

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Umum

Untuk menganalisa suatu masalah diperlukan adanya data. Data yang diperlukan digolongkan menjadi dua yaitu data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang didapat dari hasil pengukuran atau pengamatan langsung. Sedangkan data sekunder merupakan data yang didapat dari mengutip berbagai sumber yang dapat dipertanggung jawabkan kebenarannya.

Dalam studi ini data yang dipakai dapat digolongkan sebagai data sekunder. Data-data tersebut meliputi antara lain, data teknis waduk, data hidrologi, dan data pola operasi Waduk Sutami.

4.2. Data Teknis Waduk Sutami

Adapun data-data teknis dari waduk adalah sebagai berikut:

- Daerah Aliran Sungai : 2.050 km²
- Daerah terendam : 15,00 km²
- Muka Air Tinggi : El. 272,50 m
- Tampungan Maksimum Operasi : 177,100 juta m³ (untuk PLTA)
- Tampungan Minimum Operasi : 41,600 juta m³ (untuk PLTA)
- Muka Air Rendah : El. 246,00 m (untuk turbin)
- Muka Air Banjir : El. 277,00 m
- Debit masuk rata – rata : 55,50 m³/det
- El. ambang pelimpah tanpa pintu : El. 272,50 m
- Elevasi ambang pelimpah berpintu : El. 267,00 m
- Debit maksimum Turbin : 51,80 m³/det

4.3. Pola Operasi Waduk

4.3.1. Debit *Inflow* Waduk

Pada dasarnya analisa debit *Inflow* dilakukan untuk melihat seberapa besar debit air yang masuk ke dalam waduk pada periode tertentu. Debit *Inflow* yang masuk ke dalam Waduk Sutami tidak hanya dari curah hujan yang ada disekitar Waduk Sutami saja, melainkan dapat juga dari debit yang masuk dari daerah hulu Waduk Sutami yang masuk secara komulatif. Seperti debit dari waduk sengguruh dan debit dari anak-anak sungai lainnya.

Debit yang masuk di Waduk Sutami merupakan pemberian yang tidak bisa ditolak, karena itu Waduk Sutami harus dapat mengontrol air yang keluar agar tidak terbangun secara percuma dengan cara mengontrol air yang dikeluarkan melalui conduit untuk dimanfaatkan pada PLTA Waduk Sutami. Jika debit *Outflow* yang terjadi pada waduk terlalu besar dan melampaui kapasitas maksimum turbin, maka sebagian akan dilimpahkan melalui pelimpah. Dalam studi ini, debit *Inflow* yang digunakan adalah data debit *Inflow* Waduk Sutami tahun 2002-2011 dalam bentuk 10 harian.

Tabel debit *Inflow* Waduk Sutami pada tahun 2002-2011 disajikan pada Tabel 4.1 berikut.



Tabel 4.1. Data Debit Inflow Waduk Sutami Tahun 2002-2011 (m³/dt)

		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Januari	I	74,71	117,73	64,70	81,29	163,72	46,93	126,11	88,41	72,66	113,05
	II	71,79	54,32	78,68	82,28	112,90	40,20	99,57	93,73	57,00	91,12
	III	167,20	114,66	118,76	65,65	97,22	51,50	96,92	132,42	89,22	132,86
Februari	I	148,97	110,69	107,53	56,50	97,76	64,56	120,57	149,58	107,80	131,14
	II	130,24	120,05	86,79	126,66	111,51	65,62	82,85	160,32	138,08	99,85
	III	137,15	92,77	161,10	114,23	126,09	78,11	90,52	188,75	94,56	94,40
Maret	I	111,88	110,26	129,57	122,23	101,70	52,04	142,29	148,27	127,39	115,20
	II	131,97	112,30	210,04	95,70	106,89	57,83	158,89	118,36	106,02	106,92
	III	141,80	85,19	135,62	108,45	115,70	136,98	214,78	100,67	112,57	128,03
April	I	138,62	88,02	110,76	123,76	109,31	102,82	153,73	125,64	141,46	135,60
	II	129,75	64,45	80,34	112,65	149,72	118,82	138,69	96,84	178,96	159,43
	III	96,39	57,60	70,10	69,84	121,23	118,83	102,32	97,10	197,18	115,04
Mei	I	85,27	68,41	64,22	61,23	114,00	64,00	104,37	77,26	167,76	142,22
	II	85,01	65,53	60,45	46,68	78,99	67,53	76,32	99,73	148,80	110,03
	III	58,88	48,94	74,33	44,05	108,91	63,73	70,16	102,04	148,80	84,31
Juni	I	60,76	43,46	54,41	45,09	73,41	73,03	58,51	80,12	118,25	78,61
	II	56,28	44,20	55,14	45,51	59,27	47,00	60,92	66,65	112,79	62,59
	III	51,23	45,97	44,52	74,20	57,52	51,65	53,11	52,29	84,50	60,53
Juli	I	50,53	40,16	47,66	58,70	51,32	47,08	47,57	47,44	92,61	54,58
	II	45,84	36,15	42,91	63,09	46,86	47,83	45,77	46,41	89,00	54,68
	III	46,49	35,04	39,22	45,08	46,11	46,85	44,47	50,30	82,30	50,83
Agustus	I	44,67	33,89	42,66	37,91	45,66	39,42	39,94	45,00	69,59	53,22
	II	42,73	30,36	34,65	34,77	43,78	37,59	41,75	44,32	69,67	46,71
	III	39,50	29,42	32,47	34,32	40,80	36,45	38,86	41,28	99,09	46,25
September	I	36,70	29,47	31,05	30,73	36,07	36,87	37,01	39,07	99,18	43,51
	II	34,91	29,03	44,84	37,03	33,34	35,10	33,61	42,45	134,43	47,73
	III	36,49	29,32	41,26	42,80	32,31	35,09	33,82	39,88	136,18	47,94
Oktober	I	33,42	38,17	34,91	31,66	34,04	33,54	40,94	41,59	113,49	37,92
	II	31,66	31,20	31,68	69,30	31,60	30,65	43,63	53,61	90,83	36,59
	III	31,26	37,28	31,68	52,03	34,26	34,96	52,98	50,74	103,79	44,27
November	I	35,61	41,72	39,58	44,87	35,74	70,22	79,03	38,62	192,46	85,42
	II	40,88	71,48	40,76	42,82	36,08	58,45	92,86	47,19	125,19	82,17
	III	49,09	139,72	112,25	66,88	35,74	35,40	102,75	72,38	134,73	72,43
Desember	I	53,55	129,97	135,43	81,05	37,60	75,25	79,19	43,15	163,62	72,12
	II	61,30	78,33	75,97	115,40	45,75	92,08	123,34	34,99	132,24	70,03
	III	106,14	77,42	151,10	132,56	68,68	217,98	69,86	53,57	111,70	112,02

Sumber: Perum Jasa Tirta I

Debit yang masuk pada Waduk Sutami tidak hanya dari curah hujan di dekat waduk saja, melainkan komulasi dari hujan di sekitar waduk dan debit dari hulu waduk seperti anak-anak sungai yang berada di dataran tinggi.

Dalam studi ini tidak menganalisa kenaikan atau penurunan debit *Inflow* yang masuk kedalam waduk akibat sedimentasi. Dikarenakan Waduk Sutami melakukan pengerukan sedimen secara rutin sebesar kurang lebih 300.000 m³ setiap tahunnya sehingga pengendapan sedimen diasumsikan sama dengan sedimen yang masuk ke dalam waduk (Sumber, PJT I).

4.3.2. Debit *Outflow* Waduk

Tahap selanjutnya dapat menganalisa kondisi debit *Outflow* yang keluar dari waduk. Pengeluaran debit dari waduk seluruhnya dimanfaatkan dahulu untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dengan 3 turbin yang memiliki kapasitas debit maksimum yang dapat masuk melalui masing-masing turbin sebesar 51,80 m³/det . Namun dengan bertambahnya usia guna waduk, diperkirakan fungsi kapasitas maksimum turbin saat ini hanya mampu melewati air sebesar 46,01 m³/det per-turbin (Sumber, PJT I).

Setelah debit air yang keluar dari waduk dimanfaatkan untuk PLTA, maka air akan didistribusikan kepada hilir waduk yang memerlukan air untuk fungsi irigasi dan air baku. Waduk Sutami dapat menyuplai air untuk daerah irigasi di hilir waduk yang memiliki luas persawahan sebesar 34.000 ha.

Tabel debit *Outflow* Waduk Sutami pada tahun 2002-2011 disajikan pada Tabel 4.2 berikut.



Tabel 4.2. Data Debit Outflow Waduk Sutami Tahun 2002-2011 (m³/dt)

		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Januari	I	77,37	105,42	43,86	86,53	146,36	51,38	144,16	72,63	47,50	111,11
	II	66,78	45,88	61,99	73,94	114,89	49,95	113,38	79,46	60,07	86,44
	III	140,72	101,95	96,02	48,55	89,20	55,95	90,52	119,01	71,59	131,80
Februari	I	163,34	100,52	92,55	46,73	83,25	53,89	130,53	122,91	102,16	130,57
	II	148,74	110,30	75,78	106,60	100,20	42,98	82,04	143,17	133,24	95,40
	III	150,51	88,46	146,73	100,08	121,62	57,37	67,00	148,25	82,14	94,89
Maret	I	135,08	93,09	135,43	115,53	89,38	49,01	132,38	147,22	110,24	112,67
	II	137,87	97,14	166,14	90,33	98,79	40,27	143,20	119,18	101,33	105,10
	III	147,40	77,93	145,13	110,18	114,89	114,08	185,03	80,11	103,37	122,37
April	I	146,18	86,84	118,63	114,42	105,12	98,84	148,81	128,53	137,74	126,89
	II	144,39	65,69	75,93	109,31	146,43	121,18	149,10	85,23	153,13	158,32
	III	101,70	55,36	62,70	67,84	117,42	116,91	97,67	88,53	192,06	111,41
Mei	I	87,27	64,03	66,90	57,79	111,23	59,00	108,00	70,82	168,87	138,24
	II	89,50	63,05	51,91	47,50	76,64	63,41	75,63	91,25	151,31	104,87
	III	62,73	44,41	72,86	39,84	111,45	62,29	69,38	95,84	142,69	83,37
Juni	I	60,27	42,29	54,44	46,64	71,70	75,78	58,76	74,69	123,00	79,42
	II	57,92	44,14	57,10	44,46	60,37	45,59	62,58	61,33	115,58	62,27
	III	52,04	50,68	53,10	74,33	60,26	51,62	59,68	50,21	79,99	59,87
Juli	I	55,97	45,13	53,06	63,43	55,10	52,41	52,28	45,25	95,77	56,30
	II	57,45	43,07	51,12	69,88	49,28	58,57	54,03	48,00	89,13	56,93
	III	57,26	42,61	44,80	57,92	51,53	60,29	53,22	47,00	86,41	55,60
Agustus	I	57,06	41,57	40,58	43,45	53,14	48,34	45,51	47,00	79,54	59,98
	II	55,58	37,97	38,49	38,94	52,82	45,18	47,03	47,00	77,79	55,44
	III	50,17	36,25	37,53	38,24	48,39	45,24	44,05	45,00	105,36	53,45
September	I	47,67	35,98	37,41	36,96	40,28	46,93	40,59	42,00	113,11	53,01
	II	45,34	34,56	50,66	44,39	37,80	46,70	39,79	42,01	143,19	58,36
	III	47,32	34,40	52,74	53,07	38,77	46,79	44,08	42,00	144,74	64,58
Oktober	I	43,78	38,02	45,09	38,81	41,35	44,37	42,79	47,00	134,35	53,51
	II	43,86	42,14	46,94	78,12	39,57	38,39	40,60	65,41	102,19	45,79
	III	43,38	55,32	44,32	65,39	46,95	49,70	49,66	57,27	96,51	42,48
November	I	44,14	58,36	46,48	61,65	51,16	59,34	72,56	45,80	139,56	87,86
	II	44,97	73,35	52,07	48,61	51,07	68,30	98,64	47,60	151,60	90,40
	III	53,94	145,80	102,13	65,94	47,58	45,02	113,81	62,13	127,83	75,47
Desember	I	55,10	121,15	130,64	71,23	42,21	52,49	51,56	48,01	143,72	69,39
	II	50,76	87,29	80,36	110,44	36,37	89,43	132,89	41,00	141,20	74,63
	III	77,56	71,32	130,53	127,62	40,49	144,28	57,87	45,00	119,30	111,99

Sumber: Perum Jasa Tirta I

Pada grafik debit *Outflow* dapat dilihat bahwa pengeluaran air tidak berbeda jauh nilainya dengan debit yang masuk ke dalam waduk. Dalam hal ini debit yang keluar dikontrol untuk mempertahankan elevasi muka air waduk sesuai dengan pola yang sudah diprediksikan pada setiap tahunnya agar tidak terjadi kekurangan air di waduk ataupun kelebihan air yang akan menyebabkan nilai aktual dari debit menyimpang jauh dari nilai dari pola yang sudah direncanakan.

Nilai-nilai debit *Outflow* tersebut pada awalnya digunakan untuk mengoptimalkan produksi listrik sebelum dimanfaatkan sebagai air irigasi dan air baku.

Nilai debit *Outflow* yang melebihi nilai kapasitas 3 turbin tersebut sebesar $138,28 \text{ m}^3/\text{det}$ maka akan melimpah melalui pelimpah tanpa pintu dan pelimpah berpintu. Seperti contoh pada bulan Januari periode I tahun 2006. Dapat dilihat bahwa nilai *Outflow* melampaui kapasitas turbin yaitu sebesar $146,36 \text{ m}^3/\text{det}$. Maka air yang dapat dimanfaatkan turbin hanya sebesar $138,28 \text{ m}^3/\text{det}$ dan sisanya sebesar $8,08 \text{ m}^3/\text{det}$ akan melimpah melalui pelimpah tanpa pintu dan pelimpah berpintu.

4.4. Evaporasi

Evaporasi merupakan faktor penting dalam studi tentang pengembangan sumber-sumber daya air. Evaporasi sangat mempengaruhi besarnya kapasitas waduk, penggunaan konsumtif untuk tanaman dan untuk PLTA.

Pada analisa ini, data evaporasi dalam mm/hari berasal dari perhitungan manual, dan data yang diperlukan untuk perhitungan ini adalah:

1. Luas Muka Air Waduk (km^2)
2. Volume Evaporasi (juta m^3)

Contoh hasil perhitungan tinggi evaporasi Waduk Sutami pada tahun 2002 dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut. Sedangkan untuk hasil perhitungan tinggi evaporasi Waduk Sutami dari tahun 2003 – 2011 dapat dilihat pada bagian lampiran.

Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Tinggi Evaporasi Tahun 2002

No.	Periode	Jumlah hari	Volume Evaporasi (Juta m ³)	Luas MAW (km ²)	Evaporasi (mm/hari)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	Jan-1	10	0,060	2,17	3,950
2	Jan-2	10	1,178	6,48	25,970
3	Jan-3	11	0,301	9,99	4,304
4	Feb-1	10	0,293	9,99	4,190
5	Feb-2	10	0,290	9,89	4,189
6	Feb-3	9	0,250	9,49	3,763
7	Mar-1	10	0,238	6,69	5,082
8	Mar-2	10	0,269	9,79	3,925
9	Mar-3	11	0,259	8,59	4,307
10	Apr-1	10	0,167	5,88	4,057
11	Apr-2	10	0,175	6,18	4,045
12	Apr-3	10	0,167	5,88	4,057
13	Mei-1	10	0,244	8,89	3,921
14	Mei-2	10	0,186	6,79	3,913
15	Mei-3	11	0,193	6,36	4,335
16	Jun-1	10	0,150	5,28	4,058
17	Jun-2	10	0,155	5,48	4,041
18	Jun-3	10	0,138	4,88	4,040
19	Jul-1	10	0,170	6,18	3,930
20	Jul-2	10	0,192	6,99	3,924
21	Jul-3	11	0,232	7,68	4,315
22	Ags-1	10	0,197	7,19	3,914
23	Ags-2	10	0,211	7,69	3,920
24	Ags-3	11	0,259	8,59	4,307
25	Sep-1	10	0,229	8,08	4,049
26	Sep-2	10	0,226	7,99	4,041
27	Sep-3	10	0,195	6,89	4,043
28	Okt-1	10	0,233	8,49	3,921
29	Okt-2	10	0,148	5,38	3,930
30	Okt-3	11	0,187	6,18	4,323
31	Nov-1	10	0,167	5,88	4,057
32	Nov-2	10	0,110	3,88	4,050
33	Nov-3	10	0,127	4,48	4,050
34	Des-1	10	0,043	1,57	3,913
35	Des-2	10	0,090	3,28	3,920
36	Des-3	11	0,000	0,00	0,000

Sumber: Perhitungan

Keterangan :

[1] = Nomor [3] = Jumlah hari dalam periode [5] = Luas Muka Air Waduk (km²)[2] = Periode [4] = Volume evaporasi (juta m³) [6] = [4] x 1000 / [5] / [3]

4.5. Produksi Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Waduk Sutami

Waduk Sutami memiliki *Powerhouse* yang terletak di hilir bendungan yang berfungsi untuk membangkitkan energi listrik dari generator yang memiliki sumber energi dari turbin yang digerakkan oleh air melalui pipa konduit. PLTA Waduk Sutami memiliki 3 buah turbin dan 3 buah generator yang masing-masing turbinnya dapat bergerak dengan debit maksimum 51,80 m³/det pada awal perencanaan. Namun dengan seiring bertambahnya usia guna waduk yang sudah mencapai usia 42 tahun, kapasitas maksimum dari turbin juga menurun sebesar 46,09 m³/det pada masing-masing turbinnya.

Jika debit dari waduk yang masuk ke dalam turbin lebih kecil dari 46,09 m³/det, maka hanya 1 turbin saja yang berfungsi. Sedangkan debit yang masuk lebih besar dari 46,09 m³/det sampai dengan 92,18 m³/det, maka dapat mengoperasikan 2 unit turbin. Dan jika debit yang masuk sebesar 92,18 m³/det sampai dengan kapasitas maksimum turbin sebesar 138,28 m³/det, maka semua unit turbin akan beroperasi. Dengan kata lain jika debit *Outflow* yang dikeluarkan waduk dan masuk ke dalam instalasi PLTA lebih besar dari kapasitas turbin maka kelebihan air daripada kapasitas maksimum turbin dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan air irigasi dan air baku yang dibutuhkan untuk pelayanan masyarakat di hilir Waduk Sutami.

Untuk menghitung produksi energi listrik digunakan pendekatan debit rerata bulanan, karena untuk kondisi aktual merupakan produksi listrik dengan debit setiap jam. Berikut ini adalah data eksisting produksi energi listrik PLTA Waduk Sutami pada tahun 2002-2011 dengan perhitungan manual.

Tabel 4.4. Produksi Listrik PLTA Waduk Sutami Tahun 2002

Bulan	Konstanta k	Effisiensi Generator	Tinggi Jatuh Efektif (m)	Debit PLTA (m ³ /dt)	Daya Listrik (kW)	Energi Listrik (kWh)	Energi Listrik Perbulan (kWh)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Jan	9,8	85%	88,58	94,96	70063,17	1681516,127	52126999,93
Feb	9,8	85%	92,08	138,28	106068,25	2545638,004	71277864,11
Mar	9,8	85%	92,18	138,28	106183,44	2548402,498	79000477,43
Apr	9,8	85%	93,24	130,76	101560,92	2437462,116	73123863,48
Mei	9,8	85%	93,81	79,83	62387,43	1497298,434	46416251,47
Jun	9,8	85%	93,98	56,74	44421,71	1066121,074	31983632,23
Jul	9,8	85%	92,83	56,89	43992,55	1055821,2	32730457,21
Agu	9,8	85%	90,04	54,27	40705,26	976926,3159	30284715,79
Sep	9,8	85%	86,95	46,78	33880,52	813132,4435	24393973,31
Okt	9,8	85%	82,83	43,67	30132,12	723170,9284	22418298,78
Nov	9,8	85%	79,07	47,68	31405,02	753720,4538	22611613,62
Des	9,8	85%	80,85	61,14	41177,48	988259,4972	30636044,41
(Sumber : Hasil Perhitungan)						Energi Listrik Pertahun =	517004191,77

Keterangan :

1. Bulan
2. Hasil Perhitungan
3. Hasil Perhitungan

4. El. Muka Air Waduk - HL - TWL
5. Data
6. (2) . (3) . (4) . (5)

7. (6) . 24
8. (7) . Jumlah Hari dalam 1 Bulan

Tabel 4.5. Produksi Listrik PLTA Waduk Sutami Tahun 2003

Bulan	Konstanta k	Effisiensi Generator	Tinggi Jatuh Efektif (m)	Debit PLTA (m ³ /dt)	Daya Listrik (kW)	Energi Listrik (kWh)	Energi Listrik Perbulan (kWh)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Jan	9,8	85%	86,86	84,42	61080,75	1465938,102	45444081,17
Feb	9,8	85%	89,63	99,76	74476,10	1787426,37	50047938,36
Mar	9,8	85%	92,24	89,38	68676,12	1648226,826	51095031,60
Apr	9,8	85%	93,05	69,30	53714,74	1289153,704	38674611,11
Mei	9,8	85%	93,59	57,16	44565,99	1069583,735	33157095,77
Jun	9,8	85%	93,86	45,70	35730,98	857543,5027	25726305,08
Jul	9,8	85%	92,68	43,60	33662,12	807890,8273	25044615,65
Agu	9,8	85%	90,94	38,60	29237,18	701692,2358	21752459,31
Sep	9,8	85%	89,16	34,98	25980,51	623532,1338	18705964,01
Okt	9,8	85%	87,04	45,16	32744,05	785857,1871	24361572,80
Nov	9,8	85%	82,57	92,50	63623,17	1526955,992	45808679,76
Des	9,8	85%	82,16	93,25	63816,00	1531584,059	47479105,82
(Sumber : Hasil Perhitungan)						Energi Listrik Pertahun =	427297460,44

Keterangan :

1. Bulan
2. Hasil Perhitungan
3. Hasil Perhitungan
4. El. Muka Air Waduk - HL - TWL
5. Data
6. (2) . (3) . (4) . (5)
7. (6) . 24
8. (7) . Jumlah Hari dalam 1 Bulan

Tabel 4.6. Produksi Listrik PLTA Waduk Sutami Tahun 2004

Bulan	Konstanta k	Effisiensi Generator	Tinggi Jatuh Efektif (m)	Debit PLTA (m ³ /dt)	Daya Listrik (kW)	Energi Listrik (kWh)	Energi Listrik Perbulan (kWh)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Jan	9,8	85%	86,74	67,29	48621,65	1166919,568	36174506,61
Feb	9,8	85%	91,00	105,02	79607,92	1910590,021	55407110,61
Mar	9,8	85%	92,93	138,28	107047,34	2569136,201	79643222,23
Apr	9,8	85%	92,69	85,76	66212,35	1589096,476	47672894,29
Mei	9,8	85%	93,37	63,89	49693,82	1192651,729	36972203,60
Jun	9,8	85%	93,35	54,88	42674,76	1024194,287	30725828,62
Jul	9,8	85%	91,92	49,66	38024,89	912597,3852	28290518,94
Agu	9,8	85%	90,62	38,87	29337,90	704109,6022	21827397,67
Sep	9,8	85%	88,58	46,94	34631,67	831160,1933	24934805,80
Okt	9,8	85%	84,29	45,45	31912,15	765891,6641	23742641,59
Nov	9,8	85%	80,97	66,89	45120,30	1082887,306	32486619,17
Des	9,8	85%	83,65	113,84	79327,45	1903858,766	59019621,75
(Sumber : Hasil Perhitungan)						Energi Listrik Pertahun =	476897370,87

Keterangan :

1. Bulan
2. Hasil Perhitungan
3. Hasil Perhitungan
4. El. Muka Air Waduk - HL - TWL
5. Data
6. (2) . (3) . (4) . (5)
7. (6) . 24
8. (7) . Jumlah Hari dalam 1 Bulan

Tabel 4.7. Produksi Listrik PLTA Waduk Sutami Tahun 2005

Bulan	Konstanta k	Effisiensi Generator	Tinggi Jatuh Efektif (m)	Debit PLTA (m ³ /dt)	Daya Listrik (kW)	Energi Listrik (kWh)	Energi Listrik Perbulan (kWh)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Jan	9,8	85%	85,87	69,67	49837,85	1196108,366	37079359,34
Feb	9,8	85%	89,42	84,47	62915,22	1509965,172	42279024,82
Mar	9,8	85%	91,36	105,35	80175,19	1924204,502	59650339,55
Apr	9,8	85%	92,53	97,19	74911,23	1797869,471	53936084,13
Mei	9,8	85%	93,48	48,38	37669,88	904077,0536	28026388,66
Jun	9,8	85%	93,61	55,14	42997,92	1031950,02	30958500,59
Jul	9,8	85%	92,42	63,74	49070,67	1177696,167	36508581,17
Agu	9,8	85%	90,73	40,21	30391,41	729393,8409	22611209,07
Sep	9,8	85%	88,84	44,81	33158,61	795806,66	23874199,80
Okt	9,8	85%	85,84	60,77	43456,93	1042966,222	32331952,88
Nov	9,8	85%	81,50	58,73	39872,14	956931,2521	28707937,56
Des	9,8	85%	82,99	103,10	71272,02	1710528,574	53026385,80
(Sumber : Hasil Perhitungan)						Energi Listrik Pertahun =	448989963,38

Keterangan :

1. Bulan
2. Hasil Perhitungan
3. Hasil Perhitungan
4. El. Muka Air Waduk - HL - TWL
5. Data
6. (2) . (3) . (4) . (5)
7. (6) . 24
8. (7) . Jumlah Hari dalam 1 Bulan

Tabel 4.8. Produksi Listrik PLTA Waduk Sutami Tahun 2006

Bulan	Konstanta k	Effisiensi Generator	Tinggi Jatuh Efektif (m)	Debit PLTA (m ³ /dt)	Daya Listrik (kW)	Energi Listrik (kWh)	Energi Listrik Perbulan (kWh)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Jan	9,8	85%	86,82	116,81	84481,43	2027554,316	62854183,80
Feb	9,8	85%	89,41	101,69	75736,53	1817676,826	50894951,14
Mar	9,8	85%	91,77	101,02	77221,62	1853318,783	57452882,28
Apr	9,8	85%	92,86	122,99	95135,95	2283262,8	68497884,00
Mei	9,8	85%	93,67	99,77	77851,08	1868425,827	57921200,63
Jun	9,8	85%	93,57	64,11	49970,30	1199287,109	35978613,28
Jul	9,8	85%	92,67	51,97	40119,28	962862,6256	29848741,39
Agu	9,8	85%	90,58	51,45	38824,49	931787,8287	28885422,69
Sep	9,8	85%	88,56	38,95	28734,93	689638,3052	20689149,16
Okt	9,8	85%	85,66	42,62	30416,05	729985,2099	22629541,51
Nov	9,8	85%	79,23	49,94	32957,21	790973,022	23729190,66
Des	9,8	85%	79,11	39,69	26156,25	627749,9601	19460248,76

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Energi Listrik Pertahun = 478842009,29

Keterangan :

1. Bulan
2. Hasil Perhitungan
3. Hasil Perhitungan

4. El. Muka Air Waduk - HL - TWL
5. Data
6. (2) . (3) . (4) . (5)

7. (6) . 24
8. (7) . Jumlah Hari dalam 1 Bulan

Tabel 4.9. Produksi Listrik PLTA Waduk Sutami Tahun 2007

Bulan	Konstanta k	Effisiensi Generator	Tinggi Jatuh Efektif (m)	Debit PLTA (m ³ /dt)	Daya Listrik (kW)	Energi Listrik (kWh)	Energi Listrik Perbulan (kWh)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Jan	9,8	85%	81,42	52,43	35557,90	853389,6446	26455078,98
Feb	9,8	85%	85,17	51,41	36474,89	875397,2427	24511122,79
Mar	9,8	85%	90,42	67,79	51056,75	1225362,095	37986224,95
Apr	9,8	85%	93,06	112,31	87057,41	2089377,946	62681338,38
Mei	9,8	85%	93,76	61,57	48084,80	1154035,198	35775091,14
Jun	9,8	85%	93,87	57,66	45089,36	1082144,647	32464339,41
Jul	9,8	85%	92,51	57,09	43994,92	1055878,028	32732218,88
Agu	9,8	85%	89,67	46,25	34550,94	829222,598	25705900,54
Sep	9,8	85%	86,16	46,81	33593,74	806249,851	24187495,53
Okt	9,8	85%	82,01	44,15	30164,28	723942,7159	22442224,19
Nov	9,8	85%	81,32	57,55	38983,65	935607,5461	28068226,38
Des	9,8	85%	85,90	95,40	68260,06	1638241,388	50785483,04

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Energi Listrik Pertahun = 403794744,21

Keterangan :

1. Bulan
2. Hasil Perhitungan
3. Hasil Perhitungan

4. El. Muka Air Waduk - HL - TWL
5. Data
6. (2) . (3) . (4) . (5)

7. (6) . 24
8. (7) . Jumlah Hari dalam 1 Bulan

Tabel 4.10. Produksi Listrik PLTA Waduk Sutami Tahun 2008

Bulan	Konstanta k	Effisiensi Generator	Tinggi Jatuh Efektif (m)	Debit PLTA (m ³ /dt)	Daya Listrik (kW)	Energi Listrik (kWh)	Energi Listrik Perbulan (kWh)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Jan	9,8	85%	89,47	116,02	86470,27	2075286,547	64333882,96
Feb	9,8	85%	89,15	93,19	69206,87	1660964,774	48167978,44
Mar	9,8	85%	92,67	138,28	106740,18	2561764,218	79414690,75
Apr	9,8	85%	93,69	131,86	102903,29	2469679,032	74090370,95
Mei	9,8	85%	93,90	84,34	65965,98	1583183,464	49078687,39
Jun	9,8	85%	93,68	60,34	47087,22	1130093,266	33902797,99
Jul	9,8	85%	92,18	53,18	40829,96	979919,0158	30377489,49
Agu	9,8	85%	90,39	45,53	34282,26	822774,1506	25505998,67
Sep	9,8	85%	88,70	41,49	30653,22	735677,168	22070315,04
Okt	9,8	85%	87,35	44,35	32269,42	774466,1398	24008450,33
Nov	9,8	85%	85,04	95,00	67301,64	1615239,344	48457180,32
Des	9,8	85%	84,03	80,77	56539,31	1356943,322	42065242,97

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Energi Listrik Pertahun = 541473085,30

Keterangan :

1. Bulan
2. Hasil Perhitungan
3. Hasil Perhitungan

4. El. Muka Air Waduk - HL - TWL
5. Data
6. (2) . (3) . (4) . (5)

7. (6) . 24
8. (7) . Jumlah Hari dalam 1 Bulan

Tabel 4.11. Produksi Listrik PLTA Waduk Sutami Tahun 2009

Bulan	Konstanta k	Effisiensi Generator	Tinggi Jatuh Efektif (m)	Debit PLTA (m ³ /dt)	Daya Listrik (kW)	Energi Listrik (kWh)	Energi Listrik Perbulan (kWh)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Jan	9,8	85%	86,46	90,36	65081,90	1561965,496	48420930,37
Feb	9,8	85%	90,76	138,11	104419,12	2506058,943	70169650,41
Mar	9,8	85%	91,49	115,50	88026,92	2112646,167	65492031,19
Apr	9,8	85%	93,09	100,76	78132,19	1875172,475	56255174,25
Mei	9,8	85%	93,82	85,97	67190,19	1612564,482	49989498,94
Jun	9,8	85%	93,86	62,08	48533,68	1164808,207	34944246,20
Jul	9,8	85%	93,38	46,75	36365,00	872759,9816	27055559,43
Agu	9,8	85%	90,39	46,33	34886,39	837273,4784	25955477,83
Sep	9,8	85%	90,13	42,00	31532,22	756773,1865	22703195,59
Okt	9,8	85%	86,35	56,56	40685,29	976447,0686	30269859,13
Nov	9,8	85%	81,88	51,84	35359,15	848619,5497	25458586,49
Des	9,8	85%	81,02	44,67	30148,10	723554,4361	22430187,52
(Sumber : Hasil Perhitungan)						Energi Listrik Pertahun =	479144397,35

Keterangan :

1. Bulan
2. Hasil Perhitungan
3. Hasil Perhitungan
4. El Muka Air Waduk - HL - TWL
5. Data
6. (2) . (3) . (4) . (5)
7. (6) . 24
8. (7) . Jumlah Hari dalam 1 Bulan

Tabel 4.12. Produksi Listrik PLTA Waduk Sutami Tahun 2010

Bulan	Konstanta k	Effisiensi Generator	Tinggi Jatuh Efektif (m)	Debit PLTA (m ³ /dt)	Daya Listrik (kW)	Energi Listrik (kWh)	Energi Listrik Perbulan (kWh)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Jan	9,8	85%	85,85	59,72	42711,81	1025083,414	31777585,83
Feb	9,8	85%	88,66	105,84	78169,06	1876057,353	52529605,88
Mar	9,8	85%	91,39	104,98	79919,06	1918057,409	59459779,66
Apr	9,8	85%	93,45	138,28	107646,32	2583511,569	77505347,06
Mei	9,8	85%	94,06	138,28	108345,12	2600282,831	80608767,75
Jun	9,8	85%	93,77	67,19	52477,39	1259457,469	37783724,06
Jul	9,8	85%	93,79	56,28	43967,83	1055227,959	32712066,74
Agu	9,8	85%	91,94	87,56	67063,38	1609521,082	49895153,53
Sep	9,8	85%	88,97	133,68	99067,99	2377631,711	71328951,34
Okt	9,8	85%	83,58	111,02	77291,12	1854986,981	57504596,41
Nov	9,8	85%	89,09	138,28	102620,31	2462887,491	73886624,72
Des	9,8	85%	90,20	85,33	64119,96	1538879,025	47705249,78
(Sumber : Hasil Perhitungan)						Energi Listrik Pertahun =	672697452,77

Keterangan :

1. Bulan
2. Hasil Perhitungan
3. Hasil Perhitungan
4. El Muka Air Waduk - HL - TWL
5. Data
6. (2) . (3) . (4) . (5)
7. (6) . 24
8. (7) . Jumlah Hari dalam 1 Bulan

Tabel 4.13. Produksi Listrik PLTA Waduk Sutami Tahun 2011

Bulan	Konstanta k	Effisiensi Generator	Tinggi Jatuh Efektif (m)	Debit PLTA (m ³ /dt)	Daya Listrik (kW)	Energi Listrik (kWh)	Energi Listrik Perbulan (kWh)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Jan	9,8	85%	89,80	109,78	82117,10	1970810,375	61095121,63
Feb	9,8	85%	90,47	106,95	80601,08	1934425,963	54163926,96
Mar	9,8	85%	91,22	113,38	86155,13	2067723,186	64099418,77
Apr	9,8	85%	92,78	132,20	102175,10	2452202,336	73566070,08
Mei	9,8	85%	93,76	108,83	84994,66	2039871,829	63236026,71
Jun	9,8	85%	93,95	67,19	52581,86	1261964,743	37858942,28
Jul	9,8	85%	93,60	56,28	43877,20	1053052,85	32644638,36
Agu	9,8	85%	91,83	56,29	43058,59	1033406,066	32035588,05
Sep	9,8	85%	88,63	58,65	43297,23	1039133,621	31174008,63
Okt	9,8	85%	83,58	47,26	32903,25	789678,11	24480021,41
Nov	9,8	85%	82,41	84,58	58063,29	1393518,845	41805565,35
Des	9,8	85%	82,60	85,33	58717,59	1409222,169	43685887,25
(Sumber : Hasil Perhitungan)						Energi Listrik Pertahun =	559845215,49

Keterangan :

1. Bulan
2. Hasil Perhitungan
3. Hasil Perhitungan
4. El Muka Air Waduk - HL - TWL
5. Data
6. (2) . (3) . (4) . (5)
7. (6) . 24
8. (7) . Jumlah Hari dalam 1 Bulan

Contoh perhitungan diambil pada bulan Januari tahun 2011. Langkah perhitungan produksi energi listrik pada PLTA Waduk Sutami adalah sebagai berikut:

1. Bulan
2. Konstanta k

Konstanta k dihitung berdasarkan pengertian bahwa 1 daya kuda = 75 kgm/dt dan 1 daya kuda = 0,736 kW sehingga apabila P ingin dinyatakan dalam kW, sedangkan tinggi efektif He dinyatakan dalam meter dan debit air dinyatakan dalam m³/dt, maka :

$$k = \frac{\text{m}^3}{\text{det}} \times \frac{1000\text{kg}}{\text{m}^3} \times \text{m} \times \frac{1 \text{ dk}}{75 \frac{\text{kgm}}{\text{det}}} \times 0,736 \frac{\text{kW}}{\text{dk}} = 9,813 = 9,8$$

3. Effisiensi Generator (Etg)

Diketahui : P turbin = 36.000 kW

Hl = 1 m (asumsi)

He = HWL – HL – TWL = 89,80 m

Q turbin = 46,10 m³/dt

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P}{9,8 \times He \times Q} \times 100\% \\ &= \frac{36.000}{9,8 \times (267,89 - 1 - 177,5) \times 46,1} \times 100\% \\ &= 84,93689 \% \approx 85\% \end{aligned}$$

4. Tinggi Jatuh efektif (He)

Tinggi jatuh efektif merupakan nilai dari elevasi muka air waduk pada bulan tersebut dikurangi kehilangan tinggi tekan (HL) dan elevasi *Tail Water Level* (elevasi muka air di hilir *Powerhouse*).

Perhitungan nilai kehilangan tinggi tekan (HL) memiliki rumus sebagai berikut:

$$h_f = \lambda \left(\frac{L}{D} \right) \frac{V^2}{2g} \quad (4-1)$$

dengan

HL = kehilangan tinggi tekan

λ = koefisien gesek

L = panjang pipa

D = diameter pipa

V = kecepatan rata-rata

g = percepatan gravitasi

Untuk data perhitungan produksi listrik PLTA Waduk Sutami, nilai kehilangan tinggi tekan (HL) diasumsikan 1 m untuk setiap level muka air waduk (dikarenakan perbedaan V tidak jauh berbeda dan hasil perhitungan HL mendekati 1m pada setiap periodenya). Maka, perhitungan tinggi jatuh efektif adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Tinggi jatuh efektif} &= \text{El. Muka Air Waduk (Januari 2011)} - \text{HL} - \text{TWL} \\ &= 267,30 - 1 - 177,50 \\ &= 89,80 \text{ m}\end{aligned}$$

5. Debit PLTA (Q)

Debit PLTA merupakan nilai debit *Outflow* dari pola operasi waduk, dikarenakan air yang dikeluarkan dari waduk adalah air yang dimanfaatkan untuk mengoperasikan PLTA, yaitu 109,78 m³/dt.

6. Daya Listrik (P)

$$\begin{aligned}P &= \text{Etg} \times 9,8 \times \text{He} \times Q \\ &= 0,85 \times 9,8 \times 89,80 \times 109,78 \\ &= 82.117,10 \text{ kW}\end{aligned}$$

7. Energi Listrik (E)

$$\begin{aligned}E &= \text{Daya Listrik (P)} \times 24 \text{ jam} \\ &= 82.117,10 \times 24 \\ &= 1.970.810,375 \text{ kWh}\end{aligned}$$

8. Energi Listrik Perbulan = Energi Listrik (E) x Jumlah hari dalam 1 bulan

$$\begin{aligned}&= 1.970.810,375 \text{ kWh} \times 31 \\ &= 61.095.121,63 \text{ kWh}\end{aligned}$$

PLTA Waduk Sutami memiliki daya terpasang sebesar 3 x 35.000 kW dan secara langsung dapat menghasilkan energi listrik total sebesar ± 488 juta kWh per tahun. Pada aturan lepasan eksisting (sebelum dioptimasi) produksi listrik PLTA Waduk Sutami tahun 2002-2011 didapatkan rata-rata energi bangkitan yaitu 12,44 GWH atau ± 1.244.000 kWh per hari dan energi bangkitan minimum yang dapat dihasilkan yaitu 2,51 GWH atau ± 251.000 kWh per hari, produksi energi listrik pada PLTA Waduk Sutami selama 10 tahun di atas akan dibandingkan dengan produksi energi listrik setelah dilakukan optimasi lepasan berdasarkan tampungan Waduk Sutami dengan algoritma genetik. Rekapitulasi produksi listrik PLTA Waduk Sutami dapat dilihat pada Tabel 4.14 berikut.

Tabel 4.14. Rekapitulasi Perhitungan Manual Produksi Listrik PLTA Waduk Sutami Tahun 2002-2011

Tahun	Produksi Listrik
	Pertahun (kWh)
2002	517004191,77
2003	427297460,44
2004	476897370,87
2005	448989963,38
2006	478842009,29
2007	403794744,21
2008	541473085,30
2009	479144397,35
2010	672697452,77
2011	559845215,49

Sumber: Perhitungan

4.6. Perhitungan Simulasi Waduk Sutami Berdasarkan Tampungan

Dalam “Studi Optimasi Lepas Berdasarkan Tampungan Operasi Waduk Sutami Untuk PLTA Dengan Algoritma Genetik” dilakukan analisa simulasi operasi waduk berdasarkan Tampungan Waduk selama 10 tahun yang memiliki periode 10 harian, menyesuaikan dari data debit inlow dan outflow pada Waduk Sutami.

Lepas berdasarkan Tampungan Waduk adalah metode untuk mengatur pola lepasan, dalam pengaturan lepasannya tergantung dari prosentase kapasitas tampungan aktif guna memenuhi kebutuhan. Semakin kecil tampungan maka semakin kecil pula prosentase lepasannya, begitu pula sebaliknya. Aturan lepasan ditetapkan dengan cara coba-coba, dan pada aturan lepasan pada simulasi berdasarkan Tampungan Waduk di Waduk Sutami kali ini ditetapkan dengan interval 5%, mulai dari 0 – 100%. Pada tiap-tiap interval persen waduk pada periode tertentu memiliki prosentase lepasan yang berbedabeda, hal ini yang akan mempengaruhi nilai keoptimalan waduk berkaitan dengan produksi listrik.

Dalam kondisi penuh, Waduk Sutami memiliki tampungan maksimum operasi sebesar 171,100 juta m³, dengan tampungan aktif sebesar 135,500 juta m³ dan tampungan minimum sebesar 41,600 juta m³. Contoh perhitungan simulasi Waduk Sutami berdasarkan Tampungan Waduk untuk PLTA pada Januari periode I tahun 2002 adalah sebagai berikut:

1. Dilakukan Pengumpulan Data Meliputi

- Data teknis waduk
- Data debit Waduk Sutami

2. Penetapan Aturan Lepasn Berdasarkan Tampungn Waduk

Berkaitan dengan metode yang digunakan dalam studi ini, yaitu menggunakan aturan lepasn yang telah dihasilkan melaui proses Algoritma Genetik pada pola operasi Waduk Sutami untuk PLTA, berikut adalah pedoman lepasn berdasarkan tampungan hasil optimasi dengan program Algoritma Genetik yang digunakan pada analisa simulasi Waduk Sutami untuk PLTA :

Tabel 4.15. Alternatif Pedoman Lepasn Waduk

Pct. Tamp.	Pct. Q maks
[%]	[%]
0,00	6,39
5,00	11,66
10,00	13,55
15,00	18,47
20,00	23,77
25,00	31,81
30,00	37,84
35,00	43,03
40,00	50,25
45,00	55,89
50,00	63,21
55,00	63,90
60,00	69,31
65,00	70,20
70,00	75,34
75,00	83,26
80,00	89,93
85,00	92,45
90,00	93,54
95,00	97,08
100,00	100,00

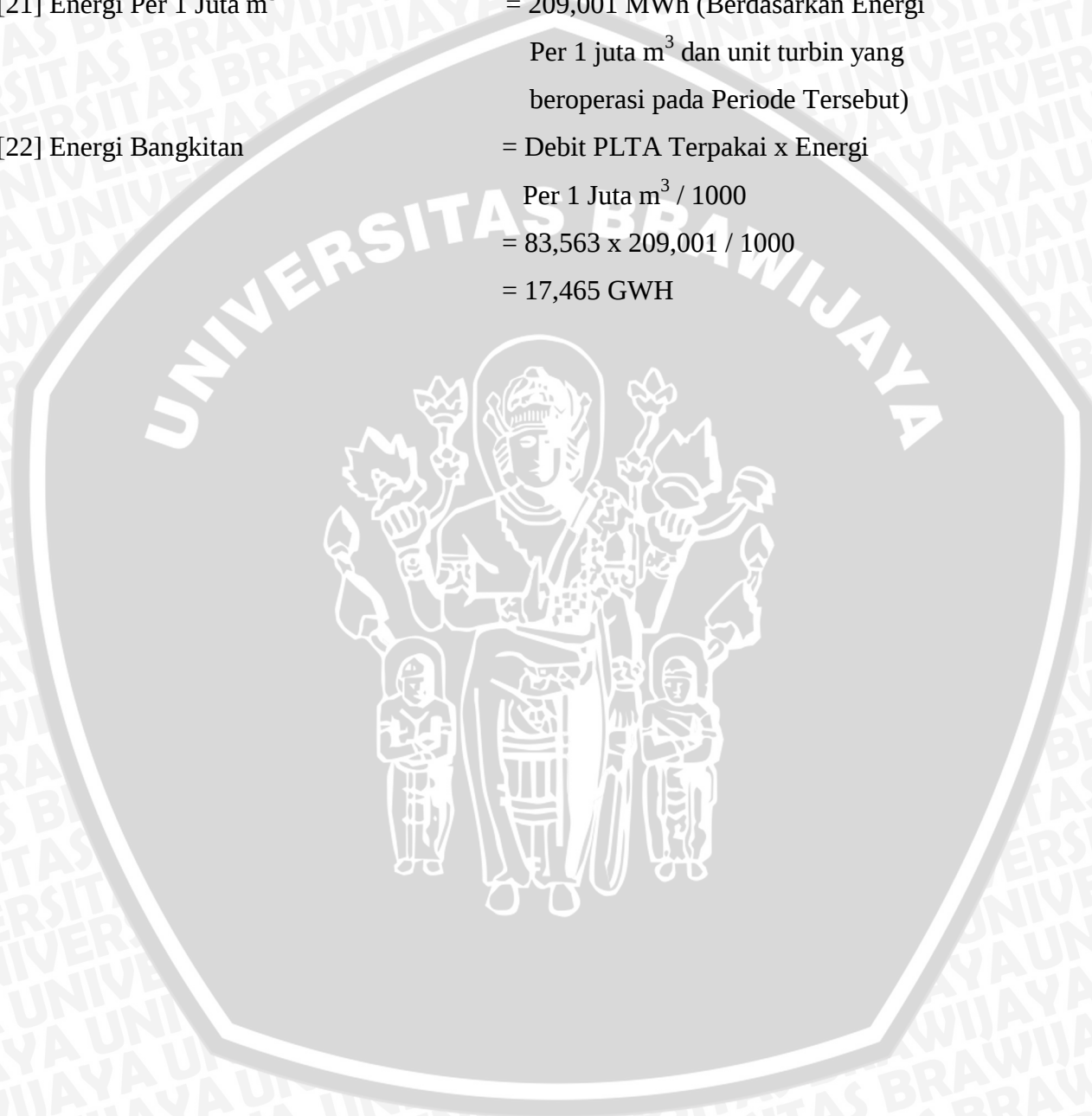
Sumber: Perhitungan

3. Contoh sederhana perhitungan simulasi Waduk Sutami berdasarkan Tampungannya Waduk pada bulan Januari periode I tahun 2002:

- Tampungannya Maksimum Operasi = 171,1 Juta m³
- Tampungannya Minimum Operasi = 41,6 Juta m³
- Tampungannya Aktif = 135,5 Juta m³

- [1] Tahun = 2002
- [2] No = 1
- [3] Periode = Januari – 1
- [4] Banyak Hari = 10 hari
- [5] Inflow = 74,71 m³/detik
- [6] Total Inflow = $86400 \times 10 \times 74,71 / 1000000$
= 64,549 Juta m³
- [7] Tampungannya Waduk Awal Periode = 125,149 Juta m³ (Berdasarkan Elevasi Muka Air Waduk Periode Tersebut)
- [8] Tampungannya Waduk Akhir Periode = 105,700 Juta m³
- [9] Total Outflow = [6] + [7] – [8]
= 64,549 + 125,149 – 105,7
= 83,999 Juta m³
- [10] Persen Tamp. Aktif = $100 \times (125,149 - 41,6) / 140,7$
= 61,66 %
- [11] Debit PLTA Maksimum per Hari = 12,057 Juta m³
- [12] Debit PLTA Maksimum per Periode = [11] x [4]
= 12,057 x 10
= 120,570 Juta m³
- [13] Luas MAW Awal Periode = 11,02 km² (Berdasarkan Elevasi Muka Air Waduk Periode Tersebut)
- [14] Tinggi Evaporasi = 3,950 mm/hari
- [15] Volume Evaporasi = [4] x [13] x [14] / 100000
= 10 x 11,02 x 3,950 / 100000
= 0,435 Juta m³
- [16] Tampungannya Waduk Akhir Periode = 105,700 Juta m³
- [17] Unit Turbin Beroperasi = 3 turbin,
karena total debit PLTA 83,563 Juta m³

- [18] Debit Operasi Maksimum = 120,570 Juta m³ (Total selama 10 hari)
- [19] Debit PLTA Terpakai = 83,563 Juta m³
- [20] Debit PLTA Tersisa = Jika Debit PLTA > Debit Operasi Maksimum ; maka Debit PLTA – Debit Operasi Maksimum; kalau tidak 0
- [21] Energi Per 1 Juta m³ = 209,001 MWh (Berdasarkan Energi Per 1 juta m³ dan unit turbin yang beroperasi pada Periode Tersebut)
- [22] Energi Bangkitan = Debit PLTA Terpakai x Energi Per 1 Juta m³ / 1000
= 83,563 x 209,001 / 1000
= 17,465 GWH



Tabel 4.16. Hasil Simulasi Waduk Sutami Berdasarkan Tampungan Untuk PLTA (Tahun 2002)

Tampungan Maksimum [operasi]				177,1	juta m³	Tahun Awal		2002			Tampungan Aktif													Rerata Energi (10 Tahun)		14,04
Tampungan Minimum [operasi]				41,6	juta m³																			Energi Minimum (10 Tahun)		4,23
Tampungan Eksisting Awal 2002				125,149	juta m³	Detik per hari		86400			135,5															
Tahun	No.	Periode	Banyak hari	INFLOW [m³/dt]	INFLOW Total [juta m³]	Tampungan Waduk [juta m³]		OUTFLOW Total [juta m³]	Pct Tampungan Aktif [%]	Debit PLTA Maksimum Per Hari [juta m³]	Debit PLTA Maksimum Per periode [juta m³]	Luas MAW Awal [km2]	Tinggi Evaporasi [mm/hari]	Volume Evaporasi [juta m³]	Tamp.Wdk. Akhir Periode [juta m³]	Unit Turbin Beroperasi	Debit Operasi Maksimum [juta m³]	Debit PLTA Terpakai [juta m³]	Debit PLTA tersisa [juta m³]	Energi Per 1 juta m³ [MWH]	Energi Bangkitan [GWH]					
						Awal Periode	Akhir Periode																			
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]	[21]	[22]					
2002	1	Jan-1	10	74,71	64,549	125,149	105,700	83,999	61,66	12,057	120,570	11,02	3,950	0,435	105,700	3	120,570	83,563	0,000	209,00667	17,465					
	2	Jan-2	10	71,79	62,027	105,700	95,300	72,427	47,31	12,529	125,294	9,30	25,970	2,415	95,300	2	83,525	70,012	0,000	201,13788	14,082					
	3	Jan-3	11	167,20	158,907	95,300	177,100	77,107	39,63	12,906	141,969	8,27	4,304	0,391	177,100	2	86,111	61,096	0,000	214,60568	13,112					
	4	Feb-1	10	148,97	128,710	177,100	177,100	128,710	100,00	11,527	115,274	13,57	4,190	0,568	177,100	3	115,274	115,274	0,000	218,61000	25,200					
	5	Feb-2	10	130,24	112,527	177,100	173,800	115,827	100,00	11,527	115,274	13,57	4,189	0,568	173,800	3	115,331	115,259	0,000	218,50225	25,184					
	6	Feb-3	9	137,15	106,648	173,800	177,100	103,348	97,56	11,539	103,854	13,50	3,763	0,457	177,100	3	103,798	100,821	0,000	218,50225	22,030					
	7	Mar-1	10	111,88	96,664	177,100	157,900	115,864	100,00	11,527	115,274	13,57	5,082	0,689	157,900	3	115,689	115,175	0,000	217,82523	25,088					
	8	Mar-2	10	131,97	114,022	157,900	163,900	108,022	85,83	11,632	116,323	13,00	3,925	0,510	163,900	3	116,100	107,512	0,000	217,05422	23,336					
	9	Mar-3	11	141,80	134,767	163,900	177,100	121,567	90,26	11,590	127,490	13,23	4,307	0,627	177,100	3	127,091	119,249	0,000	218,11207	26,010					
	10	Apr-1	10	138,62	119,768	177,100	177,100	119,768	100,00	11,527	115,274	13,57	4,057	0,550	177,100	3	115,274	115,274	0,000	218,61000	25,200					
	11	Apr-2	10	129,75	112,104	177,100	173,400	115,804	100,00	11,527	115,274	13,57	4,045	0,549	173,400	3	115,338	115,255	0,000	218,48846	25,182					
	12	Apr-3	10	96,39	83,281	173,400	144,100	112,581	97,27	11,541	115,409	13,49	4,057	0,547	144,100	3	116,258	112,034	0,000	216,75996	24,284					
	13	Mei-1	10	85,27	73,672	144,100	119,400	98,372	75,65	11,768	117,675	12,32	3,921	0,483	119,400	3	119,406	97,888	0,000	211,04541	20,659					
	14	Mei-2	10	85,01	73,448	119,400	114,700	78,148	57,42	12,174	121,745	10,54	3,913	0,413	114,700	2	80,557	77,735	0,000	208,54822	16,212					
	15	Mei-3	11	58,88	55,964	114,700	84,800	85,864	53,95	12,283	135,114	10,13	4,335	0,483	84,800	2	92,060	85,381	0,000	200,73950	17,139					
	16	Jun-1	10	60,76	52,497	84,800	87,100	50,197	31,88	13,205	132,047	7,18	4,058	0,292	87,100	2	87,730	49,905	0,000	191,49746	9,557					
	17	Jun-2	10	56,28	48,626	87,100	85,300	50,426	33,58	13,259	132,588	7,42	4,041	0,300	85,300	2	87,621	50,126	0,000	191,73557	9,611					
	18	Jun-3	10	51,23	44,263	85,300	79,300	50,263	32,25	13,217	132,166	7,23	4,040	0,292	79,300	2	88,303	49,970	0,000	188,46571	9,418					
	19	Jul-1	10	50,53	43,658	79,300	81,200	41,758	27,82	13,068	130,683	6,61	3,930	0,260	81,200	1	44,321	41,498	0,000	189,50616	7,864					
	20	Jul-2	10	45,84	39,606	81,200	78,900	41,906	29,23	13,117	131,165	6,81	3,924	0,267	78,900	1	44,304	41,639	0,000	189,40126	7,886					
	21	Jul-3	11	46,49	44,184	78,900	77,100	45,984	27,53	13,058	143,638	6,57	4,315	0,312	77,100	1	48,538	45,672	0,000	188,30556	8,600					
	22	Ags-1	10	44,67	38,597	77,100	74,100	41,597	26,20	13,011	130,110	6,38	3,914	0,250	74,100	1	43,910	41,347	0,000	186,97411	7,731					
	23	Ags-2	10	42,73	36,915	74,100	80,100	30,915	23,99	12,930	129,302	6,07	3,920	0,238	80,100	1	44,045	30,677	0,000	187,81251	5,762					
	24	Ags-3	11	39,50	37,543	80,100	71,600	46,043	28,41	13,089	143,976	6,69	4,307	0,317	71,600	1	48,326	45,725	0,000	187,11531	8,556					
	25	Sep-1	10	36,70	31,704	71,600	72,500	30,804	22,14	12,861	128,606	5,81	4,049	0,235	72,500	1	43,580	30,569	0,000	184,90451	5,652					
	26	Sep-2	10	34,91	30,166	72,500	71,800	30,866	22,80	12,886	128,859	5,91	4,041	0,239	71,800	1	43,589	30,627	0,000	184,96451	5,665					
	27	Sep-3	10	36,49	31,525	71,800	72,600	30,725	22,29	12,866	128,662	5,83	4,043	0,236	72,600	1	43,594	30,489	0,000	184,99446	5,640					
	28	Okt-1	10	33,42	28,876	72,600	70,700	30,776	22,88	12,889	128,887	5,92	3,921	0,232	70,700	1	43,541	30,544	0,000	184,66359	5,640					
	29	Okt-2	10	31,66	27,353	70,700	67,400	30,653	21,48	12,835	128,350	5,72	3,930	0,225	67,400	1	43,289	30,428	0,000	183,05819	5,570					
	30	Okt-3	11	31,26	29,706	67,400	71,000	26,106	19,04	12,739	140,126	5,39	4,323	0,256	71,000	1	47,634	25,850	0,000	183,15270	4,734					
	31	Nov-1	10	35,61	30,764	71,000	71,000	30,764	21,70	12,844	128,435	5,75	4,057	0,233	71,000	1	43,479	30,531	0,000	184,26870	5,626					
	32	Nov-2	10	40,88	35,321	71,000	75,600	30,721	21,70	12,844	128,435	5,75	4,050	0,233	75,600	1	43,698	30,488	0,000	185,64720	5,660					
	33	Nov-3	10	49,09	42,412	75,600	76,600	41,412	25,09	12,971	129,710	6,23	4,050	0,252	76,600	1	43,956	41,160	0,000	187,25591	7,707					
	34	Des-1	10	53,55	46,268	76,600	81,300	41,568	25,83	12,998	129,977	6,33	3,913	0,248	81,300	1	44,209	41,320	0,000	188,81801	7,802					
	35	Des-2	10	61,30	52,967	81,300	92,300	41,967	29,30	13,119	131,190	6,82	3,920	0,267	92,300	1	42,945	41,699	0,000	195,60008	8,156					
	36	Des-3	11	106,14	100,872	92,300	131,500	61,672	37,42	13,049	143,536	7,96	0,000	0,000	131,500	2	89,495	61,672	0,000	206,49213	12,735					

Sumber: Perhitungan

- Keterangan:
1. Tahun
 2. Nomor
 3. Periode
 4. Banyak Hari
 5. Inflow Waduk (m³/dt)
 6. Inflow Waduk (juta m³)
 7. Tampungan Waduk (Awal Periode)
 8. Tampungan Waduk (Akhir Periode)
 9. [6]+[7]-[8]
 10. 100 x ([7]-Tamp. Minimum) / Tamp. Aktif
 11. Debit Maksimum PLTA Per Hari
 12. [11] x [4]
 13. Luas Muka Air Waduk
 14. [15]x1000/[13]/4
 15. Volume Evaporasi
 16. Tampungan Waduk Akhir Periode
 17. Unit Turbin Dioperasikan
 18. Debit Maksimum Operasi
 19. Debit PLTA Yang Dipakai
 20. Debit Sisa Operasi PLTA
 21. Energi PLTA Per 1 Juta m³ (MWH)
 22. [19] x [21] / 1000

Dari perhitungan simulasi Waduk Sutami berdasarkan Tampungannya Waduk dari tahun 2002 - 2011 didapatkan rata-rata energi bangkitan PLTA yang dihasilkan adalah 14,04 GWH ($\pm 1.404.000$ kWh per hari) dan energi minimum yang dapat diproduksi adalah 4,32 GWH (± 432.000 kWh per hari). Untuk hasil perhitungan simulasi Waduk Sutami berdasarkan Tampungannya Waduk dari tahun 2003 – 2011 dapat dilihat pada bagian lampiran.

4.7. Model Simulasi Algoritma Genetik

4.7.1. Umum

Secara garis besar maka Algoritma Genetik terdiri dari pada 2 komponen berikut ini :

1. Reproduksi
2. *Crossover*

Dalam model simulasi Algoritma Genetik ini, fungsi tujuannya adalah untuk meningkatkan produksi energi listrik dan memaksimalkan fungsi kinerja PLTA dengan menaikkan angka minimum energi bangkitan PLTA. Model Algoritma Genetik berpusat pada struktur daripada kromosom. Kromosom dalam hal ini adalah aturan lepasan waduk yang mewakili alternatif solusi dan nilai kinerja berdasarkan fungsi tujuan. Jumlah kromosom untuk generasi awal berjumlah 16 kromosom, dan tiap-tiap kromosom memiliki 21 gen atau variabel yang dibangkitkan dengan cara acak. Jadi sebuah kromosom merupakan sekumpulan variabel-variabel keputusan yang memiliki nilai kinerja pada tiap gen. Berikut contoh alternatif aturan lepasan berdasarkan Tampungannya Waduk dengan Algoritma Genetik :

Tabel. 4.17. Contoh Alternatif Aturan Lepas Berdasarkan Tampungannya Pada Optimasi Algoritma Genetik

Tampungannya Waduk	Lepas Waduk (%)							
%	1	2	3	4	--	14	15	16
0	6,25	8,15	3,66	7,17	--	4,26	1,63	6,39
5	12,45	9,08	12,47	14,19	--	6,67	7,24	11,66
10	19,24	15,76	12,47	17,31	--	9,58	11,21	13,55
15	21,15	23,10	13,88	25,80	--	13,69	20,45	18,47
20	21,35	27,11	21,96	33,99	--	18,21	22,21	23,77
25	29,15	29,24	22,15	41,94	--	22,27	30,47	31,81
30	34,56	34,81	28,06	42,94	--	26,16	39,26	37,84
35	43,25	34,82	37,95	46,28	--	34,03	48,34	43,03
40	50,19	40,18	43,94	54,49	--	36,06	51,01	50,25
45	50,56	47,04	50,74	59,85	--	40,77	51,65	55,89
50	51,55	53,97	56,72	60,32	--	47,56	58,00	63,21
55	60,43	59,86	63,16	61,55	--	55,68	65,80	63,90
60	61,11	61,60	67,22	62,54	--	59,85	68,89	69,31
65	66,28	69,50	70,90	63,35	--	61,10	74,04	70,20
70	70,13	75,54	74,71	67,54	--	64,17	78,21	75,34
75	71,18	77,46	76,25	69,70	--	70,74	84,60	83,26
80	75,98	87,21	80,08	76,11	--	79,03	85,81	89,93
85	82,23	89,33	86,64	82,16	--	87,10	87,00	92,45
90	88,82	89,73	89,39	86,85	--	95,70	92,14	93,54
95	91,07	89,79	92,55	92,92	--	98,74	95,57	97,08
100	100,00	100,00	100,00	100,00	--	100,00	100,00	100,00

Sumber: Perhitungan

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

Contoh perhitungan :

Pada parameter Tampungannya Waduk 0%, nilai terbesar adalah 8,15% pada kromosom ke 2 dan terkecil adalah 1,63% pada kromosom ke 15 pada pembangkitan generasi awal.

$$\text{Maka } 8,15 - 1,63 = 6,52$$

Sehingga pada contoh kasus di atas, bisa dikatakan populasi belum bisa dikatakan homogen.

4.7.2. Reproduksi

Reproduksi adalah proses seleksi terhadap kromosom yang terdapat pada suatu populasi berdasarkan nilai kinerja dari masing-masing kromosom. Dalam penentuan nilai kinerja (ranking), semakin besar nilai fungsi tujuan maka semakin baik kinerja dari kromosom tersebut. Kemudian dilanjutkan dengan proses *copy*, proses *copy* atau proses

pemilihan generasi terbaik ini akan menjadi generasi turunan yang berikutnya. Proses seleksi disini memilih 16 variabel lepasan waduk terbaik (diranking) dari kumpulan variabel aturan lepasan waduk yang berjumlah 120.

Tabel 4.18. Tabel Contoh 120 Kromosom Beserta Fungsi Kinerja Algoritma Genetik

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	--	120
Kinerja	13,99	13,95	14,03	13,99	14,01	13,99	14,04	14,04	--	14,02
Tampungan Waduk %	Kromosom (Lepasan Waduk %)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	--	120
0	6,25	8,15	3,66	7,17	6,23	0,10	4,43	7,51	--	2,08
5	12,45	9,08	12,47	14,19	11,48	7,77	7,01	14,80	--	5,37
10	19,24	15,76	12,47	17,31	16,77	13,28	15,16	20,61	--	7,25
15	21,15	23,10	13,88	25,80	23,35	18,16	24,13	26,40	--	7,92
20	21,35	27,11	21,96	33,99	31,42	23,56	25,22	32,93	--	8,77
25	29,15	29,24	22,15	41,94	38,27	25,95	27,74	34,60	--	11,25
30	34,56	34,81	28,06	42,94	39,35	33,50	31,94	42,09	--	12,32
35	43,25	34,82	37,95	46,28	39,73	36,56	41,30	48,13	--	13,19
40	50,19	40,18	43,94	54,49	43,75	44,68	47,39	50,84	--	17,27
45	50,56	47,04	50,74	59,85	52,16	53,45	53,80	51,21	--	20,10
50	51,55	53,97	56,72	60,32	61,63	57,91	54,10	53,81	--	25,03
55	60,43	59,86	63,16	61,55	64,19	63,99	56,46	58,30	--	30,61
60	61,11	61,60	67,22	62,54	69,19	66,37	61,06	62,88	--	44,60
65	66,28	69,50	70,90	63,35	70,10	73,93	67,34	65,79	--	53,65
70	70,13	75,54	74,71	67,54	71,71	82,84	75,15	69,83	--	64,93
75	71,18	77,46	76,25	69,70	78,28	83,44	80,04	77,12	--	78,96
80	75,98	87,21	80,08	76,11	81,68	86,24	83,17	84,64	--	92,28
85	82,23	89,33	86,64	82,16	83,45	89,38	88,53	85,05	--	96,86
90	88,82	89,73	89,39	86,85	90,94	97,30	97,60	86,88	--	98,60
95	91,07	89,79	92,55	92,92	92,27	99,52	99,78	91,37	--	100,00
100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	--	100,00

Nilai
Kinerja

Sumber: Perhitungan

Dari 120 kromosom tersebut pada satu generasi populasi, tiap-tiap kromosom memiliki nilai kinerja terhadap fungsi tujuan. Berdasarkan fungsi kinerja tersebut akan di seleksi menjadi 16 kromosom terpilih yang memiliki kinerja terbaik pada suatu populasi.

Tabel 4.19. Contoh 16 Kromosom Hasil Seleksi

Tampungan Waduk	Lepasan Waduk (%)							
%	1	2	3	4	--	14	15	16
0	6,25	8,15	3,66	7,17	--	4,26	1,63	6,39
5	12,45	9,08	12,47	14,19	--	6,67	7,24	11,66
10	19,24	15,76	12,47	17,31	--	9,58	11,21	13,55
15	21,15	23,10	13,88	25,80	--	13,69	20,45	18,47
20	21,35	27,11	21,96	33,99	--	18,21	22,21	23,77
25	29,15	29,24	22,15	41,94	--	22,27	30,47	31,81
30	34,56	34,81	28,06	42,94	--	26,16	39,26	37,84
35	43,25	34,82	37,95	46,28	--	34,03	48,34	43,03
40	50,19	40,18	43,94	54,49	--	36,06	51,01	50,25
45	50,56	47,04	50,74	59,85	--	40,77	51,65	55,89
50	51,55	53,97	56,72	60,32	--	47,56	58,00	63,21
55	60,43	59,86	63,16	61,55	--	55,68	65,80	63,90
60	61,11	61,60	67,22	62,54	--	59,85	68,89	69,31
65	66,28	69,50	70,90	63,35	--	61,10	74,04	70,20
70	70,13	75,54	74,71	67,54	--	64,17	78,21	75,34
75	71,18	77,46	76,25	69,70	--	70,74	84,60	83,26
80	75,98	87,21	80,08	76,11	--	79,03	85,81	89,93
85	82,23	89,33	86,64	82,16	--	87,10	87,00	92,45
90	88,82	89,73	89,39	86,85	--	95,70	92,14	93,54
95	91,07	89,79	92,55	92,92	--	98,74	95,57	97,08
100	100,00	100,00	100,00	100,00	--	100,00	100,00	100,00

Sumber: Perhitungan

4.7.3. Crossover

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/gen baru hasil persilangan antara dua variabel dari kedua kromosom generasi turunan, memberikan variabel baru sebagai berikut:

Tabel 4.20. Contoh *Crossover* antara Kedua Kromosom

	Kromosom 1	Kromosom 2	Bilangan Acak	Kromosom Gabung	
V_{1i}	0,087015	0,083322	0,5239	0,085257	V_i
	0,139305	0,137265	0,8860	0,139072	
	0,186814	0,242333	0,8265	0,196445	$U [0,1]$
V_{2i}	0,123106	0,128300	0,6085	0,125140	
	0,043031	0,048770	0,3476	0,046775	
	0,054336	0,057320	0,3102	0,056394	
	0,177160	0,137090	0,6535	0,163277	
	0,078996	0,062804	0,8402	0,076409	
	0,054074	0,071910	0,2205	0,067978	
	0,271324	0,267527	0,7570	0,270401	
	0,169541	0,202262	0,8435	0,174662	
	0,315852	0,344137	0,3532	0,334147	
	0,377324	0,347548	0,9697	0,376422	
	0,922837	0,925701	0,6957	0,923709	
	0,616641	0,597101	0,8645	0,613994	
	0,793346	0,732682	0,4095	0,757526	
	0,910720	0,928485	0,3166	0,922860	
	0,848402	0,904811	0,8242	0,858317	
	0,290562	0,323741	0,5932	0,304060	
	0,115799	0,114638	0,1839	0,114852	
	0,104435	0,087986	0,8846	0,102537	

Sumber: Perhitungan

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

$$V_i = 0,087015 \cdot 0,5239 + 0,083322 \cdot (1-0,5239)$$

$$V_i = 0,085257$$

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 di atas, maka pembentukan kromosom baru dilakukan oleh setiap pasangan yang berbeda dari kromosom generasi turunan (16 kromosom) sehingga terbentuklah 120 kromosom untuk generasi berikutnya.

Tabel 4.21. Contoh Hasil *Crossover* Menghasilkan Populasi 120 Kromosom

Tampungan Waduk	Lepasan Waduk (%)								
%	1	2	3	4	5	6	7	--	120
0	6,25	8,15	3,66	7,17	6,23	0,10	4,43	--	2,08
5	12,45	9,08	12,47	14,19	11,48	7,77	7,01	--	5,37
10	19,24	15,76	12,47	17,31	16,77	13,28	15,16	--	7,25
15	21,15	23,10	13,88	25,80	23,35	18,16	24,13	--	7,92
20	21,35	27,11	21,96	33,99	31,42	23,56	25,22	--	8,77
25	29,15	29,24	22,15	41,94	38,27	25,95	27,74	--	11,25
30	34,56	34,81	28,06	42,94	39,35	33,50	31,94	--	12,32
35	43,25	34,82	37,95	46,28	39,73	36,56	41,30	--	13,19
40	50,19	40,18	43,94	54,49	43,75	44,68	47,39	--	17,27
45	50,56	47,04	50,74	59,85	52,16	53,45	53,80	--	20,10
50	51,55	53,97	56,72	60,32	61,63	57,91	54,10	--	25,03
55	60,43	59,86	63,16	61,55	64,19	63,99	56,46	--	30,61
60	61,11	61,60	67,22	62,54	69,19	66,37	61,06	--	44,60
65	66,28	69,50	70,90	63,35	70,10	73,93	67,34	--	53,65
70	70,13	75,54	74,71	67,54	71,71	82,84	75,15	--	64,93
75	71,18	77,46	76,25	69,70	78,28	83,44	80,04	--	78,96
80	75,98	87,21	80,08	76,11	81,68	86,24	83,17	--	92,28
85	82,23	89,33	86,64	82,16	83,45	89,38	88,53	--	96,86
90	88,82	89,73	89,39	86,85	90,94	97,30	97,60	--	98,60
95	91,07	89,79	92,55	92,92	92,27	99,52	99,78	--	100,00
100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	--	100,00

Sumber: Perhitungan

Setelah *crossover* 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.

4.8. Model Optimasi Lepasan Waduk Sutami dengan Algoritma Genetik

Untuk dapat mengaplikasikan algoritma genetik, ada beberapa langkah yang harus dilakukan antara lain men-generate fungsi awal dalam bentuk representasi kromosom, kromosom dalam hal ini adalah variabel lepasan waduk dengan fungsi tujuannya adalah meningkatkan nilai rerata dan nilai minimum energi bangkitan PLTA Waduk Sutami, jadi proses optimasi dengan algoritma genetik akan mencari kromosom terbaik yang merupakan variabel aturan lepasan waduk yang akan menghasilkan persentase nilai debit outflow yang optimal untuk peningkatan nilai rerata dan nilai minimum energi bangkitan PLTA.

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), yang di dalamnya yaitu menghitung secara langsung kinerja kromosom (alternatif aturan lepasan) pada simulasi Waduk Sutami selama 10 tahun. Berikut adalah komponen-komponen pada model optimasi Algoritma Genetik :

1. Proses Inisialisasi

Pada proses Inisialisasi maka dibangkitkan secara stokastik populasi pertama sebanyak 16 kromosom (Alternatif Aturan Lepasn). Satu kromosom dibangkitkan melalui dua tahap yaitu :

- 5000 Iterasi awal
- 1000 Iterasi lanjutan dengan kisaran acak 0,3000 – 0,0005

2. *Crossover*

Setelah terbentuk 16 kromosom pada generasi pertama hasil bangkitan dari proses Inisialisasi, kemudian dilakukan proses *Crossover*. Proses ini merupakan persilangan antara kromosom pada suatu generasi turunan. Pada proses ini maka ada prioritas bagi kromosom hasil *Crossover* adanya perbaikan minimal 1 kali. Proses *Crossover* ini akan menghasilkan 120 kromosom baru hasil kombinasi antar generasi.

3. Proses Perbaikan

Dari 120 kromosom hasil *Crossover* kemudian dipilihlah 16 kromosom terbaik berdasarkan nilai kinerja terhadap fungsi tujuan. Generasi populasi 16 kromosom hasil seleksi inilah yang akan menjadi generasi turunan berikutnya.

4. Kondisi Optimal

Proses perbaikan ini akan berhenti hingga antara kromosom satu dengan lainnya sudah identik satu sama lain atau seragam. Seragam (homogen) dalam hal ini menandakan pada sebuah populasi sudah didominasi oleh satu jenis kromosom terbaik saja. Maka sudah tidak memungkinkan lagi untuk melakukan perbaikan nilai kinerja.

4.8.1. Proses Inisialisasi Pada Algoritma Genetik

Sebagai langkah awal dalam proses optimasi pada Algoritma Genetik, maka dicari alternatif awal dari skedul aturan lepasan waduk dengan melakukan proses inisialisasi. Dalam proses inisialisasi ini dibangkitkan secara stokastik 16 alternatif skedul aturan lepasan waduk, dimana setiap alternatif diisyaratkan untuk menghasilkan debit outflow yang optimal untuk PLTA sebagai nilai kinerja dan fungsi tujuan. Proses ini berfungsi untuk membentuk sebuah populasi generasi pertama. Berikut adalah input yang menjadi

bagian dari proses dari optimasi Algoritma Genetik dengan menggunakan Program Ms. Excel-VBA dalam perhitungan optimasi :

1. Banyaknya Generasi : 16
2. Iterasi : Iterasi Awal = 5000
Iterasi Lanjutan = 1000
3. Kisaran Acak : 0,3000 – 0,0005

Berikut adalah sub program dalam perhitungan optimasi generasi awal :

Program Ms. Excel-VBA (Visual Basic for Application)

Sub A1_Simulasi_Acak_Generasi_Awal()

Calculate

With Worksheets("Penel_OP_Wdk_1")

Iter_Awal = 5000

Iter_Lanj = 1000

Iter_Kisr = 10

.Range("CU3:ER60").ClearContents

.Range("BCS3:BEP22").ClearContents

For G = 1 To 16

.Range("BX8:BZ8").ClearContents

.Range("BX12:BZ21").ClearContents

.Range("CB5").Value = 0

.Range("CD1").Value = 1

N_improv = 0

For i = 1 To Iter_Awal

.Range("BX8").Value = i

.Calculate

If .Range("CF5").Value = 0 Then

```
.Range("CB5").Value = .Range("CD5").Value
.Range("CB12:CB32").Value = .Range("CD12:CD32").Value
N_improv = N_improv + 1
.Range("BY8").Value = N_improv
.Range("BZ8").Value = .Range("CD5").Value
End If
Next i

.Range("CD1").Value = 2

For k = 1 To Iter_Kisr

.Range("BS1").Value = k

N_improv = 0
For i = 1 To Iter_Lanj
.Range("BX11").Offset(k, 0).Value = i
.Calculate
If .Range("CF5").Value = 0 Then
.Range("CB5").Value = .Range("CD5").Value
.Range("CB12:CB32").Value = .Range("CD12:CD32").Value
N_improv = N_improv + 1
.Range("BY11").Offset(k, 0).Value = N_improv
.Range("BZ11").Offset(k, 0).Value = .Range("CD5").Value
End If
Next i

Next k

.Range("CQ13").Calculate
N_posisi = .Range("CQ13").Value + 1

V = .Range("CB5").Value
```

```

.Range("CT5").Offset(0, N_posisi).Value = V
For i = 1 To 21
    V = .Range("CB11").Offset(i, 0).Value
    .Range("CT11").Offset(i, N_posisi).Value = V
Next i

Next G

.Range("CU37:ER37").Value = .Range("CU5:ER5").Value
.Range("CU40:ER60").Value = .Range("CU12:ER32").Value

.Range("CD1").Value = 3

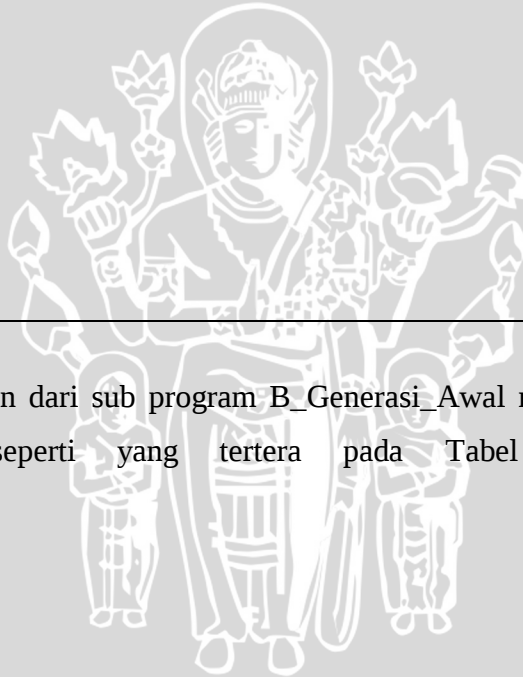
End With

Calculate

End Sub

```

Perintah yang dijalankan dari sub program B_Generasi_Awal menghasilkan data populasi generasi awal seperti yang tertera pada Tabel 4.22. berikut:



Tabel 4.22. Hasil Bangkitan Populasi Awal dari Proses Inisialisasi

Tampungan Waduk	Lepasan Waduk (%)															
%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	6,25	8,15	3,66	7,17	6,23	0,10	4,43	7,51	1,76	6,02	3,03	2,63	0,85	4,26	1,63	6,39
5	12,45	9,08	12,47	14,19	11,48	7,77	7,01	14,80	5,42	9,31	11,02	6,59	5,72	6,67	7,24	11,66
10	19,24	15,76	12,47	17,31	16,77	13,28	15,16	20,61	12,29	13,23	18,35	13,32	13,13	9,58	11,21	13,55
15	21,15	23,10	13,88	25,80	23,35	18,16	24,13	26,40	17,78	19,90	23,86	21,84	14,66	13,69	20,45	18,47
20	21,35	27,11	21,96	33,99	31,42	23,56	25,22	32,93	19,19	25,36	24,45	30,45	22,93	18,21	22,21	23,77
25	29,15	29,24	22,15	41,94	38,27	25,95	27,74	34,60	26,69	27,55	25,13	38,82	24,55	22,27	30,47	31,81
30	34,56	34,81	28,06	42,94	39,35	33,50	31,94	42,09	34,83	27,79	33,52	43,73	27,64	26,16	39,26	37,84
35	43,25	34,82	37,95	46,28	39,73	36,56	41,30	48,13	36,89	32,92	39,10	47,15	31,95	34,03	48,34	43,03
40	50,19	40,18	43,94	54,49	43,75	44,68	47,39	50,84	44,83	42,29	44,13	52,06	38,94	36,06	51,01	50,25
45	50,56	47,04	50,74	59,85	52,16	53,45	53,80	51,21	45,30	46,39	45,02	54,83	39,35	40,77	51,65	55,89
50	51,55	53,97	56,72	60,32	61,63	57,91	54,10	53,81	51,97	52,43	51,21	60,54	47,47	47,56	58,00	63,21
55	60,43	59,86	63,16	61,55	64,19	63,99	56,46	58,30	55,09	59,93	55,65	62,42	52,54	55,68	65,80	63,90
60	61,11	61,60	67,22	62,54	69,19	66,37	61,06	62,88	61,12	65,05	64,70	68,05	58,14	59,85	68,89	69,31
65	66,28	69,50	70,90	63,35	70,10	73,93	67,34	65,79	68,24	70,44	73,34	68,58	60,09	61,10	74,04	70,20
70	70,13	75,54	74,71	67,54	71,71	82,84	75,15	69,83	71,12	80,26	80,42	71,19	66,77	64,17	78,21	75,34
75	71,18	77,46	76,25	69,70	78,28	83,44	80,04	77,12	73,88	90,43	82,03	75,38	72,20	70,74	84,60	83,26
80	75,98	87,21	80,08	76,11	81,68	86,24	83,17	84,64	80,55	95,85	82,19	79,73	80,81	79,03	85,81	89,93
85	82,23	89,33	86,64	82,16	83,45	89,38	88,53	85,05	87,75	96,49	89,36	86,17	82,42	87,10	87,00	92,45
90	88,82	89,73	89,39	86,85	90,94	97,30	97,60	86,88	93,38	98,95	94,74	91,74	89,00	95,70	92,14	93,54
95	91,07	89,79	92,55	92,92	92,27	99,52	99,78	91,37	97,49	99,51	98,83	96,83	94,30	98,74	95,57	97,08
100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Sumber: 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)

Sub B1_Crossover()

Calculate

With Worksheets("Penel_OP_Wdk_1")

.Range("CD1").Value = 3

I_populasi = .Range("EW2").Value

I_cross = .Range("EW6").Value

.Range("FH3:BAJ5").ClearContents

.Range("FH9:BAJ9").ClearContents

.Range("FH12:BAJ32").ClearContents

For I_p = 1 To I_populasi

.Range("EW1").Value = I_p

Ada_Perbaikan = 0

.Calculate

Nilai_1 = .Range("EZ5").Value

Nilai_2 = .Range("FA5").Value

If Nilai_1 <= Nilai_2 Then

.Range("FD3:FD5").Value = .Range("EZ3:EZ5").Value

.Range("FD12:FD32").Value = .Range("EZ12:EZ32").Value

Else

.Range("FD3:FD5").Value = .Range("FA3:FA5").Value

.Range("FD12:FD32").Value = .Range("FA12:FA32").Value

End If

```

For I_c = 1 To I_cross
    .Calculate
    If .Range("FA8").Value = 0 Then
        .Range("FD3:FD5").Value = .Range("FC3:FC5").Value
        .Range("FD12:FD32").Value = .Range("FC12:FC32").Value
        Ada_Perbaikan = 1
    End If
Next I_c

.Range("FG3").Offset(0, I_p).Value = .Range("FD3").Value
.Range("FG4").Offset(0, I_p).Value = .Range("FD4").Value
.Range("FG5").Offset(0, I_p).Value = .Range("FD5").Value
.Range("FG9").Offset(0, I_p).Value = Ada_Perbaikan
For prd = 1 To 21
    .Range("FG11").Offset(prd, I_p).Value = .Range("FD11").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 4.23. berikut:

Tabel 4.23. Populasi Aturan Lepasn Waduk Hasil Kombinasi Antar Generasi pada Proses *Crossover*

Tampungan Waduk %	Kromosom (Lepasn Waduk %)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	--	120
0	6,25	8,15	3,66	7,17	6,23	0,10	4,43	7,51	--	2,08
5	12,45	9,08	12,47	14,19	11,48	7,77	7,01	14,80	--	5,37
10	19,24	15,76	12,47	17,31	16,77	13,28	15,16	20,61	--	7,25
15	21,15	23,10	13,88	25,80	23,35	18,16	24,13	26,40	--	7,92
20	21,35	27,11	21,96	33,99	31,42	23,56	25,22	32,93	--	8,77
25	29,15	29,24	22,15	41,94	38,27	25,95	27,74	34,60	--	11,25
30	34,56	34,81	28,06	42,94	39,35	33,50	31,94	42,09	--	12,32
35	43,25	34,82	37,95	46,28	39,73	36,56	41,30	48,13	--	13,19
40	50,19	40,18	43,94	54,49	43,75	44,68	47,39	50,84	--	17,27
45	50,56	47,04	50,74	59,85	52,16	53,45	53,80	51,21	--	20,10
50	51,55	53,97	56,72	60,32	61,63	57,91	54,10	53,81	--	25,03
55	60,43	59,86	63,16	61,55	64,19	63,99	56,46	58,30	--	30,61
60	61,11	61,60	67,22	62,54	69,19	66,37	61,06	62,88	--	44,60
65	66,28	69,50	70,90	63,35	70,10	73,93	67,34	65,79	--	53,65
70	70,13	75,54	74,71	67,54	71,71	82,84	75,15	69,83	--	64,93
75	71,18	77,46	76,25	69,70	78,28	83,44	80,04	77,12	--	78,96
80	75,98	87,21	80,08	76,11	81,68	86,24	83,17	84,64	--	92,28
85	82,23	89,33	86,64	82,16	83,45	89,38	88,53	85,05	--	96,86
90	88,82	89,73	89,39	86,85	90,94	97,30	97,60	86,88	--	98,60
95	91,07	89,79	92,55	92,92	92,27	99,52	99,78	91,37	--	100,00
100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	--	100,00

Sumber: Perhitungan

Jadi 120 kromosom ini merupakan hasil dari persilangan antar kromosom hasil dari pembangkitan generasi pertama dari proses inisialisasi.

4.8.2 Proses Perbaikan Pada Algoritma Genetik

Proses perbaikan pada Optimasi Algoritma Genetik (AG) bertujuan untuk meningkatkan kualitas dari generasi variabel lepasn waduk, yang ditandai dengan peningkatan nilai kinerja dari generasi tersebut. Proses perbaikan ini pada dasarnya memiliki nilai – nilai yang tidak jauh berbeda dari sebelum mengalami perbaikan jika suatu populasi tersebut sudah seragam (homogen) dengan kualitas yang dianggap terbaik, karena sudah mengalami proses-proses *crossover* dan reproduksi yang dilaksanakan secara bergantian dan secara iteratif.

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 seperti yang disajikan pada Tabel 4.24. berikut:

Tabel 4.24. Populasi Aturan Lepas Waduk Hasil Kombinasi Antar Generasi

Tampungan Waduk %	Kromosom (Lepas Waduk %)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	--	120
0	6,25	8,15	3,66	7,17	6,23	0,10	4,43	7,51	--	2,08
5	12,45	9,08	12,47	14,19	11,48	7,77	7,01	14,80	--	5,37
10	19,24	15,76	12,47	17,31	16,77	13,28	15,16	20,61	--	7,25
15	21,15	23,10	13,88	25,80	23,35	18,16	24,13	26,40	--	7,92
20	21,35	27,11	21,96	33,99	31,42	23,56	25,22	32,93	--	8,77
25	29,15	29,24	22,15	41,94	38,27	25,95	27,74	34,60	--	11,25
30	34,56	34,81	28,06	42,94	39,35	33,50	31,94	42,09	--	12,32
35	43,25	34,82	37,95	46,28	39,73	36,56	41,30	48,13	--	13,19
40	50,19	40,18	43,94	54,49	43,75	44,68	47,39	50,84	--	17,27
45	50,56	47,04	50,74	59,85	52,16	53,45	53,80	51,21	--	20,10
50	51,55	53,97	56,72	60,32	61,63	57,91	54,10	53,81	--	25,03
55	60,43	59,86	63,16	61,55	64,19	63,99	56,46	58,30	--	30,61
60	61,11	61,60	67,22	62,54	69,19	66,37	61,06	62,88	--	44,60
65	66,28	69,50	70,90	63,35	70,10	73,93	67,34	65,79	--	53,65
70	70,13	75,54	74,71	67,54	71,71	82,84	75,15	69,83	--	64,93
75	71,18	77,46	76,25	69,70	78,28	83,44	80,04	77,12	--	78,96
80	75,98	87,21	80,08	76,11	81,68	86,24	83,17	84,64	--	92,28
85	82,23	89,33	86,64	82,16	83,45	89,38	88,53	85,05	--	96,86
90	88,82	89,73	89,39	86,85	90,94	97,30	97,60	86,88	--	98,60
95	91,07	89,79	92,55	92,92	92,27	99,52	99,78	91,37	--	100,00
100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	--	100,00

Sumber: 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 aturan lepasan waduk berikutnya:

Tabel 4.25. Populasi Hasil Perbaikan (Seleksi)

Tampungan Waduk %	Lepas Waduk (%)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	6,25	8,15	3,66	7,17	6,23	0,10	4,43	7,51	1,76	6,02	3,03	2,63	0,85	4,26	1,63	6,39
5	12,45	9,08	12,47	14,19	11,48	7,77	7,01	14,80	5,42	9,31	11,02	6,59	5,72	6,67	7,24	11,66
10	19,24	15,76	12,47	17,31	16,77	13,28	15,16	20,61	12,29	13,23	18,35	13,32	13,13	9,58	11,21	13,55
15	21,15	23,10	13,88	25,80	23,35	18,16	24,13	26,40	17,78	19,90	23,86	21,84	14,66	13,69	20,45	18,47
20	21,35	27,11	21,96	33,99	31,42	23,56	25,22	32,93	19,19	25,36	24,45	30,45	22,93	18,21	22,21	23,77
25	29,15	29,24	22,15	41,94	38,27	25,95	27,74	34,60	26,69	27,55	25,13	38,82	24,55	22,27	30,47	31,81
30	34,56	34,81	28,06	42,94	39,35	33,50	31,94	42,09	34,83	27,79	33,52	43,73	27,64	26,16	39,26	37,84
35	43,25	34,82	37,95	46,28	39,73	36,56	41,30	48,13	36,89	32,92	39,10	47,15	31,95	34,03	48,34	43,03
40	50,19	40,18	43,94	54,49	43,75	44,68	47,39	50,84	44,83	42,29	44,13	52,06	38,94	36,06	51,01	50,25
45	50,56	47,04	50,74	59,85	52,16	53,45	53,80	51,21	45,30	46,39	45,02	54,83	39,35	40,77	51,65	55,89
50	51,55	53,97	56,72	60,32	61,63	57,91	54,10	53,81	51,97	52,43	51,21	60,54	47,47	47,56	58,00	63,21
55	60,43	59,86	63,16	61,55	64,19	63,99	56,46	58,30	55,09	59,93	55,65	62,42	52,54	55,68	65,80	63,90
60	61,11	61,60	67,22	62,54	69,19	66,37	61,06	62,88	61,12	65,05	64,70	68,05	58,14	59,85	68,89	69,31
65	66,28	69,50	70,90	63,35	70,10	73,93	67,34	65,79	68,24	70,44	73,34	68,58	60,09	61,10	74,04	70,20
70	70,13	75,54	74,71	67,54	71,71	82,84	75,15	69,83	71,12	80,26	80,42	71,19	66,77	64,17	78,21	75,34
75	71,18	77,46	76,25	69,70	78,28	83,44	80,04	77,12	73,88	90,43	82,03	75,38	72,20	70,74	84,60	83,26
80	75,98	87,21	80,08	76,11	81,68	86,24	83,17	84,64	80,55	95,85	82,19	79,73	80,81	79,03	85,81	89,93
85	82,23	89,33	86,64	82,16	83,45	89,38	88,53	85,05	87,75	96,49	89,36	86,17	82,42	87,10	87,00	92,45
90	88,82	89,73	89,39	86,85	90,94	97,30	97,60	86,88	93,38	98,95	94,74	89,00	95,70	92,14	93,54	93,54
95	91,07	89,79	92,55	92,92	92,27	99,52	99,78	91,37	97,49	99,51	98,83	96,83	94,30	98,74	95,57	97,08
100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Sumber: Perhitungan

Dari 120 kromosom hasil pada populasi sebelumnya didapatkan 16 kromosom dengan kinerja terbaik yang kemudian dilakukan copy untuk menghasilkan generasi

turunan berikutnya. Berikut adalah program Macro Visual Basic Excel untuk melakukan copy pada proses reproduksi ini adalah sebagai berikut:

Program Ms. Excel-VBA (Visual Basic for Application)
<pre> Sub D1_Copy() Calculate With Worksheets("Penel_OP_Wdk_1") .Range("BCO3").Calculate N_posisi = .Range("BCO3").Value + 1 For i = 1 To 50 .Range("BCR2").Offset(N_posisi, i).Value = .Range("BAM5").Offset(0, i).Value Next i .Range("CU3:ER5").Value = .Range("BAN3:BCK5").Value .Range("CU12:ER32").Value = .Range("BAN12:BCK32").Value End With Calculate End Sub </pre>

Pada proses perbaikan untuk mencari alternatif aturan lepasan yang optimal guna memaksimalkan kinerja Waduk Sutami, akan berhenti jika tiap-tiap kromosom dari sebuah populasi sudah identik satu sama lain (homogen). Jika kromosom pada suatu populasi sudah homogen dianggap alternatif tersebut sudah maksimal. Untuk memeriksa apakah populasi kromosom tersebut seragam (homogen) atau tidaknya adalah dengan menghitung nilai lepasan terbesar dikurangi dengan nilai lepasan terkecil.

Contoh perhitungan:

Pada kondisi tampung waduk 0%, nilai terbesar adalah 6,41 pada kromosom ke -7 dan terkecil adalah 6,39 pada kromosom ke -16.

Maka selisih nilai keduanya: $6,41 - 6,39 = 0,02$

Besarnya selisih antar kedua jenis variabel menandakan bahwa populasi kromosom pada generasi turunan berikutnya sudah seragam atau homogen, sehingga pada kasus ini tidak perlu dilakukan proses perbaikan, disajikan dalam Tabel 4.26. berikut:

Tabel. 4.26. Cek Kondisi Homogen Pada Proses Perbaikan

Tampungan Waduk	Lepasan Waduk (%)															
%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	6,41	6,41	6,41	6,41	6,39	6,39	6,41	6,39	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,39
5	11,62	11,62	11,62	11,66	11,66	11,63	11,63	11,63	11,63	11,63	11,63	11,63	11,63	11,63	11,63	11,66
10	13,55	13,55	12,47	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55
15	21,15	23,10	13,88	25,80	23,35	18,16	24,13	26,40	17,78	19,90	23,86	21,84	14,66	13,69	20,45	18,47
20	21,35	27,11	21,96	33,99	31,42	23,56	25,22	32,93	19,19	25,36	24,45	30,45	22,93	18,21	22,21	23,77
25	29,15	29,24	22,15	41,94	38,27	25,95	27,74	34,60	26,69	27,55	25,13	38,82	24,55	22,27	30,47	31,81
30	34,56	34,81	28,06	42,94	39,35	33,50	31,94	42,09	34,83	27,79	33,52	43,73	27,64	26,16	39,26	37,84
35	43,25	34,82	37,95	46,28	39,73	36,56	41,30	48,13	36,89	32,92	39,10	47,15	31,95	34,03	48,34	43,03
40	50,19	40,18	43,94	54,49	43,75	44,68	47,39	50,84	44,83	42,29	44,13	52,06	38,94	36,06	51,01	50,25
45	50,56	47,04	50,74	59,85	52,16	53,45	53,80	51,21	45,30	46,39	45,02	54,83	39,35	40,77	51,65	55,89
50	51,55	53,97	56,72	60,32	61,63	57,91	54,10	53,81	51,97	52,43	51,21	60,54	47,47	47,56	58,00	63,21
55	60,43	59,86	63,16	61,55	64,19	63,99	56,46	58,30	55,09	59,93	55,65	62,42	52,54	55,68	65,80	63,90
60	61,11	61,60	67,22	62,54	69,19	66,37	61,06	62,88	61,12	65,05	64,70	68,05	58,14	59,85	68,89	69,31
65	66,28	69,50	70,90	63,35	70,10	73,93	67,34	65,79	68,24	70,44	73,34	68,58	60,09	61,10	74,04	70,20
70	70,13	75,54	74,71	67,54	71,71	82,84	75,15	69,83	71,12	80,26	80,42	71,19	66,77	64,17	78,21	75,34
75	71,18	77,46	76,25	69,70	78,28	83,44	80,04	77,12	73,88	90,43	82,03	75,38	72,20	70,74	84,60	83,26
80	75,98	87,21	80,08	76,11	81,68	86,24	83,17	84,64	80,55	95,85	82,19	79,73	80,81	79,03	85,81	89,93
85	82,23	89,33	86,64	82,16	83,45	89,38	88,53	85,05	87,75	96,49	89,36	86,17	82,42	87,10	87,00	92,45
90	88,82	89,73	89,39	86,85	90,94	97,30	97,60	86,88	93,38	98,95	94,74	91,74	89,00	95,70	92,14	93,54
95	91,07	92,55	92,55	92,55	92,55	99,52	99,76	99,76	97,49	99,51	98,83	96,83	94,30	98,74	95,57	97,08
100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Sumber: Perhitungan

Iterasi perhitungan optimasi dengan metode Algoritma Genetik 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 pula terjadi perbaikan dalam proses *crossover* antar kromosom. Apabila tidak terjadi perbaikan dalam proses *Crossover* antara sepasang kromosom, maka yang terpilih menjadi anggota populasi berikutnya adalah kromosom yang lebih baik (diantara pasangan tersebut). Karena dalam seleksi kromosom generasi turunan adalah berdasarkan ranking nilai kinerja, maka semakin lama berlanjutnya iterasi, generasi turunan (dan juga populasi) akan semakin didominasi oleh satu jenis kromosom terbaik saja. Pada akhirnya hanya ada satu jenis kromosom saja yang seragam, dan sudah tidak dimungkinkan lagi untuk melakukan perbaikan nilai kinerja. Aturan lepasan berdasarkan tampungan waduk hasil optimasi algoritma genetik disajikan pada Tabel 4.27. berikut:

Tabel 4.27. Aturan Lepas Berdasarkan Tampung Waduk Hasil Optimasi Algoritma Genetik

Tampung Waduk	Lepas Waduk (%)															
%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	6,39	6,41	6,41	6,41	6,39	6,39	6,41	6,41	6,39	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,39
5	11,66	11,62	11,62	11,66	11,66	11,63	11,63	11,63	11,63	11,63	11,63	11,63	11,63	11,63	11,63	11,66
10	13,55	13,55	12,47	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55
15	18,47	23,10	13,88	25,80	23,35	18,16	24,13	26,40	17,78	19,90	23,86	21,84	14,66	13,69	20,45	18,47
20	23,77	27,11	21,96	33,99	31,42	23,56	25,22	32,93	19,19	25,36	24,45	30,45	22,93	18,21	22,21	23,77
25	31,81	29,24	22,15	41,94	38,27	25,95	27,74	34,60	26,69	27,55	25,13	38,82	24,55	22,27	30,47	31,81
30	37,84	34,81	28,06	42,94	39,35	33,50	31,94	42,09	34,83	27,79	33,52	43,73	27,64	26,16	39,26	37,84
35	43,03	34,82	37,95	46,28	39,73	36,56	41,30	48,13	36,89	32,92	39,10	47,15	31,95	34,03	48,34	43,03
40	50,25	40,18	43,94	54,49	43,75	44,68	47,39	50,84	44,83	42,29	44,13	52,06	38,94	36,06	51,01	50,25
45	55,89	47,04	50,74	59,85	52,16	53,45	53,80	51,21	45,30	46,39	45,02	54,83	39,35	40,77	51,65	55,89
50	63,21	53,97	56,72	60,32	61,63	57,91	54,10	53,81	51,97	52,43	51,21	60,54	47,47	47,56	58,00	63,21
55	63,90	59,86	63,16	61,55	64,19	63,99	56,46	58,30	55,09	59,93	55,65	62,42	52,54	55,68	65,80	63,90
60	69,31	61,60	67,22	62,54	69,19	66,37	61,06	62,88	61,12	65,05	64,70	68,05	58,14	59,85	68,89	69,31
65	70,20	69,50	70,90	63,35	70,10	73,93	67,34	65,79	68,24	70,44	73,34	68,58	60,09	61,10	74,04	70,20
70	75,34	75,54	74,71	67,54	71,71	82,84	75,15	69,83	71,12	80,26	80,42	71,19	66,77	64,17	78,21	75,34
75	83,26	77,46	76,25	69,70	78,28	83,44	80,04	77,12	73,88	90,43	82,03	75,38	72,20	70,74	84,60	83,26
80	89,93	87,21	80,08	76,11	81,68	86,24	83,17	84,64	80,55	95,85	82,19	79,73	80,81	79,03	85,81	89,93
85	92,45	89,33	86,64	82,16	83,45	89,38	88,53	85,05	87,75	96,40	89,36	86,17	82,42	87,10	87,00	92,45
90	93,54	89,73	89,39	86,85	90,94	97,30	97,60	86,88	93,38	98,95	94,74	91,74	89,00	95,70	92,14	93,54
95	97,08	92,55	92,55	92,55	92,55	99,52	99,78	97,49	99,51	98,83	96,83	94,30	98,74	95,57	97,08	
100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Sumber: Perhitungan

Pada produksi listrik sebelum menggunakan pedoman lepasan hasil optimasi, nilai rerata energi bangkitan Waduk Sutami selama 10 tahun (2002-2011) adalah 12,44 GWH, dan nilai energi minimum yang bisa diproduksi adalah 2,51 GWH, maka dengan menggunakan pedoman lepasan hasil optimasi untuk waduk mengikuti aturan lepasan berdasarkan tampungan tahun cukup ini menghasilkan kinerja sebagai berikut:

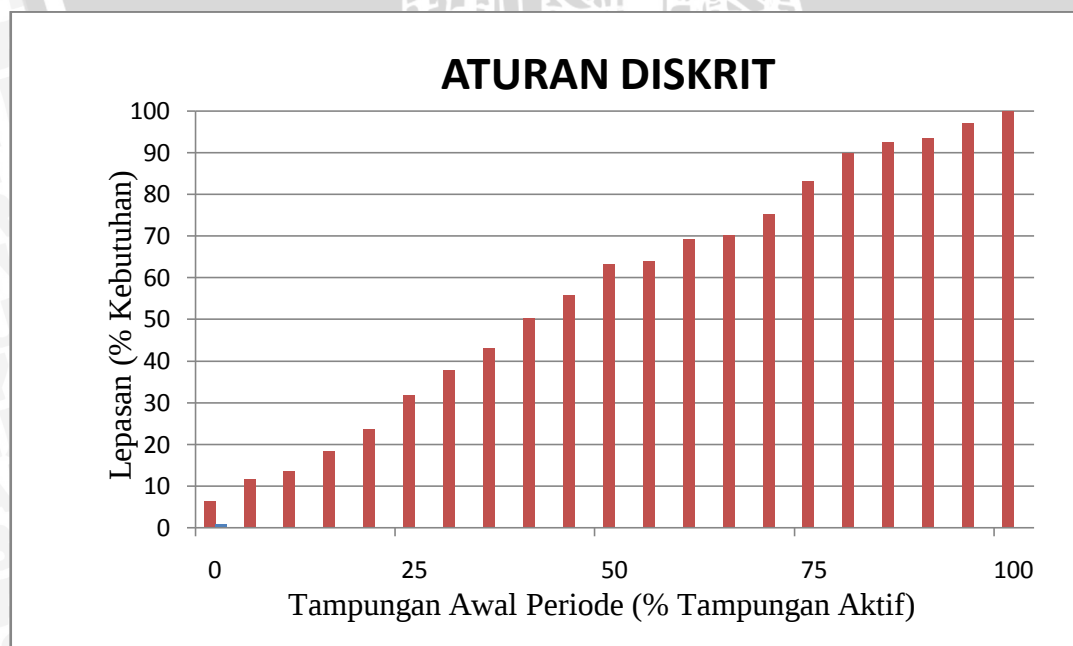
- Rerata energi bangkitan PLTA = 14,04 GWH
- Energi minimum yang bisa diproduksi PLTA = 4,23 GWH
- Peningkatan rerata energi bangkitan = 12,86 %
- Peningkatan energi minimum yang bisa diproduksi PLTA = 68,53 %

Berdasarkan hasil fungsi tujuan yaitu meningkatkan nilai rerata dan nilai minimum energi bangkitan produksi listrik PLTA Waduk Sutami, serta optimasi alternatif aturan lepasan waduk yang sudah homogen, maka ditetapkan aturan lepasan pada Waduk Sutami berdasarkan tampungan waduk dengan menggunakan metode Algoritma Genetik yang dianggap paling optimal untuk meningkatkan nilai rata-rata dan nilai minimum energi bangkitan pada PLTA Waduk Sutami disajikan pada Tabel 4.28. berikut:

Tabel 4.28. Pedoman Lepasn Hasil Optimasi Metode Algoritma Genetik

Pct. Tamp.	Pct. Q maks
[%]	[%]
0,00	6,39
5,00	11,66
10,00	13,55
15,00	18,47
20,00	23,77
25,00	31,81
30,00	37,84
35,00	43,03
40,00	50,25
45,00	55,89
50,00	63,21
55,00	63,90
60,00	69,31
65,00	70,20
70,00	75,34
75,00	83,26
80,00	89,93
85,00	92,45
90,00	93,54
95,00	97,08
100,00	100,00

Sumber: Perhitungan



Gambar 4.1. Grafik Hasil Optimasi Aturan Lepasn Berdasarkan Tampungan Waduk (Sumber: Hasil Perhitungan)

4.9. Perhitungan Pedoman Lepas Berdasarkan Skenario Pola Debit

Perhitungan pedoman lepasan berdasarkan skenario pola debit digunakan untuk mengetahui pedoman lepasan untuk PLTA Waduk Sutami berdasarkan tipikal tahun atau skenario pola debit inflow, dalam perhitungan ini keandalan debit yang digunakan adalah 26,02% (tahun cukup), 50,68% (tahun normal), 75,34% (tahun rendah) dan 97,30% (tahun kering).

1. Urutkan data debit tahunan dari besar ke kecil
2. Menentukan urutan data dengan probabilitas yang ditentukan dengan menggunakan *Weibull*
3. Menghitung nilai probabilitas untuk setiap kondisi debit andalan

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad (4-2)$$

dengan :

P = Probabilitas (%)

m = Nomor urut data debit

n = Jumlah data pengamatan debit

Untuk perhitungan debit inflow andalan selanjutnya dilihat pada Tabel 4.29. berikut:

Tabel 4.29. Perhitungan Debit *Inflow* Andalan

No.	Tahun	Total Debit m3/dt	Tahun	Total Debit Terurut m3/dt	Probabilitas %	Tipikal Tahun
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
1	2002	2.698,660	2010	4243,886		
2	2003	2.382,650	2011	3019,361		
3	2004	2.717,160	2008	2998,014	26,02	Cukup
4	2005	2.497,007	2009	2810,160		
5	2006	2.641,574	2004	2717,160		
6	2007	2.311,982	2002	2698,660	50,68	Normal
7	2008	2.998,014	2006	2641,574		
8	2009	2.810,160	2005	2497,007	75,34	Rendah
9	2010	4.243,886	2003	2382,650		
10	2011	3.019,361	2007	2311,982	97,3	Kering

Sumber: Perhitungan

Keterangan:

1. Nomor Urut Debit
2. Urutan Tahun Dari Yang Terkecil
3. Total Debit Inflow 1 Tahun
4. Urutan Tahun Sesuai Total Debit Inflow Terbesar
5. Urutan Total Debit Inflow Tahunan Dari Yang Terbesar
6. $[1] / (10 + 1)$
7. Tipikal Tahun

Contoh perhitungan pada tipikal tahun cukup (tahun 2008),

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\%$$

$$P = \frac{3}{10+1} \times 100\%$$

$P = 27,72\%$ → **mendekati 26,02%**, maka tahun 2008 dengan nomor debit urutan ke 3 adalah yang mewakili skenario pola debit inflow tahun cukup.

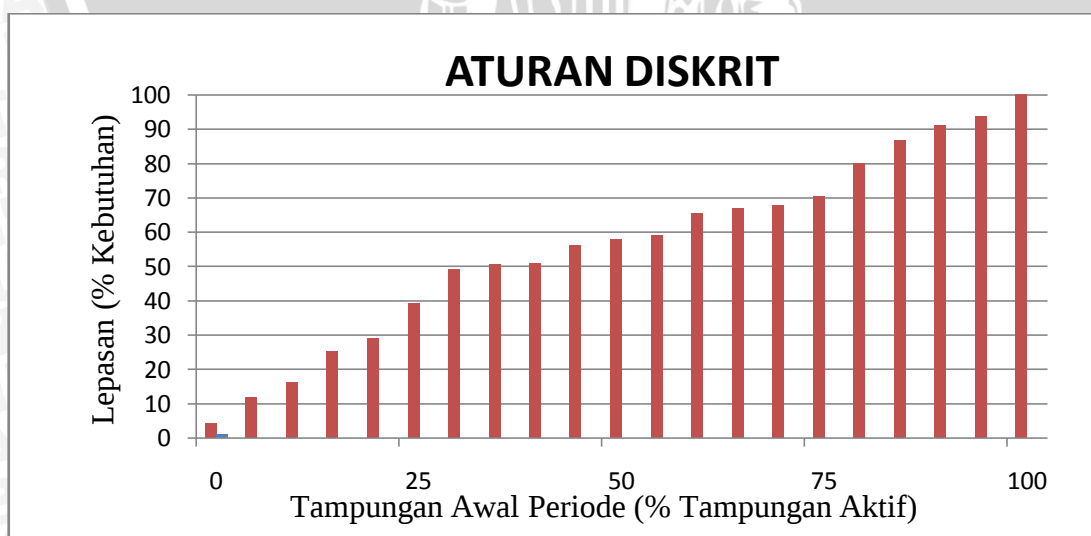
4.9.1. Pedoman Lepas Skenario Tahun Cukup

Tipikal tahun cukup merupakan debit inflow tahunan yang masuk dalam kelompok skenario pola debit inflow tahun cukup dengan nilai probabilitas 26,02 %. Pada pembahasan ini pedoman lepasan berdasarkan tampungan untuk tahun cukup diwakili tahun 2008 seperti pada Tabel 4.30. dan Gambar 4.2. dibawah ini.

Tabel 4.30. Pedoman Lepasn Berdasarkan Tampungan Tahun Cukup

Pct. Tamp.	Pct. Q maks
[%]	[%]
0,00	4,33
5,00	11,80
10,00	16,17
15,00	25,21
20,00	28,98
25,00	39,21
30,00	49,17
35,00	50,58
40,00	51,01
45,00	55,96
50,00	57,86
55,00	59,16
60,00	65,39
65,00	66,91
70,00	67,78
75,00	70,30
80,00	80,05
85,00	86,65
90,00	90,97
95,00	93,59
100,00	100,00

Sumber: Perhitungan

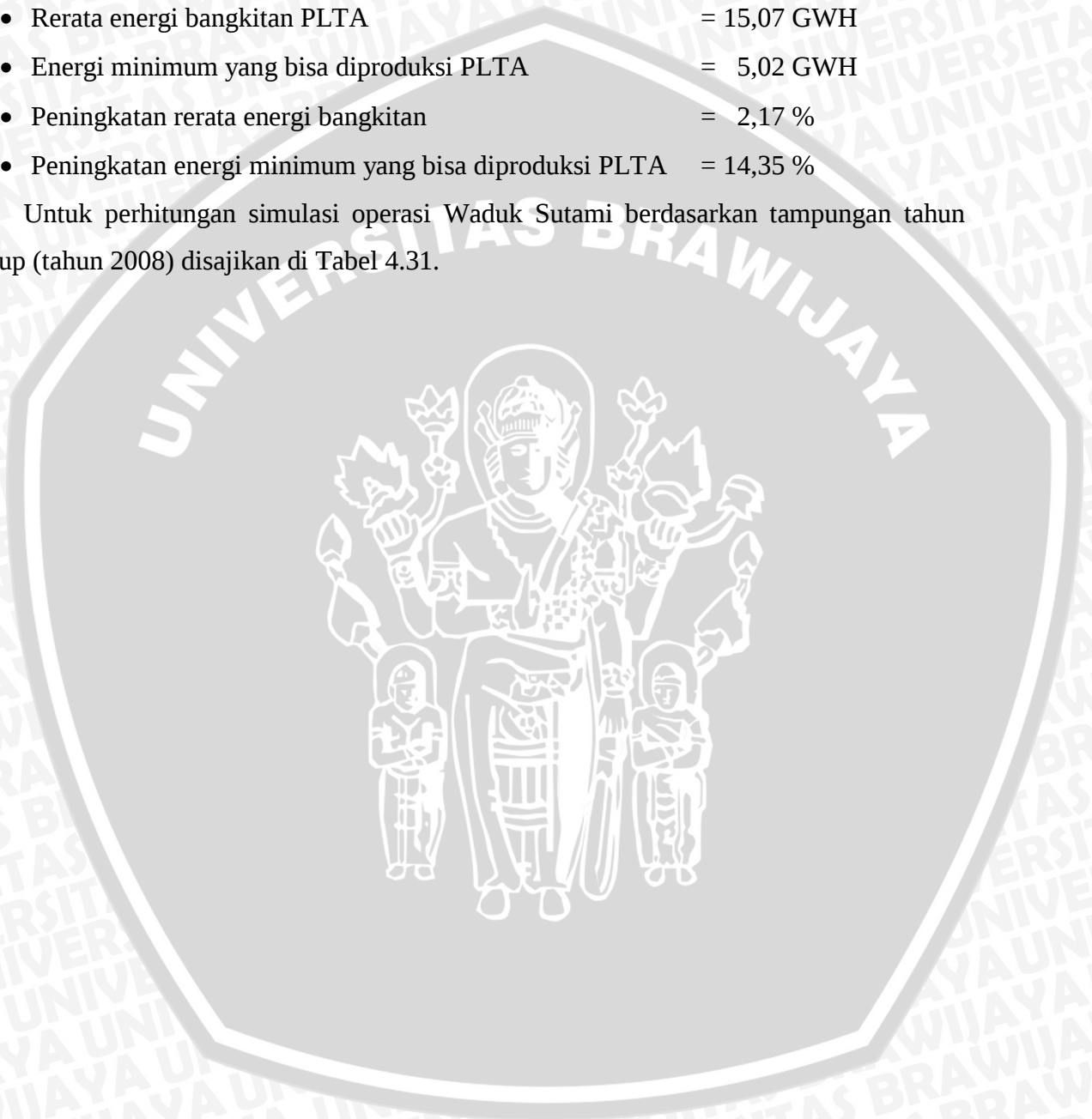


Gambar 4.2. Grafik Aturan Lepasn Berdasarkan Tampungan Tahun Cukup (Sumber: Perhitungan)

Pada produksi listrik sebelum menggunakan pedoman lepasan hasil optimasi, nilai rerata energi bangkitan untuk tahun cukup (tahun 2008) adalah 14,75 GWH, dan nilai energi minimum yang bisa diproduksi adalah 4,39 GWH, maka dengan menggunakan pedoman lepasan hasil optimasi untuk waduk mengikuti aturan lepasan berdasarkan tampungan tahun cukup ini menghasilkan kinerja sebagai berikut:

- Rerata energi bangkitan PLTA = 15,07 GWH
- Energi minimum yang bisa diproduksi PLTA = 5,02 GWH
- Peningkatan rerata energi bangkitan = 2,17 %
- Peningkatan energi minimum yang bisa diproduksi PLTA = 14,35 %

Untuk perhitungan simulasi operasi Waduk Sutami berdasarkan tampungan tahun cukup (tahun 2008) disajikan di Tabel 4.31.



Tabel 4.31. Simulasi Operasi Waduk Sutami Berdasarkan Tampungan Tahun Cukup (Tahun 2008)

Tampungan Maksimum [operasi]			177,1	juta m³	Tahun Awal		2008	Tampungan Aktif													Rerata Minimum		14,75
Tampungan Minimum [operasi]			41,6	juta m³																			4,39
Tampungan Awal Periode 2008			177,1	juta m³	Detik per hari		86400	135,5													Rerata		14,75
Tahun	No.	Periode	Banyak hari	INFLOW	INFLOW Total	Tampungan Waduk		OUTFLOW Total	Pct Tampungan Aktif	Total Debit PLTA maksimum per hari	Total Debit PLTA maksimum per periode	Luas MAW awal	Tinggi evaporasi	Volume evaporasi	Tamp.Wdk. Akhir periode	Unit Turbin beroperasi	Total Debit Operasi maksimum	Total Debit PLTA terpakai	Total Debit PLTA tersisa	Enersi per 1 juta m³	Enersi bangkitan		
				[m³/dt]	[juta m³]	Awal periode	Akhir periode	[juta m³]	[%]	[juta m³]	[juta m³]	[ha]	[mm/hari]	[juta m³]	[juta m³]		[juta m³]	[juta m³]	[juta m³]	[MWH]	[GWH]		
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]	[21]	[22]		
2008	1	Jan-1	10	126,11	108,95	177,10	170,80	115,25	100,00	11,53	115,27	1356,54	0,00	0,00	170,80	3	120,57	115,25	0,00	209,01	24,089		
	2	Jan-2	10	99,57	86,03	170,80	144,20	112,63	95,35	11,55	115,52	1342,90	3,91	0,52	144,20	3	116,35	112,10	0,00	216,58	24,279		
	3	Jan-3	11	96,92	92,12	144,20	128,00	108,32	75,72	11,77	129,43	1232,66	4,30	0,58	128,00	3	130,61	107,73	0,00	212,24	22,865		
	4	Feb-1	10	120,57	104,18	128,00	148,60	83,58	63,76	12,00	120,04	1123,80	4,17	0,47	148,60	3	118,42	83,11	0,00	212,80	17,685		
	5	Feb-2	10	82,85	71,58	148,60	122,10	98,08	78,97	11,72	117,17	1256,87	4,20	0,53	122,10	3	118,84	97,56	0,00	212,04	20,686		
	6	Feb-3	8	90,52	62,56	122,10	122,50	62,16	59,41	12,12	96,94	1076,95	3,77	0,33	122,50	2	63,86	61,84	0,00	210,45	13,014		
	7	Mar-1	10	142,29	122,94	122,50	167,70	77,74	59,70	12,11	121,09	1080,23	3,92	0,42	167,70	2	77,54	77,31	0,00	216,68	16,751		
	8	Mar-2	10	158,89	137,28	167,70	177,10	127,88	93,06	11,57	115,68	1334,48	3,92	0,52	177,10	3	115,45	108,20	0,00	218,27	23,617		
	9	Mar-3	11	214,78	204,12	177,10	177,10	204,12	100,00	11,53	126,80	1356,54	0,00	0,00	177,10	3	126,80	126,80	0,00	218,61	27,720		
	10	Apr-1	10	153,73	132,82	177,10	177,10	132,82	100,00	11,53	115,27	1356,54	0,00	0,00	177,10	3	115,27	115,27	0,00	218,61	25,200		
	11	Apr-2	10	138,69	119,83	177,10	177,10	119,83	100,00	11,53	115,27	1356,54	0,00	0,00	177,10	3	115,27	115,27	0,00	218,61	25,200		
	12	Apr-3	10	102,32	88,40	177,10	149,70	115,80	100,00	11,53	115,27	1356,54	3,95	0,54	149,70	3	115,93	115,27	0,00	217,37	25,055		
	13	Mei-1	10	104,37	90,18	149,70	142,00	97,88	79,78	11,71	117,06	1262,55	3,90	0,49	142,00	3	117,47	97,39	0,00	214,52	20,891		
	14	Mei-2	10	76,32	65,94	142,00	118,70	89,24	74,10	11,79	117,93	1219,68	3,93	0,48	118,70	3	119,64	88,76	0,00	210,64	18,696		
	15	Mei-3	11	70,16	66,68	118,70	99,30	86,08	56,90	12,19	134,09	1048,36	4,31	0,50	99,30	2	90,04	85,58	0,00	205,24	17,565		
	16	Jun-1	10	58,51	50,55	99,30	85,50	64,35	42,58	12,75	127,45	866,99	4,03	0,35	85,50	2	85,53	64,00	0,00	196,42	12,571		
	17	Jun-2	10	60,92	52,64	85,50	87,90	50,24	32,40	13,22	132,21	725,58	4,04	0,29	87,90	2	87,41	49,94	0,00	192,19	9,599		
	18	Jun-3	10	53,11	45,88	87,90	83,30	50,48	34,17	13,28	132,77	750,53	4,04	0,30	83,30	2	87,89	50,18	0,00	191,15	9,592		
	19	Jul-1	10	47,57	41,10	83,30	74,30	50,10	30,77	13,17	131,68	702,65	3,91	0,27	74,30	2	87,71	49,83	0,00	186,63	9,299		
	20	Jul-2	10	45,77	39,55	74,30	82,90	30,95	24,13	12,94	129,36	609,06	3,92	0,24	82,90	1	44,18	30,71	0,00	188,63	5,793		
	21	Jul-3	11	44,47	42,26	82,90	70,10	55,06	30,48	13,16	144,75	698,48	4,31	0,33	70,10	2	96,03	54,73	0,00	185,36	10,145		
	22	Ags-1	10	39,94	34,51	70,10	74,00	30,61	21,03	12,82	128,18	565,94	3,92	0,22	74,00	1	43,58	30,39	0,00	184,90	5,619		
	23	Ags-2	10	41,75	36,07	74,00	79,20	30,87	23,91	12,93	129,27	605,96	3,92	0,24	79,20	1	44,00	30,63	0,00	187,54	5,745		
	24	Ags-3	11	38,86	36,94	79,20	70,20	45,94	27,75	13,07	143,72	659,91	4,31	0,31	70,20	1	48,21	45,62	0,00	186,46	8,507		
	25	Sep-1	10	37,01	31,98	70,20	71,50	30,68	21,11	12,82	128,21	566,96	4,05	0,23	71,50	1	43,46	30,45	0,00	184,18	5,608		
	26	Sep-2	10	33,61	29,04	71,50	69,80	30,74	22,07	12,86	128,58	580,25	4,05	0,23	69,80	1	43,45	30,50	0,00	184,05	5,614		
	27	Sep-3	10	33,82	29,22	69,80	68,40	30,62	20,81	12,81	128,09	562,88	4,05	0,23	68,40	1	43,29	30,39	0,00	183,09	5,565		
	28	Okt-1	10	40,94	35,37	68,40	80,00	23,77	19,78	12,77	127,68	548,67	3,92	0,22	80,00	1	43,78	23,55	0,00	186,17	4,385		
	29	Okt-2	10	43,63	37,70	80,00	75,90	41,80	28,34	13,09	130,86	668,24	3,49	0,23	75,90	1	44,12	41,57	0,00	188,28	7,826		
	30	Okt-3	11	52,98	50,36	75,90	80,60	45,66	25,31	12,98	142,77	625,61	4,30	0,30	80,60	1	48,56	45,36	0,00	188,44	8,548		
	31	Nov-1	10	79,03	68,28	80,60	107,00	41,88	28,78	13,10	131,01	674,50	4,03	0,27	107,00	1	41,98	41,61	0,00	200,08	8,326		
	32	Nov-2	10	92,86	80,23	107,00	117,10	70,13	48,27	12,49	124,90	942,22	4,03	0,38	117,10	2	81,33	69,75	0,00	206,55	14,407		
	33	Nov-3	10	102,75	88,77	117,10	127,40	78,47	55,72	12,23	122,26	1034,53	4,23	0,44	127,40	2	79,84	78,03	0,00	210,43	16,421		
	34	Des-1	10	79,19	68,42	127,40	112,60	83,22	63,32	12,02	120,15	1119,20	0,00	0,00	112,60	3	121,61	83,22	0,00	207,21	17,244		
	35	Des-2	10	123,34	106,56	112,60	141,20	77,96	52,40	12,34	123,36	994,42	0,00	0,00	141,20	2	79,26	77,96	0,00	211,96	16,525		
	36	Des-3	11	69,86	66,40	141,20	109,80	97,80	73,51	11,80	129,84	1214,81	0,00	0,00	109,80	3	132,55	97,80	0,00	209,12	20,452		

Sumber: Perhitungan

Keterangan:

1. Tahun
2. Nomor
3. Periode
4. Banyak Hari

5. Inflow Waduk (m³/dt)
6. Inflow Waduk (juta m³)
7. Tampungan Waduk (Awal Periode)
8. Tampungan Waduk (Akhir Periode)

9. [6]+[7]-[8]
10. 100 x ([7]-Tamp. Minimum) / Tamp. Aktif
11. Debit Maksimum PLTA Per Hari
12. [11] x [4]

13. Luas Muka Air Waduk
14. [15]x1000/[13]/4
15. Volume Evaporasi
16. Tampungan Waduk Akhir Periode

17. Unit Turbin Dioperasikan
18. Debit Maksimum Operasi
19. Debit PLTA Yang Dipakai
20. Debit Sisa Operasi PLTA

21. Enersi PLTA Per 1 Juta m³ (MWH)
22. [19] x [21] / 1000

4.9.2. Pedoman Lepasn Skenario Tahun Normal

Tipikal tahun normal merupakan debit inflow tahunan yang masuk dalam kelompok skenario pola debit inflow tahun normal dengan nilai probabilitas 50,68 %. Pada pembahasan ini pedoman lepasn berdasarkan tampungan untuk tahun normal diwakili tahun 2002 seperti pada Tabel 4.41. dan Gambar 4.3. di bawah ini.

Tabel 4.32. Pedoman Lepasn Berdasarkan Tampungan Tahun Normal

Pct. Tamp.	Pct. Q maks
[%]	[%]
0,00	5,42
5,00	13,76
10,00	14,22
15,00	18,34
20,00	24,57
25,00	30,86
30,00	33,64
35,00	37,06
40,00	41,76
45,00	45,15
50,00	45,40
55,00	53,04
60,00	60,86
65,00	66,17
70,00	67,37
75,00	73,89
80,00	81,83
85,00	86,16
90,00	88,11
95,00	92,50
100,00	100,00

Sumber: Perhitungan



Gambar 4.3. Grafik Aturan Lepasn Berdasarkan Tampungan Tahun Normal (Sumber: Perhitungan)

Pada produksi listrik sebelum menggunakan pedoman lepasan hasil optimasi, nilai rerata energi bangkitan untuk tahun normal (tahun 2002) adalah 13,02 GWH, dan nilai energi minimum yang bisa diproduksi adalah 3,19 GWH, maka dengan menggunakan pedoman lepasan hasil optimasi untuk waduk mengikuti aturan lepasan berdasarkan tampungan tahun normal ini menghasilkan kinerja sebagai berikut:

- Rerata energi bangkitan PLTA = 13,33 GWH
- Energi minimum yang bisa diproduksi PLTA = 3,73 GWH
- Peningkatan rerata energi bangkitan = 2,38 %
- Peningkatan energi minimum yang bisa diproduksi PLTA = 16,93 %

Untuk perhitungan simulasi operasi Waduk Sutami berdasarkan tampungan tahun normal (tahun 2002) disajikan di Tabel 4.42.



Tabel 4.33. Simulasi Operasi Waduk Sutami Berdasarkan Tampungn Tahun Normal (Tahun 2002)

Tampungn Maksimum [operasi]				177,1	juta m³	Tahun Awal		2002	Tampungn Aktif													Rerata Minimum	13,33
Tampungn Minimum [operasi]				41,6	juta m³																		3,73
Tampungn Awal Periode 2002				177,1	juta m³	Detik per hari		86400	135,5													Rerata	13,33
Tahun	No.	Periode	Banyak hari	INFLOW [m³/dt]	INFLOW Total [juta m³]	Tampungn Waduk [juta m³]		OUTFLOW Total [juta m³]	Pct Tampungn Aktif [%]	Total Debit PLTA maksimum per hari [juta m³]	Total Debit PLTA maksimum per periode [juta m³]	EVAPORASI			Tamp.Wdk. Akhir periode [juta m³]	Unit Turbin beroperasi	Total Debit Operasi maksimum [juta m³]	Total Debit PLTA terpakai [juta m³]	Total Debit PLTA tersisa [juta m³]	Enersi per 1 juta m³ [MWH]	Enersi bangkitan [GWH]		
						Awal periode	Akhir periode					Luas MAW awal [ha]	Tinggi evaporasi [mm/hari]	Volume evaporasi [juta m³]									
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]	[21]	[22]		
2002	1	Jan-1	10	74,71	64,55	125,149	115,900	73,799	61,66	12,057	120,570	1101,62	3,95	0,44	115,900	2	79,47	73,36	0,00	211,40	15,509		
	2	Jan-2	10	71,79	62,03	115,900	119,700	58,227	54,83	12,254	122,542	1024,01	25,97	2,66	119,700	2	80,45	55,57	0,00	208,83	11,604		
	3	Jan-3	11	167,20	158,91	119,700	177,100	101,507	57,64	12,168	133,847	1056,88	4,30	0,50	177,100	2	85,03	71,00	0,00	217,34	15,430		
	4	Feb-1	10	148,97	128,71	177,100	177,100	128,710	100,00	11,527	115,274	1356,54	4,19	0,57	177,100	3	115,27	115,27	0,00	218,61	25,200		
	5	Feb-2	10	130,24	112,53	177,100	173,800	115,827	100,00	11,527	115,274	1356,54	4,19	0,57	173,800	3	115,33	115,26	0,00	218,50	25,184		
	6	Feb-3	9	137,15	106,65	173,800	177,100	103,348	97,56	11,539	103,854	1349,97	3,76	0,46	177,100	3	103,80	96,06	0,00	218,50	20,989		
	7	Mar-1	10	111,88	96,66	177,100	157,900	115,864	100,00	11,527	115,274	1356,54	5,08	0,69	157,900	3	115,69	115,17	0,00	217,83	25,088		
	8	Mar-2	10	131,97	114,02	157,900	171,200	100,722	85,83	11,632	116,323	1300,24	3,93	0,51	171,200	3	115,86	100,21	0,00	217,50	21,797		
	9	Mar-3	11	141,80	134,77	171,200	177,100	128,867	95,65	11,550	127,055	1343,90	4,31	0,64	177,100	3	126,92	117,52	0,00	218,41	25,667		
	10	Apr-1	10	138,62	119,77	177,100	177,100	119,768	100,00	11,527	115,274	1356,54	4,06	0,55	177,100	3	115,27	115,27	0,00	218,61	25,200		
	11	Apr-2	10	129,75	112,10	177,100	173,400	115,804	100,00	11,527	115,274	1356,54	4,05	0,55	173,400	3	115,34	115,26	0,00	218,49	25,182		
	12	Apr-3	10	96,39	83,28	173,400	149,400	107,281	97,27	11,541	115,409	1349,09	4,06	0,55	149,400	3	116,07	106,73	0,00	217,12	23,174		
	13	Mei-1	10	85,27	73,67	149,400	136,100	86,972	79,56	11,709	117,090	1261,02	3,92	0,49	136,100	3	117,84	86,48	0,00	213,85	18,493		
	14	Mei-2	10	85,01	73,45	136,100	130,600	78,948	69,74	11,873	118,734	1182,02	3,91	0,46	130,600	2	78,56	78,49	0,00	213,85	16,784		
	15	Mei-3	11	58,88	55,96	130,600	99,000	87,564	65,68	11,960	131,555	1143,29	4,34	0,55	99,000	2	88,99	87,02	0,00	207,67	18,072		
	16	Jun-1	10	60,76	52,50	99,000	97,900	53,597	42,36	12,757	127,566	863,99	4,06	0,35	97,900	2	83,99	53,25	0,00	200,03	10,651		
	17	Jun-2	10	56,28	48,63	97,900	92,800	53,726	41,55	12,799	127,988	852,95	4,04	0,34	92,800	2	84,74	53,38	0,00	198,26	10,583		
	18	Jun-3	10	51,23	44,26	92,800	88,500	48,563	37,79	13,023	130,231	801,12	4,04	0,32	88,500	2	86,05	48,24	0,00	195,24	9,418		
	19	Jul-1	10	50,53	43,66	88,500	87,200	44,958	34,61	13,291	132,909	756,76	3,93	0,30	87,200	2	86,98	44,66	0,00	193,16	8,627		
	20	Jul-2	10	45,84	39,61	87,200	81,900	44,906	33,65	13,261	132,611	743,26	3,92	0,29	81,900	2	88,48	44,61	0,00	189,87	8,471		
	21	Jul-3	11	46,49	44,18	81,900	81,200	44,884	29,74	13,134	144,474	688,05	4,32	0,33	81,200	1	48,31	44,56	0,00	191,26	8,522		
	22	Ags-1	10	44,67	38,60	81,200	79,100	40,697	29,23	13,117	131,165	680,75	3,91	0,27	79,100	1	44,31	40,43	0,00	189,45	7,660		
	23	Ags-2	10	42,73	36,92	79,100	75,500	40,515	27,68	13,063	130,632	658,87	3,92	0,26	75,500	1	44,06	40,26	0,00	187,92	7,565		
	24	Ags-3	11	39,50	37,54	75,500	68,800	44,243	25,02	12,968	142,651	621,47	4,31	0,29	68,800	1	47,95	43,95	0,00	184,96	8,129		
	25	Sep-1	10	36,70	31,70	68,800	68,900	31,604	20,07	12,780	127,800	552,72	4,05	0,22	68,900	1	43,27	31,38	0,00	182,93	5,741		
	26	Sep-2	10	34,91	30,17	68,900	67,500	31,566	20,15	12,783	127,829	553,73	4,04	0,22	67,500	1	43,20	20,46	0,00	182,52	3,734		
	27	Sep-3	10	36,49	31,52	67,500	75,500	23,525	19,11	12,742	127,417	539,57	4,04	0,22	75,500	1	43,53	23,31	0,00	184,57	4,302		
	28	Okt-1	10	33,42	28,88	75,500	64,200	40,176	25,02	12,968	129,683	621,47	3,92	0,24	64,200	1	43,37	39,93	0,00	183,56	7,330		
	29	Okt-2	10	31,66	27,35	64,200	68,200	23,353	16,68	12,642	126,417	506,57	3,93	0,20	68,200	1	43,00	23,15	0,00	181,22	4,196		
	30	Okt-3	11	31,26	29,71	68,200	72,000	25,906	19,63	12,762	140,386	546,64	4,32	0,26	72,000	1	47,73	25,65	0,00	183,71	4,712		
	31	Nov-1	10	35,61	30,76	72,000	71,000	31,764	22,44	12,872	128,719	585,37	4,06	0,24	71,000	1	43,53	31,53	0,00	184,57	5,819		
	32	Nov-2	10	40,88	35,32	71,000	74,600	31,721	21,70	12,844	128,435	575,13	4,05	0,23	74,600	1	43,65	31,49	0,00	185,35	5,836		
	33	Nov-3	10	49,09	42,41	74,600	85,000	32,012	24,35	12,944	129,439	612,16	4,05	0,25	85,000	1	44,28	31,76	0,00	189,27	6,012		
	34	Des-1	10	53,55	46,27	85,000	86,600	44,668	32,03	13,209	132,094	720,37	3,91	0,28	86,600	2	87,80	44,39	0,00	191,35	8,493		
	35	Des-2	10	61,30	52,97	86,600	94,800	44,767	33,21	13,247	132,472	737,02	3,92	0,29	94,800	2	86,03	44,48	0,00	195,28	8,685		
	36	Des-3	11	132,56	125,99	130,200	157,300	98,888	39,26	12,928	142,212	821,57	0,00	0,00	157,300	2	88,32	52,67	0,00	209,24	11,021		

Sumber: Perhitungan
Keterangan:

1. Tahun
2. Nomor
3. Periode
4. Banyak Hari

5. Inflow Waduk (m³/dt)
6. Inflow Waduk (juta m³)
7. Tampungn Waduk (Awal Periode)
8. Tampungn Waduk (Akhir Periode)

9. [6]+[7]-[8]
10. 100 x ([7]-Tamp. Minimum) / Tamp. Aktif
11. Debit Maksimum PLTA Per Hari
12. [11] x [4]

13. Luas Muka Air Waduk
14. [15]x1000/[13]/4
15. Volume Evaporasi
16. Tampungn Waduk Akhir Periode

17. Unit Turbin Dioperasikan
18. Debit Maksimum Operasi
19. Debit PLTA Yang Dipakai
20. Debit Sisa Operasi PLTA

21. Enersi PLTA Per 1 Juta m³ (MWH)
22. [19] x [21] / 1000

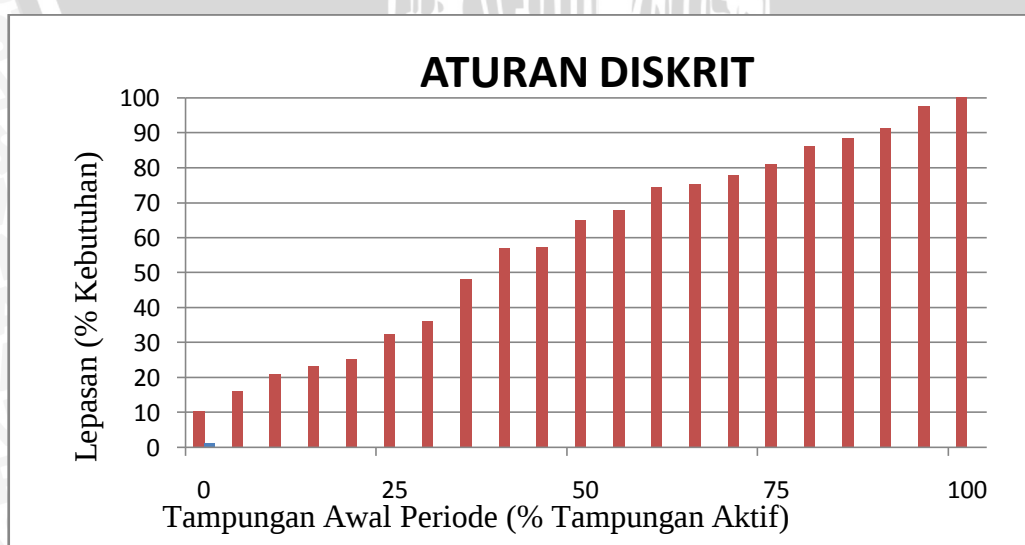
4.9.3. Pedoman Lepasn Skenario Tahun Rendah

Tipikal tahun rendah merupakan debit inflow tahunan yang masuk dalam kelompok skenario pola debit inflow tahun rendah dengan nilai probabilitas 75,34 %. Pada pembahasan ini pedoman lepasn berdasarkan tampungan untuk tahun rendah diwakili tahun 2005 seperti pada Tabel 4.34. dan Gambar 4.4. di bawah ini.

Tabel 4.34. Pedoman Lepasn Berdasarkan Tampungan Tahun Rendah

Pct. Tamp.	Pct. Q maks
[%]	[%]
0,00	8,54
5,00	15,55
10,00	22,25
15,00	22,67
20,00	25,32
25,00	35,28
30,00	40,04
35,00	42,23
40,00	42,41
45,00	45,76
50,00	46,14
55,00	51,53
60,00	56,13
65,00	62,95
70,00	72,20
75,00	77,40
80,00	87,18
85,00	90,28
90,00	90,50
95,00	98,67
100,00	100,00

Sumber: Perhitungan



Gambar 4.4. Grafik Aturan Lepasn Berdasarkan Tampungan Tahun Rendah (Sumber: Perhitungan)

Pada produksi listrik sebelum menggunakan pedoman lepasan hasil optimasi, nilai rerata energi bangkitan untuk tahun rendah (tahun 2005) adalah 12,23 GWH, dan nilai energi minimum yang bisa diproduksi adalah 3,03 GWH, maka dengan menggunakan pedoman lepasan hasil optimasi waduk mengikuti aturan lepasan berdasarkan tampungan tahun rendah ini menghasilkan kinerja sebagai berikut:

- Rerata energi bangkitan PLTA = 12,65 GWH
- Energi minimum yang bisa diproduksi PLTA = 3,50 GWH
- Peningkatan rerata energi bangkitan = 3,43 %
- Peningkatan energi minimum yang bisa diproduksi PLTA = 15,51 %

Untuk perhitungan simulasi operasi Waduk Sutami berdasarkan tampungan tahun rendah (tahun 2005) disajikan di Tabel 4.35.



Tabel 4.35. Simulasi Operasi Waduk Sutami Berdasarkan Tampungan Tahun Rendah (Tahun 2005)

Tampungan Maksimum [operasi]				177,1	juta m³	Tahun Awal		2005	Tampungan Aktif													Rerata Minimum	12,65			
Tampungan Minimum [operasi]				41,6	juta m³																		3,50			
Tampungan Awal Periode 2005				177,1	juta m³	Detik per hari		86400		135,5																
															EVAPORASI										Rerata	12,65
Tahun	No.	Periode	Banyak hari	INFLOW	INFLOW Total	Tampungan Waduk		OUTFLOW Total	Pct Tampungan Aktif	Total Debit PLTA maksimum per hari	Total Debit PLTA maksimum per periode	Luas MAW awal	Tinggi evaporasi	Volume evaporasi	Tamp.Wdk. Akhir periode	Unit Turbin beroperasi	Total Debit Operasi maksimum	Total Debit PLTA terpakai	Total Debit PLTA tersisa	Enersi per 1 juta m³	Enersi bangkitan					
				[m³/dt]	[juta m³]	Awal periode	Akhir periode	[juta m³]	[%]	[juta m³]	[juta m³]	[ha]	[mm/hari]	[juta m³]	[juta m³]		[juta m³]	[juta m³]	[juta m³]	[MWH]	[GWH]					
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]	[21]	[22]					
2005	1	Jan-1	10	81,285	70,23024	177,100	131,600	115,730	100,00	11,527	115,274	1356,54	3,91	0,53	131,600	3	120,57	115,20	0,00	209,01	24,077					
	2	Jan-2	10	82,276	71,08646	131,600	112,500	90,186	66,42	11,943	119,430	1150,58	3,91	0,45	112,500	3	121,18	89,74	0,00	207,95	18,661					
	3	Jan-3	11	65,65364	62,39722	112,500	86,500	88,397	52,32	12,338	135,721	993,51	4,31	0,47	86,500	2	92,12	87,93	0,00	200,61	17,638					
	4	Feb-1	10	56,504	48,81946	86,500	87,300	48,019	33,14	13,245	132,448	735,98	4,33	0,32	87,300	2	87,33	47,70	0,00	192,37	9,176					
	5	Feb-2	10	126,664	109,4377	87,300	148,600	48,138	33,73	13,263	132,634	744,30	4,33	0,32	148,600	2	80,43	47,82	0,00	208,89	9,988					
	6	Feb-3	8	114,2288	78,95491	148,600	151,300	76,255	78,97	11,717	93,738	1256,87	3,47	0,35	151,300	3	93,63	75,91	0,00	215,32	16,344					
	7	Mar-1	10	122,233	105,6093	151,300	156,000	100,909	80,96	11,690	116,900	1270,56	3,93	0,50	156,000	3	116,68	100,41	0,00	215,97	21,686					
	8	Mar-2	10	95,703	82,68739	156,000	138,100	100,587	84,43	11,648	116,477	1292,24	3,92	0,51	138,100	3	117,34	100,08	0,00	214,76	21,494					
	9	Mar-3	11	108,45	103,0709	138,100	139,100	102,071	71,22	11,845	130,293	1195,24	4,30	0,57	139,100	3	130,22	101,50	0,00	212,88	21,608					
	10	Apr-1	10	123,755	106,9243	139,100	153,400	92,624	71,96	11,831	118,311	1201,68	4,05	0,49	153,400	3	117,43	92,14	0,00	214,60	19,773					
	11	Apr-2	10	112,648	97,32787	153,400	150,000	100,728	82,51	11,670	116,704	1280,58	4,05	0,52	150,000	3	116,86	100,21	0,00	215,64	21,609					
	12	Apr-3	10	69,844	60,34522	150,000	109,300	101,045	80,00	11,703	117,029	1264,08	4,05	0,51	109,300	3	119,76	100,53	0,00	210,43	21,155					
	13	Mei-1	10	61,233	52,90531	109,300	90,900	71,305	49,96	12,424	124,241	963,95	3,92	0,38	90,900	2	83,61	70,93	0,00	200,93	14,251					
	14	Mei-2	10	46,684	40,33498	90,900	67,800	63,435	36,38	13,126	131,264	781,58	3,92	0,31	67,800	2	87,80	63,13	0,00	186,92	11,800					
	15	Mei-3	11	44,05182	41,86685	67,800	76,800	32,867	19,34	12,751	140,256	542,60	4,31	0,26	76,800	1	47,96	32,61	0,00	185,05	6,035					
	16	Jun-1	10	45,085	38,95344	76,800	73,500	42,253	25,98	13,003	130,030	634,95	4,06	0,26	73,500	1	43,87	42,00	0,00	186,72	7,841					
	17	Jun-2	10	45,511	39,3215	73,500	80,000	32,822	23,54	12,914	129,137	600,80	4,06	0,24	80,000	1	44,01	32,58	0,00	187,62	6,112					
	18	Jun-3	10	74,201	64,10966	80,000	101,600	42,510	28,34	13,086	130,862	668,24	4,05	0,27	101,600	1	42,37	42,24	0,00	198,27	8,375					
	19	Jul-1	10	58,698	50,71507	101,600	80,000	72,315	44,28	12,663	126,629	889,82	3,92	0,35	80,000	2	86,00	71,97	0,00	195,34	14,058					
	20	Jul-2	10	63,092	54,51149	80,000	92,000	42,511	28,34	13,086	130,862	668,24	3,92	0,26	92,000	1	43,07	42,25	0,00	195,02	8,240					
	21	Jul-3	11	45,07727	42,84144	92,000	65,400	69,441	37,20	13,065	143,710	792,90	4,31	0,38	65,400	2	96,46	69,07	0,00	186,57	12,886					
	22	Ags-1	10	37,912	32,75597	65,400	68,500	29,656	17,56	12,679	126,785	518,51	3,91	0,20	68,500	1	43,08	29,45	0,00	181,71	5,352					
	23	Ags-2	10	34,77	30,04128	68,500	68,700	29,841	19,85	12,771	127,712	549,68	3,92	0,22	68,700	1	43,24	29,63	0,00	182,77	5,415					
	24	Ags-3	11	34,32	32,61773	68,700	65,600	35,718	20,00	12,777	140,548	551,71	4,31	0,26	65,600	1	47,41	35,46	0,00	181,84	6,447					
	25	Sep-1	10	30,734	26,55418	65,600	62,500	29,654	17,71	12,685	126,846	520,50	4,04	0,21	62,500	1	42,78	29,44	0,00	179,77	5,293					
	26	Sep-2	10	37,032	31,99565	62,500	65,100	29,396	15,42	12,589	125,887	489,81	4,06	0,20	65,100	1	42,75	19,48	0,00	179,60	3,498					
	27	Sep-3	10	42,795	36,97488	65,100	72,500	29,575	17,34	12,669	126,694	515,52	4,05	0,21	72,500	1	43,26	29,37	0,00	182,90	5,371					
	28	Okt-1	10	31,655	27,34992	72,500	67,100	32,750	22,80	12,886	128,859	590,51	3,92	0,23	67,100	1	43,36	32,52	0,00	183,53	5,968					
	29	Okt-2	10	69,297	59,87261	67,100	97,200	29,773	18,82	12,730	127,298	535,54	3,91	0,21	97,200	1	43,78	29,56	0,00	191,86	5,672					
	30	Okt-3	11	52,03	49,44931	97,200	66,100	80,549	41,03	12,827	141,093	845,90	4,30	0,40	66,100	2	97,01	80,15	0,00	188,13	15,079					
	31	Nov-1	10	44,871	38,76854	66,100	75,200	29,669	18,08	12,700	126,998	525,51	4,05	0,21	75,200	1	43,45	29,46	0,00	184,05	5,421					
	32	Nov-2	10	42,821	36,99734	75,200	79,200	32,997	24,80	12,960	129,602	618,36	4,09	0,25	79,200	1	44,05	32,74	0,00	187,87	6,152					
	33	Nov-3	10	66,884	57,78778	79,200	94,500	42,488	27,75	13,066	130,657	659,91	4,11	0,27	94,500	1	42,94	42,22	0,00	195,64	8,259					
	34	Des-1	10	81,045	70,02288	94,500	102,300	62,223	39,04	12,942	129,419	818,51	0,00	0,00	102,300	2	84,00	62,22	0,00	200,01	12,445					
	35	Des-2	10	115,4	99,7056	102,300	130,200	71,806	44,80	12,639	126,389	896,72	0,00	0,00	130,200	2	80,68	71,81	0,00	208,24	14,953					
	36	Des-3	11	132,5636	125,9885	130,200	157,300	98,888	65,39	11,966	131,629	1140,34	0,00	0,00	157,300	3	129,49	98,89	0,00	214,07	21,169					

Sumber: Perhitungan

Keterangan:

1. Tahun
2. Nomor
3. Periode
4. Banyak Hari

5. Inflow Waduk (m³/dt)
6. Inflow Waduk (juta m³)
7. Tampungan Waduk (Awal Periode)
8. Tampungan Waduk (Akhir Periode)

9. [6]+[7]-[8]
10. 100 x ([7]-Tamp. Minimum) / Tamp. Aktif
11. Debit Maksimum PLTA Per Hari
12. [11] x [4]

13. Luas Muka Air Waduk
14. [15]x1000/[13]/4
15. Volume Evaporasi
16. Tampungan Waduk Akhir Periode

17. Unit Turbin Dioperasikan
18. Debit Maksimum Operasi
19. Debit PLTA Yang Dipakai
20. Debit Sisa Operasi PLTA

21. Enersi PLTA Per 1 Juta m³ (MWH)
22. [19] x [21] / 1000

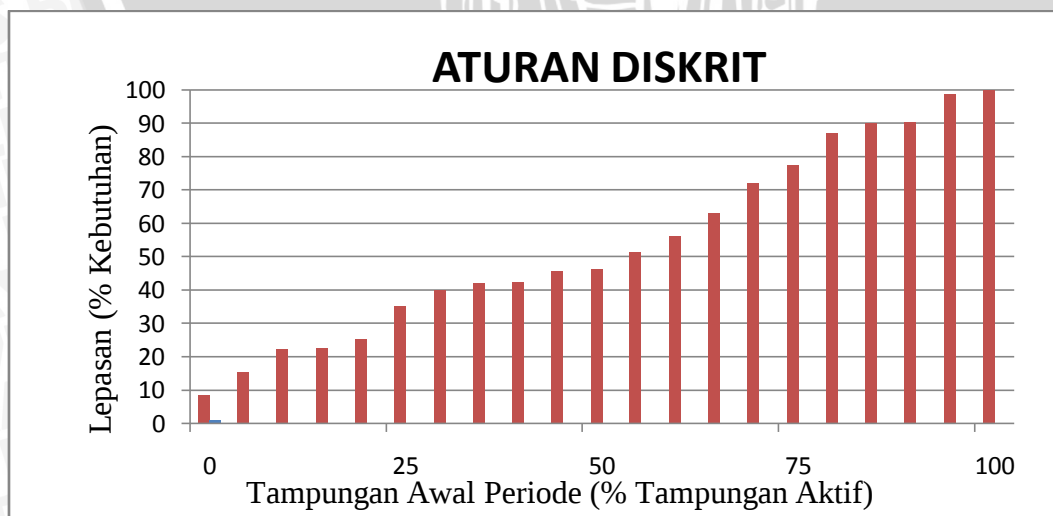
4.9.4. Pedoman Lepasn Skenario Tahun Kering

Tipikal tahun kering merupakan debit inflow tahunan yang masuk dalam kelompok skenario pola debit inflow tahun kering dengan nilai probabilitas 97,30 %. Pada pembahasan ini pedoman lepasn berdasarkan tampungan untuk tahun kering diwakili tahun 2007 seperti pada Tabel 4.36. dan Gambar 4.5. di bawah ini.

Tabel 4.36. Pedoman Lepasn Berdasarkan Tampungan Tahun Kering

Pct. Tamp.	Pct. Q maks
[%]	[%]
0,00	10,11
5,00	16,07
10,00	20,98
15,00	23,25
20,00	25,27
25,00	32,35
30,00	36,07
35,00	48,10
40,00	56,85
45,00	57,17
50,00	64,80
55,00	67,61
60,00	74,29
65,00	75,18
70,00	77,94
75,00	80,99
80,00	85,95
85,00	88,20
90,00	91,27
95,00	97,53
100,00	100,00

Sumber: Perhitungan



Gambar 4.5. Grafik Aturan Lepasn Berdasarkan Tampungan Tahun Kering (Sumber: Perhitungan)

Pada produksi listrik sebelum menggunakan pedoman lepasan hasil optimasi, nilai rerata energi bangkitan untuk tahun kering (tahun 2007) adalah 10,47 GWH, dan nilai energi minimum yang bisa diproduksi adalah 2,89 GWH, maka dengan menggunakan pedoman lepasan hasil optimasi waduk mengikuti aturan lepasan berdasarkan tampungan tahun keing ini menghasilkan kinerja sebagai berikut:

- Rerata energi bangkitan PLTA = 10,85 GWH
- Energi minimum yang bisa diproduksi PLTA = 3,12 GWH
- Peningkatan rerata energi bangkitan = 3,63 %
- Peningkatan energi minimum yang bisa diproduksi PLTA = 7,96 %

Untuk perhitungan simulasi operasi Waduk Sutami berdasarkan tampungan tahun kering (tahun 2007) disajikan di Tabel 4.37.



Tabel 4.37. Simulasi Operasi Waduk Sutami Berdasarkan Tampungannya Tahun Kering (Tahun 2007)

Tampungan Maksimum [operasi]				177,1	juta m³	Tahun Awal		2007	Tampungan Aktif													Rerata Minimum	10,85
Tampungan Minimum [operasi]				41,6	juta m³																		3,12
Tampungan Awal Periode 2007				100	juta m³	Detik per hari		86400														Rerata	10,85
Tahun	No.	Periode	Banyak hari	INFLOW [m³/dt]	INFLOW Total [juta m³]	Tampungan Waduk [juta m³]		OUTFLOW Total [juta m³]	Pct Tampungan Aktif [%]	Total Debit PLTA maksimum per hari [juta m³]	Total Debit PLTA maksimum per periode [juta m³]	EVAPORASI			Tamp.Wdk. Akhir periode [juta m³]	Unit Turbin beroperasi	Total Debit Operasi maksimum [juta m³]	Total Debit PLTA terpakai [juta m³]	Total Debit PLTA tersisa [juta m³]	Enersi per 1 juta m³ [MWH]	Enersi bangkitan [GWH]		
						Awal periode	Akhir periode					Luas MAW awal [ha]	Tinggi evaporasi [mm/hari]	Volume evaporasi [juta m³]									
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]	[21]	[22]		
2007	1	Jan-1	10	84,12	40,543	100,000	86,300	54,243	43,10	12,720	127,196	873,97	3,92	0,34	86,300	2	79,47	53,90	0,00	211,40	11,394		
	2	Jan-2	10	81,28	34,736	86,300	67,800	53,236	32,99	13,240	132,402	733,90	3,92	0,29	67,800	2	87,40	52,95	0,00	185,67	9,831		
	3	Jan-3	11	63,65	48,946	67,800	84,700	32,046	19,34	12,751	140,256	542,60	4,30	0,26	84,700	1	48,37	31,79	0,00	187,34	5,955		
	4	Feb-1	10	54,25	55,783	84,700	87,400	53,083	31,81	13,202	132,023	717,25	4,19	0,30	87,400	2	87,69	52,78	0,00	191,59	10,113		
	5	Feb-2	10	122,21	56,699	87,400	90,700	53,399	33,80	13,266	132,657	745,34	4,19	0,31	90,700	2	86,56	53,09	0,00	194,09	10,304		
	6	Feb-3	9	111,22	60,735	90,700	101,300	50,135	36,24	13,139	118,247	779,51	3,78	0,26	101,300	2	76,12	49,87	0,00	198,64	9,906		
	7	Mar-1	10	124,12	44,961	101,300	92,200	54,061	44,06	12,673	126,733	886,86	3,92	0,35	92,200	2	84,39	53,71	0,00	199,08	10,693		
	8	Mar-2	10	91,73	49,966	92,200	86,800	55,366	37,34	13,054	130,539	794,96	3,92	0,31	86,800	2	86,41	55,05	0,00	194,42	10,704		
	9	Mar-3	11	103,41	130,183	86,800	158,300	58,683	33,36	13,252	145,770	739,10	4,31	0,35	158,300	2	87,78	58,33	0,00	210,53	12,281		
	10	Apr-1	10	125,33	88,837	158,300	141,700	105,437	86,13	11,629	116,292	1301,87	4,05	0,53	141,700	3	117,03	104,91	0,00	215,33	22,591		
	11	Apr-2	10	114,22	102,660	141,700	158,700	85,660	73,87	11,797	117,970	1217,86	4,10	0,50	158,700	3	117,01	85,16	0,00	215,37	18,341		
	12	Apr-3	10	63,13	102,667	158,700	155,900	105,467	86,42	11,626	116,261	1303,47	4,05	0,53	155,900	3	116,37	104,94	0,00	216,55	22,724		
	13	Mei-1	10	64,55	55,295	155,900	109,200	101,995	84,35	11,649	116,485	1291,81	3,92	0,51	109,200	3	119,28	101,49	0,00	211,27	21,442		
	14	Mei-2	10	44,14	58,344	109,200	110,400	57,144	49,89	12,427	124,269	963,01	3,91	0,38	110,400	2	81,71	56,77	0,00	205,59	11,671		
	15	Mei-3	11	44,69	60,573	110,400	107,700	63,273	50,77	12,394	136,332	974,20	4,30	0,46	107,700	2	90,03	62,81	0,00	205,26	12,893		
	16	Jun-1	10	43,71	63,096	107,700	113,400	57,396	48,78	12,470	124,697	948,87	4,05	0,38	113,400	2	81,59	57,01	0,00	205,92	11,740		
	17	Jun-2	10	41,43	40,605	113,400	96,800	57,205	52,99	12,315	123,153	1001,68	4,05	0,41	96,800	2	82,58	56,80	0,00	203,45	11,556		
	18	Jun-3	10	76,42	44,626	96,800	86,700	54,726	40,74	12,843	128,429	841,86	4,06	0,34	86,700	2	85,72	54,38	0,00	195,99	10,659		
	19	Jul-1	10	58,42	40,676	86,700	74,100	53,276	33,28	13,250	132,495	738,06	3,92	0,29	74,100	2	87,98	52,99	0,00	187,48	9,934		
	20	Jul-2	10	63,41	41,323	74,100	82,500	32,923	23,99	12,930	129,302	606,99	3,91	0,24	82,500	1	44,15	32,69	0,00	188,47	6,160		
	21	Jul-3	11	41,08	44,527	82,500	68,800	58,227	30,18	13,149	144,637	694,31	4,31	0,33	68,800	2	95,87	57,90	0,00	184,88	10,704		
	22	Ags-1	10	39,91	34,062	68,800	70,300	32,562	20,07	12,780	127,800	552,72	3,92	0,22	70,300	1	43,34	32,35	0,00	183,37	5,931		
	23	Ags-2	10	35,77	32,475	70,300	70,100	32,675	21,18	12,824	128,235	567,98	3,92	0,22	70,100	1	43,40	32,45	0,00	183,78	5,964		
	24	Ags-3	11	32,31	34,639	70,100	68,800	35,939	21,03	12,818	140,995	565,94	4,30	0,27	68,800	1	47,66	35,67	0,00	183,31	6,539		
	25	Sep-1	10	35,17	31,856	68,800	68,100	32,556	20,07	12,780	127,800	552,72	4,04	0,22	68,100	1	43,23	32,33	0,00	182,68	5,906		
	26	Sep-2	10	31,47	30,325	68,100	69,300	29,125	19,56	12,759	127,595	545,63	4,05	0,22	69,300	1	43,25	28,90	0,00	182,84	5,285		
	27	Sep-3	10	42,42	30,320	69,300	67,100	32,520	20,44	12,795	127,946	557,80	4,05	0,23	67,100	1	43,20	32,29	0,00	182,52	5,894		
	28	Okt-1	10	35,66	28,982	67,100	67,100	28,982	18,82	12,730	127,298	535,54	3,93	0,21	67,100	1	43,09	28,77	0,00	181,81	5,231		
	29	Okt-2	10	65,32	26,479	67,100	64,600	28,979	18,82	12,730	127,298	535,54	3,91	0,21	64,600	1	42,97	17,24	0,00	180,99	3,119		
	30	Okt-3	11	45,03	33,223	64,600	66,100	31,723	16,97	12,654	139,195	510,54	4,31	0,24	66,100	1	47,21	31,48	0,00	180,65	5,687		
	31	Nov-1	10	47,89	60,673	66,100	97,800	28,973	18,08	12,700	126,998	525,51	4,05	0,21	97,800	1	43,83	28,76	0,00	191,66	5,512		
	32	Nov-2	10	43,84	50,503	97,800	93,700	54,603	41,48	12,803	128,028	851,95	4,04	0,34	93,700	2	84,64	54,26	0,00	198,49	10,770		
	33	Nov-3	10	61,32	30,582	93,700	69,200	55,082	38,45	12,979	129,791	810,34	4,05	0,33	69,200	2	88,16	54,75	0,00	188,03	10,295		
	34	Des-1	10	84,40	65,018	69,200	101,700	32,518	20,37	12,792	127,917	556,78	3,94	0,22	101,700	1	43,16	32,30	0,00	194,61	6,286		
	35	Des-2	10	112,31	79,557	101,700	127,300	53,957	44,35	12,659	126,594	890,81	3,95	0,35	127,300	2	80,94	53,60	0,00	207,56	11,126		
	36	Des-3	11	127,44	207,169	127,300	177,100	157,369	63,25	12,017	132,188	1118,43	4,34	0,53	177,100	2	84,76	74,19	0,00	218,03	16,175		

Sumber: Perhitungan

Keterangan:	1. Tahun	5. Inflow Waduk (m3/dt)	9. [6]+[7]-[8]	13. Luas Muka Air Waduk	17. Unit Turbin Dioperasikan	21. Enersi PLTA Per 1 Juta m3 (MWH)
	2. Nomor	6. Inflow Waduk (juta m3)	10. 100 x ([7]-Tamp. Minimum) / Tamp. Aktif	14. [15]x1000/[13]/4	18. Debit Maksimum Operasi	22. [19] x [21] / 1000
	3. Periode	7. Tampungan Waduk (Awal Periode)	11. Debit Maksimum PLTA Per Hari	15. Volume Evaporasi	19. Debit PLTA Yang Dipakai	
	4. Banyak Hari	8. Tampungan Waduk (Akhir Periode)	12. [11] x [4]	16. Tampungan Waduk Akhir Periode	20. Debit Sisa Operasi PLTA	

4.10. Hasil Optimasi Aturan Lepas Berdasarkan Tampung Waduk Sutami Untuk PLTA

Dengan adanya perhitungan alternatif aturan lepas yang optimal untuk PLTA Waduk Sutami menggunakan metode optimasi aturan lepas berdasarkan tampung dengan algoritma genetik, dapat diketahui terjadi adanya peningkatan nilai energi rerata dan nilai minimum produksi listrik PLTA Waduk Sutami, hal ini menandakan dengan menggunakan pedoman lepas hasil perhitungan di atas, suplai energi listrik dari PLTA Waduk Sutami mengalami peningkatan.

Perhitungan optimasi ini didasarkan pada kondisi eksisting waduk selama 10 tahun (2002-2011) yang diasumsikan mendekati kondisi waduk untuk tahun – tahun mendatang pada Waduk Sutami di sektor PLTA. Pada penulisan ini, juga dispesifikasikan perhitungan aturan lepas berdasarkan skenario pola debit (tipikal tahun), yaitu tahun cukup (basah), tahun normal, tahun rendah, dan tahun kering, dan mendapatkan peningkatan prosentase untuk energi rerata dan energi minimum PLTA Waduk Sutami pada setiap tipikal tahunnya. Maka dari itu, optimasi lepas berdasarkan tampung menggunakan metode Algoritma Genetik yang diaplikasikan pada operasional PLTA Waduk Sutami merupakan metode yang cukup baik untuk meningkatkan nilai energi bangkitan PLTA Waduk Sutami. Berikut adalah rekapitulasi perbandingan nilai rerata dan minimum energi listrik pada PLTA Waduk Sutami dalam perhitungan yang telah dilakukan.

Tabel 4.38. Rekapitulasi Perbandingan Nilai Rerata dan Minimum Energi Listrik PLTA Sutami

No.	Tahun	Energi Rerata PLTA Waduk Sutami		Peningkatan (%)	Energi Minimum PLTA Waduk Sutami		Peningkatan (%)
		Sebelum Optimasi (GWH)	Setelah Optimasi (GWH)		Sebelum Optimasi (GWH)	Setelah Optimasi (GWH)	
1	2002-2011 (10 Tahun)	12,44	14,04	12,86	2,51	4,23	68,53
2	2008 (Tahun Cukup)	14,75	15,07	2,17	4,39	5,02	14,35
3	2002 (Tahun Normal)	13,02	13,33	2,38	3,19	3,73	16,93
4	2005 (Tahun Rendah)	12,23	12,65	3,43	3,03	3,50	15,51
5	2007 (Tahun Kering)	10,47	10,85	3,63	2,89	3,12	7,96

Sumber: Perhitungan

