times 0,151 \times 0,595$$

$$= 1,422$$

9. Fungsi angin [$f(u)$]

$$f(u) = 0,27 \times [1 + (0,864 \times u)]$$

$$= 0,27 \times [1 + (0,864 \times 0,58)]$$

$$= 1,77$$

10. Evapotranspirasi (Et_0^*)

$$Et_0^* = w \times (0,75 \times R_s - R_n) + (1 - w) \times f(u) \times (ea - ed)$$

$$= 0,775 \times (0,75 \times 4,82 - 1,422) + (1 - 0,775) \times 1,77 \times (33,62 - 18,49)$$

$$= 8,23 \text{ mm/hr}$$

11. Angka koreksi (c) untuk bulan Januari Metode Penman dari tabel 4.16 didapatkan:

$$c = 1,10$$

12. Evapotranspirasi potensial (E_{t0})

$$E_{t0} = E_{t0}^* \times c$$

$$= 8,23 \times 1,10$$

$$= 9,05 \text{ mm/hr}$$

Untuk hasil perhitungan pada bulan-bulan selanjutnya disajikan pada tabel 4.10.



Tabel 4.10 Perhitungan Evapotranspirasi Metode Penman

Parameter	Satuan	Bulan											
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agst	Sept	Okt	Nov	Des
Data													
a. Temperatur, t	°C	26	26	26,2	25,9	25,2	24,8	25,4	25,4	25,4	25,4	26,1	26,4
b. Kelembaban relatif, RH	%	83,3	83,8	84,5	84,6	84,6	84	83,1	83,2	84,6	84,6	85,1	85,1
c. Kecerahan matahari, n/N	%	55	62,5	65	77,5	81,2	81,2	81,2	82,5	86,2	86,2	71,2	61,2
d. Kecepatan angin, u	km/jam	2,1	1,7	1,5	1,3	1,6	1,6	1,8	2	2,2	2,2	1,9	1,8
	m/dt	0,58	0,47	0,42	0,36	0,44	0,44	0,50	0,56	0,61	0,61	0,53	0,50
Perhitungan													
1. w	mbar	0,755	0,755	0,757	0,754	0,747	0,743	0,749	0,749	0,749	0,749	0,756	0,759
2. Angka angot (R _y)	mm/hr	16,10	16,10	15,10	14,10	13,10	12,40	12,70	13,70	14,90	15,80	16,00	16,00
3. Radiasi gel. Pendek, R _s	mm/hr	4,82	5,47	5,34	5,94	5,78	5,47	5,60	6,14	6,97	7,39	6,19	5,33
4. Fungsi suhu, f(t)		15,85	15,85	15,90	15,83	15,67	15,58	15,72	15,72	15,72	15,72	15,88	15,94
5. Tekanan uap jenuh (e _y)	mbar	33,62	33,62	34,02	33,42	32,07	31,32	32,46	32,46	32,46	32,46	33,82	34,43
6. Tekanan uap nyata, e _d	mbar	18,49	21,01	22,12	25,90	26,04	25,43	26,36	26,78	27,98	27,98	24,08	21,07
7. Fungsi tekanan uap, f(e _d)		0,151	0,138	0,133	0,116	0,115	0,118	0,114	0,112	0,107	0,107	0,124	0,138
8. Fungsi kecerahan matahari, f(n/N)		0,595	0,663	0,685	0,798	0,831	0,831	0,831	0,843	0,876	0,876	0,741	0,651
9. Radiasi gel. panjang, R _{n1}		1,422	1,453	1,449	1,465	1,503	1,529	1,490	1,487	1,476	1,476	1,459	1,432
10. Fungsi angin, f(u)	m/dt	1,77	1,68	1,63	1,58	1,65	1,65	1,70	1,75	1,80	1,80	1,73	1,70
11. Evapotranspirasi, E _{to} *	mm/hr	8,23	7,19	6,65	5,18	4,64	4,41	4,64	4,83	4,83	5,07	6,51	7,43
12. Angka koreksi, c		1,10	1,10	1,10	0,90	0,90	0,90	0,90	1,00	1,10	1,10	1,10	1,10
13. Evapotranspirasi potensial, E _{to}	mm/hr	9,05	7,904	7,315	4,661	4,173	3,973	4,173	4,829	5,316	5,576	7,160	8,168

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan Perhitungan :

1. Tabel 4.15

2. Tabel 4.14

3. $(0,25 + 0,54n/N)R_a$

4. Tabel 4.15

5. Tabel 4.15

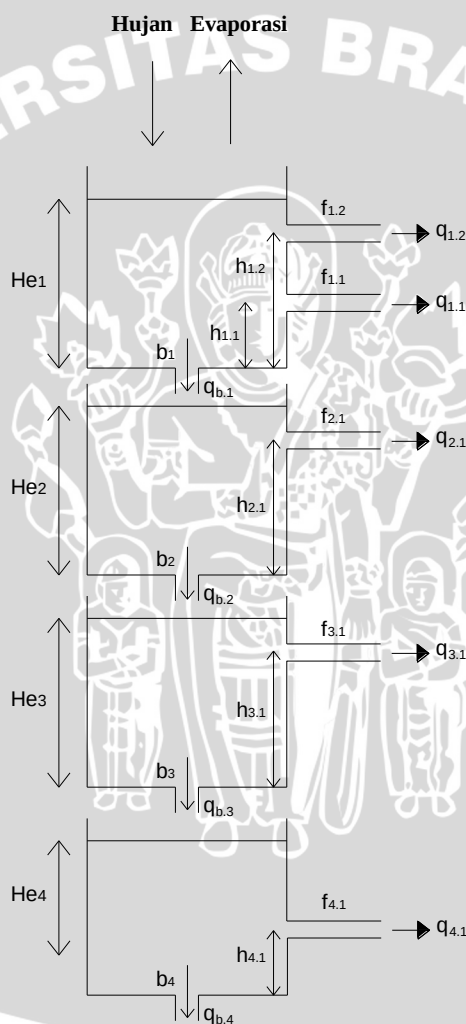
6. $e_a \times RH$ 7. $0,34 - 0,044 e_d^{0,5}$ 8. $0,1 + 0,9n/N$ 9. $f(t) \times f(e_d) \times f(n/N)$ 10. $0,27(1 + 0,864u)$ 11. $w(0,75R_s - R_{n1}) + (1 - w) \times F(u) \times (e_a - e_d)$

12. Tabel 4.16

13. $c \times E_{to}^*$

4.5 Uji Statistik Data Hujan

Uji statistik data hujan perlu dilakukan untuk mengetahui data mana yang paling bagus yang nanti akan digunakan sebagai data input dalam simulasi model tangki menggunakan metode Algoritma Genetika (AG). Dalam uji statistik data hujan menggunakan simulasi model tangki dengan metode simulai coba-banding/*trial and error*. Simulasi ini menggunakan program Visual Basic pada Microsoft Excel untuk mempermudah dan mempercepat proses iterasi perhitungan. Susunan model tangki yang dipergunakan adalah model tangki dengan susunan 4 tangki yang disusun secara seri seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4.5 Susunan Model Tangki

Data-data yang pergunakan dalam perhitungan model tangki ini adalah sebagai berikut:

- Luas Sub Sub DAS Keser yaitu 43,39 km²
- Data evapotranspirasi dari perhitungan metode Penman tahun 2001-2010

- Data hujan rerata harian daerah dari perhitungan metode Poligon Thiessen yang terdiri dari data hujan rerata harian daerah historis tahun 1993-2012.

Langkah-langkah pembangkitan debit model tangki untuk uji statis data hujan adalah sebagai berikut:

1. Memilih data yang bagus (dari tahun 2003-2012) dimana data hujan harian dan data debit aktual (AWLR) harian ada terus menerus selama tidak kurang dari 20 hari.
2. Melakukan kalibrasi debit model tangki menggunakan input data hujan harian rerata daerah yang telah dihitung dengan metode Poligon Thiessen pada langkah sebelumnya, dengan cara coba banding/*trial and error* sampai didapatkan nilai simpangan terkecil. Simulasi model tangki ini dilakukan di setiap jenis model tangki dengan berbagai jumlah hari dan dibandingkan dari semua jenis hari tersebut mana yang paling kecil nilai simpangannya.

Dari hasil kalibrasi dengan metode coba banding / trial error, didapatkan:

- a) Untuk jenis model tangki dengan coba banding 24 hari (22 Januari 2003 – 14 februari 2003)

Tabel 4.11 Data Input Kalibrasi Model Tangki dengan Metode Coba Banding/*Trial and Error*

Tanggal	Hari ke-	CH Rerata	Eto	Q (mm/hari)
22 Januari 2003	1	4,02	9,055	13,90
23 Januari 2003	2	4,23	9,055	11,43
24 Januari 2003	3	20,24	9,055	21,88
25 Januari 2003	4	17,73	9,055	17,38
26 Januari 2003	5	22,12	9,055	15,97
27 Januari 2003	6	42,56	9,055	18,52
28 Januari 2003	7	2,00	9,055	15,27
29 Januari 2003	8	34,63	9,055	12,07
30 Januari 2003	9	3,72	9,055	10,27
31 Januari 2003	10	22,46	9,055	15,75
01 Februari 2003	11	68,63	7,904	22,86
02 Februari 2003	12	10,41	7,904	20,63
03 Februari 2003	13	1,37	7,904	20,47
04 Februari 2003	14	2,18	7,904	22,36
05 Februari 2003	15	2,13	7,904	17,70
06 Februari 2003	16	0,48	7,904	14,95
07 Februari 2003	17	13,16	7,904	22,00
08 Februari 2003	18	0,44	7,904	15,95
09 Februari 2003	19	0,00	7,904	11,79
10 Februari 2003	20	16,21	7,904	15,01
11 Februari 2003	21	2,18	7,904	18,68

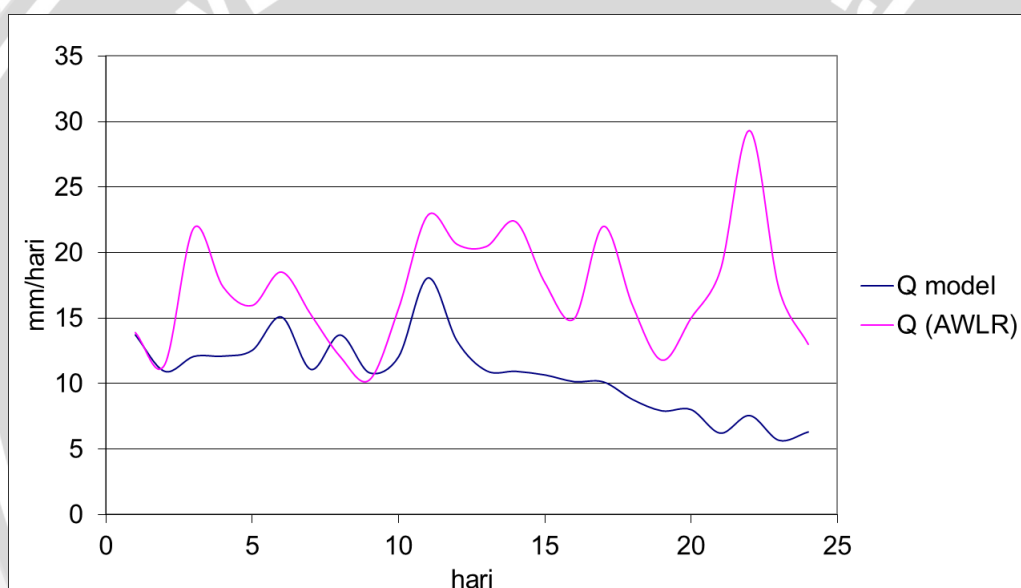
Tanggal	Hari ke-	CH Rerata	Eto	Q (mm/hari)
12 Februari 2003	22	25,82	7,904	29,31
13 Februari 2003	23	9,29	7,904	17,24
14 Februari 2003	24	21,73	7,904	13,00

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.12 Parameter Model Tangki Hasil Coba Banding/Trial and Error

Tank-1		Tank-2		Tank-3		Tank-4	
He₁	37,4000	He₂	43,6000	He₃	41,1000	He₄	41,100
h_{1.2}	0,0100	h_{2.1}	18,0553	h_{3.1}	19,3233	h_{4.1}	0,0100
h_{1.1}	12,0690	f_{2.1}	0,0004	f_{3.1}	0,0005	f_{4.1}	0,1853
f_{1.2}	0,1119	b₂	0,1794	b₃	0,2567	b₄	0,0001
f_{1.1}	0,0001						
b₁	0,6000						

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.6 Grafik Hubungan hari, debit lapangan dan debit bangkitan model tangki dengan coba banding 24 hari

Sumber: Hasil Perhitungan

Untuk mengetahui perbandingan tingkat keakuratan kinerja dari model tangki, dapat dilihat dari nilai RMSE dengan rumus:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}}$$

Dimana:

$X_{obs,i}$ = Debit aktual (Q_{AWLR})

$X_{model,i}$ = Debit terhitung (Q_{model})

n = Jumlah data

Setelah ditinjau menggunakan nilai indikator RMSE, didapatkan nilai RMSE sebesar 325,53. Sedangkan jika dihitung nilai korelasinya sebesar 0,0857. Sehingga model tangki empat susun seri dengan coba banding 24 hari (22 Januari 2003 – 14 februari 2003) tidak dapat digunakan untuk ke step optimasi parameter model tangki dengan metode Algoritma Genetika (AG) selanjutnya.

- b) Untuk jenis model tangki dengan coba banding 25 hari (28 November 2010 – 22 Desember 2010)

Tabel 4.13 Data Input Kalibrasi Model Tangki dengan Metode Coba Banding/*Trial and Error*

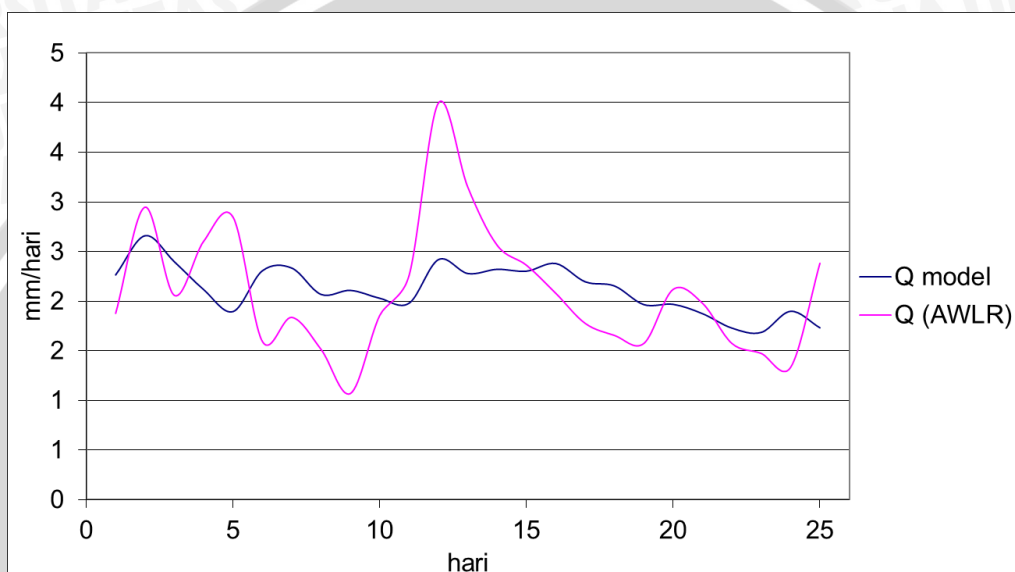
Tanggal	Hari ke-	CH Rerata	Eto	Q (mm/hari)
28 November 2010	1	35,24	7,160	1,877
29 November 2010	2	53,71	7,160	2,947
30 November 2010	3	11,00	7,160	2,059
01 Desember 2010	4	8,64	8,168	2,604
02 Desember 2010	5	10,25	8,168	2,846
03 Desember 2010	6	48,25	8,168	1,595
04 Desember 2010	7	22,80	8,168	1,837
05 Desember 2010	8	2,50	8,168	1,514
06 Desember 2010	9	14,47	8,168	1,070
07 Desember 2010	10	6,84	8,168	1,857
08 Desember 2010	11	8,65	8,168	2,261
09 Desember 2010	12	39,71	8,168	3,997
10 Desember 2010	13	3,50	8,168	3,149
11 Desember 2010	14	14,98	8,168	2,564
12 Desember 2010	15	11,04	8,168	2,362
13 Desember 2010	16	17,21	8,168	2,079
14 Desember 2010	17	0,65	8,168	1,776
15 Desember 2010	18	9,37	8,168	1,655
16 Desember 2010	19	0,00	8,168	1,575
17 Desember 2010	20	11,89	8,168	2,120
18 Desember 2010	21	5,66	8,168	1,978
19 Desember 2010	22	2,26	8,168	1,575
20 Desember 2010	23	8,53	8,168	1,474
21 Desember 2010	24	24,77	8,168	1,332
22 Desember 2010	25	0,97	8,168	2,382

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.14 Parameter Model Tangki Hasil Coba Banding/*Trial and Error*

Tank-1		Tank-2		Tank-3		Tank-4	
He₁	37,4000	He₂	43,6000	He₃	41,1000	He₄	41,100
h_{1.2}	15,4656	h_{2.1}	17,4367	h_{3.1}	17,1033	h_{4.1}	18,4861
h_{1.1}	15,5772	f_{2.1}	0,0002	f_{3.1}	0,0263	f_{4.1}	0,0154
f_{1.2}	0,0067	b₂	0,2359	b₃	0,2787	b₄	0,3597
f_{1.1}	0,0089						
b₁	0,0110						

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.7 Grafik Hubungan hari, debit lapangan dan debit bangkitan model tangki dengan coba banding 25 hari

Sumber: Hasil Perhitungan

Setelah ditinjau menggunakan nilai indikator RMSE, didapatkan nilai RMSE sebesar 0,5852. Sedangkan jika dihitung nilai korelasinya adalah sebesar 0,4152. Sehingga model tangki empat susun seri dengan coba banding 25 hari (28 November 2010 – 22 Desember 2010) dapat digunakan untuk ke step optimasi parameter model tangki dengan metode Algoritma Genetika (AG) selanjutnya.

- c) Untuk jenis model tangki dengan coba banding 28 hari (10 Desember 2005 – 6 Januari 2006)

Tabel 4.15 Data Input Kalibrasi Model Tangki dengan Metode Coba Banding/*Trial and Error*

Tanggal	Hari ke-	CH Rerata	Eto	Q (mm/hari)
10 Desember 2005	1	4,20	8,168	4,28
11 Desember 2005	2	81,05	8,168	2,47
12 Desember 2005	3	2,40	8,168	3,39
13 Desember 2005	4	9,05	8,168	2,83

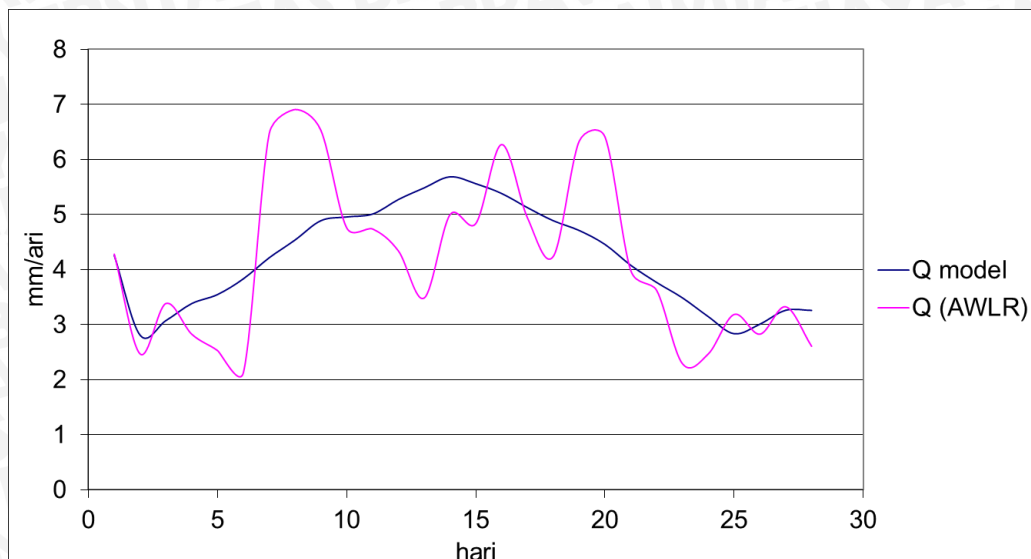
Tanggal	Hari ke-	CH Rerata	Eto	Q (mm/hari)
14 Desember 2005	5	3,30	8,168	2,53
15 Desember 2005	6	22,06	8,168	2,13
16 Desember 2005	7	35,18	8,168	6,47
17 Desember 2005	8	30,66	8,168	6,91
18 Desember 2005	9	32,33	8,168	6,53
19 Desember 2005	10	7,45	8,168	4,76
20 Desember 2005	11	10,02	8,168	4,74
21 Desember 2005	12	32,84	8,168	4,34
22 Desember 2005	13	29,20	8,168	3,48
23 Desember 2005	14	27,79	8,168	5,00
24 Desember 2005	15	0,00	8,168	4,84
25 Desember 2005	16	0,97	8,168	6,27
26 Desember 2005	17	0,32	8,168	4,94
27 Desember 2005	18	11,28	8,168	4,24
28 Desember 2005	19	19,56	8,168	6,33
29 Desember 2005	20	13,44	8,168	6,41
30 Desember 2005	21	1,74	8,168	3,98
31 Desember 2005	22	10,41	8,168	3,62
01 Januari 2006	23	14,25	9,055	2,29
02 Januari 2006	24	2,37	9,055	2,47
03 Januari 2006	25	13,63	9,055	3,19
04 Januari 2006	26	51,91	9,055	2,83
05 Januari 2006	27	45,80	9,055	3,33
06 Januari 2006	28	12,93	9,055	2,61

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.16 Parameter Model Tangki Hasil Coba Banding/Trial and Error

Tank-1		Tank-2		Tank-3		Tank-4	
He₁	37,4000	He₂	43,6000	He₃	41,1000	He₄	41,100
h_{1.2}	15,3257	h_{2.1}	26,6187	h_{3.1}	29,3003	h_{4.1}	21,777
h_{1.1}	7,9576	f_{2.1}	0,0003	f_{3.1}	0,0677	f_{4.1}	0,1129
f_{1.2}	0,0001	b₂	0,1908	b₃	0,0647	b₄	0,5467
f_{1.1}	0,0081						
b₁	0,2654						

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.8 Grafik Hubungan hari, debit lapangan dan debit bangkitan model tangki dengan coba banding 28 hari

Sumber: Hasil Perhitungan

Setelah ditinjau menggunakan nilai indikator RMSE, didapatkan nilai RMSE sebesar 1,1027. Jika dihitung nilai korelasi antara debit lapangan dengan debit model menghasilkan nilai korelasi sebesar 0,661. Sehingga model tangki empat susun seri dengan coba banding 28 hari (10 Desember 2005 – 6 Januari 2006) dapat digunakan untuk ke step optimasi parameter model tangki dengan metode Algoritma Genetik (AG) selanjutnya.

- d) Untuk jenis model tangki dengan coba banding 28 hari (11 Januari 2009 – 7 Februari 2009)

Tabel 4.17 Data Input Kalibrasi Model Tangki dengan Metode Coba Banding/Trial and Error

Tanggal	Hari ke-	CH Rerata	Eto	Q (mm/hari)
11 Januari 2009	1	2,59	9,055	1,05
12 Januari 2009	2	6,04	9,055	0,99
13 Januari 2009	3	4,12	9,055	0,95
14 Januari 2009	4	15,43	9,055	0,89
15 Januari 2009	5	20,03	9,055	0,85
16 Januari 2009	6	0,00	9,055	0,85
17 Januari 2009	7	2,85	9,055	5,19
18 Januari 2009	8	5,61	9,055	2,08
19 Januari 2009	9	35,19	9,055	1,49
20 Januari 2009	10	11,06	9,055	1,15
21 Januari 2009	11	2,26	9,055	1,03
22 Januari 2009	12	7,04	9,055	0,93
23 Januari 2009	13	0,87	9,055	0,91
24 Januari 2009	14	0,97	9,055	0,87

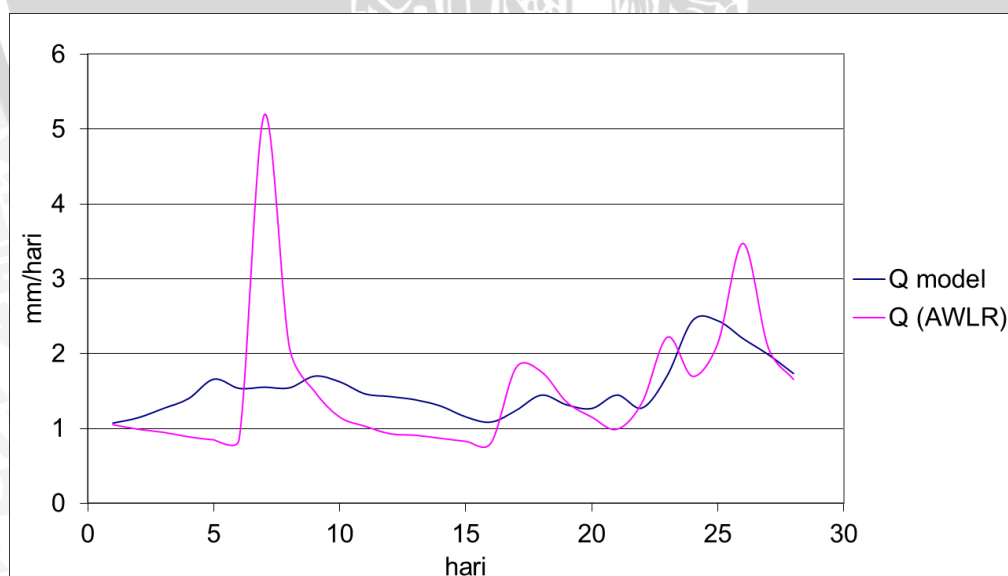
Tanggal	Hari ke-	CH Rerata	Eto	Q (mm/hari)
25 Januari 2009	15	5,17	9,055	0,83
26 Januari 2009	16	24,30	9,055	0,81
27 Januari 2009	17	25,32	9,055	1,82
28 Januari 2009	18	23,13	9,055	1,76
29 Januari 2009	19	10,48	9,055	1,35
30 Januari 2009	20	12,59	9,055	1,15
31 Januari 2009	21	21,18	9,055	0,99
01 Februari 2009	22	6,62	7,904	1,35
02 Februari 2009	23	29,92	7,904	2,22
03 Februari 2009	24	43,92	7,904	1,70
04 Februari 2009	25	17,80	7,904	2,14
05 Februari 2009	26	7,43	7,904	3,47
06 Februari 2009	27	6,41	7,904	2,08
07 Februari 2009	28	3,23	7,904	1,66

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.18 Parameter Model Tangki Hasil Coba Banding/Trial and Error

Tank-1		Tank-2		Tank-3		Tank-4	
He_1	37,4000	He_2	43,6000	He_3	41,1000	He_4	41,100
$h_{1,2}$	20,7585	$h_{2,1}$	18,1891	$h_{3,1}$	17,2719	$h_{4,1}$	16,2719
$h_{1,1}$	16,1694	$f_{2,1}$	0,0003	$f_{3,1}$	0,0002	$f_{4,1}$	0,0183
$f_{1,2}$	0,02437	b_2	0,3845	b_3	0,3301	b_4	0,0363
$f_{1,1}$	0,0001						
b_1	0,1374						

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.9 Grafik Hubungan hari, debit lapangan dan debit bangkitan model tangki dengan coba banding 28 hari

Sumber: Hasil Perhitungan

Setelah ditinjau menggunakan nilai indikator RMSE, didapatkan nilai RMSE sebesar 0,8348. Jika dihitung nilai korelasi antara debit lapangan dengan debit model sebesar 0,4386. Sehingga model tangki empat susun seri dengan coba banding 28 hari (11 Januari 2009 – 7 Februari 2009) dapat digunakan untuk ke step optimasi parameter model tangki dengan metode Algoritma Genetik (AG) selanjutnya.

- e) Untuk jenis model tangki dengan coba banding 34 hari (20 Februari 2008 – 24 Maret 2008)

Tabel 4.19 Data Input Kalibrasi Model Tangki dengan Metode Coba Banding/*Trial and Error*

Tanggal	Har ke-	CH Rerata	Eto	Q (mm/hari)
20 Februari 2008	1	4,6	7,9	7,4
21 Februari 2008	2	10,9	7,9	6,0
22 Februari 2008	3	0,2	7,9	5,2
23 Februari 2008	4	5,9	7,9	6,1
24 Februari 2008	5	0,0	7,9	10,8
25 Februari 2008	6	0,2	7,9	7,9
26 Februari 2008	7	2,1	7,9	7,5
27 Februari 2008	8	58,1	7,9	6,3
28 Februari 2008	9	0,5	7,9	8,4
29 Februari 2008	10	15,1	7,9	7,1
01 Maret 2008	11	2,8	7,3	6,1
02 Maret 2008	12	3,4	7,3	6,3
03 Maret 2008	13	3,7	7,3	6,3
04 Maret 2008	14	5,9	7,3	5,6
05 Maret 2008	15	8,9	7,3	4,6
06 Maret 2008	16	3,2	7,3	5,4
07 Maret 2008	17	0,7	7,3	7,0
08 Maret 2008	18	0,2	7,3	6,3
09 Maret 2008	19	57,9	7,3	9,4
10 Maret 2008	20	2,7	7,3	6,5
11 Maret 2008	21	0,7	7,3	5,8
12 Maret 2008	22	24,3	7,3	5,3
13 Maret 2008	23	8,8	7,3	4,9
14 Maret 2008	24	2,4	7,3	4,7
15 Maret 2008	25	12,9	7,3	4,5
16 Maret 2008	26	6,3	7,3	6,8
17 Maret 2008	27	1,9	7,3	7,9
18 Maret 2008	28	4,1	7,3	8,7
19 Maret 2008	29	20,7	7,3	7,7
20 Maret 2008	30	23,2	7,3	6,7

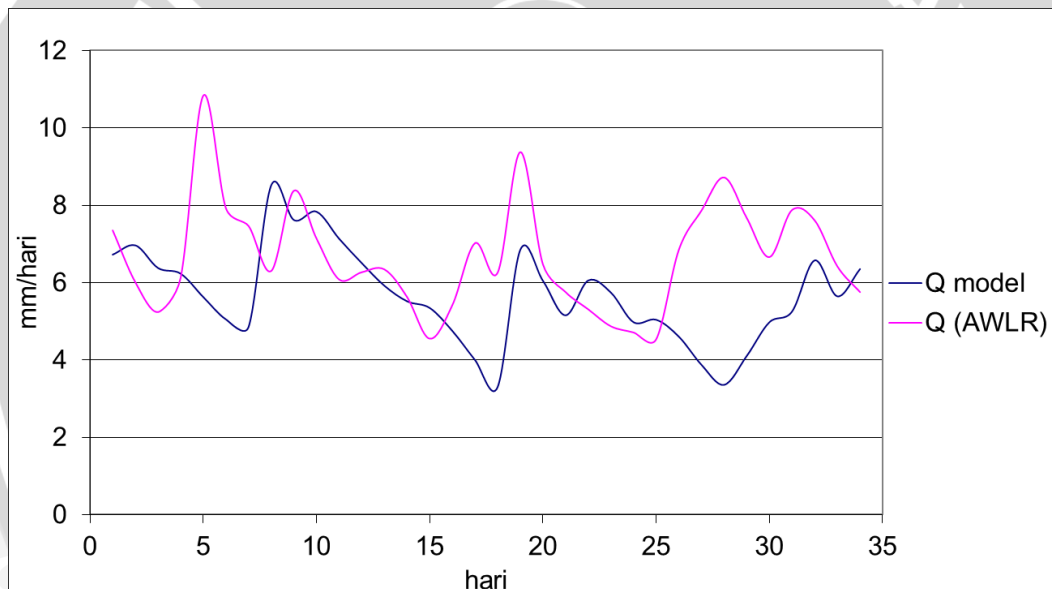
Tanggal	Har ke-	CH Rerata	Eto	Q (mm/hari)
21 Maret 2008	31	16,0	7,3	7,9
22 Maret 2008	32	30,5	7,3	7,6
23 Maret 2008	33	1,4	7,3	6,4
24 Maret 2008	34	22,6	7,3	5,8

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.20 Parameter Model Tangki Hasil Coba Banding/Trial and Error

Tank-1		Tank-2		Tank-3		Tank-4	
He₁	37,4000	He₂	43,6000	He₃	41,1000	He₄	41,100
h_{1.2}	14,1234	h_{2.1}	19,1286	h_{3.1}	15,0401	h_{4.1}	0,0498
h_{1.1}	0,0100	f_{2.1}	0,0001	f_{3.1}	0,0011	f_{4.1}	0,0877
f_{1.2}	0,0001	b₂	0,1859	b₃	0,1317	b₄	0,0001
f_{1.1}	0,0737						
b₁	0,0001						

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.10 Grafik Hubungan hari, debit lapangan dan debit bangkitan model tangki dengan coba banding 34 hari

Sumber: Hasil Perhitungan

Setelah ditinjau menggunakan nilai indikator RMSE, didapatkan nilai RMSE sebesar 2,1276. Jika dihitung nilai korelasi antara debit lapangan dengan debit model menghasilkan nilai korelasi sebesar -0,03. Model tangki empat susun seri dengan coba banding 34 hari (20 Februari 2008 – 24 Maret 2008) dapat digunakan untuk ke step optimasi parameter model tangki dengan metode Algoritma Genetik (AG) selanjutnya.

- f) Untuk jenis model tangki dengan coba banding 30 hari (2 Desember 2012 – 31 Desember 2012)

Tabel 4.21 Data Input Kalibrasi Model Tangki dengan Metode Coba Banding/*Trial and Error*

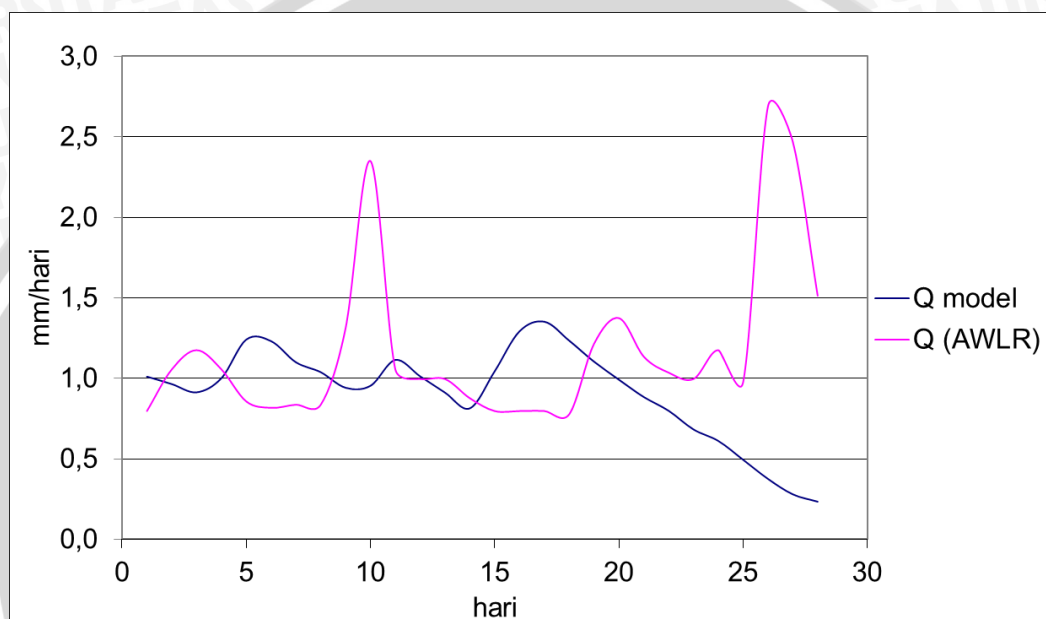
Tanggal	Hari ke-	CH Rerata	Eto	Q (mm/hari)
02 Desember 2012	1	0,58	8,168	0,80
03 Desember 2012	2	3,06	8,168	1,06
04 Desember 2012	3	4,27	8,168	1,17
05 Desember 2012	4	15,70	8,168	1,06
06 Desember 2012	5	27,92	8,168	0,86
07 Desember 2012	6	11,09	8,168	0,82
08 Desember 2012	7	3,05	8,168	0,84
09 Desember 2012	8	8,36	8,168	0,84
10 Desember 2012	9	6,04	8,168	1,31
11 Desember 2012	10	13,87	8,168	2,35
12 Desember 2012	11	24,52	8,168	1,06
13 Desember 2012	12	5,62	8,168	1,00
14 Desember 2012	13	5,41	8,168	1,00
15 Desember 2012	14	5,33	8,168	0,88
16 Desember 2012	15	28,62	8,168	0,80
17 Desember 2012	16	29,94	8,168	0,80
18 Desember 2012	17	16,24	8,168	0,80
19 Desember 2012	18	1,02	8,168	0,78
20 Desember 2012	19	0,00	8,168	1,21
21 Desember 2012	20	1,19	8,168	1,37
22 Desember 2012	21	1,41	8,168	1,14
23 Desember 2012	22	2,91	8,168	1,04
24 Desember 2012	23	0,58	8,168	1,00
25 Desember 2012	24	3,72	8,168	1,17
26 Desember 2012	25	0,32	8,168	0,98
27 Desember 2012	26	0,10	8,168	2,69
28 Desember 2012	27	1,63	8,168	2,47
29 Desember 2012	28	5,14	8,168	1,51
30 Desember 2012	29	20,13	8,168	1,00
31 Desember 2012	30	9,53	8,168	1,04

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.22 Parameter Model Tangki Hasil Coba Banding/*Trial and Error*

Tank-1		Tank-2		Tank-3		Tank-4	
He₁	37,4000	He₂	43,6000	He₃	41,1000	He₄	41,100
h_{1.2}	17,0435	h_{2.1}	17,3524	h_{3.1}	17,3556	h_{4.1}	15,9964
h_{1.1}	0,0109	f_{2.1}	0,0002	f_{3.1}	0,0001	f_{4.1}	0,0160
f_{1.2}	0,0001	b₂	0,2584	b₃	0,2235	b₄	0,1577
f_{1.1}	0,0137						
b₁	0,0001						

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.11 Grafik Hubungan hari, debit lapangan dan debit bangkitan model tangki dengan coba banding 30 hari

Sumber: Hasil Perhitungan

Setelah ditinjau menggunakan nilai indikator RMSE, didapatkan nilai RMSE sebesar 0,7515. Jika dihitung nilai korelasi antara debit lapangan dengan debit model menghasilkan nilai korelasi sebesar -0,053. Model tangki empat susun seri dengan kalibrasi 34 hari (20 Februari 2008 – 24 Maret 2008) dapat digunakan untuk ke step optimasi parameter model tangki dengan metode Algoritma Genetik (AG) selanjutnya.

- g) Untuk jenis model tangki dengan coba banding 22 hari (23 Januari 2004 – 13 Februari 2004)

Tabel 4.23 Data Input Kalibrasi Model Tangki dengan Metode Coba Banding/*Trial and Error*

Tanggal	Hari ke-	CH Rerata	Eto	Q (mm/hari)
23 Januari 2004	1	1,62	9,055	5,34
24 Januari 2004	2	3,23	9,055	5,04

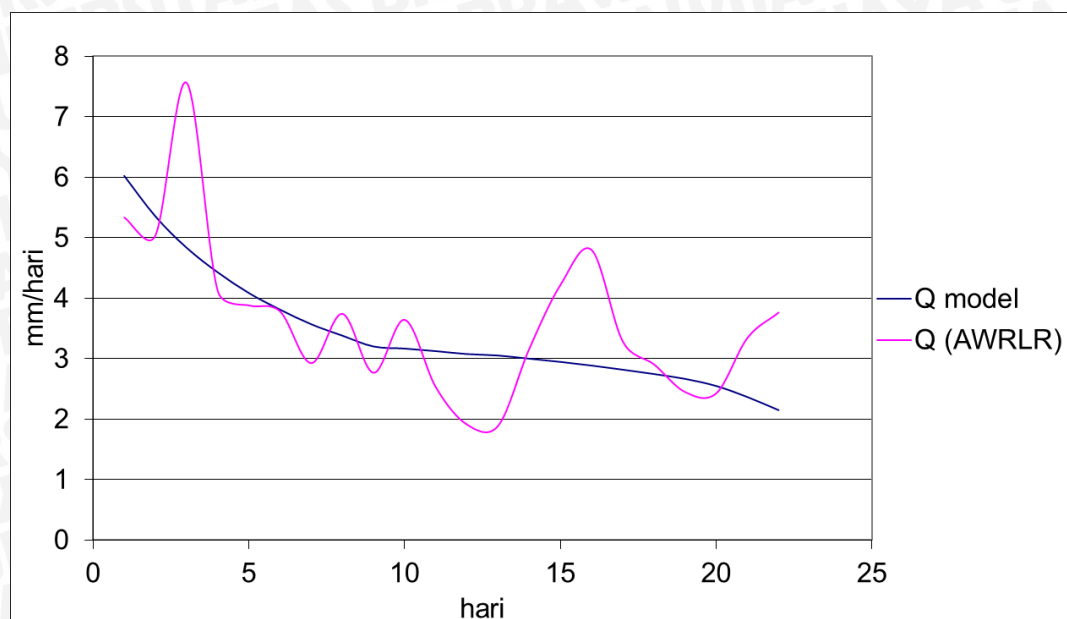
Tanggal	Hari ke-	CH Rerata	Eto	Q (mm/hari)
25 Januari 2004	3	20,31	9,055	7,57
26 Januari 2004	4	20,65	9,055	4,12
27 Januari 2004	5	3,34	9,055	3,88
28 Januari 2004	6	9,25	9,055	3,78
29 Januari 2004	7	0,00	9,055	2,93
30 Januari 2004	8	16,80	9,055	3,74
31 Januari 2004	9	0,48	9,055	2,77
01 Februari 2004	10	23,33	7,904	3,64
02 Februari 2004	11	0,87	7,904	2,53
03 Februari 2004	12	0,24	7,904	1,91
04 Februari 2004	13	34,76	7,904	1,89
05 Februari 2004	14	0,92	7,904	3,17
06 Februari 2004	15	3,89	7,904	4,22
07 Februari 2004	16	0,48	7,904	4,80
08 Februari 2004	17	3,87	7,904	3,29
09 Februari 2004	18	15,47	7,904	2,91
10 Februari 2004	19	0,00	7,904	2,45
11 Februari 2004	20	0,72	7,904	2,43
12 Februari 2004	21	0,44	7,904	3,35
13 Februari 2004	22	2,71	7,904	3,76

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.24 Parameter Model Tangki Hasil Coba Banding/Trial and Error

Tank-1		Tank-2		Tank-3		Tank-4	
He₁	37,4000	He₂	43,6000	He₃	41,1000	He₄	41,100
h_{1.2}	17,4866	h_{2.1}	26,2956	h_{3.1}	0,4629	h_{4.1}	17,2153
h_{1.1}	17,6096	f_{2.1}	0,1152	f_{3.1}	0,0789	f_{4.1}	0,0001
f_{1.2}	0,0001	b₂	0,1003	b₃	0,0001	b₄	0,3046
f_{1.1}	0,0001						
b₁	0,0624						

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.12 Grafik Hubungan hari, debit lapangan dan debit bangkitan model tangki dengan coba banding 22 hari
Sumber: Hasil Perhitungan

Setelah ditinjau menggunakan nilai indikator RMSE, didapatkan nilai RMSE sebesar 0,9854. Jika dihitung nilai korelasi antara debit lapangan dengan debit model menghasilkan nilai korelasi sebesar 0,6484. Sehingga model tangki empat susun seri dengan coba banding 22 hari (20 Februari 2008 – 24 Maret 2008) dapat digunakan untuk ke step optimasi parameter model tangki dengan metode Algoritma Genetik (AG) selanjutnya.

4.6 Model Simulasi Algoritma Genetik

Fungsi tujuan dalam kasus ini adalah mengoptimalkan nilai parameter model tangki untuk mendapatkan besaran atau nilai RMSE sekecil mungkin antara debit bangkitan dengan debit historis, sehingga dapat menghasilkan produk model tangki yang efektif dengan nilai keakuratan tinggi.

Model AG berpusat pada struktur dari kromosom. Kromosom dalam hal ini adalah sekumpulan variabel parameter model tangki yang mewakili alternatif solusi, dalam hal ini berjumlah 16 untuk generasi awal pembangkitan dengan cara acak.

Jadi sebuah kromosom merupakan sekumpulan variabel-variabel keputusan seperti tabel berikut (Contoh perhitungan jenis model tangki dengan optimasi 22hari):

Tabel 4.25 Kromosom Sebagai Alternatif Solusi

Parameter Model Tangki	Nilai Parameter				
	1	2	3	....	16
$f_{1.2}$	0,000203	0,000203	0,000203	....	0,000203
$f_{1.1}$	0,000169	0,000169	0,000169	....	0,000170
b_1	0,151448	0,151448	0,151448	....	0,151448
$f_{2.1}$	0,000112	0,000112	0,000112	....	0,000112
b_2	0,086354	0,086355	0,086215	....	0,086366
$f_{3.1}$	0,000100	0,000100	0,000100	....	0,000100
b_3	0,051517	0,051516	0,051549	....	0,051515
$f_{4.1}$	0,184455	0,184455	0,184455	....	0,184454
b_4	0,000108	0,000108	0,000108	....	0,000108
$h_{1.2}$	20,164893	20,125469	20,124648	....	20,168225
$h_{1.1}$	7,176302	7,204522	7,176550	....	7,205441
$h_{2.1}$	20,431053	20,431418	20,431449	....	20,431185
$h_{3.1}$	21,861125	21,862815	21,861794	....	21,865052
$h_{4.1}$	10,464723	10,464688	10,465176	....	10,464662

Sumber: Hasil Perhitungan

Model optimasi Algoritma Genetika adalah proses optimasi yang secara iteratif mengembangkan dari suatu populasi (sekumpulan variabel parameter model tangki) daripada kromosom (variabel parameter model tangki) sehingga tercapailah suatu kumpulan variabel parameter model tangki yang homogen daripada variabel parameter model tangki yang terbaik. Untuk mengetahui suatu kumpulan variabel sudah homogen adalah dengan menghitung nilai variabel parameter model tangki terbesar dikurangi dengan nilai variabel model tangki terkecil dari sekumpulan 16 kromosom terbaik.

Contoh perhitungan:

Pada jenis parameter $h_{3.1}$, nilai terbesar adalah 21,86539 pada kromosom keenmbelas dan terkecil adalah 21,78948 pada kromosom kedua belas pada pembangkitan generasi awal.

Maka $21,86539 - 21,78948 = 0,07591$

Sehingga bisa dikatakan populasi belum homogen

Dengan teori evolusi dan teori genetika, dalam penerapan optimasi parameter model tangki dengan metode Algoritma Genetika akan melibatkan beberapa operasi, yaitu:

1. Operasi Evolusi yang melibatkan proses seleksi (*selection*)
2. Operasi genetika yang melibatkan proses pindah silang (*crossover*) dan mutasi (*mutation*)

Evaluasi Individu, dimana proses ini akan menghitung nilai *fitness* dari setiap kromosom yang telah dibangkitkan secara random pada tahap inisialisasi populasi. Dalam masalah optimasi pada kajian ini kromosom yang bernilai *fitness* yang redah terpilih dan kromosom yang bernilai tinggi tidak terpilih pada tahap selanjutnya. Karena solusi yang dicari adalah meminimalkan sebuah fungsi, maka nilai *fitness* yang dicari adalah kromosom yang memiliki RMSE terendah.

Seleksi individu adalah proses seleksi terhadap kromosom yang terdapat pada suatu populasi (kumpulan kromosom) berdasarkan nilai kinerja dari masing-masing kromosom. Proses seleksi di sini yaitu memilih 16 kromosom terbaik (berdasarkan nilai kinerja tiap kromosom) dari total populasi kromosom sebesar 120. Hasil proses seleksi kemudian dilanjutkan dengan proses *copy* terhadap kromosom hasil seleksi. Kromosom hasil proses *copy* ini merupakan generasi turunan yang berikutnya.

Jadi besarnya (setiap) generasi turunan berikutnya adalah sebanyak 16 kromosom seperti tabel berikut (Contoh perhitungan jenis model tangki dengan kalibrasi 22hari):

Tabel 4.26 Kromosom Hasil Reproduksi Setelah Seleksi

Jenis Parameter	Kromosom ke-N						
	1	2	3	4	5	....	16
$f_{1.2}$	0,000203	0,000203	0,000203	0,000203	0,000203	....	0,000203
$f_{1.1}$	0,000169	0,000169	0,000169	0,000169	0,000169	....	0,00017
b_1	0,151448	0,151448	0,151448	0,151462	0,151448	....	0,151448
$f_{2.1}$	0,000112	0,000112	0,000112	0,000112	0,000112	....	0,000112
b_2	0,086354	0,086355	0,086215	0,086355	0,086355	....	0,086366
$f_{3.1}$	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	....	0,0001
b_3	0,051517	0,051516	0,051549	0,051516	0,051517	....	0,051515
$f_{4.1}$	0,184455	0,184455	0,184455	0,184456	0,184456	....	0,184454
b_4	0,000108	0,000108	0,000108	0,000108	0,000108	....	0,000108
$h_{1.2}$	20,16489	20,12547	20,12465	20,18798	20,12502	....	20,16822
$h_{1.1}$	7,176302	7,204522	7,17655	7,176653	7,176264	....	7,205441
$h_{2.1}$	20,43105	20,43142	20,43145	20,43128	20,43156	....	20,43119
$h_{3.1}$	21,86113	21,86282	21,86179	21,86161	21,86079	....	21,86505
$h_{4.1}$	10,46472	10,46469	10,46518	10,46481	10,46478	....	10,46466

Sumber: Hasil Perhitungan

Untuk generasi yang baru, kromosom yang baru terbentuk itu akan mengalami proses reproduksi dimana di dalam proses reproduksi ini kromosom tadi akan diproses dalam dua tahap yaitu *crossover* dan mutasi. Pada studi ini proses mutasi tidak diikutsertakan.

Crossover adalah persilangan antara kromosom yang ada pada suatu generasi turunan. Crossover merupakan bagian dari proses reproduksi. Hasil persilangan ini

membentuk populasi dari generasi berikutnya (dalam studi ini sebanyak 120 kromosom). Pada studi ini persilangan antara dua kromosom generasi turunan akan menghasilkan satu kromosom baru. Pada persilangan ini, setiap variabel dari kromosom baru merupakan gabungan antara dua variabel dari kedua kromosom generasi turunan. Untuk variabel ke- i , rumus stokastik penggabungannya sebagai berikut:

$$V_i = V_{1i} \cdot U[0,1] + V_{2i} \cdot (1-U[0,1])$$

Contoh perhitungan variabel baru hasil persilangan antara dua variabel dari kedua kromosom generasi turunan (jenis model tangki dengan optimasi 22 hari), memberikan variabel baru sebagai berikut:

Tabel 4.27 Crossover antara Kedua Kromosom

Kromosom 1	Kromosom 2	Bil. Acak	Kromosom Gabung
0,000204	0,000203	0,8337	0,000204
0,000169	0,000170	0,4101	0,000170
0,151448	0,151448	0,0367	0,151448
0,000112	0,000112	0,0763	0,000112
0,086354	0,086366	0,8317	0,086356
0,000100	0,000100	0,6869	0,000100
0,051517	0,051515	0,5162	0,051516
0,184456	0,184454	0,4478	0,184455
0,000108	0,000108	0,9232	0,000108
20,175155	20,168225	0,4393	20,171269
7,176429	7,205441	0,8735	7,180100
20,430998	20,431185	0,7895	20,431037
21,859646	21,865052	0,3560	21,863128
10,464730	10,464662	0,1209	10,464670

Sumber: Hasil Perhitungan

$$V_i = V_{1i} \cdot U[0,1] + V_{2i} \cdot (1-U[0,1])$$

$$V_i = 0,000204 \cdot 0,8337 (0,1) + 0,000203 \cdot (1- 0,8337)$$

$$V_i = 0,000204$$

Dengan V_i adalah variabel dari kromosom baru gabungan, V_{1i} dan V_{2i} adalah variabel masing-masing dari kedua kromosom generasi turunan, dan $U[0,1]$ adalah bilangan acak uniform antara 0 dan 1.

Jadi semua variabel V_i dari sebuah kromosom baru dibentuk dengan persamaan diatas, maka pembentukan kromosom baru dilakukan oleh setiap pasangan yang berbeda dari kromosom generasi turunan (16 kromosom) sehingga terbentuklah 120 kromosom untuk generasi berikutnya.

Tabel 4.28 Hasil Reproduksi Menghasilkan Populasi 120 Kromosom

Jenis Parameter	Kromosom ke-N						
	1	2	3	4	5	....	120
$f_{1,2}$	0,0002034	0,0002035	0,0002035	0,0002035	0,0002034	....	0,0002034
$f_{1,1}$	0,0001691	0,0001691	0,0001691	0,0001691	0,0001691	....	0,0001691
b_1	0,1514481	0,1514483	0,1514478	0,1514621	0,1514485	....	0,1514483
$f_{2,1}$	0,000112	0,000112	0,000112	0,000112	0,000112	....	0,000112
b_2	0,086354	0,0863545	0,0862151	0,0863549	0,0863554	....	0,0863543
$f_{3,1}$	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	....	0,0001
b_3	0,0515169	0,0515158	0,0515491	0,0515158	0,0515165	....	0,0515168
$f_{4,1}$	0,1844551	0,1844549	0,1844551	0,1844559	0,184456	....	0,1844544
b_4	0,0001081	0,0001081	0,0001081	0,0001081	0,0001081	....	0,0001081
$h_{1,2}$	20,164893	20,125469	20,124648	20,187983	20,125022	....	20,16891
$h_{1,1}$	7,1763021	7,2045223	7,1765504	7,1766525	7,1762639	....	7,176422
$h_{2,1}$	20,431053	20,431418	20,431449	20,43128	20,431556	....	20,431427
$h_{3,1}$	21,861125	21,862815	21,861794	21,861609	21,860791	....	21,86234
$h_{4,1}$	10,464723	10,464688	10,465176	10,464809	10,464776	....	10,464679

Sumber: Hasil Perhitungan

Setelah reproduksi kemudian diseleksi lagi berdasarkan ranking dari nilai kinerja setiap kromosom dalam populasi tersebut, maka ada prioritas bagi kromosom hasil *crossover* yang ada perbaikannya. Kromosom yang memiliki ranking 16 teratas kemudian dilakukan *copy* untuk menghasilkan generasi turunan yang berikutnya untuk proses *crossover*. Iterasi perhitungan optimasi dengan metode Algoritma Genetik ini akan berlanjut terus dan berhenti ketika tercapainya suatu populasi yang homogen, dimana kondisi kromosom identik satu sama lain.

4.7 Aplikasi Optimasi Parameter Model Tangki dengan Metode AG

Ada beberapa langkah yang harus dilakukan dalam pengaplikasian metode Algoritma Genetik (AG) untuk optimasi parameter model tangki, antara lain *generate* fungsi awal dalam bentuk representasi kromosom. Kromosom dalam hal ini adalah variabel jenis parameter model tangki (14 parameter) dengan fungsi tujuannya adalah mengoptimalkan nilai parameter model tangki untuk mendapatkan nilai RMSE sekecil mungkin, sehingga dapat menghasilkan produk model tangki yang efektif dengan nilai keakuratan tinggi. Jadi proses optimasi dengan algoritma genetik akan mencari kromosom terbaik. Proses optimasi algoritma genetik ini berlangsung secara iteratif, dengan proses Inisialisasi merupakan iterasi awal (iterasi ke-0), dan proses perbaikan merupakan iterasi lanjutan (iterasi ke-1, dan seterusnya). Contoh optimasi AG yang ditampilkan selanjutnya diambil dari jenis model tangki dengan kalibasi 25 hari.

4.7.1 Proses Inisialisasi Pada Algoritma Genetik

Tahapan pertama dalam optimasi metode AG adalah inisialisasi populasi yakni melakukan penentuan nilai awal. Bagian penentuan nilai awal ini merupakan input yang dilakukan oleh pengguna sendiri. Input yang diperlukan dalam AG adalah:

1. Penentuan banyak generasi (= 16)
2. Kisaran acak awal (= 0,8)

Sedangkan input yang diperlukan dalam kalibrasi model tangki empat susun seri adalah:

1. Curah hujan rerata harian di Sub DAS Kali Keser
2. Evapotranspirasi (Eto)
3. Data debit lapangan harian (Q_{AWLR})

Dalam proses inisialisasi ini dibangkitkan secara stokastik suatu populasi awal dari kromosom sebanyak 16. Proses ini berfungsi untuk membentuk sebuah populasi generasi pertama. Pembentukan populasi generasi pertama ini dilakukan dengan cara mengisi kromosom-kromosom yang ada secara *random* dari semua titik yang ada menggunakan perintah algoritma yang disajikan melalui sub program generasi awal sebagai berikut:

Program Ms. Excel-VBA (Visual Basic for Application)
<pre> Sub B_Generasi_Awal() Calculate Kisaran_Acak_Awal = 0.8 N_Generasi_Awal = 16 With Worksheets("Simulasi_Acak") .Range("BU5:DR5").ClearContents .Range("BU12:DR32").ClearContents .Range("L1").Value = 1 For G = 1 To N_Generasi_Awal .Range("J7").Value = Kisaran_Acak_Awal </pre>


```
.Range("Q43").Value = -1
AP_Simulasi
.Range("J7").Value = 0
.Calculate
.Range("BT5").Offset(0, G).Value = .Range("Q41").Value
For p = 1 To 14
    .Range("BT11").Offset(p, G).Value = .Range("L10").Offset(p, 0).Value
Next p

Next G

End With

Calculate

End Sub
```

Perintah yang dijalankan dari sub program B_Generasi_Awal menghasilkan data populasi generasi awal seperti yang tertera pada tabel berikut:

Tabel 4.29 Generasi Awal dari Populasi Parameter Model Tangki

Jenis Parameter	Nilai Parameter															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$f_{1.2}$	0,0071	0,0001	0,0615	0,0001	0,0001	0,0575	0,0001	0,0287	0,0001	0,0171	0,1075	0,1784	0,0485	0,0004	0,0059	0,0233
$f_{1.1}$	0,1938	0,1497	0,0993	0,1096	0,1280	0,1105	0,1038	0,1315	0,1220	0,0969	0,1165	0,0777	0,1613	0,1817	0,1684	0,1160
b_1	0,0001	0,0011	0,5901	0,4451	0,4206	0,5138	0,5258	0,4956	0,5153	0,5214	0,5722	0,6000	0,5016	0,5700	0,2891	0,4915
$f_{2.1}$	0,0620	0,0227	0,0001	0,0063	0,0045	0,0001	0,0005	0,0070	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
b_2	0,2748	0,1662	0,6000	0,6000	0,6000	0,4966	0,4735	0,3442	0,6000	0,5446	0,5487	0,4626	0,5626	0,6000	0,5831	0,5727
$f_{3.1}$	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
b_3	0,2030	0,2216	0,2432	0,2570	0,2406	0,2812	0,2871	0,2496	0,3310	0,2523	0,2171	0,2575	0,1952	0,2052	0,2539	0,3132
$f_{4.1}$	0,1593	0,1675	0,2465	0,2280	0,2421	0,2189	0,2424	0,2330	0,1927	0,2122	0,2861	0,2424	0,2345	0,2444	0,2222	0,2272
b_4	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
$h_{1.2}$	15,3524	9,1579	29,7360	28,8639	26,7515	17,8848	25,1730	14,9780	30,0000	26,0415	29,5607	29,9116	18,5340	29,9629	24,5846	27,8969
$h_{1.1}$	0,0100	0,0100	3,2146	0,5106	0,8537	0,5816	2,4143	0,3066	1,6312	0,3580	1,4505	6,0479	0,2304	6,2848	0,7695	2,8953
$h_{2.1}$	29,9185	10,6180	17,6932	3,2762	0,0100	21,8995	3,0768	9,6892	9,4039	17,2085	8,3912	7,4577	27,7894	1,3281	27,2008	0,0100
$h_{3.1}$	0,0100	13,8990	8,4932	27,3350	12,4818	22,6952	12,2130	15,2989	4,5134	7,3496	14,1611	5,8882	4,2272	3,8613	0,0100	28,0565
$h_{4.1}$	0,1782	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,4086	0,0100	0,0100	0,0100	0,3799	0,0100	0,0100	0,4556	0,0100	0,2750	0,0100

Sumber: Hasil Perhitungan

Selanjutnya adalah proses *crossover* atau persilangan antar kromosom sehingga terbentuk populasi sejumlah 120 kromosom dari hasil kombinasi antar generasi awal yang berjumlah 16 menggunakan perintah algoritma yang disajikan melalui sub program Crossover sebagai berikut:

Program Ms. Excel-VBA (Visual Basic for Application)
<pre>Sub C_Crossover() Calculate With Worksheets("Simulasi_Acak") .Range("L1").Value = 2 I_populasi = .Range("DW2").Value I_cross = .Range("DW6").Value .Range("EH3:AZJ5").ClearContents .Range("EH9:AZJ9").ClearContents .Range("EH12:AZJ32").ClearContents For I_p = 1 To I_populasi .Range("DW1").Value = I_p Ada_Perbaikan = 0 .Calculate Nilai_1 = .Range("DZ5").Value Nilai_2 = .Range("EA5").Value If Nilai_1 >= Nilai_2 Then .Range("ED3:ED5").Value = .Range("DZ3:DZ5").Value .Range("ED12:ED32").Value = .Range("DZ12:DZ32").Value Else .Range("ED3:ED5").Value = .Range("EA3:EA5").Value .Range("ED12:ED32").Value = .Range("EA12:EA32").Value</pre>

End If

For I_c = 1 To I_cross

.Calculate

If .Range("EA8").Value = 0 Then

.Range("ED3:ED5").Value = .Range("EC3:EC5").Value

.Range("ED12:ED32").Value = .Range("EC12:EC32").Value

Ada_Perbaikan = 1

End If

Next I_c

.Range("EG3").Offset(0, I_p).Value = .Range("ED3").Value

.Range("EG4").Offset(0, I_p).Value = .Range("ED4").Value

.Range("EG5").Offset(0, I_p).Value = .Range("ED5").Value

.Range("EG9").Offset(0, I_p).Value = Ada_Perbaikan

For prd = 1 To 21

.Range("EG11").Offset(prd, I_p).Value = .Range("ED11").Offset(prd, 0).Value

Next prd

Next I_p

End With

Calculate

End Sub

Perintah yang dijalankan dari sub program C_Crossover() untuk persilangan antara 16 kromosom menghasilkan data populasi seperti yang tertera pada tabel berikut:

Tabel 4.30 Populasi Awal Parameter Model Tangki

Jenis Parameter	Nilai Parameter									
	1	2	3	4	5	6	7	8	...	120
$f_{1,2}$	0,1618	0,1468	0,0001	0,0001	0,0483	0,0001	0,0001	0,0823	...	0,0373
$f_{1,1}$	0,0001	0,0001	0,0754	0,0001	0,0001	0,0001	0,1643	0,0001	...	0,1260
b_1	0,4950	0,4873	0,4264	0,5285	0,5382	0,5156	0,5033	0,4790	...	0,0001
$f_{2,1}$	0,0001	0,0001	0,0054	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0130	...	0,0001
b_2	0,3111	0,2897	0,4256	0,2635	0,3196	0,2918	0,2772	0,2683	...	0,4903
$f_{3,1}$	0,2393	0,2594	0,1574	0,2624	0,1849	0,2701	0,2255	0,2302	...	0,0262
b_3	0,0001	0,0001	0,0669	0,0001	0,1845	0,0001	0,0015	0,0001	...	0,1234
$f_{4,1}$	0,1489	0,1782	0,1846	0,0413	0,1834	0,0405	0,0818	0,0246	...	0,2418
b_4	0,1881	0,6000	0,0006	0,6000	0,0024	0,6000	0,0370	0,1888	...	0,0034
$h_{1,2}$	29,7835	28,6947	21,0744	30,0000	26,0186	14,0869	30,0000	13,3584	...	15,6885
$h_{1,1}$	1,8218	1,4221	0,0100	0,0100	1,1877	7,9976	1,7284	0,3162	...	0,0100
$h_{2,1}$	3,7026	2,1752	0,3487	2,2213	1,9244	0,3750	0,0389	3,1757	...	29,0373
$h_{3,1}$	0,0100	0,0100	0,4276	0,0100	1,1952	0,0100	0,0100	0,0100	...	1,7878
$h_{4,1}$	1,7885	26,9926	0,0100	0,0100	0,0100	0,0298	0,0100	2,0424	...	6,8888

Sumber: Hasil Perhitungan

Jadi ke-120 jenis kromosom pada tabel di atas merupakan populasi awal variabel parameter model tangki.

4.7.2 Proses Perbaikan Pada Algoritma Genetik

Proses perbaikan pada Optimasi Algoritma Genetik (AG) bertujuan untuk meningkatkan kualitas dari generasi variabel parameter model tangki, yang ditandai dengan peningkatan nilai kinerja dari generasi tersebut. Proses perbaikan ini pada dasarnya adalah proses-proses crossover dan reproduksi yang dilaksanakan secara bergantian secara iteratif sehingga tercapai suatu populasi yang seragam (homogen) dengan kualitas yang dianggap terbaik.

Tabel populasi dibawah ini didapat dari hasil kombinasi antar kromosom yang berjumlah 16 dari generasi sebelumnya, yaitu pada proses *crossover* atau persilangan antar kromosom pilihan sehingga terbentuk populasi sejumlah 120 kromosom.

Tabel 4.31 Populasi Hasil Perbaikan Pertama

Jenis Parameter	Nilai Parameter														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...	120
$f_{1.2}$	0,0009	0,0436	0,0059	0,0031	0,0117	0,0034	0,0097	0,0068	0,0161	0,0090	0,0123	0,0142	0,0020	...	0,0065
$f_{1.1}$	0,1710	0,1459	0,1789	0,1779	0,1674	0,1842	0,1473	0,1803	0,1873	0,1760	0,1572	0,1655	0,1876	...	0,1417
b_1	0,0002	0,5709	0,0034	0,0002	0,4366	0,5168	0,0010	0,0027	0,5074	0,5473	0,4891	0,0116	0,0016	...	0,4873
$f_{2.1}$	0,0520	0,0125	0,0088	0,0276	0,0197	0,0064	0,0181	0,0586	0,0034	0,0047	0,0513	0,0028	0,0130	...	0,0001
b_2	0,1878	0,5720	0,5870	0,3988	0,4370	0,4003	0,3132	0,4887	0,5155	0,5394	0,4615	0,3341	0,3108	...	0,5791
$f_{3.1}$	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	...	0,0001
b_3	0,2062	0,2405	0,2070	0,2116	0,2752	0,2683	0,2273	0,2039	0,2354	0,2109	0,2391	0,2001	0,2041	...	0,2584
$f_{4.1}$	0,1624	0,2234	0,1634	0,1617	0,2034	0,2276	0,1766	0,1689	0,1994	0,2440	0,2313	0,1884	0,1751	...	0,2231
b_4	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	...	0,0001
$h_{1.2}$	9,5199	28,7270	16,6779	26,4919	16,9748	18,2814	15,1469	24,1074	21,7931	27,9852	29,0244	15,7124	22,8492	...	27,5017
$h_{1.1}$	0,0100	2,7454	0,2331	0,6585	0,1592	0,2784	0,1623	0,0603	0,0811	1,2187	0,8782	0,0584	0,4602	...	0,8229
$h_{2.1}$	29,4440	26,1057	20,3857	23,8814	28,5208	18,0342	19,0115	25,3522	27,7632	14,6883	26,9520	27,8267	15,1117	...	9,0873
$h_{3.1}$	11,4893	0,9899	3,1716	12,2186	15,2720	9,0275	6,7459	4,2269	6,3811	1,6777	5,7986	3,9019	3,4459	...	12,3127
$h_{4.1}$	0,0554	0,0300	0,0653	0,0930	0,3303	0,0824	0,0479	0,1776	0,2015	0,1674	0,0289	0,3329	0,1286	...	0,0533

Sumber: Hasil Perhitungan

Selanjutnya adalah proses reproduksi. Proses reproduksi pada proses perbaikan ini melaksanakan peningkatan kualitas dengan melakukan seleksi terhadap populasi kromosom. Populasi yang terdiri dari 120 kromosom kemudian diseleksi berdasarkan ranking dari nilai kinerja dari setiap kromosom. Selain dilakukan berdasarkan ranking terhadap nilai kinerja setiap kromosom, juga ada prioritas bagi kromosom yang ada perbaikannya (minimal 1 kali). Dari 120 kromosom akan dipilih 16 kromosom terbaik untuk menghasilkan generasi turunan berikutnya. Berikut kromosom perbaikan yang terpilih menjadi generasi turunan variabel parameter model tangki berikutnya:

Tabel 4.32 Populasi Hasil Perbaikan (Seleksi)

Jenis Parameter	Kromosom Terpilih								
	1	2	3	4	5	6	7	....	16
$f_{1.2}$	0,0009	0,0018	0,0104	0,0049	0,0561	0,0174	0,0003	....	0,0052
$f_{1.1}$	0,1710	0,1582	0,1781	0,1693	0,1345	0,1618	0,1529	....	0,1459
b_1	0,0002	0,5588	0,5607	0,5632	0,5584	0,5726	0,5588	....	0,5114
$f_{2.1}$	0,0520	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0024	....	0,0001
b_2	0,1878	0,5819	0,5099	0,5900	0,4993	0,5995	0,6000	....	0,5940
$f_{3.1}$	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	....	0,0001
b_3	0,2062	0,2444	0,2368	0,2311	0,2427	0,2472	0,2241	....	0,2480
$f_{4.1}$	0,1624	0,2188	0,2256	0,2310	0,2360	0,2231	0,2332	....	0,2190
b_4	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	....	0,0001
$h_{1.2}$	9,5199	28,3098	22,7049	25,0267	29,7396	29,0182	29,5088	....	29,8606
$h_{1.1}$	0,0100	0,5321	0,6575	1,0180	0,2516	1,2036	0,9105	....	0,5490
$h_{2.1}$	29,4440	7,0853	14,3991	6,0512	17,3606	20,3224	1,8730	....	18,3382
$h_{3.1}$	11,4893	5,4695	22,5835	1,7322	4,6560	5,7303	16,8533	....	4,3322
$h_{4.1}$	0,0554	0,0697	0,0758	0,0134	0,0437	0,0541	0,0100	....	0,1222

Sumber: Hasil Perhitungan

Terhadap 16 kromosom yang terpilih kemudian dilakukan copy untuk menghasilkan generasi turunan berikutnya menggunakan perintah algoritma yang disajikan melalui sub program Copy sebagai berikut:

Program Ms. Excel-VBA (Visual Basic for Application)
Sub D_Copy() Calculate With Worksheets("Simulasi_Acak") .Range("BBO3").Calculate

```

N_posisi = .Range("BBO3").Value + 1
For i = 1 To 50
    .Range("BBR2").Offset(N_posisi, i).Value = .Range("AZM5").Offset(0, i).Value
Next i

.Range("BU3:DR5").Value = .Range("AZN3:BBK5").Value
.Range("BU12:DR32").Value = .Range("AZN12:BBK32").Value

End With

Calculate

End Sub

```

Perintah yang dijalankan dari sub program D_Copy() menghasilkan data berupa generasi turunan yang baru sebagai berikut:

Tabel 4.33 Generasi Turunan Berikutnya

Jenis Parameter	Nilai Parameter								
	1	2	3	4	5	6	7	....	16
$f_{1.2}$	0,0009	0,0018	0,0104	0,0049	0,0561	0,0174	0,0003	....	0,0052
$f_{1.1}$	0,1710	0,1582	0,1781	0,1693	0,1345	0,1618	0,1529	....	0,1459
b_1	0,0002	0,5588	0,5607	0,5632	0,5584	0,5726	0,5588	....	0,5114
$f_{2.1}$	0,0520	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0024	....	0,0001
b_2	0,1878	0,5819	0,5099	0,5900	0,4993	0,5995	0,6000	....	0,5940
$f_{3.1}$	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	....	0,0001
b_3	0,2062	0,2444	0,2368	0,2311	0,2427	0,2472	0,2241	....	0,2480
$f_{4.1}$	0,1624	0,2188	0,2256	0,2310	0,2360	0,2231	0,2332	....	0,2190
b_4	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	....	0,0001
$h_{1.2}$	9,5199	28,3098	22,7049	25,0267	29,7396	29,0182	29,5088	....	29,8606
$h_{1.1}$	0,0100	0,5321	0,6575	1,0180	0,2516	1,2036	0,9105	....	0,5490
$h_{2.1}$	29,4440	7,0853	14,3991	6,0512	17,3606	20,3224	1,8730	....	18,3382
$h_{3.1}$	11,4893	5,4695	22,5835	1,7322	4,6560	5,7303	16,8533	....	4,3322
$h_{4.1}$	0,0554	0,0697	0,0758	0,0134	0,0437	0,0541	0,0100	....	0,1222

Sumber: Hasil Perhitungan

Untuk memeriksa apakah populasi kromosom tersebut seragam (homogen) atau tidaknya adalah dengan menghitung nilai setiap jenis parameter model tangki terbesar dikurangi dengan nilai jenis parameter model tangki terkecil. Dengan syarat pengurangan antar jenis parameter yang sama.

Contoh perhitungan:

Pada jenis parameter $h_{2,1}$, nilai terbesar adalah 29,444 pada kromosom pertama dan terkecil adalah 1,8729 pada kromosom ketujuh.

Maka selisih nilai keduanya: $29,444 - 1,8729 = 27,84$

Besarnya selisih antar kedua jenis variabel menandakan bahwa populasi kromosom pada generasi turunan berikutnya belum seragam atau homogen, sehingga harus dilakukn proses perbaikan lagi. Untuk hasil perhitungan keseragaman parameter model tangki disajikan dalam tabel berikut:



Tabel 4.34 Cek Kondisi Keseragaman Populasi Kromosom

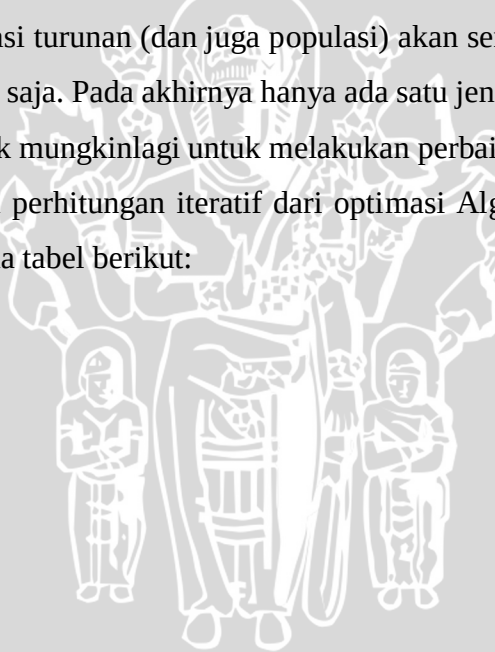
Jenis Parameter	Nilai Parameter																Cek Kondisi Homogen
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
$f_{1,2}$	0,0009	0,0018	0,0104	0,0049	0,0561	0,0174	0,0003	0,0263	0,0001	0,0002	0,0031	0,0010	0,0059	0,0276	0,0577	0,0052	0,06
$f_{1,1}$	0,1710	0,1582	0,1781	0,1693	0,1345	0,1618	0,1529	0,1575	0,1652	0,1695	0,1779	0,1520	0,1657	0,1462	0,1355	0,1459	0,04
b_1	0,0002	0,5588	0,5607	0,5632	0,5584	0,5726	0,5588	0,5952	0,5529	0,0032	0,0002	0,5214	0,5681	0,5475	0,5899	0,5114	0,60
$f_{2,1}$	0,0520	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0024	0,0001	0,0001	0,0013	0,0276	0,0004	0,0025	0,0001	0,0001	0,0001	0,05
b_2	0,1878	0,5819	0,5099	0,5900	0,4993	0,5995	0,6000	0,4662	0,6000	0,1805	0,3988	0,4841	0,4882	0,5496	0,5935	0,5940	0,42
$f_{3,1}$	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,00
b_3	0,2062	0,2444	0,2368	0,2311	0,2427	0,2472	0,2241	0,2559	0,2405	0,2145	0,2116	0,2325	0,2417	0,2498	0,2288	0,2480	0,05
$f_{4,1}$	0,1624	0,2188	0,2256	0,2310	0,2360	0,2231	0,2332	0,2308	0,2181	0,1714	0,1617	0,2424	0,2355	0,2275	0,2434	0,2190	0,08
b_4	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,00
$h_{1,2}$	9,5199	28,3098	22,7049	25,0267	29,7396	29,0182	29,5088	25,2897	29,9941	23,6109	26,4919	23,0085	17,0061	28,1240	27,3498	29,8606	20,47
$h_{1,1}$	0,0100	0,5321	0,6575	1,0180	0,2516	1,2036	0,9105	1,4500	1,6697	0,8847	0,6585	0,2819	1,3513	1,1389	0,2510	0,5490	1,66
$h_{2,1}$	29,4440	7,0853	14,3991	6,0512	17,3606	20,3224	1,8730	11,7748	1,5996	5,5556	23,8814	18,4288	2,8264	25,9392	24,7948	18,3382	27,84
$h_{3,1}$	11,4893	5,4695	22,5835	1,7322	4,6560	5,7303	16,8533	1,6985	4,1143	9,8368	12,2186	6,1154	8,8069	11,7237	5,9603	4,3322	20,88
$h_{4,1}$	0,0554	0,0697	0,0758	0,0134	0,0437	0,0541	0,0100	0,1175	0,0100	0,0100	0,0930	0,0172	0,0100	0,0459	0,0155	0,1222	0,11
																	72,27

Sumber: Hasil Perhitungan

Sub program Algoritma Genetika tersebut di atas dapat dijalankan secara sendiri-sendiri karena proses optimasi masih dalam tahap pencarian nilai-nilai yang sesuai untuk parameter model tangki. Dengan menjalankan masing-masing program secara tersendiri, maka masing-masing nilai parameter yang sesuai dapat dijabaki secara lebih mudah dan cepat.

Iterasi perhitungan optimasi dengan metode Algoritma Genetika ini akan berhenti begitu dicapainya kondisi populasi kromosom yang seragam (homogen). Dalam kondisi ini maka setiap kromosom identik satu sama lain. Hal ini tercapai karena semakin berlanjutnya iterasi, maka semakin jarang pla terjadi perbaikan dalam proses crossover antar kromosoom. Apabila tidak terjadi perbaikan dalam proses Crossover antara sepasang kromosm, maka yang terpilih menjadi anggota populasi berikutnya adalah kromosom yang lebih baik (di antara pasangan tersebut). Karena dalam seleksi kromoso generasi turunan adalah berdasarkan ranking nilai kinerjas, maka semakin lama berlanjutnya iterasi; generasi turunan (dan juga populasi) akan semakin didominasi oleh satu jeis kromosom terbaik saja. Pada akhirnya hanya ada satu jenis kromosom saja yang seragam ini, dan sudah tdak mungkin lagi untuk melakukan perbaikan nilai kinerja.

Secara umum hasil perhitungan iteratif dari optimasi Algoritma Genetika yang telah optimal disajikan pada tabel berikut:



Tabel 4.35 Rekap Hasil Iterasi Optimasi Metode AG

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Generasi Awal	6433,24	4590,00	4363,73	3220,79	2293,78	1051,05	789,76	766,70	663,71	624,46	511,33	444,68	306,65	184,98	116,44	115,71
Generasi Turunan 1	9,64	9,96	9,98	10,00	10,29	11,99	12,72	13,15	13,54	14,46	14,48	14,74	15,65	16,29	16,49	17,60
Generasi Turunan 2	8,48	8,74	8,75	8,76	8,80	8,81	8,83	8,87	8,87	8,88	8,89	8,88	8,90	8,90	8,93	8,93
Generasi Turunan 3	8,48	8,74	8,75	8,76	8,80	8,81	8,83	8,87	8,87	8,88	8,89	8,88	8,90	8,90	8,93	8,93
Generasi Turunan 4	8,48	8,74	8,75	8,76	8,80	8,81	8,83	8,87	8,87	8,88	8,89	8,88	8,90	8,90	8,93	8,93
Generasi Turunan 5	8,48	8,74	8,75	8,76	8,80	8,81	8,83	8,87	8,87	8,88	8,89	8,88	8,90	8,90	8,93	8,93
Generasi Turunan 6	8,48	8,74	8,75	8,76	8,80	8,81	8,83	8,87	8,87	8,88	8,89	8,88	8,90	8,90	8,93	8,93
Generasi Turunan 7	8,47	8,56	8,69	8,77	8,82	8,94	8,97	8,99	9,00	9,00	9,03	9,05	9,06	9,07	9,11	9,16
Generasi Turunan 8	8,10	8,21	8,26	8,28	8,30	8,30	8,31	8,34	8,34	8,37	8,42	8,42	8,42	8,45	8,45	8,46
Generasi Turunan 9	8,04	8,07	8,08	8,08	8,08	8,09	8,09	8,10	8,10	8,10	8,10	8,10	8,11	8,12	8,11	8,12
Generasi Turunan 10	8,03	8,03	8,03	8,03	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04
Generasi Turunan 11	8,02	8,01	8,02	8,02	8,02	8,02	8,02	8,02	8,02	8,02	8,02	8,02	8,02	8,02	8,02	8,03
Generasi Turunan 12	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01
Generasi Turunan 13	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01
Generasi Turunan 14	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01
Generasi Turunan 15	8,00	8,01	8,01	8,00	8,01	8,01	8,00	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01
Generasi Turunan 16	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Generasi Turunan 17	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Generasi Turunan 18	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Generasi Turunan 19	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Generasi Turunan 20	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Tabel Rekap Hasil Iterasi Optimasi Metode AG dapat dilihat bahwa kondisi populasi yang seragam atau homogen akhirnya tercapai pada iterasi yang ke-20. Dapat diasumsikan bahwa nilai ke-14 parameter model tangki sudah optimal dengan nilai kinerja maksimum sebesar 8,00. Sedangkan nilai RMSE sebesar 0,5658 yang artinya nilai error/simpangan sebesar 56,58%.

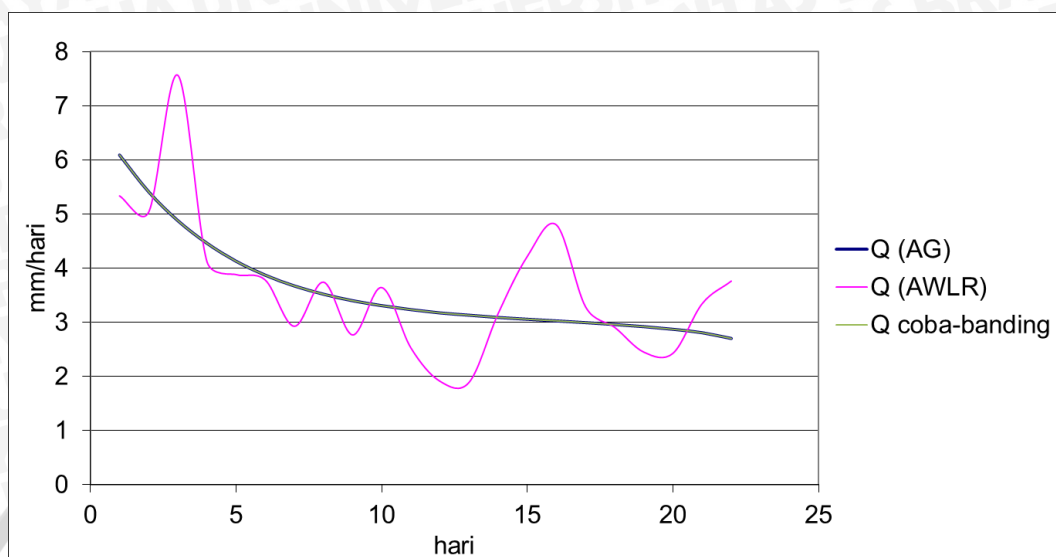
Optimasi ini dilakukan sebanyak 6 kali dimana masing-masingnya menggunakan input berbeda (Eto, CH, dan Q_{AWLR}) dan input seri bilangan acak yang berbeda. Hasil optimasinya lalu dibandingkan satu sama lain seperti yang ditampilkan pada tabel berikut ini:

Tabel 4.36 Rekap Nilai Parameter Hasil Optimasi Metode AG

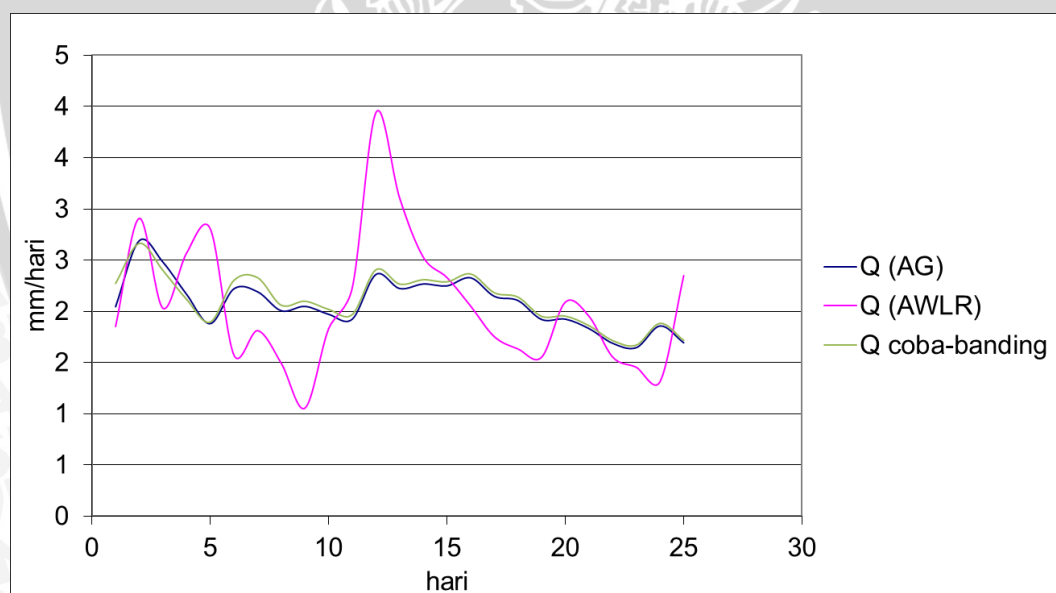
No	JENIS PARAMETER BANYAK HARI	23/01/2004 - 13/02/2004	28/11/2010 - 22/12/2010	10/12/2005 - 06/01/2006	11/01/2009 - 07/02/2009	02/12/2012 - 31/12/2012	20/02/2008 - 24/03/2008
		22 hari	25 hari	28 hari	28 hari	30 hari	34 hari
1	$f_{1.2}$	0,0002	0,0093	0,0104	0,0069	0,0001	0,0001
2	$f_{1.1}$	0,0002	0,0063	0,0030	0,0074	0,0001	0,0633
3	b_1	0,1514	0,0102	0,3165	0,2573	0,2849	0,4588
4	$f_{2.1}$	0,0001	0,0006	0,0005	0,0020	0,0001	0,0001
5	b_2	0,0864	0,4261	0,1657	0,2837	0,0723	0,5935
6	$f_{3.1}$	0,0001	0,0434	0,0732	0,0258	0,0001	0,0002
7	b_3	0,0515	0,1867	0,0697	0,0223	0,0176	0,1304
8	$f_{4.1}$	0,1845	0,0007	0,1064	0,0003	0,0562	0,0948
9	b_4	0,0001	0,0829	0,5477	0,3955	0,0004	0,0001
10	$h_{1.2}$	20,1689	27,6199	29,0256	19,7490	28,8897	14,2290
11	$h_{1.1}$	7,1764	15,5869	1,9644	13,3410	5,3899	0,2825
12	$h_{2.1}$	20,4314	19,0181	16,2476	28,6281	14,3230	19,3616
13	$h_{3.1}$	21,8623	29,2198	28,7273	23,8319	13,6705	2,0651
14	$h_{4.1}$	10,4647	6,1582	21,7661	14,9926	24,2898	0,1994
RMSE		0,9364	0,5658	1,0960	0,4443	0,4542	2,0948
nilai korelasi		0,667	0,458	0,350	0,444	0,350	0,213

Sumber: Hasil Perhitungan

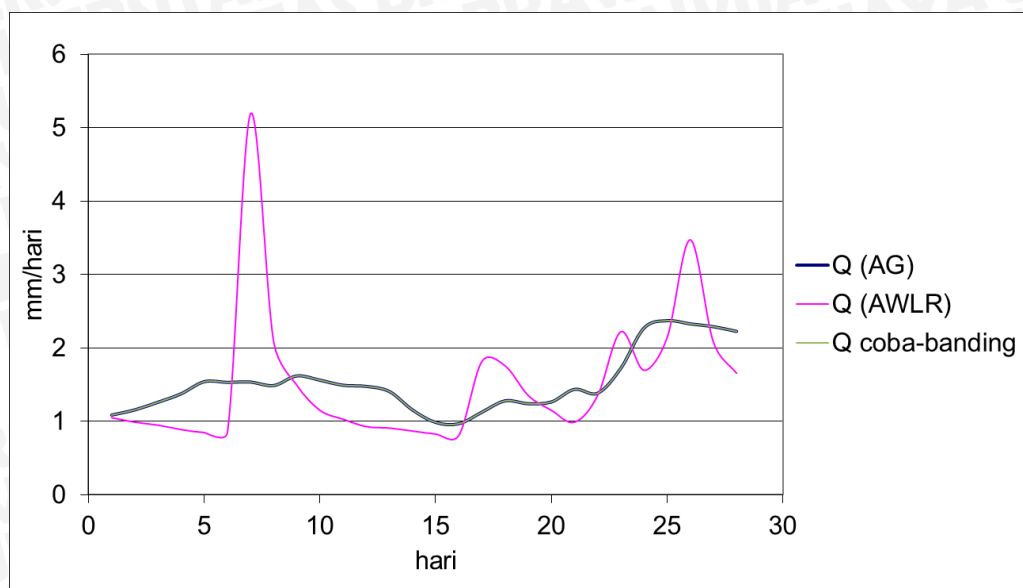
Berikut ini adalah gambar grafik hasil optimasi menggunakan metode Algoritma Genetik (AG) berbagai macam model harian:



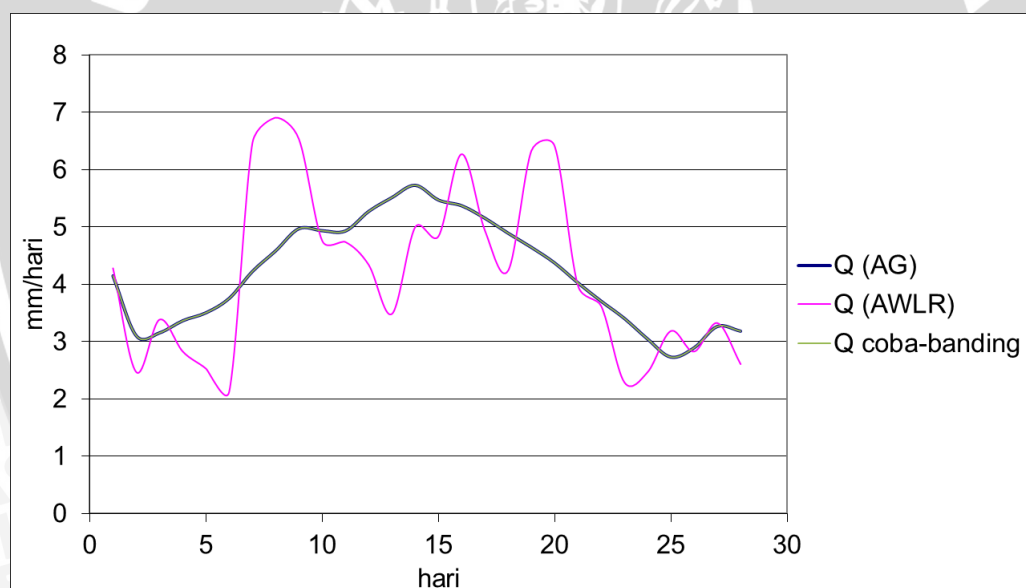
Gambar 4.13 Grafik Hubungan hari, debit lapangan dan debit model tangki dengan optimasi AG 22 hari
Sumber: Hasil Perhitungan



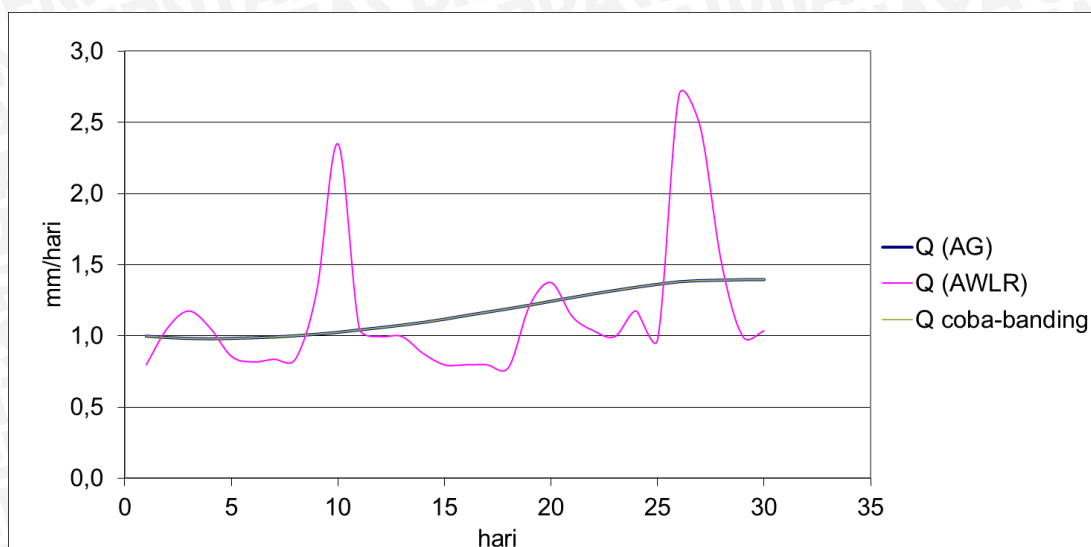
Gambar 4.14 Grafik Hubungan hari, debit lapangan dan debit bangkitan model tangki dengan optimasi AG 25 hari
Sumber: Hasil Perhitungan



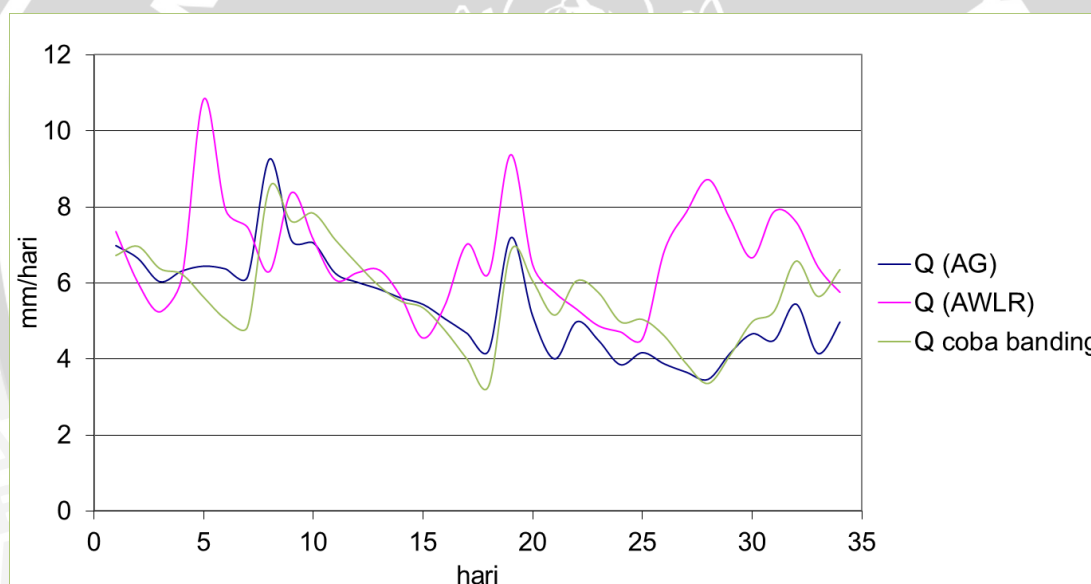
Gambar 4.15 Grafik Hubungan hari, debit lapangan dan debit bangkitan model tangki dengan optimasi AG 28 hari (Jan 2009 – Feb 2009)
Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.16 Grafik Hubungan hari, debit lapangan dan debit bangkitan model tangki dengan optimasi AG 28 hari (Des 2005 – Jan 2006)
Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.17 Grafik Hubungan hari, debit lapangan dan debit bangkitan model tangki dengan optimasi AG 30 hari
Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.18 Grafik Hubungan hari, debit lapangan dan debit bangkitan model tangki dengan optimasi AG 34 hari
Sumber: Hasil Perhitungan

4.8 Simulasi Model Tangki Harian

Model tangki yang sudah dikebangkan oleh DR. M. Sugawara termasuk dalam kategori model deterministik non linier. Sumber terbesar dari unsur non linieritas ini terletak pada prosedur pengurangan kehilangan (*lose*) dan pengisian (*recharge*) area aliran sungai serta dalam memperoleh hujan netto yang akan menjadi *overland flow* dan akan meninggalkan DAS sebagai limasan di pelepasan (*outlet*)

4.8.1 Simulasi Berbagai Jenis Harian

Pemikiran dasar pada model tangki adalah guna untuk meniru (simulasi) daerah aliran sungai dengan menggantinya oleh sejumlah tampungan yang digambarkan sebagai sederet tangki yang memiliki lubang-lubang outlet pada dinding dan dasarnya. Model tangki cukup handal diterapkan untuk transformasi data hujan menjadi data debit, oleh karena telah meninjau unsur non linieritas dari limpasan dan pemindahan tampungan dari tangki atas ke tangki bawahnya memberikan penundaan waktu (time lag) limpasan secara otomatis. Pada masing-masing tangki dihitung limpasan dengan tahap sebagai berikut:

1) Langkah 1:

Tambahkan curah hujan hari ini pada tampungan kemarin, kemudian kurangi dengan evapotranspirasinya. Pengurangan evapotranspirasi hanya dilakukan pada tangki teratas (tangki I), tetapi jika pengurangan dari tangki I belum cukup maka kekurangan tersebut akan dipikul oleh tangki-tangki di bawahnya (tangki II dan tangki III)

2) Langkah 2:

Perhitungan limpasan dan infiltrasi dilakukan menurut tinggi tampungan yang didapat dalam langkah 1. Besarnya limpasan dan infiltrasi diperoleh dari perkalian koefisien lubang dengan tinggi tampungan terhadap lubang yang bersangkutan.

3) Langkah 3:

Perhitungan sisa tinggi tampungan yang diperoleh dari langkah 1 dengan mengurangi limpasan dan evapotranspirasi.

Dan berikut ini adalah contoh perhitungan limpasan model tangki dengan menggunakan parameter hasil optimasi 25 hari, misalnya debit model tangki dengan input hujan historis pada tanggal 1 Januari 2003:

a. Tangki I

$$\begin{aligned} q_{1.2(t)} &= f_{1.2} \times (He_{1(t-1)} + R_{(t)} - Et_{0(t)} - h_{1.2}) \\ &= 0,0093 \times (37,4 + 5,8 - 9,055 - 27,619) \\ &= 0,06 \text{ mm/day} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{1.1(t)} &= f_{1.1} \times (He_{1(t-1)} + R_{(t)} - Et_{0(t)} - h_{1.1}) \\ &= 0,0063 \times (37,4 + 5,8 - 9,055 - 15,587) \\ &= 0,12 \text{ mm/day} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{b1(t)} &= b_1 \times (He_{1(t-1)} + R_{(t)} - Et_{0(t)}) \\ &= 0,0102 \times (37,4 + 5,8 - 9,055) \\ &= 0,35 \text{ mm/hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{He}_{1(t)} &= (\text{He}_{1(t-1)} + R_t) - E_{t0(t)} - q_{1.2(t)} - q_{1.1(t)} - qb_{1(t)} \\ &= (37,4 + 5,8 - 9,055) - 0,06 - 0,12 - 0,35 \\ &= 33,7 \text{ mm/day} \end{aligned}$$

b. Tangki II

$$\begin{aligned} q_{2.1(t)} &= f_{2.1} \times (\text{He}_{2(t-1)} + qb_{1(t)} - h_{2.1}) \\ &= 0,00057 \times (43,6 + 0,35 - 19,018) \\ &= 0,014 \text{ mm/day} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} qb_{2(t)} &= b_2 \times (\text{He}_{2(t-1)} + qb_{1(t)}) \\ &= 0,4261 \times (43,6 + 0,35) \\ &= 18,73 \text{ mm/day} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{He}_{2(t)} &= (\text{He}_{2(t-1)} + qb_{1(t)}) - q_{2.1(t)} - qb_{2(t)} \\ &= (43,6 + 0,35) - 0,014 - 18,73 \\ &= 25,21 \text{ mm/day} \end{aligned}$$

c. Tangki III

$$\begin{aligned} q_{3.1(t)} &= f_{3.1} \times (\text{He}_{3(t-1)} + qb_{2(t)} - h_{3.1}) \\ &= 0,0434 \times (41,10 + 18,73 - 29,2198) \\ &= 1,33 \text{ mm/day} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} qb_{3(t)} &= b_2 \times (\text{He}_{3(t-1)} + qb_{2(t)}) \\ &= 0,4261 \times (41,10 + 18,73) \\ &= 11,17 \text{ mm/day} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{He}_{3(t)} &= (\text{He}_{3(t-1)} + qb_{2(t)}) - q_{3.1(t)} - qb_{3(t)} \\ &= (41,1 + 18,73) - 1,33 - 11,17 \\ &= 47,33 \text{ mm/day} \end{aligned}$$

d. Tangki IV

$$\begin{aligned} q_{4.1(t)} &= f_{4.1} \times (\text{He}_{4(t-1)} + qb_{3(t)} - h_{4.1}) \\ &= 0,00069 \times (41,10 + 11,17 - 6,1582) \\ &= 0,03 \text{ mm/day} \end{aligned}$$

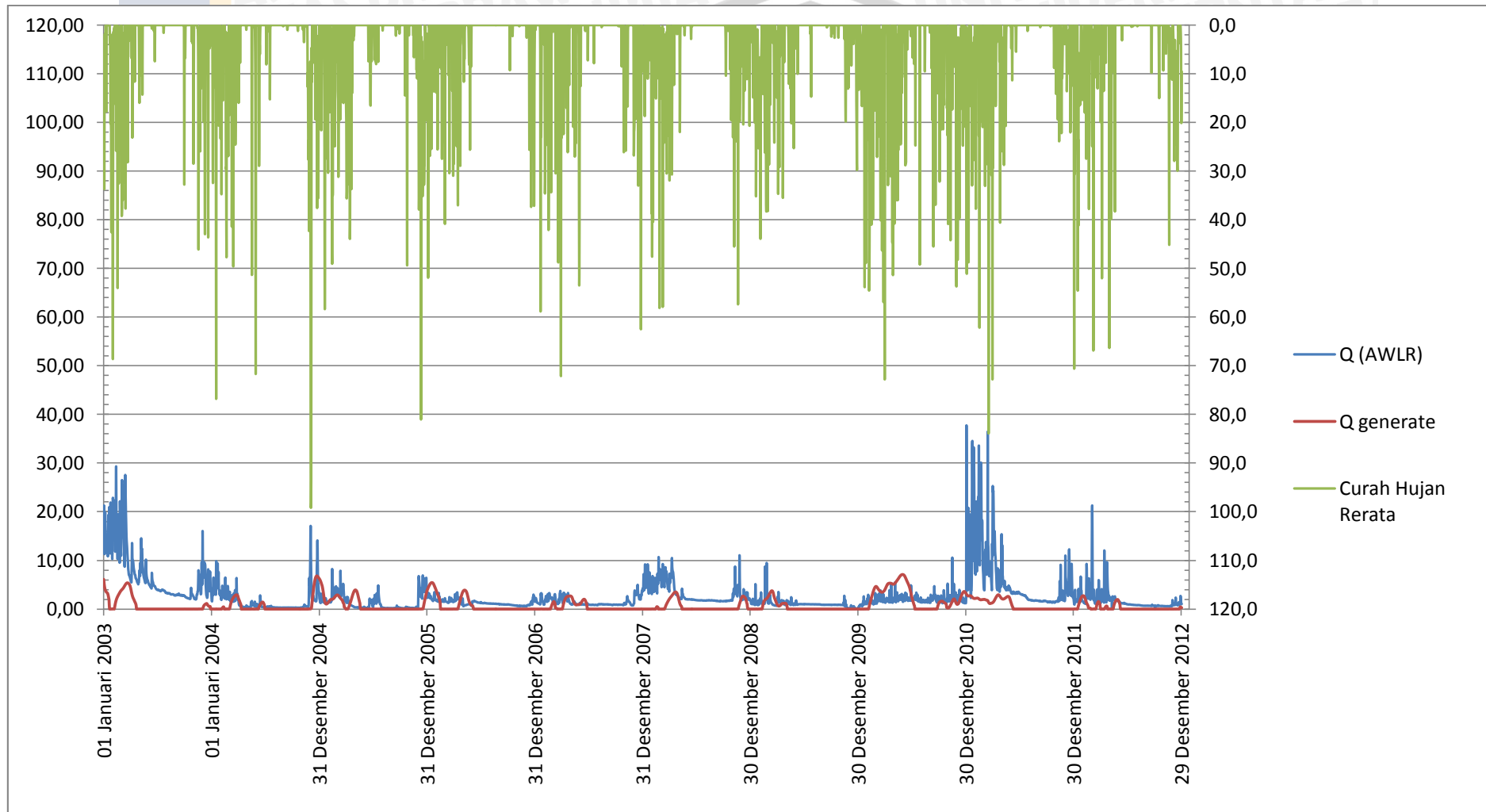
$$\begin{aligned} qb_{4(t)} &= b_4 \times (\text{He}_{4(t-1)} + qb_{3(t)}) \\ &= 0,0829 \times (41,10 + 11,17) \\ &= 4,33 \text{ mm/day} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{He}_{4(t)} &= (\text{He}_{4(t-1)} + qb_{3(t)}) - q_{4.1(t)} - qb_{4(t)} \\ &= (41,1 + 11,17) - 0,03 - 4,33 \\ &= 47,91 \text{ mm/day} \end{aligned}$$

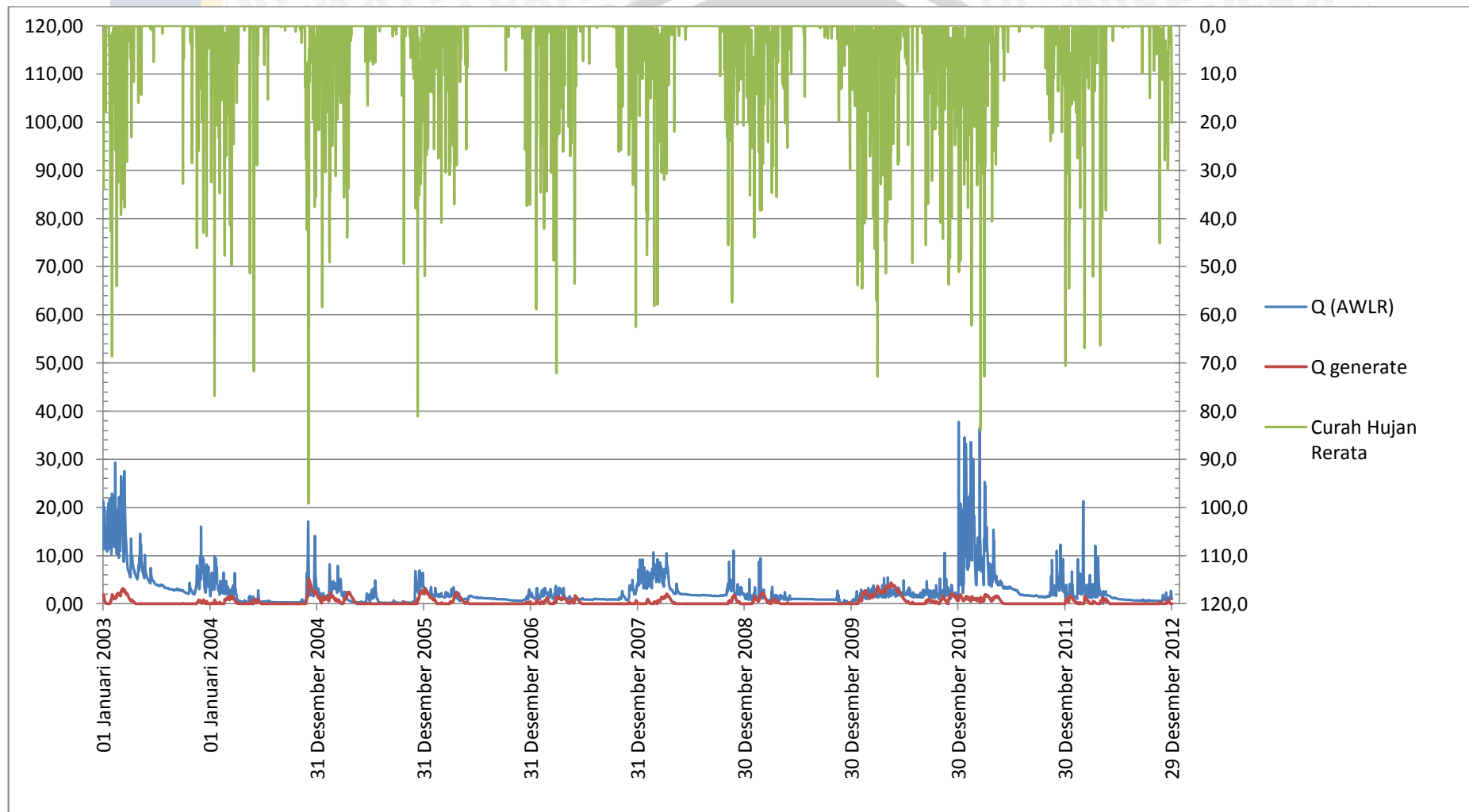
$$\begin{aligned} \text{e. } Q_{\text{total}} &= q_{1.2} + q_{1.1} + q_{2.1} + q_{3.1} + q_{4.1} \\ &= 0,06 + 0,012 + 0,014 + 1,33 + 0,03 \\ &= 1,33 \text{ mm/day} \end{aligned}$$

Maka, besarnya debit hasil simulasi tangki model untuk tanggal 1 Januari 2003 adalah sebesar 1,33 mm/day. Dengan cara (a) sampai dengan (e) dapat dihitung debit-debit pada tanggal berikutnya.

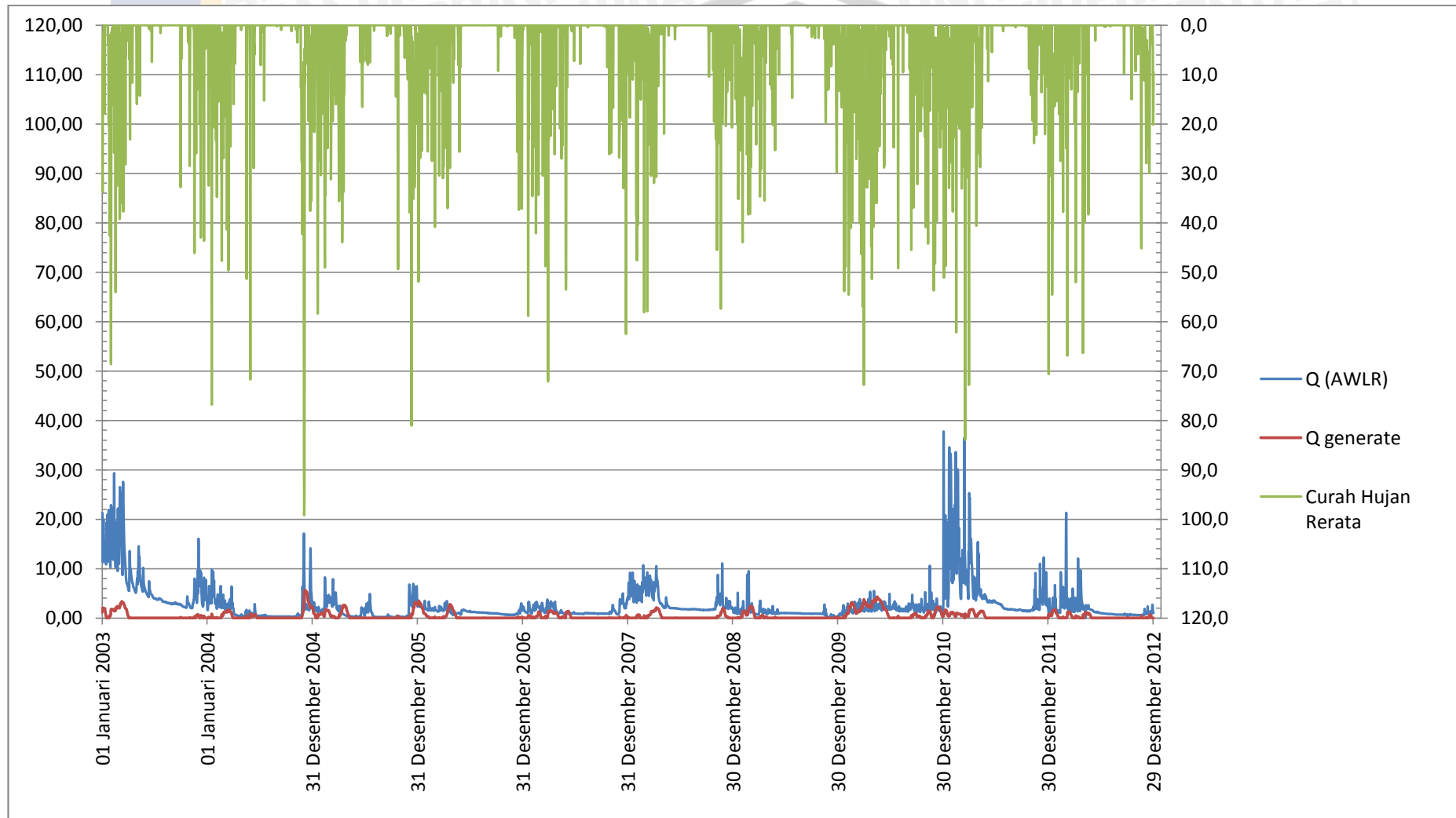




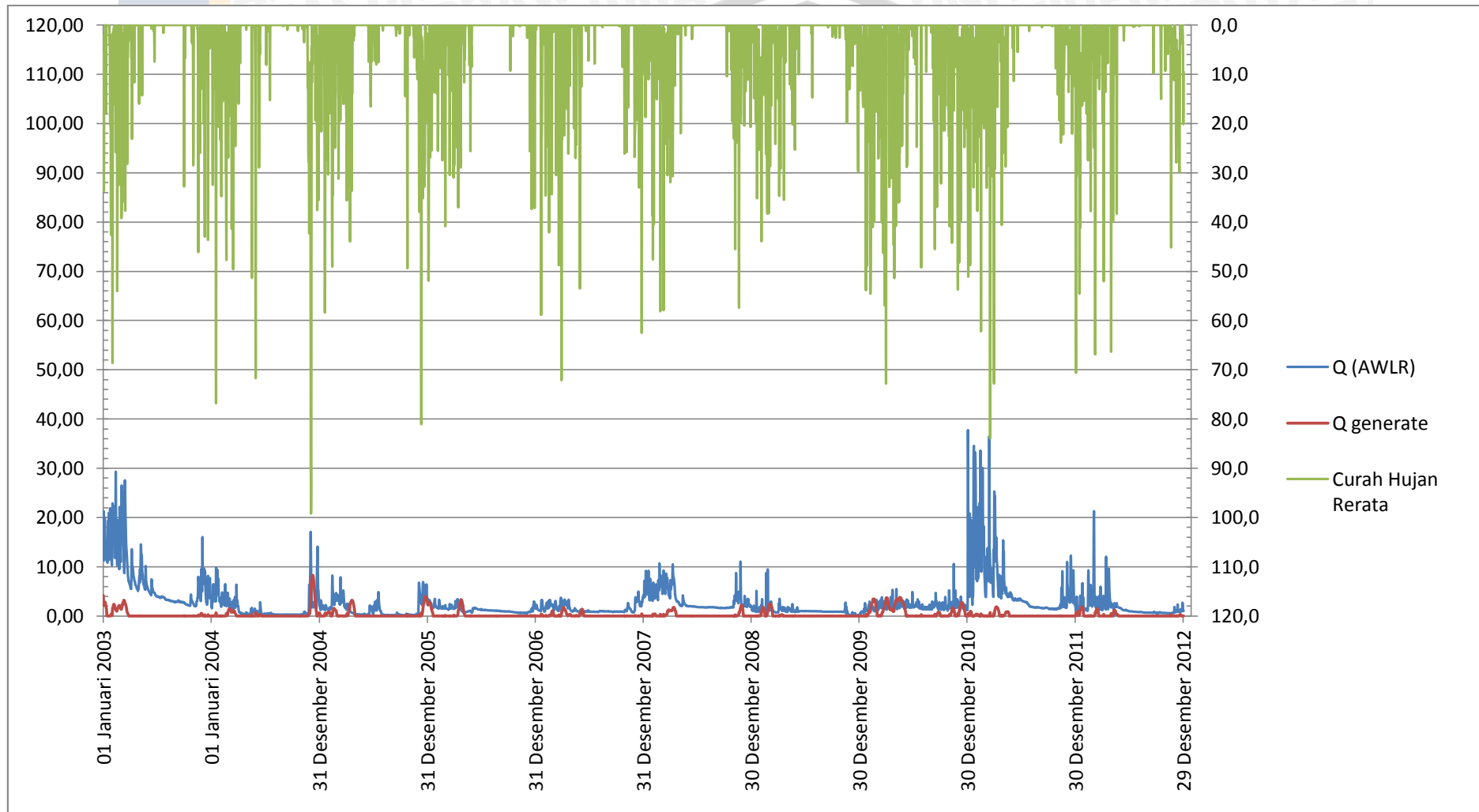
Gambar 4.19 Grafik hasil simulasi model tangki 10 tahun dengan optimasi AG 22 hari
Sumber: Hasil Perhitungan



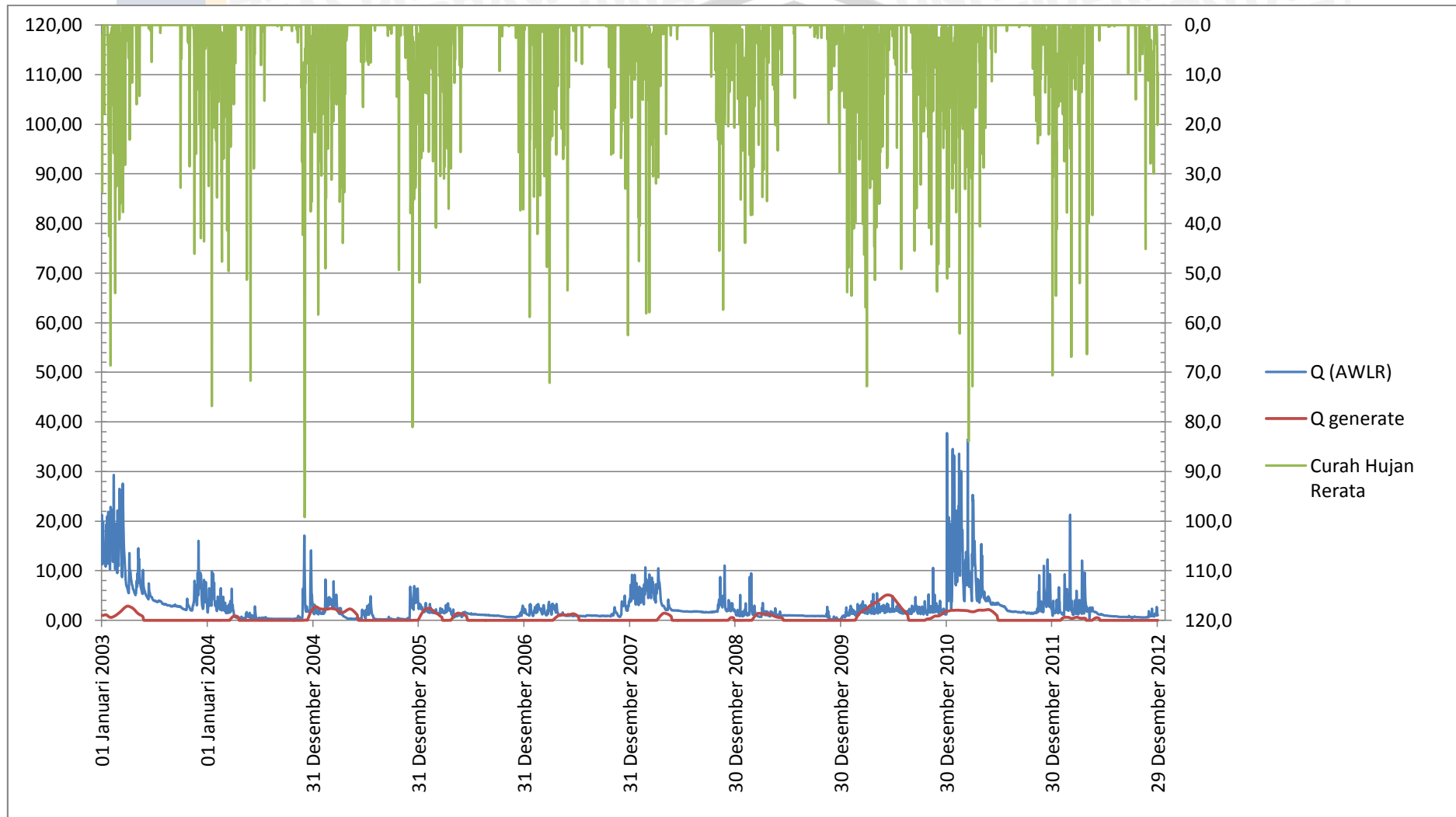
Gambar 4.20 Grafik hasil simulasi model tangki 10 tahun dengan optimasi AG 25 hari
Sumber: Hasil Perhitungan



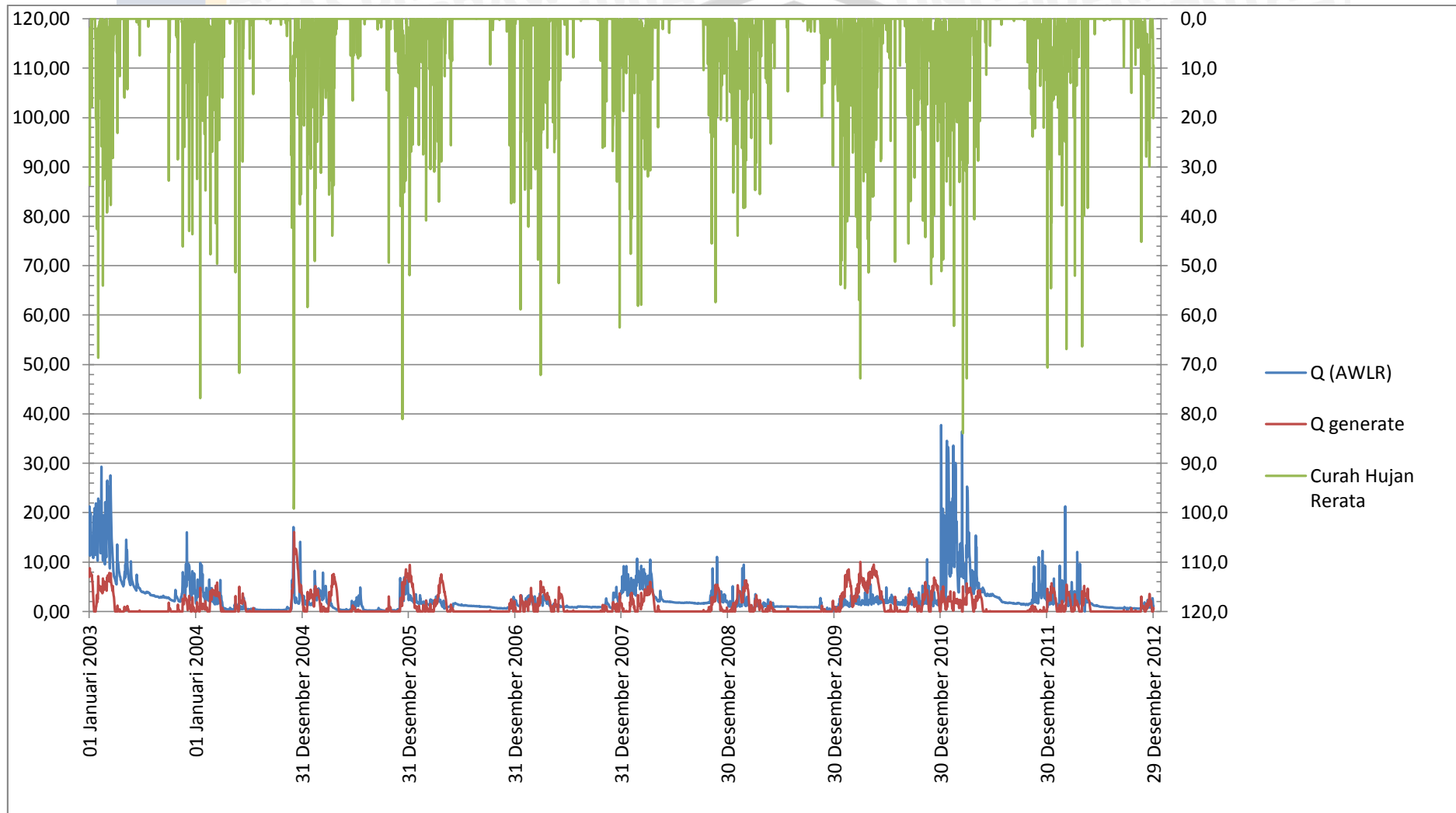
Gambar 4.21 Grafik hasil simulasi model tangki 10 tahun dengan optimasi AG 28 hari
Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.22 Grafik hasil simulasi model tangki 10 tahun dengan optimasi AG 28 hari
Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.23 Grafik hasil simulasi model tangki 10 tahun dengan optimasi AG 30 hari
Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.244 Grafik hasil simulasi model tangki 10 tahun dengan optimasi AG 34 hari

Setelah dilakukan simulasi kemudian dianalisa nilai kesalahan relatif menggunakan indikator nilai RMSE antara debit hasil bangkitan dengan debit lapangan/historis. Hasil analisisnya dibandingkan satu sama lain seperti yang ditampilkan pada tabel berikut ini:

Tabel 4.37 Rekap Hasil Analisa RMSE dan Korelasi Setiap Model Hasil Bangkitan

No	JENIS PARAMETER BANYAK HARI	23/01/2004 - 13/02/2004	28/11/2010 - 22/12/2010	10/12/2005 - 06/01/2006	11/01/2009 - 07/02/2009	02/12/2012 - 31/12/2012	20/02/2008 - 24/03/2008
		22 hari	25 hari	28 hari	28 hari	30 hari	34 hari
1	$f_{1.2}$	0,0002	0,0093	0,0104	0,0069	0,0001	0,0001
2	$f_{1.1}$	0,0002	0,0063	0,0030	0,0074	0,0001	0,0633
3	b_1	0,1514	0,0102	0,3165	0,2573	0,2849	0,4588
4	$f_{2.1}$	0,0001	0,0006	0,0005	0,0020	0,0001	0,0001
5	b_2	0,0864	0,4261	0,1657	0,2837	0,0723	0,5935
6	$f_{3.1}$	0,0001	0,0434	0,0732	0,0258	0,0001	0,0002
7	b_3	0,0515	0,1867	0,0697	0,0223	0,0176	0,1304
8	$f_{4.1}$	0,1845	0,0007	0,1064	0,0003	0,0562	0,0948
9	b_4	0,0001	0,0829	0,5477	0,3955	0,0004	0,0001
10	$h_{1.2}$	20,1689	27,6199	29,0256	19,7490	28,8897	14,2290
11	$h_{1.1}$	7,1764	15,5869	1,9644	13,3410	5,3899	0,2825
12	$h_{2.1}$	20,4314	19,0181	16,2476	28,6281	14,3230	19,3616
13	$h_{3.1}$	21,8623	29,2198	28,7273	23,8319	13,6705	2,0651
14	$h_{4.1}$	10,4647	6,1582	21,7661	14,9926	24,2898	0,1994
RMSE		4,1324	4,2761	4,4214	4,3088	4,2341	3,9908
nilai korelasi		0,2586	0,2869	0,1924	0,2633	0,2529	0,3001

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari grafik hasil simulasi dapat dilihat bahwa pada seri debit aktual dan seri debit bangkitan dengan input hujan harian historis terjadi aliran ekstrim yaitu pada bulan Januari 2011 – April 2011 dimana debit aktual tertinggi mencapai 18,95 m³/det dan debit input hujan harian historis 51,10 m³/det. Bencana alam terjadi pada kurun waktu tersebut, terutama pada bulan Januari 2011 intensitas bencana alam terjadi. Sebanyak 23 bencana terjadi, baik berupa banjir, tanah longsor, dan puting beliung telah menghantam 93 desa. Menurut hasil evaluasi Badan Kesejahteraan Pengembangan Politik dan Perlindungan

Masyarakat (Bakesbanglinmas), bencana ini dipengaruhi kondisi geografis Kabupaten Trenggalek yang terdiri dari perbukitan. Pemerintah juga mencatat daerah rawan banjir terdapat di desa-desa yang terser merata di Kabupaten Trenggalek. Hampir setiap tahun Kabupaten Trenggalek mengalami bencana dan yang paling tinggi tingkat bencananya adalah pada tahun 2011. (Tempo.co:2011)

Untuk seri debit hasil bangkitan terlihat berbeda dengan seri debit aktual. Namun demikian, trend aliran dari kedua macam seri debit di atas masih menunjukkan trend aliran yang mirip. Dari ketujuh model tersebut diatas, trend yang paling mirip adalah pada jenis model tangki dengan optimasi 34 hari (20 Februari 2008 – 24 Maret 2008). Aliran terbesar terjadi pada awal bulan Januari 2011 sampai awal bulan April 2011, sedangkan aliran terendah terjadi pada bulan Desember 2012.

