



BAB 4

ANALISIS KETERSEDIAAN DAN KEBUTUHAN AIR

4.1. Uraian Umum

Ketersediaan air dan pengelolaan air menjadi salah satu faktor keberhasilan pada bidang pertanian. Karena itu perencanaan pengelolaan air irigasi dengan pengolahan data hidrologi dan data klimatologi yang bertujuan untuk dapat mengetahui besarnya ketersediaan air dan kebutuhan air yang digunakan untuk lahan pertanian, sehingga didapat kesesuaian antara potensi sumber daya air yang ada dengan pola operasi air.

Lokasi studi dilakukan di Waduk Logung yang berada di Desa Kandangmas, Kecamatan Dawe, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah. Waduk Logung berlokasi sejauh 14,4 km dari pusat Kabupaten Kudus, lokasi Waduk Logung dapat dilihat pada Gambar 1.1 Peta Lokasi Waduk Logung. Pengambilan air memanfaatkan Sungai Logung yang menjadi *intake* untuk Waduk Logung, Gambar Pintu Pengambilan dapat dilihat pada Gambar 2.2.

4.2. Analisa Debit Ketersediaan Air

Ketersediaan air adalah jumlah air (debit) yang diperkirakan terus menerus ada di suatu lokasi bendung di suatu sungai dengan jumlah tertentu dan dalam jangka waktu (periode). Pada Analisis ketersediaan air akan didapat perkiraan ketersediaan air yang tersedua pada Waduk Logung. Analisis ini pada dasarnya meliputi langkah-langkah: (1) analisis hidrologi, (2) analisis klimatologi untuk mendapatkan data evapotranspirasi, (3) Analisis Debit Ketersediaan (4) Analisis Bangkitan Data Debit *Inflow*.

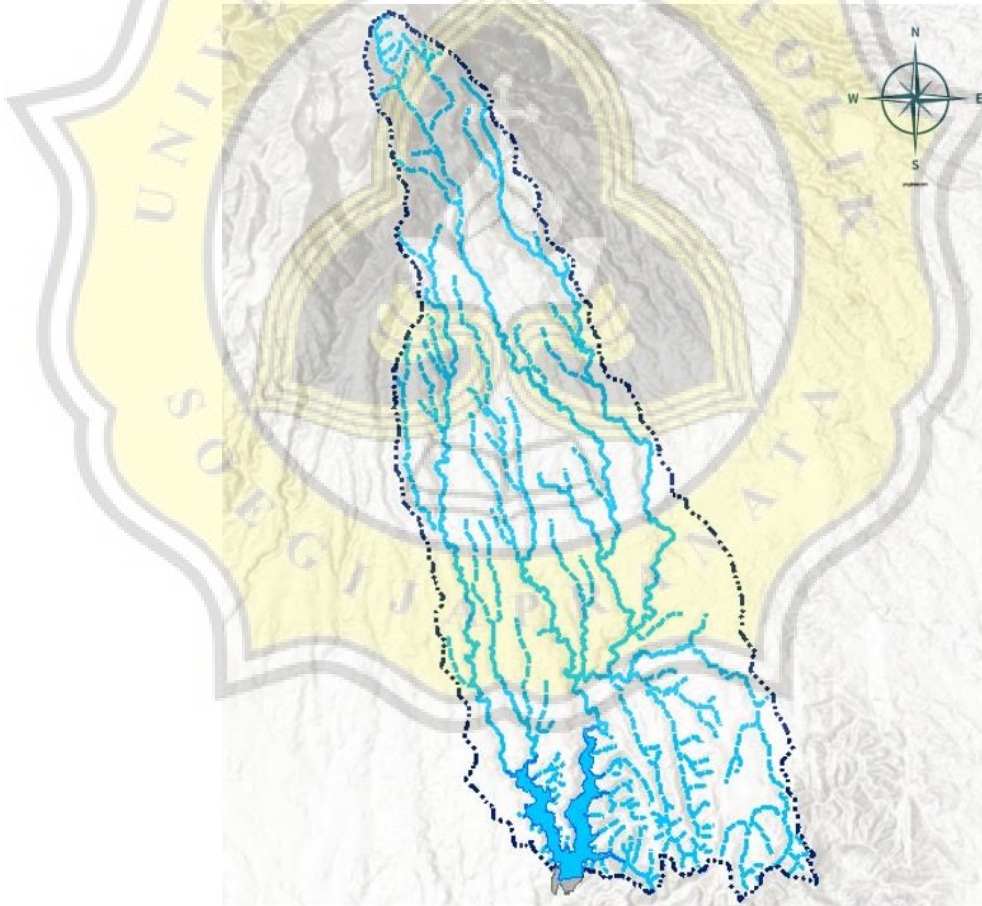
4.2.1. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi merupakan analisa yang pertama dalam menghitung analisis ketersediaan air. Hasil dari perhitungan analisis ini yaitu besaran curah hujan kawasan. Data curah hujan, dan debit menjadi data yang penting dalam perencanaan suatu waduk. Analisis data hujan dimaksudkan untuk mendapat besarnya curah hujan rata-rata pada suatu Daerah Aliran Sungai

meliputi langkah-langkah (1) analisis daerah aliran sungai, dan (2) analisis curah hujan kawasan.

1. Analisis daerah aliran sungai logung

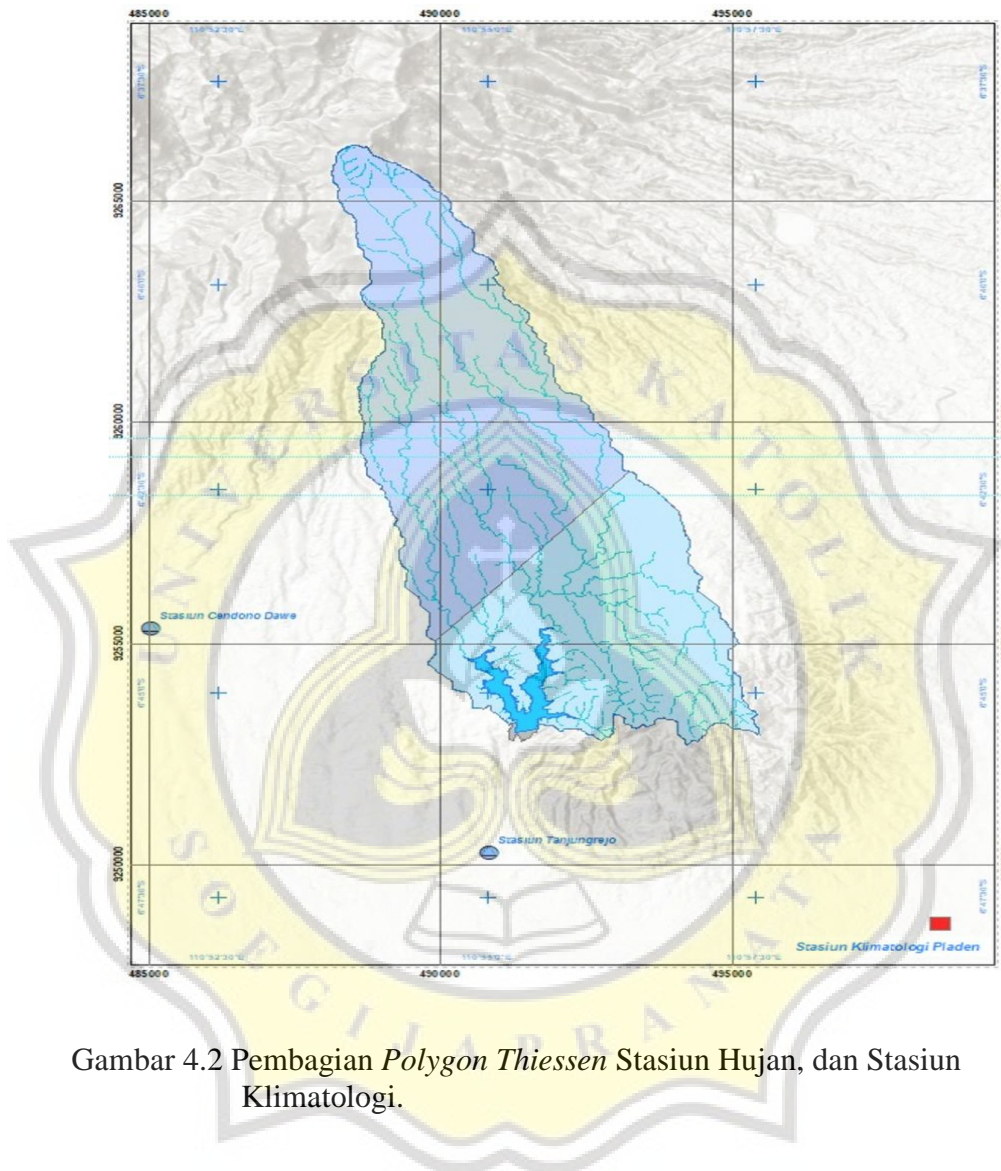
Daerah Aliran Sungai juga dikenal dengan sebutan *watershed* atau daerah tangkapan (*catchment area*). Pada DAS juga terdapat garis batas yang terlihat untuk membatasi DAS, dan daerah lain. Pada pembuatan peta DAS pada arcgis dibutuhkan beberapa data yaitu: data koordinat waduk, kontur tanah di sekitar waduk, data aliran air sungai di waduk tersebut, arus aliran yang berasal dari waduk tersebut, peta RBI, peta citra, google earth. Peta Daerah Aliran Sungai Waduk Logung yang dapat dilihat pada Gambar 4.1, didapat DAS Logung dengan luas 47,95 km².



Gambar 4.1 Daerah Aliran Sungai Waduk Logung

Menurut data dari BBWS Pemali Juana Semarang, diketahui ada dua pos stasiun hujan yang letaknya berada disekitar DAS Logung antara lain,

stasiun hujan Cendono Dawe, dan stasiun hujan Tanjungrejo. Berikut adalah peta pembagian daerah aliran sungai yang sesuai dengan stasiun hujan masing-masing dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Pembagian *Polygon Thiessen* Stasiun Hujan, dan Stasiun Klimatologi.

Data koordinat dapat dilihat pada Tabel 4.1 Koordinat Waduk Logung, Stasiun Hujan, dan Stasiun Klimatologi.

Tabel 4.1 Koordinat Waduk Logung, Stasiun Hujan, dan Stasiun Klimatologi

No.	Keterangan	Koordinat
1	Stasiun Hujan Cendono Dawe	6°44'13"LS dan 110°51'52"BT
2	Stasiun Hujan Tanjung Rejo	6°46'58"LS dan 110°55'01"BT
3	Stasiun Pengamatan Klimatologi Pladen Kudus	06°50'30"LS dan 110°58'45"BT
4	Waduk Logung	6°45'5"LS dan 110°55'19"BT

BBWS, 2021



2. Analisis curah hujan kawasan

Bagian dari perhitungan hidrologi yang paling penting adalah curah hujan, karena data curah hujan akan diproses menjadi aliran di sungai. Data curah hujan yang digunakan adalah data hujan harian pada dua Stasiun Hujan terdekat Waduk Logung. Pada DAS Logung, besaran nilai curah hujan rata-rata dihitung menggunakan metode *polygon Thiessen*. Luasan daerah yang terbentuk oleh garis *polygon Thiessen* tersebut berpengaruh dalam perhitungan DAS Logung. Dikarenakan minimnya ketersediaan data hujan harian, maka digunakan stasiun hujan Cendono Dawe, dan Tanjungrejo. Luasan pembagian wilayah menggunakan metode *Polygon Thiessen* dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pembagian Wilayah *Polygon Thiessen*

No	Shape	Name	Luas_Km2	Faktor Pembobot
1.	<i>Polygon</i>	Stasiun Cendono Dawe	28,02	58,4359 %
2.	<i>Polygon</i>	Stasiun Tanjungrejo	19,93	41,5641 %
		Total	47,95	100 %

Berikut adalah contoh perhitungan faktor pembobotan hujan kawasan.

a. Perhitungan faktor pembobotan hujan kawasan

Langkah 1: perhitungan nilai koefisien pembobotan (C_i) stasiun hujan Cendono Dawe, dan Tanjungrejo, untuk faktor luas wilayah dapat dilihat pada Tabel 4.2.

$$c_i \text{ Cendono Dawe} = \frac{A_1}{A_{\text{Total}}} \times 100\% = \frac{28,02 \text{ km}^2}{47,95 \text{ km}^2} \times 100\% = 58,4359\%$$

$$c_i \text{ Tanjungrejo} = \frac{A_1}{A_{\text{Total}}} \times 100\% = \frac{19,93 \text{ km}^2}{47,95 \text{ km}^2} \times 100\% = 41,5641\%$$

Berikut adalah data curah hujan setengah bulanan Tahun 2011 – Tahun 2020 yang dapat dilihat pada Tabel 4.3 Data Curah Hujan Setengah Bulanan Stasiun Hujan Cendono Dawe dan Tabel 4.4 Data Curah Hujan Setengah Bulanan Stasiun Hujan Tanjungrejo.



Tabel 4.3 Data Curah Hujan Setengah Bulanan Stasiun Hujan Cendono Dawe

Curah Hujan Setengah Bulanan (mm)													
Nama Stasiun		Cendono Dawe		Elevasi									
No Stasiun		159 JAN 6		Tipe alat		Biasa							
No In Database				Pemilik									
Lintang Selatan		6° 44' 13"		Operator									
Bujur Timur		110° 51' 52"											
Tahun	Januari		Febuari		Maret		April		Mei		Juni		
	Jan-1	Jan-2	Feb-1	Feb-2	Mar-1	Mar-2	Apr-1	Apr-2	Mei-1	Mei-2	Jun-1	Jun-2	
2011	283,0	397,0	321,0	139,0	248,0	340,0	182,0	97,0	40,0	51,0	2,0	0,0	
2012	368,0	176,0	130,0	216,0	226,0	80,0	86,0	31,0	88,0	0,0	8,0	3,0	
2013	380,0	361,0	190,0	374,0	249,0	60,0	185,0	61,0	22,0	134,0	54,0	22,0	
2014	284,0	1385,0	198,0	130,0	66,0	64,0	98,0	89,0	26,0	10,0	2,0	67,0	
2015	410,0	318,0	304,0	86,0	183,0	124,0	114,0	129,0	7,0	0,0	0,0	0,0	
2016	47,0	123,0	407,0	96,0	191,0	249,0	261,0	85,0	34,0	92,0	0,0	0,0	
2017	175,0	234,0	530,0	178,0	281,0	213,0	136,0	105,0	30,0	62,0	69,0	21,0	
2018	139,0	244,0	498,0	188,0	155,0	106,0	16,0	35,0	0,0	36,0	0,0	2,0	
2019	94,0	593,0	102,0	42,0	163,0	197,0	42,0	32,0	118,0	0,0	0,0	0,0	
2020	449,0	209,0	258,0	514,0	105,0	106,0	71,0	50,0	0,0	170,0	20,0	6,0	



Tabel 4.3 Data Curah Hujan Setengah Bulanan Stasiun Hujan Cendono Dawe (lanjutan)

Curah Hujan Setengah Bulanan (mm)													
Nama Stasiun				Elevasi									
No Stasiun				Tipe alat									
No In Database				Pemilik									
Lintang Selatan		6° 44' 13"		Operator									
Bujur Timur		110° 51' 52"											
Tahun	Juli		Agustus		September		Oktober		Nopember		Desember		
	Jul-1	Jul-2	Ags-1	Ags-2	Sep-1	Sep-2	Okt-1	Okt-2	Nop-1	Nop-2	Des-1	Des-2	
2011	18,0	0,0	0,0	0,0	51,0	0,0	0,0	31,0	103,0	192,0	231,0	210,0	
2012	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	54,0	21,0	224,0	77,0	139,0	115,0	
2013	22,0	21,0	0,0	0,0	4,0	0,0	51,0	84,0	41,0	64,0	227,0	340,0	
2014	44,0	38,0	6,0	14,0	0,0	6,0	0,0	0,0	89,0	108,0	155,0	280,0	
2015	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	42,0	25,0	314,0	255,0	
2016	25,0	32,0	0,0	0,0	13,0	155,0	146,0	151,0	165,0	130,0	144,0	310,0	
2017	28,0	12,0	0,0	0,0	0,0	17,0	57,0	58,0	60,0	75,0	128,0	333,0	
2018	0,0	3,0	0,0	0,0	15,0	1,0	4,0	43,0	111,0	201,0	71,0	167,0	
2019	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	18,0	102,0	16,0	69,0	76,0	
2020	28,0	18,0	10,0	0,0	27,0	24,0	40,0	87,0	105,0	105,0	483,0	299,0	

Sumber: BBWS, 2021



Tabel 4.4 Data Curah Hujan Setengah Bulanan Stasiun Hujan Tanjungrejo

Curah Hujan Setengah Bulanan (mm)												
Nama Stasiun	Tanjungrejo											
No Stasiun	186 JAN 4		Elevasi									
No In Database			Tipe alat		Biasa							
Lintang Selatan	6° 46' 58"		Pemilik									
Bujur Timur	110° 55' 01"		Operator									
Tahun	Januari		Pebruari		Maret		April		Mei		Juni	
	Jan-1	Jan-2	Peb-1	Peb-2	Mar-1	Mar-2	Apr-1	Apr-2	Mei-1	Mei-2	Jun-1	Jun-2
2011	255,0	177,0	213,0	73,0	198,0	225,0	200,0	120,0	17,0	100,0	0,0	6,0
2012	326,0	193,0	171,0	163,0	176,0	53,0	53,0	28,0	0,0	2,0	13,0	0,0
2013	375,0	315,0	69,0	247,0	161,0	256,0	155,0	147,0	21,0	158,0	88,0	64,0
2014	184,0	1071,0	174,0	70,0	87,0	31,0	193,0	73,0	27,0	20,0	7,0	57,0
2015	297,0	214,0	167,0	142,0	175,0	26,0	174,0	130,0	5,0	0,0	0,0	0,0
2016	91,0	154,0	302,0	52,0	207,0	206,0	179,0	161,0	12,0	82,0	0,0	0,0
2017	208,0	289,0	398,0	135,0	164,0	238,0	111,0	112,0	40,0	39,0	151,0	17,0
2018	149,0	206,0	401,0	141,0	271,0	113,0	13,0	48,0	2,0	64,0	0,0	4,0
2019	171,0	400,0	117,0	121,0	211,0	261,0	164,0	60,0	75,0	1,0	2,0	0,0
2020	278,0	48,0	181,0	232,0	74,0	64,0	190,0	105,0	17,0	81,0	0,0	21,0



Tabel 4.4 Data Curah Hujan Setengah Bulanan Stasiun Hujan Tanjungrejo (lanjutan)

Curah Hujan Setengah Bulanan (mm)												
Nama Stasiun												
No Stasiun			Elevasi									
No In Database			Tipe alat									
Lintang Selatan	6° 46' 58"		Pemilik									
Bujur Timur	110° 55' 01"		Operator									
Tahun	Juli		Agustus		September		Oktober		Nopember		Desember	
	Jul-1	Jul-2	Ags-1	Ags-2	Sep-1	Sep-2	Okt-1	Okt-2	Nop-1	Nop-2	Des-1	Des-2
2011	3,0	2,0	0,0	0,0	95,0	0,0	0,0	59,0	248,0	164,0	346,0	201,0
2012	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	42,0	28,0	116,0	71,0	174,0	111,0
2013	99,0	54,0	0,0	0,0	8,0	0,0	70,0	64,0	28,0	116,0	477,0	340,0
2014	53,0	30,0	12,0	21,0	0,0	14,0	1,0	2,0	37,0	16,0	192,0	205,0
2015	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	65,0	107,0	203,0	117,0
2016	4,0	31,0	84,0	18,0	6,0	162,0	136,0	123,0	173,0	130,0	183,0	226,0
2017	17,0	34,0	0,0	0,0	0,0	48,0	97,0	51,0	105,0	160,0	186,0	182,0
2018	0,0	1,0	0,0	0,0	13,0	8,0	10,0	27,0	104,0	232,0	112,0	100,0
2019	2,0	0,0	2,0	4,0	0,0	5,0	0,0	0,0	57,0	59,0	24,0	247,0
2020	51,0	47,0	2,0	16,0	5,0	35,0	40,0	89,0	126,0	189,0	297,0	232,0

Sumber: BBWS, 2021



Tugas Akhir
Simulasi Pola Operasi Waduk Logung Kabupaten Kudus (Studi Kasus
Untuk Kebutuhan Air Irigasi)

Langkah 2: jumlah curah hujan dan faktor pembobot yang ada pada stasiun hujan Cendono Dawe dan Tanjungrejo pada bulan Januari periode 1 tahun 2011 sesuai dengan data BBWS yaitu:

- a. Jumlah hujan pos stasiun hujan Cendono Dawe = 283 mm yang dapat dilihat pada Tabel 4.3.
 - b. Jumlah hujan pos stasiun hujan Tanjungrejo = 255 mm yang dapat dilihat pada Tabel 4.4.
 - c. Ci atau faktor pembobot Cendono Dawe = 58,44% yang dapat dilihat pada Tabel 4.2.
 - d. Ci atau faktor pembobot Tanjungrejo = 41,56% yang dapat dilihat pada Tabel 4.2.
- b. Perhitungan curah hujan kawasan pada bulan Januari periode 1 dan 2 tahun 2011 sebagai berikut

$$R_1 = \frac{R_{\text{Cendono Dawe}} \times C_i + R_{\text{Tanjungrejo}} \times C_i}{100\%} \dots\dots\dots(2.1)$$
$$= \frac{283 \times 58,44\% + 255 \times 41,56\%}{100\%}$$

= 266,64 mm (dapat dilihat pada Tabel 4.5)

$$R_2 = \frac{R_{\text{Cendono Dawe}} \times C_i + R_{\text{Tanjungrejo}} \times C_i}{100\%} \dots\dots\dots(2.1)$$
$$= \frac{397 \times 58,44\% + 177 \times 41,56\%}{100\%}$$

= 268,44 mm (dapat dilihat pada Tabel 4.5)

- c. Hasil perhitungan curah hujan kawasan
- Setelah melakukan semua proses perhitungan, kemudian melakukan perhitungan terhadap curah hujan kawasan 15 harian pada tahun 2011 hingga 2020 yang berada di DAS Waduk Logung. Hasil perhitungan curah hujan kawasan dapat dilihat pada Tabel 4.5.



Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Curah Hujan Kawasan

Tahun	Satuan	Jan		Feb		Mar		Apr		Mei		Jun	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
2011	mm	266,64	268,44	257,89	100,43	218,78	272,80	192,52	110,44	26,56	79,63	0,83	3,51
2012	mm	343,46	185,93	153,96	185,03	196,78	64,22	66,72	29,25	36,58	1,17	10,92	1,25
2013	mm	377,08	334,12	119,29	299,79	197,58	174,53	167,47	111,25	21,42	148,02	73,87	46,54
2014	mm	225,56	1201,51	183,98	94,94	78,27	44,72	153,51	79,65	26,58	15,84	4,92	61,16
2015	mm	343,97	257,23	223,94	118,72	178,33	66,73	149,06	129,58	5,83	0,00	0,00	0,00
2016	mm	72,71	141,12	345,64	70,29	200,35	223,87	213,08	129,41	21,14	86,16	0,00	0,00
2017	mm	194,28	266,14	452,86	152,87	212,63	227,61	121,39	109,09	35,84	48,56	116,92	18,66
2018	mm	144,84	221,79	441,32	160,54	222,79	110,09	14,25	42,60	1,17	52,36	0,00	3,17
2019	mm	139,00	480,22	110,77	88,16	191,05	234,40	113,29	48,36	92,87	0,58	1,17	0,00
2020	mm	349,07	114,92	213,00	349,21	86,88	81,46	140,54	82,14	9,93	117,99	8,31	14,77

Tahun	Satuan	Jul		Ags		Sep		Okt		Nov		Des	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
2011	mm	9,23	1,17	0,00	0,00	76,71	0,00	0,00	47,36	187,73	175,64	298,20	204,74
2012	mm	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,92	46,99	25,09	160,89	73,49	159,45	112,66
2013	mm	67,00	40,28	0,00	0,00	6,34	0,00	62,10	72,31	33,40	94,39	373,09	340,00
2014	mm	49,26	33,33	9,51	18,09	0,00	10,67	0,58	1,17	58,61	54,24	176,62	236,17
2015	mm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,42	55,44	72,92	249,14	174,36
2016	mm	12,73	31,42	49,09	10,52	8,91	159,09	140,16	134,64	169,67	130,00	166,79	260,91
2017	mm	21,57	24,86	0,00	0,00	0,00	35,12	80,37	53,91	86,30	124,67	161,89	244,76
2018	mm	0,00	1,83	0,00	0,00	13,83	5,09	7,51	33,65	106,91	219,12	94,96	127,85
2019	mm	1,17	0,00	1,17	6,49	0,00	2,92	0,00	7,48	75,70	41,13	42,70	175,93
2020	mm	41,44	34,95	5,33	9,35	14,14	30,43	40,00	88,17	117,27	154,09	374,31	259,85



4.2.2. Analisis Klimatologi

Analisis klimatologi berguna untuk menghitung nilai evapotranspirasi dengan Metode *Penman Monteith*. Data yang digunakan adalah suhu udara (T), kelembaban relatif (RH), penyinaran matahari (Rn) dan kecepatan angin (U). letak Stasiun Klimatologi Pladen dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan tabel data klimatologi tahun 2011 – 2014 pada Stasiun Pladen, dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data Klimatologi 2011-2014 Stasiun Pladen

Data Kecepatan Angin Rerata Bulanan (km/hari)

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agus	Sept	Okt	Nov	Des
2011	86.42	82.50	44.94	32.87	43.61	56.00	101.68	94.10	97.68	65.00	52.58	55.48
2012	44.60	37.90	76.80	57.80	55.80	65.20	72.30	86.50	96.00	91.90	55.80	40.80
2013	98.19	60.14	42.74	40.23	36.10	30.17	46.84	68.39	67.37	59.97	30.33	42.00
2014	23.81	30.45	13.52	11.57	45.90	52.00	54.13	63.61	71.03	63.68	27.70	10.52

Kelembaban Relatif (%)

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agus	Sept	Okt	Nov	Des
2011	97.58	98.25	97.42	97.13	98.13	97.23	97.35	94.10	97.68	96.00	98.67	98.45
2012	99.00	98.50	98.90	98.40	98.40	98.80	98.80	99.00	96.00	99.20	98.30	98.30
2013	98.94	98.86	98.71	98.93	98.32	98.70	98.71	98.00	99.20	98.80	98.90	98.90
2014	98.68	98.82	98.61	98.60	98.74	98.73	98.55	94.00	98.74	91.27	95.87	98.60

Data Sinar Matahari Rerata Bulanan (%)

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agus	Sept	Okt	Nov	Des
2011	21.89	31.91	35.98	45.36	56.06	73.93	77.63	75.86	68.74	61.39	41.30	40.69
2012	30.40	39.50	37.10	56.60	68.00	69.30	72.70	83.40	73.40	67.70	51.00	62.50
2013	43.08	41.92	48.84	50.40	49.49	30.57	53.37	77.60	76.56	62.29	47.05	33.57
2014	16.95	30.45	48.63	53.01	52.52	52.13	58.37	75.90	74.18	69.00	50.13	28.11

Temperatur Udara (°C)

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agus	Sept	Okt	Nov	Des
2011	26.18	26.23	25.78	25.75	25.82	25.90	25.98	25.78	25.75	26.18	25.87	25.20
2012	25.80	25.67	25.90	25.90	25.90	25.78	25.82	25.76	25.80	25.82	25.80	25.39
2013	25.75	25.70	25.86	25.78	25.81	25.86	25.67	25.85	25.80	25.80	25.81	25.41
2014	25.82	25.57	25.82	25.85	25.86	25.82	25.87	25.82	25.82	25.80	25.82	25.64

BMKG Provinsi Jawa Tengah, 2021



Berikut adalah contoh perhitungan evapotranspirasi dengan *Metode Penman* pada bulan Januari 2011, data dapat dilihat pada Tabel 4.6.

a. Data klimatologi

- a.1. Kecepatan angin (U) = 86,42 km/hari
- a.2. Kelembaban relatif (RH) = 97,58%
- a.3. Penyinaran Matahari (N/n) = 21,89 %
- a.4. Temperatur udara (T) = 26,18 °C

b. Perhitungan evapotranspirasi (ET₀)

Langkah 1: perhitungan nilai tekanan uap air jenuh (es)

$$\begin{aligned}
 T &= 26,18 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (dapat dilihat pada Tabel 4.6)} \\
 es &= 0,611 \exp\left(\frac{17,27 \times T}{T+237,3}\right) \dots\dots\dots(2.3) \\
 &= 0,611 \exp\left(\frac{17,27 \times 26,18}{26,18+237,3}\right) \\
 &= 3,40 \text{ kPa (dapat dilihat pada Tabel 4.7)}
 \end{aligned}$$

Langkah 2: perhitungan tekanan uap air nyata (ea)

$$\begin{aligned}
 RH &= 97,58\% \text{ (dapat dilihat pada Tabel 4.6)} \\
 ea &= es \times RH \dots\dots\dots(2.4) \\
 &= 3,40 \times 97,58\% \\
 &= 3,32 \text{ kPa (dapat dilihat pada Tabel 4.7)}
 \end{aligned}$$

Langkah 3: perhitungan perbedaan tekanan uap air (es – ea)

$$\begin{aligned}
 es - ea &= 3,40 - 3,32 \\
 &= 0,08 \text{ kPa (dapat dilihat pada Tabel 4.7)}
 \end{aligned}$$

Langkah 4: perhitungan persamaan fungsi kecepatan angin (f(U))

$$\begin{aligned}
 U &= 86,42 \text{ km/hari (dapat dilihat pada Tabel 4.6)} \\
 f(U) &= 0,27 \times \left(1 + \frac{U}{100}\right) \dots\dots\dots(2.5) \\
 &= 0,27 \times \left(1 + \frac{86,42}{100}\right) \\
 &= 0,50 \text{ km/hari (dapat dilihat pada Tabel 4.7)}
 \end{aligned}$$

Langkah 5: menentukan faktor pembobotan (1 – W)



Tugas Akhir
Simulasi Pola Operasi Waduk Logung Kabupaten Kudus (Studi Kasus
Untuk Kebutuhan Air Irigasi)

1. Perhitungan panas laten untuk penguapan (λ)

$$\begin{aligned} T &= 26,18 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (dapat dilihat pada Tabel 4.6)} \\ \lambda &= 2,051 - (2,361 \times 10^{-3}) \times T \dots\dots\dots(2.6) \\ &= 2,051 - (2,361 \times 10^{-3}) \times 26,18^\circ\text{C} \\ &= 1,99 \text{ MJ/kg (dapat dilihat pada Tabel 4.7)} \end{aligned}$$

2. Perhitungan untuk tekanan atmosfer pada elevasi z (P) karena tidak ada data tekanan udara pada stasiun klimatologi, berdasarkan SNI-7745:2012 “Tata cara perhitungan evapotranspirasi tanaman acuan metode *Penman-Monteith*”, digunakan asumsi suhu pada elevasi z_0 (T_{ko}) = 293 K, tekanan atmosfer pada permukaan laut (P_0) = 101,3 kPa dan elevasi acuan (z_0) = 0 m. Serta diketahui elevasi (z) stasiun klimatologi Pladen pada 575 m dpl.

$$\begin{aligned} P &= P_0 \times \left(\frac{T_{ko} - \tau(z-z_0)}{T_{ko}} \right)^{\frac{g}{\tau \times R}} \dots\dots\dots(2.7) \\ &= 101,3 \times \left(\frac{293 - 0,0065(575-0)}{293} \right)^{\frac{9,8}{0,0065 \times 287}} \\ &= 94,69 \text{ kPa (dapat dilihat pada Tabel 4.7)} \end{aligned}$$

3. Perhitungan konstanta psikrometrik (γ)

$$\begin{aligned} \gamma &= 0,00163 \times \frac{P}{\lambda} \\ &= 0,00163 \times \frac{94,69}{1,99} \\ &= 0,08 \text{ kPa/}^\circ\text{C (dapat dilihat pada Tabel 4.7)} \end{aligned}$$

4. Perhitungan kemiringan kurva tekanan uap air terhadap suhu udara

$$\begin{aligned} (\Delta) \\ \Delta &= \frac{4.098 \times es}{(T+237,3)^2} \dots\dots\dots(2.9) \\ &= \frac{4.098 \times 3,40}{(26,18+237,3)^2} \\ &= 0,20 \text{ (dapat dilihat pada Tabel 4.7)} \end{aligned}$$

5. Perhitungan faktor pembobotan (W)

$$\begin{aligned} W &= \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \dots\dots\dots(2.10) \\ &= \frac{0,20}{0,20 + 0,08} \end{aligned}$$



Tugas Akhir
Simulasi Pola Operasi Waduk Logung Kabupaten Kudus (Studi Kasus
Untuk Kebutuhan Air Irigasi)

$$= 0,72 \text{ (dapat dilihat pada Tabel 4.7)}$$

Sehingga nilai pembobot ($1 - W$)

$$\begin{aligned} (1 - W) &= 1 - 0,72 \\ &= 0,28 \end{aligned}$$

Setelah melakukan proses perhitungan diatas, akan menghasilkan perhitungan faktor pembobotan. Hasil perhitungan faktor pembobotan tahun 2014 dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Faktor Pembobotan Tahun 2014

Parameter	Satuan	Tahun 2011 / Bulan:											
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Temperatur udara (T)	°C	26.18	26.23	25.78	25.75	25.82	25.90	25.98	25.78	25.75	26.18	25.87	25.20
es	kPa	3.40	3.42	3.32	3.31	3.33	3.34	3.36	3.32	3.30	3.41	3.35	3.82
λ	MJ/kg	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99
z	m	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575
P	kPa	94.69	94.69	94.69	94.69	94.69	94.69	94.69	94.69	94.69	94.69	94.69	94.69
γ	kPa/°C	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Δ	kPa/°C	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.23
W		0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.75

Langkah 6: perhitungan radiasi ekstra terestrial (R_a)

Sesuai dengan kondisi geografis Waduk Logung yang berada di Desa Kandangmas, Kecamatan Dawe, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah. Lokasi Waduk Logung dapat dilihat pada Gambar 1.1. Waduk Logung terletak pada posisi lintang (*latitude*) = $06^\circ 45' 30,5''$ dan posisi bujur (*longitude*) $110^\circ 55' 19''$. Koordinat Waduk Logung dapat dilihat pada Tabel 4.1 Koordinat Waduk Logung, Stasiun Hujan, dan Stasiun Klimatologi. Berikut adalah perhitungan konfersi koordinat derajat menit detik ke koordinat desimal.

$$\begin{aligned} \text{Koordinat Desimal Daerah Pengamatan} &= 6 + \left(\frac{45}{60}\right) + \left(\frac{30,5}{3600}\right) \\ &= 6,76 \text{ }^\circ\text{LS} \end{aligned}$$



Berdasarkan perhitungan, daerah pengamatan (stasiun klimatologi Pladen) terletak pada $6,76^{\circ}\text{LS}$. Dikarenakan terletak pada Lintang Selatan (LS), maka sesuai Tabel 2.1, terletak diantara $\text{LS}_1 = 6$ dan $\text{LS}_2 = 8$ dengan $\text{Ra}_1 = 15,80$ dan $\text{Ra}_2 = 16,10$, maka nilai radiasi ekstra *terresial* (Ra) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Ra} &= 15,80 + \frac{6,76-6}{8-6} \times (16,10 - 15,80) \\ &= 15,914 \text{ mm/hari (dapat dilihat pada Tabel 4.8)}\end{aligned}$$

Langkah 7: perhitungan radiasi gelombang pendek (R_s)

$$\begin{aligned}\text{R}_s &= (0,25 + 0,5 \times \text{N/n}) \times \text{Ra} \dots\dots\dots(2.11) \\ &= (0,25 + 0,5 \times 21,89\%) \times 15,914 \\ &= 5,72 \text{ mm/hari (dapat dilihat pada Tabel 4.8)}\end{aligned}$$

Langkah 8: perhitungan radiasi netto gelombang pendek (R_{ns}) Nilai koefisien pantulan radiasi tajuk (α) digunakan 0,23 karena berdasarkan SNI-7745:2012 "Tata cara perhitungan evapotranspirasi tanaman acuan metode *Penman-Monteith*" nilai 0,23 untuk tanaman rumput, padi dan sejenisnya.

$$\begin{aligned}\text{R}_{ns} &= \text{R}_s \times (1 - \alpha) ; \alpha = 0,23 \dots\dots\dots(2.12) \\ &= 5,72 \times (1 - 0,23) \\ &= 4,40 \text{ mm/hari (dapat dilihat pada Tabel 4.8)}\end{aligned}$$

Langkah 9: perhitungan efek radiasi gelombang panjang

1. Perhitungan fungsi temperatur udara ($f(T)$)

$$\begin{aligned}f(T) &= 1,99 \times 10^{-9} \times (T + 273)^4 \dots\dots\dots(2.13) \\ &= 1,99 \times 10^{-9} \times (26,18 + 273)^4 \\ &= 15,94 \text{ (dapat dilihat pada Tabel 4.8)}\end{aligned}$$

2. Perhitungan fungsi tekanan uap air nyata ($f(ea)$)

$$\begin{aligned}f(ea) &= 0,34 - 0,044 \times ea^{0,5} \dots\dots\dots(2.14) \\ &= 0,34 - 0,044 \times 3,32^{0,5} \\ &= 0,26 \text{ (dapat dilihat pada Tabel 4.8)}\end{aligned}$$

3. Perhitungan fungsi penyinaran matahari ($f(n/N)$)

$$\text{N/n} = 21,89 \% \text{ (bedasarkan Tabel 4.6 bulan Januari 2011)}$$



Tugas Akhir
Simulasi Pola Operasi Waduk Logung Kabupaten Kudus (Studi Kasus
Untuk Kebutuhan Air Irigasi)

$$\begin{aligned} f(n/N) &= 0,1 + 0,9 \times N/n \dots\dots\dots(2.15) \\ &= 0,1 + 0,9 \times 21,89\% \\ &= 0,30 \text{ (dapat dilihat pada Tabel 4.8)} \end{aligned}$$

Langkah 10: perhitungan radiasi netto gelombang panjang (Rnl)

$$\begin{aligned} Rnl &= f(T) \times f(ea) \times f(n/N) \dots\dots\dots(2.16) \\ &= 15,94 \times 0,26 \times 0,30 \\ &= 1,23 \text{ mm/hari (dapat dilihat pada Tabel 4.8)} \end{aligned}$$

Langkah 11: perhitungan radiasi matahari netto (Rn)

$$\begin{aligned} Rn &= Rns - Rnl \dots\dots\dots(2.17) \\ &= 4,40 - 1,23 \\ &= 3,17 \text{ mm/hari (dapat dilihat pada Tabel 4.8)} \end{aligned}$$

Langkah 12: perhitungan faktor pembobotan (W)

$$\begin{aligned} W &= \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \dots\dots\dots(2.18) \\ &= \frac{0,20}{0,20 + 0,8} \\ &= 0,72 \text{ (dapat dilihat pada Tabel 4.8)} \end{aligned}$$

Langkah 13: menentukan nilai faktor koreksi (C)

Pada perhitungan nilai faktor koreksi dibutuhkan nilai angka koreksi Penman (C) yang didapat dari Tabel 2.2, dimana tiap bulan angka C berbeda-beda, angka C pada bulan Januari yaitu 1,1

Langkah 14: perhitungan evapotranspirasi (ET₀)

$$\begin{aligned} ET_0 &= C \times (W \times Rn + (1 - W) \times (es - ea) \times f(U)) \dots\dots\dots(2.2) \\ &= 1,1 \times (0,72 \times 3,17 + 0,28 \times 0,08 \times 0,50) \\ &= 2,53 \text{ mm/hari (dapat dilihat pada Tabel 4.8)} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan evapotranspirasi (ET₀)

Setelah melakukan semua proses perhitungan maka didapatkan hasil evapotranspirasi. Hasil perhitungan evapotranspirasi bulan Januari 2011 dapat dilihat pada Tabel 4.8.



Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Evapotranspirasi Tahun 2011

Parameter	Satuan	Tahun 2011 / Bulan											
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Temperatur udara (T)	°C	26.18	26.23	25.78	25.75	25.82	25.90	25.98	25.78	25.75	26.18	25.87	25.20
Kecepatan angin (U)	km/hari	86.42	82.50	44.94	32.87	43.61	56.00	101.68	94.10	97.68	65.00	52.58	55.48
Kelembaban relatif rata-rata (RH)	%	0.9758	0.9825	0.9742	0.9713	0.9813	0.9723	0.9735	0.9410	0.9768	0.9600	0.9867	0.9845
Penyinaran matahari (Q1)	%	0.2189	0.3191	0.3598	0.4536	0.5606	0.7393	0.7763	0.7586	0.6874	0.6139	0.4130	0.4069
Tekanan uap jenuh (es)	kPa	3.40	3.41	3.32	3.31	3.33	3.34	3.36	3.32	3.31	3.40	3.34	3.21
Tekanan uap nyata (ea)	kPa	3.32	3.35	3.23	3.22	3.26	3.25	3.27	3.12	3.24	3.26	3.29	3.16
Perbedaan tekanan uap (es-ea)	kPa	0.08	0.06	0.09	0.10	0.06	0.09	0.09	0.20	0.08	0.14	0.04	0.05
Fungsi angin (f(U))	km/hari	0.50	0.49	0.39	0.36	0.39	0.42	0.54	0.52	0.53	0.45	0.41	0.42
Faktor pembobotan (1-W)		0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.25
Radiasi ekstra terestrial (Ra)	mm/hari	15.914	16.05	15.55	14.56	13.26	12.62	12.92	13.86	14.95	15.75	15.89	15.84
Radiasi sinar matahari (Rs)	mm/hari	5.72	6.57	6.69	6.94	7.03	7.82	8.24	8.72	8.88	8.77	7.25	7.18
Radiasi netto gelombang pendek (Rns)	mm/hari	4.40	5.06	5.15	5.35	5.42	6.02	6.35	6.72	6.84	6.75	5.59	5.53
Fungsi suhu (f(T))		15.94	15.95	15.86	15.85	15.87	15.88	15.90	15.86	15.85	15.94	15.88	15.74
Fungsi tekanan uap nyata f(ea)		0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
Fungsi penyinaran f(n/N)		0.30	0.39	0.42	0.51	0.60	0.77	0.80	0.78	0.72	0.65	0.47	0.47
Radiasi gelombang panjang netto (Rnl)	mm/hari	1.23	1.60	1.75	2.10	2.50	3.17	3.31	3.26	2.97	2.71	1.95	1.92
Radiasi netto (Rn)	mm/hari	3.17	3.46	3.40	3.24	2.92	2.85	3.04	3.46	3.86	4.04	3.64	3.61
Faktor pengali (W)		0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.75
Faktor koreksi (C)		1.10	1.10	1.00	0.90	0.90	0.90	0.90	1.00	1.10	1.10	1.10	1.10
Evapotranspirasi (ETo)	mm/hari	2.53	2.76	2.44	2.10	1.89	1.85	1.98	2.51	3.06	3.23	2.88	2.97



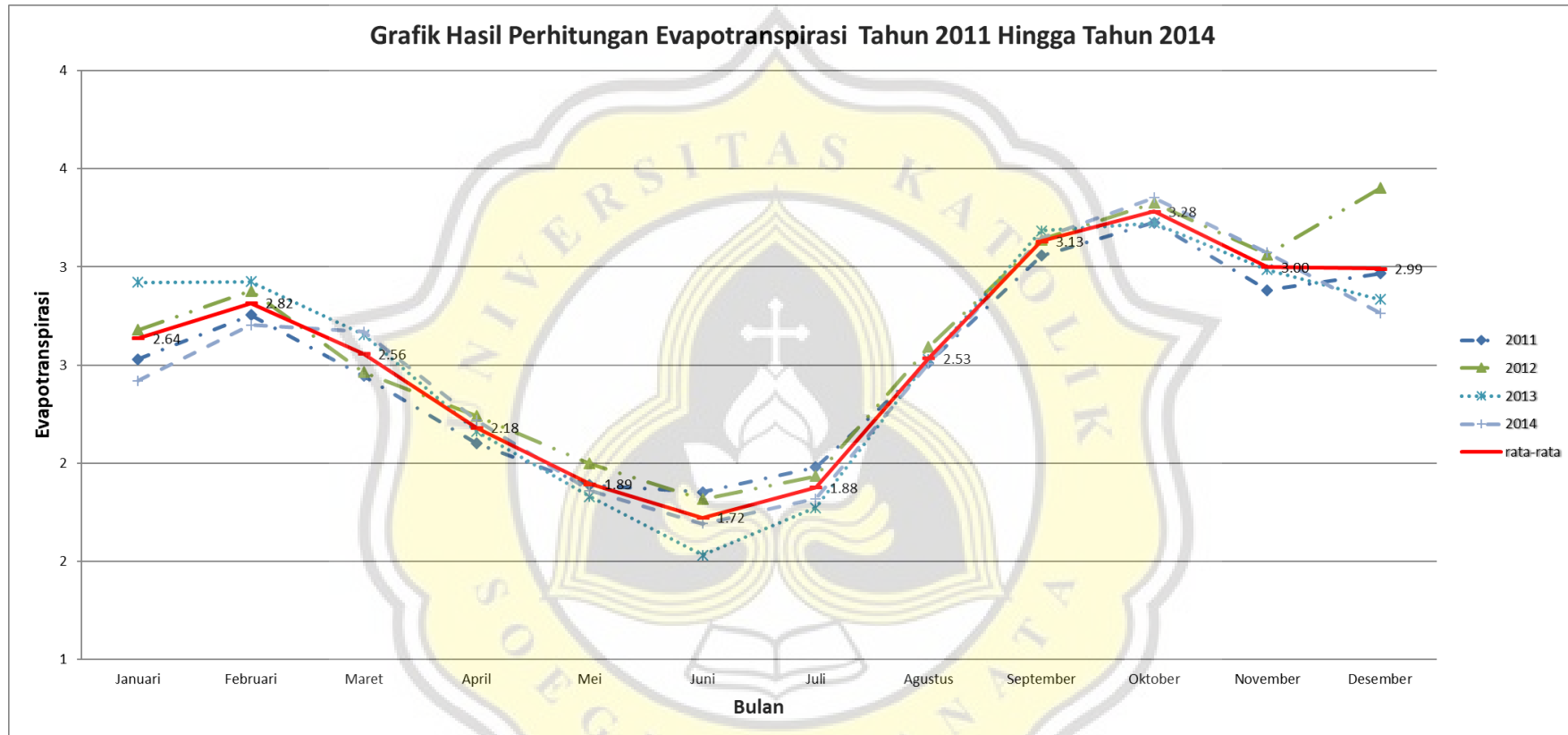
Hasil perhitungan evapotranspirasi dari tahun 2011 hingga 2014 dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Evapotranspirasi Dari Tahun 2011 Hingga 2014

Bulan	Satuan	ETo 2011	ETo 2012	ETo 2013	ETo 2014	Eto Rata-rata
Januari	mm/hari	2.53	2.68	2.92	2.42	2.64
Februari	mm/hari	2.76	2.88	2.93	2.70	2.82
Maret	mm/hari	2.44	2.46	2.65	2.67	2.56
April	mm/hari	2.10	2.24	2.16	2.22	2.18
Mei	mm/hari	1.89	2.00	1.83	1.86	1.89
Juni	mm/hari	1.85	1.82	1.53	1.69	1.72
Juli	mm/hari	1.98	1.93	1.77	1.82	1.88
Agustus	mm/hari	2.51	2.59	2.53	2.51	2.53
September	mm/hari	3.06	3.14	3.18	3.15	3.13
Oktober	mm/hari	3.23	3.33	3.22	3.35	3.28
November	mm/hari	2.88	3.06	2.99	3.07	3.00
Desember	mm/hari	2.97	3.40	2.83	2.76	2.99



Grafik hasil perhitungan evapotranspirasi dari tahun 2011 hingga 2014 dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik Evapotranspirasi Tahun 2011-2014



4.2.3. Analisis Debit Ketersediaan Air

Analisis debit ketersediaan air menggunakan Metode *Mock*, dengan metode ini digunakan untuk perhitungan debit aliran rendah. Metode ini memiliki dua pendekatan perhitungan, yaitu neraca air di atas permukaan tanah dan neraca air dibawah tanah yang keduanya berdasarkan hujan, iklim dan kondisi tanah. Data jumlah hari hujan menggunakan jumlah hari hujan terbanyak pada bulan tersebut. Seperti contoh pada bulan Januari 2011 yang dapat dilihat pada Tabel 4.10. Jumlah Hari Hujan Stasiun Cendono Dawe dan Stasiun Tanjungrejo

Tabel 4.10 Jumlah Hari Hujan Stasiun Cendono Dawe, dan Tanjungrejo

Tahun	Januari		Februari		Maret		April		Mei		Juni	
	Jan-1	Jan-2	Feb-1	Feb-2	Mar-1	Mar-2	Apr-1	Apr-2	Mei-1	Mei-2	Jun-1	Jun-2
2011	13	14	10	11	11	13	9	8	5	4	1	1
2012	13	13	10	10	12	7	7	2	3	1	3	1
2013	13	15	9	12	9	7	7	9	6	11	7	6
2014	10	16	10	9	10	6	9	8	5	4	1	6
2015	11	13	12	6	12	6	11	10	2	0	0	0
2016	5	14	14	10	11	10	9	7	5	10	0	0
2017	11	12	15	10	8	12	9	4	5	2	4	4
2018	12	14	15	10	8	7	4	5	1	6	0	2
2019	9	14	9	6	9	12	6	5	4	1	1	0
2020	14	8	12	13	8	7	8	5	2	7	1	2
Tahun	Juli		Agustus		September		Oktober		November		Desember	
	Jul-1	Jul-2	Ags-1	Ags-2	Sep-1	Sep-2	Okt-1	Okt-2	Nov-1	Nov-2	Des-1	Des-2
2011	2	1	0	0	1	0	0	3	6	11	9	11
2012	1	0	0	0	0	2	5	2	7	8	12	14
2013	5	3	0	0	3	0	2	6	8	8	12	12
2014	5	6	2	1	0	2	1	1	5	6	11	12
2015	0	0	0	0	0	0	0	1	5	8	13	10
2016	2	6	3	1	2	9	9	10	8	9	10	12
2017	2	2	0	0	0	3	5	4	5	9	7	12
2018	0	1	0	0	1	1	1	6	7	9	9	9
2019	1	0	1	1	0	1	0	1	8	2	4	8
2020	3	3	1	1	1	3	3	8	8	7	14	12

BBWS 2021

Berikut contoh perhitungan debit tersedia pada DAS Logung bulan Januari periode 1 tahun 2011.

1. Pada perhitungan ini digunakan data sebagai berikut periode 1 dan 2 setengah bulanan/15 hari.
 - a. Curah hujan (P) bulan Januari 2011 periode 1 = 266,64 mm/15 hari, yang (dapat dilihat pada Tabel 4.5).

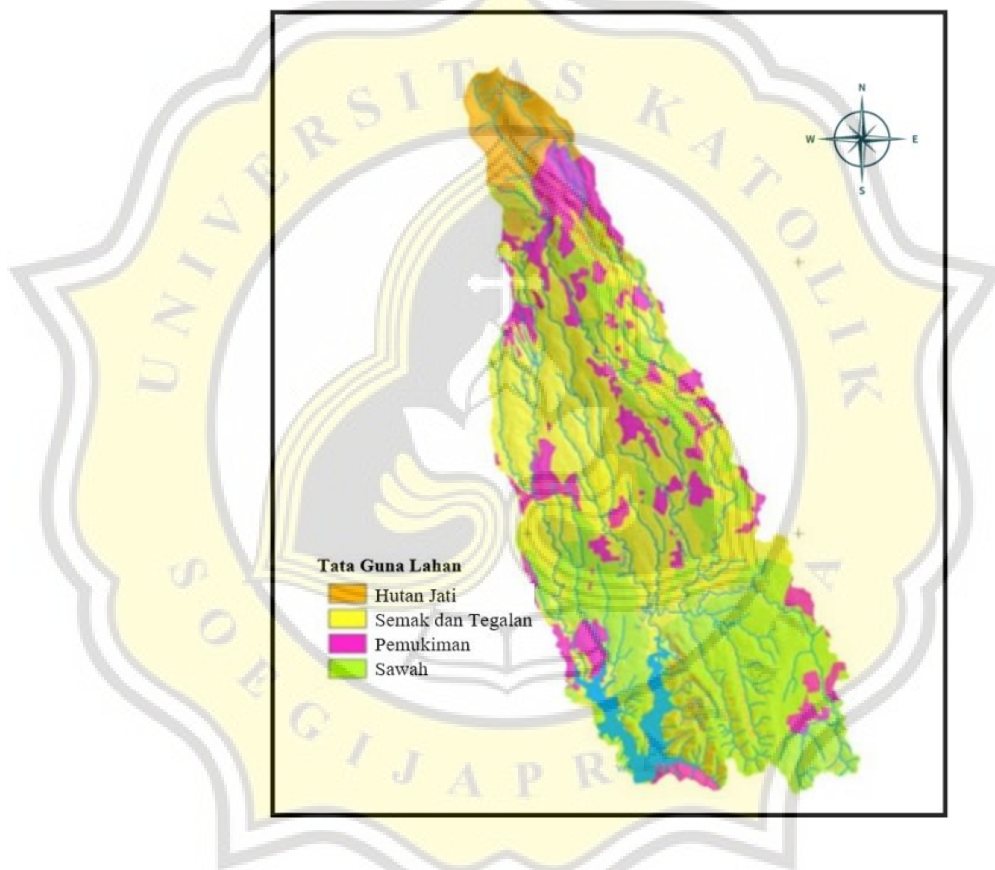
b. Jumlah hari hujan (h) bulan Januari periode 1 = 13 hari (dapat di lihat pada Tabel 4.10).

2. Perhitungan debit tersedia

Langkah 1: perhitungan evapotranspirasi (ET_0)

Nilai evapotranspirasi didapat dari hasil perhitungan sebelumnya, maka $ET_0 = 2,64$ mm/hari yang dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Langkah 2: menentukan nilai persentase lahan yang tidak tertutup vegetasi (m).



Gambar 4.4 Kondisi Tata Guna Lahan DAS Logung
(Sumber: BBWS Pemali Juana, 2021)

Berdasarkan data tata guna lahan DAS Logung tahun 2019, tata guna lahan di DAS Logung terdiri dari hutan jati (lahan perhutani) 18% seluas 8,631 Ha, semak dan tegalan 27% seluas 12,9465 Ha, sawah 31% seluas 14,8645 Ha, dan area pemukiman sebesar 24% seluas 11,508 Ha.

Karena pada bulan Januari jumlah curah hujan masih tinggi yang berarti kondisi vegetasi sedang lebat maka $m = 0\%$ yang berarti vegetasi lebat,



Tugas Akhir
Simulasi Pola Operasi Waduk Logung Kabupaten Kudus (Studi Kasus
Untuk Kebutuhan Air Irigasi)

dan bertambah 10 % setiap menuju musim kemarau atau berkurangnya curah hujan pada data curah hujan, $m = 30 - 50$ % untuk lahan pertanian yang diolah (misal sawah, ladang)

Nilai m pada bulan Januari didapat dari hasil analisis Tabel 4.11 sebagai berikut. m adalah nilai persentase lahan tidak tertutup vegetasi, sedangkan m_x adalah persentase lahan tidak tertutup vegetasi dikalikan dengan persentase luas lahan.

Tabel 4.11 Analisis Nilai Persentase Lahan Tidak Tertutup Vegetasi (m)

Kondisi Vegetasi DAS Logung	Prosentase Luas Lahan (%)	m (%)											
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sept	Okt	Nov	Des
Hutan jati	18	0	0	10	20	30	40	50	40	30	20	10	0
Persawahan	31	30	40	50	50	40	30	30	40	50	50	40	30
Semak dan Tegalan	27	0	0	10	15	20	25	0	0	10	15	20	25
Pemukiman	24	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

Kondisi Vegetasi DAS Logung	Prosentase Luas Lahan (%)	m _x (%)											
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sept	Okt	Nov	Des
Hutan jati	18	0	0,0	1,8	3,6	5,4	7,2	9,0	7,2	5,4	3,6	1,8	0
Persawahan	31	9,3	12,4	15,5	15,5	12,4	9,3	9,3	12,4	15,5	15,5	12,4	9,3
Semak dan Tegalan	27	0,0	0,0	2,7	4,1	5,4	6,8	0	0	2,7	4,1	5,4	6,8
Pemukiman	24	6,0	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Total Nilai m _x		15,3	18,7	26,3	29,4	29,5	29,5	24,3	25,6	29,6	29,2	25,6	22,1

$$\begin{aligned} m_{x \text{ Januari}} &= (A1 \times m1) + (A2 \times m2) + (A3 \times m3) + (A4 \times m4) \\ &= (18\% \times 0\%) + (30\% \times 30\%) + (27\% \times 0\%) + (24\% \times 25\%) \\ &= 0\% + 9,3\% + 0\% + 6\% \\ &= 15,3\% \text{ (dapat dilihat pada Tabel 4.11)} \end{aligned}$$

Nilai m pada bulan Januari digunakan 15% yang didapat dari total nilai m_x bulan Januari dari empat kondisi vegetasi penutup lahan di DAS Logung



Langkah 3: perhitungan perbedaan evapotranspirasi tanaman acuan dan terbatas (E).

Januari 2011 = 13 hari (dapat dilihat pada Tabel 4.10)

$$\begin{aligned} E &= \left(\frac{m}{20}\right) \times (18 - h) \times ET_0 \dots\dots\dots(2.20) \\ &= \left(\frac{15,3\%}{20}\right) \times (18 - 13) \times 2,64 \\ &= 0,10 \text{ mm / 15 hari (dapat dilihat pada Tabel 4.12)} \end{aligned}$$

Langkah 4: perhitungan evapotranspirasi terbatas/aktual (Et)

$$\begin{aligned} Et &= ET_0 - E \dots\dots\dots(2.19) \\ &= 2,64 - 0,10 \\ &= 2,54 \text{ mm/15 hari (dapat dilihat pada Tabel 4.12)} \end{aligned}$$

Langkah 5: perhitungan hujan *netto* (ΔS)

$$\begin{aligned} \Delta S &= P - Et \dots\dots\dots(2.21) \\ &= 266,64 - 2,54 \\ &= 264,10 \text{ mm / 15 hari (dapat dilihat pada Tabel 4.12)} \end{aligned}$$

Langkah 6: perhitungan aliran permukaan saat kondisi hujan lebat

Faktor aliran hujan lebat (PF) digunakan sebesar 45% berdasarkan kajian terdahulu yang disusun oleh Nugroho S, dkk pada tahun 2020 yang berlokasi di Waduk Randugunting, Kabupaten Blora.

$$\begin{aligned} \text{Hujan lebat} &= PF \times P \dots\dots\dots(2.23) \\ &= 45\% \times 266,64 \\ &= 119,99 \text{ mm /15 hari (dapat dilihat pada Tabel 4.12)} \end{aligned}$$

Langkah 7: perhitungan kandungan air tanah (SS)

$$\begin{aligned} SS &= \Delta S - \text{aliran permukaan hujan lebat} \dots\dots\dots(2.22) \\ &= 264,10 - 119,99 \\ &= 144,11 \text{ mm/15 hari (dapat dilihat pada Tabel 4.12)} \end{aligned}$$

Langkah 8: menentukan kapasitas kelembaban tanah / *Soil Moisture Capacity* (SMC). Dapat dilihat pada Gambar 4.4 Kondisi Tata Guna Lahan DAS Logung jenis tanaman di sekitar Waduk Logung merupakan pohon jati yang masuk ke dalam tipe tanaman dengan akar dalam, dan penelitian terdahulu Afrison Simarmata, 2018 Universitas Semarang dengan hasil



penelitian Indeks Plastis yang dapat dilihat pada Gambar 2.7. Nilai SMC dapat dilihat pada Tabel 2.5 karena tanaman disekitar waduk Logung adalah pohon jati dan tanah lempung, Maka nilai SMC diambil sebesar 200 mm. Sehingga nilai *Soil Moisture* (SM) sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{SM} &= \text{SMC} + \text{SS} \dots\dots\dots(2.24) \\ &= 200 + 144,11 \\ &= 344,11 \text{ mm/15 hari (dapat dilihat pada Tabel 4.12)} \end{aligned}$$

Jika hasil perhitungan *Soil Moisture* (SM) melebihi *Soil Moisture Capacity* (SMC) maka nilai SM sama dengan nilai SMC yaitu 200 mm.

Langkah 9: perhitungan kelebihan air (WS)

$$\begin{aligned} \text{WS} &= \Delta S - \text{SS} \dots\dots\dots(2.25) \\ &= 264,10 - 144,11 \\ &= 119,99 \text{ mm/15 hari (dapat dilihat pada Tabel 4.12)} \end{aligned}$$

Langkah 10: perhitungan laju infiltrasi (I)

Untuk perhitungan laju infiltrasi dibutuhkan nilai koefisien infiltrasi (i), nilai yang digunakan sebesar 0,4 berdasarkan kajian terdahulu yang disusun oleh Nugroho S, dkk pada tahun 2020 yang berlokasi di Waduk Randugunting, Kabupaten Blora.

$$\begin{aligned} \text{I} &= \text{WS} \times i \\ &= 119,99 \times 0,4 \\ &= 47,99 \text{ mm / 15 hari (dapat dilihat pada Tabel 4.12)} \end{aligned}$$

Langkah 11: perhitungan volume penyimpanan air tanah (V_n)

Nilai k diambil 0,6 berdasarkan kajian terdahulu yang disusun oleh Nugroho S, dkk pada tahun 2020 yang berlokasi di Waduk Randugunting, Kabupaten Blora. Pada perhitungan volume penyiapan air tanah dibutuhkan nilai V_{n-1} . Nilai V_{n-1} pada perhitungan V_n bulan Januari tahun 2011 diasumsikan sebesar 71,42 mm/15 hari dengan pertimbangan pada bulan desember masih dalam musim hujan.

$$\begin{aligned} \text{V}_n &= k \times \text{V}_{n-1} + 0,5 (1 + k) \times \text{I} \dots\dots\dots(2.27) \\ &= 0,6 \times 71,42 + 0,5 (1 + 0,6) \times 47,99 \\ &= 81,25 \text{ mm/15 hari (dapat dilihat pada Tabel 4.12)} \end{aligned}$$



Langkah 12: perhitungan perubahan volume air tanah (ΔV_n)

Perhitungan perubahan volume air dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \Delta V_n &= V_n - V_{n-1} \dots\dots\dots(2.28) \\ &= 81,25 - 71,42 \\ &= 9,83 \text{ mm/15 hari} \end{aligned}$$

Langkah 13: perhitungan aliran dasar / *base flow* (BF)

Perhitungan aliran dasar dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{BF} &= I - \Delta V_n \dots\dots\dots(2.29) \\ &= 47,99 - 9,83 \\ &= 38,17 \text{ mm/15 hari (dapat dilihat pada Tabel 4.12)} \end{aligned}$$

Langkah 14: perhitungan aliran permukaan / *Direct Run Off* (DRo)

Perhitungan aliran permukaan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{DRo} &= \text{WS} - I \dots\dots\dots(2.30) \\ &= 119,99 - 47,99 \\ &= 71,99 \text{ mm/15 hari (dapat dilihat pada Tabel 4.12)} \end{aligned}$$

Langkah 15: perhitungan aliran sungai / *Run Off* (Ro)

Perhitungan aliran sungai dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Ro} &= \text{BF} + \text{DRo} \dots\dots\dots(2.31) \\ &= 37,95 + 71,99 \\ &= 110,16 \text{ mm/15 hari (dapat dilihat pada Tabel 4.12)} \end{aligned}$$

Langkah 16: perhitungan debit aliran sungai

Setelah semua proses perhitungan diatas dilakukan, kemudian dilanjutkan dengan mencari debit aliran sungai, dengan persamaan dibawah ini:

$$\begin{aligned} \text{Debit aliran sungai} &= \text{Luas DAS} \times \frac{\text{RO} \times 0,001\text{m}}{86.400 \text{ detik}} \\ &= 47,950.000 \text{ m}^2 \times \frac{110,16 \times 0,001\text{m}}{86.400 \text{ detik}} \\ &= 61,14 \text{ m}^3/\text{detik (dapat dilihat pada Tabel 4.12)} \end{aligned}$$



3. Hasil perhitungan debit tersedia

Hasil perhitungan debit pada per bulan pada tahun 2011 yang dapat dilihat pada Tabel 4.12

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Debit Ketersediaan Air Bulanan Tahun 2011

No	Uraian	Satuan	2011											
			Januari		Februari		Maret		April		Mei		Juni	
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
I	Data hujan													
1	Curah hujan (P)	mm/15 hari	266.64	268.44	257.89	100.43	218.78	272.80	192.52	110.44	26.56	79.63	0.83	3.51
2	Jumlah hari hujan (h)	hari	13	14	10	11	11	13	9	8	5	4	1	1
II	Evapotranspirasi terbatas													
3	Evapotranspirasi potensial (ET _o)	mm/hari	2.64	2.64	2.82	2.82	2.56	2.56	2.18	2.18	1.89	1.89	1.72	1.72
4	Permukaan lahan terbuka (m)	%	15.30	15.30	18.70	18.70	26.30	26.30	29.40	29.40	29.50	29.50	29.50	29.50
5	$(m/20) \times (18-h)$		0.04	0.03	0.08	0.07	0.10	0.07	0.13	0.15	0.20	0.21	0.26	0.26
6	$E = (ET_o) \times (m/20) \times (18-h)$	mm/15 hari	0.10	0.08	0.22	0.20	0.25	0.17	0.29	0.32	0.38	0.39	0.44	0.44
7	$E_t = ET_o - E$	mm/15 hari	2.54	2.56	2.59	2.62	2.31	2.39	1.89	1.86	1.52	1.50	1.28	1.28
III	Keseimbangan air													
8	Perubahan kandungan air tanah (ΔS)	mm/15 hari	264.10	265.88	255.30	97.81	216.48	270.41	190.63	108.58	25.04	78.13	-0.45	2.23
9	Aliran permukaan (hujan lebat)	mm/15 hari	119.99	120.80	116.05	45.19	98.45	122.76	86.63	49.70	11.95	35.84	0.37	1.58
10	Kandungan air tanah (SS)	mm/15 hari	144.11	145.09	139.25	52.62	118.02	147.65	103.99	58.88	13.09	42.29	-0.82	0.65
11	Kapasitas kelembaban air tanah (SM)	mm/15 hari	344.11	345.09	339.25	252.62	318.02	347.65	303.99	258.88	213.09	242.29	199.18	200.65
12	Kelebihan air (Ws)	mm/15 hari	119.99	120.80	116.05	45.19	98.45	122.76	86.63	49.70	11.95	35.84	0.37	1.58
IV	Aliran dan simpanan air tanah													
13	Koefisien infiltrasi (i)		0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
14	Infiltrasi (I)	mm/15 hari	47.99	48.32	46.42	18.08	39.38	49.10	34.65	19.88	4.78	14.33	0.15	0.63
15	$0.5(1+k)(I)$		38.40	38.66	37.14	14.46	31.50	39.28	27.72	15.90	3.82	11.47	0.12	0.50
16	$V_n - 1$		71.42	81.25	87.40	89.58	68.21	72.43	82.74	77.37	62.32	41.22	36.20	21.84
17	$k \times V(n-1)$		42.85	48.75	52.44	53.75	40.93	43.46	49.64	46.42	37.39	24.73	21.72	13.10
18	Volume penyimpanan (V_n)	mm/15 hari	81.25	87.40	89.58	68.21	72.43	82.74	77.37	62.32	41.22	36.20	21.84	13.61
19	Perubahan volume (ΔV_n)	mm/15 hari	9.83	6.16	2.17	-21.37	4.22	10.31	-5.37	-15.04	-21.10	-5.02	-14.36	-8.23
20	Aliran dasar (BF)	mm/15 hari	38.17	42.16	44.25	39.45	35.16	38.79	40.03	34.92	25.89	19.35	14.51	8.86
21	Aliran Langsung DRO)	mm/15 hari	71.99	72.48	69.63	27.12	59.07	73.66	51.98	29.82	7.17	21.50	0.22	0.95
22	Aliran (Run off)	mm/15 hari	110.16	114.64	113.88	66.56	94.23	112.45	92.01	64.74	33.06	40.86	14.73	9.81
V	Debit aliran sungai													
23	Debit aliran sungai	m ³ /dt	61.14	63.62	63.20	36.94	52.30	62.41	51.06	35.93	18.35	22.67	8.18	5.44



Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Debit Ketersediaan Air Bulanan Tahun 2011 (lanjutan)

No	Uraian	Satuan	2011											
			Juli		Agustus		September		Oktober		November		Desember	
I	Data hujan		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Curah hujan (P)	mm/15 hari	9.23	1.17	0.00	0.00	76.71	0.00	0.00	47.36	187.73	175.64	298.20	204.74
2	Jumlah hari hujan (h)	hari	2	1	0	0	1	0	0	3	6	11	9	11
II	Evapotranspirasi terbatas													
3	Evapotranspirasi potensial (ET _o)	mm/hari	1.88	1.88	2.53	2.53	3.13	3.13	3.28	3.28	3.00	3.00	2.99	2.99
4	Permukaan lahan terbuka (m)	%	24.30	24.30	25.60	25.60	29.60	29.60	29.20	29.20	25.60	25.60	22.10	22.10
5	(m/20) x (18 - h)		0.20	0.21	0.23	0.23	0.25	0.27	0.26	0.22	0.15	0.09	0.10	0.08
6	E = (ET _o) x (m/20) x (18 - h)	mm/15 hari	0.38	0.40	0.58	0.58	0.79	0.83	0.86	0.72	0.46	0.27	0.31	0.25
7	Et = ET _o - E	mm/15 hari	1.50	1.48	1.95	1.95	2.34	2.30	2.42	2.56	2.54	2.73	2.68	2.74
III	Keseimbangan air													
8	Perubahan kandungan air tanah (Δs)	mm/15 hari	7.73	-0.31	-1.95	-1.95	74.37	-2.30	-2.42	44.80	185.19	172.91	295.52	202.00
9	Aliran permukaan (hujan lebat)	mm/15 hari	4.16	0.53	0.00	0.00	34.52	0.00	0.00	21.31	84.48	79.04	134.19	92.13
10	Kandungan air tanah (SS)	mm/15 hari	3.58	-0.83	-1.95	-1.95	39.85	-2.30	-2.42	23.49	100.71	93.87	161.33	109.86
11	Kapasitas kelembaban air tanah (SM)	mm/15 hari	203.58	199.17	198.05	198.05	239.85	197.70	197.58	223.49	300.71	293.87	361.33	309.86
12	Kelebihan air (Ws)	mm/15 hari	4.16	0.53	0.00	0.00	34.52	0.00	0.00	21.31	84.48	79.04	134.19	92.13
IV	Aliran dan simpanan air tanah													
13	Koefisien infiltrasi (i)		0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
14	Infiltrasi (I)	mm/15 hari	1.66	0.21	0.00	0.00	13.81	0.00	0.00	8.53	33.79	31.61	53.68	36.85
15	0,5 (1 + k) (I)		1.33	0.17	0.00	0.00	11.05	0.00	0.00	6.82	27.03	25.29	42.94	29.48
16	V _{n-1}		13.61	9.49	5.87	3.52	2.11	12.31	7.39	4.43	9.48	32.72	44.92	69.90
17	k x V _(n-1)		8.16	5.70	3.52	2.11	1.27	7.39	4.43	2.66	5.69	19.63	26.95	41.94
18	Volume penyimpanan (V _n)	mm/15 hari	9.49	5.87	3.52	2.11	12.31	7.39	4.43	9.48	32.72	44.92	69.90	71.42
19	Perubahan volume (ΔV _n)	mm/15 hari	-4.11	-3.63	-2.35	-1.41	10.20	-4.93	-2.96	5.05	23.24	12.20	24.97	1.52
20	Aliran dasar (BF)	mm/15 hari	5.78	3.84	2.35	1.41	3.61	4.93	2.96	3.48	10.55	19.41	28.71	35.33
21	Aliran Langsung DRO)	mm/15 hari	2.49	0.32	0.00	0.00	20.71	0.00	0.00	12.79	50.69	47.42	80.51	55.28
22	Aliran (Run off)	mm/15 hari	8.27	4.16	2.35	1.41	24.32	4.93	2.96	16.27	61.24	66.83	109.22	90.61
V	Debit aliran sungai													
23	Debit aliran sungai	m ³ /dt	4.59	2.31	1.30	0.78	13.50	2.73	1.64	9.03	33.99	37.09	60.61	50.29



Berdasarkan data hujan tahun 2011 - 2020, didapat hasil perhitungan debit tersedia pada DAS Logung yang dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Rekap Debit Ketersediaan Air Tahun 2011-2020

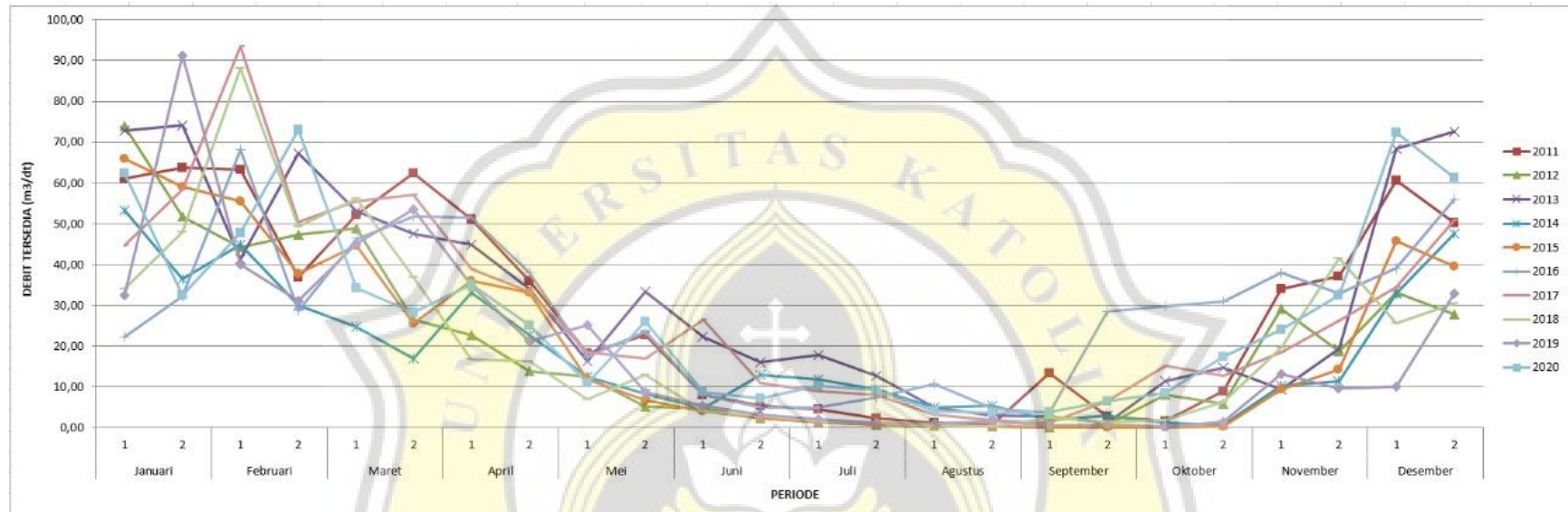
Tahun	Satuan	Januari		Februari		Maret		April		Mei		Juni	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
2011	m ³ /dt	61.14	63.62	63.20	36.94	52.30	62.41	51.06	35.93	18.35	22.67	8.18	5.44
2012	m ³ /dt	73.84	51.86	44.26	47.21	48.81	26.43	22.70	13.92	12.52	5.15	4.86	2.37
2013	m ³ /dt	72.78	74.04	41.32	67.36	53.01	47.63	44.81	34.07	16.30	33.42	22.25	16.09
2014	m ³ /dt	53.24	36.53	44.78	30.13	24.73	16.96	33.12	22.66	12.54	8.36	4.74	12.89
2015	m ³ /dt	65.87	59.15	55.53	37.82	44.68	25.67	36.05	33.21	11.86	6.71	4.02	2.41
2016	m ³ /dt	22.36	32.30	68.21	28.69	46.32	51.80	51.61	38.04	17.37	23.57	8.12	4.87
2017	m ³ /dt	44.75	58.46	93.37	50.32	55.61	57.15	38.99	33.43	18.52	16.85	26.57	10.94
2018	m ³ /dt	33.98	47.93	88.19	49.32	56.20	36.84	16.82	16.33	7.02	13.02	4.15	3.03
2019	m ³ /dt	32.38	91.26	39.99	31.22	45.01	53.45	34.92	21.24	25.14	8.69	5.37	3.14
2020	m ³ /dt	62.38	32.53	47.66	73.00	34.14	28.24	35.11	25.19	11.06	25.98	8.75	7.17
Jumlah	m ³ /dt	522.71	547.69	586.51	452.01	460.79	406.57	365.20	274.04	150.66	164.42	97.01	68.35
Rerata (\bar{Q})	mm ³ /dt	52.27	54.77	58.65	45.20	46.08	40.66	36.52	27.40	15.07	16.44	9.70	6.83
Simp. Baku (Sd)	mm ³ /dt	18.05	18.86	19.35	15.38	9.94	15.77	11.10	8.63	5.11	9.59	8.01	4.86
Koef. Korelasi (rj)	mm ³ /dt	0.20	0.09	-0.22	-0.05	0.15	0.66	0.60	0.91	0.37	0.12	0.57	0.70
Koef. Regresi (bj)	mm ³ /dt	0.25	0.09	-0.23	-0.04	0.10	1.04	0.42	0.71	0.22	0.22	0.47	0.42



Tabel 4.13 Rekap Debit Ketersediaan Air Tahun 2011-2020 (lanjutan)

Tahun	Satuan	Juli		Agustus		September		Oktober		November		Desember	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
2011	m ³ /dt	4.59	2.31	1.30	0.78	13.50	2.73	1.64	9.03	33.99	37.09	60.61	50.29
2012	m ³ /dt	1.50	0.83	0.50	0.30	0.18	0.77	8.17	5.88	29.09	18.69	33.15	27.87
2013	m ³ /dt	17.77	12.82	4.88	2.93	2.83	1.26	11.30	14.72	9.45	19.36	68.38	72.68
2014	m ³ /dt	11.82	9.31	4.87	5.33	1.93	2.97	1.14	0.84	10.38	11.34	33.00	47.56
2015	m ³ /dt	1.45	0.87	0.52	0.31	0.19	0.11	0.07	0.28	9.48	14.20	45.73	39.63
2016	m ³ /dt	5.08	7.50	10.64	4.74	3.62	28.57	29.82	30.95	37.97	33.00	39.03	56.06
2017	m ³ /dt	8.92	8.06	3.10	1.86	1.12	6.63	15.17	12.64	18.47	26.22	34.51	50.95
2018	m ³ /dt	1.60	1.27	0.63	0.38	2.58	1.44	1.78	6.26	19.56	41.47	25.69	30.48
2019	m ³ /dt	2.08	1.17	0.90	1.56	0.48	0.79	0.27	1.43	13.19	9.61	10.14	32.97
2020	m ³ /dt	10.31	9.22	3.99	3.61	3.92	6.53	8.58	17.33	24.15	32.45	72.26	61.31
Jumlah	m ³ /dt	65.13	53.35	31.33	21.80	30.34	51.80	77.94	99.35	205.72	243.42	422.50	469.80
Rerata (\bar{Q})	mm ³ /dt	6.51	5.34	3.13	2.18	3.03	5.18	7.79	9.94	20.57	24.34	42.25	46.98
Simp. Baku (Sd)	mm ³ /dt	5.53	4.50	3.19	1.88	3.92	8.53	9.35	9.46	10.43	11.28	19.65	14.39
Koef. Korelasi (rj)	mm ³ /dt	0.96	0.95	0.68	0.84	-0.03	0.10	0.89	0.92	0.62	0.65	0.32	0.77
Koef. Regresi (bj)	mm ³ /dt	1.10	0.77	0.48	0.50	-0.06	0.21	0.97	0.93	0.69	0.71	0.55	0.57

Berikut adalah grafik debit tersedia dari tahun 2011 – 2020 yang dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik Debit Ketersediaan Air Tahun 2011 – 2020



4.2.4. Analisis Bangkitan Data Debit *Inflow*

Hasil dari perhitungan debit yang tersedia pada Waduk Logung dari tahun 2011 hingga 2020 diperoleh data debit *inflow* untuk 50 tahun kedepan. Pembangkitan data pada perhitungan analisis ini menggunakan metode *Thomas-Fiering* untuk simulasi debit aliran sungai untuk 50 tahun kedepan. Metode ini dapat digunakan apabila data hidrologi yang dimiliki kurang panjang. Langkah perhitungan metode bangkitan debit *Thomas-Fiering* periode 15 harian untuk membangkitkan data debit *inflow* dapat dilihat pada Tabel 4.13. Ada 4 parameter statistik antara lain:

1. Nilai rata-rata (\bar{Q})
2. Simpangan baku (Sd)
3. Koefisien korelasi (r_j)
4. Koefisien regresi (b_j)
5. Bilangan random (t_i)

Dilakukan analisis sesuai parameter diatas, dengan contoh perhitungan pada bulan Januari periode 1, langkah analisis sebagai berikut:

Langkah 1: perhitungan nilai rata-rata debit *inflow* (\bar{Q})

Perhitungan nilai rata-rata debit *inflow* dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}\bar{Q} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_{i,j} \dots\dots\dots(2.35) \\ &= \frac{520,75}{10} \\ &= 52,08 \text{ mm}^3/\text{dt} \text{ (dapat dilihat pada Tabel 4.13)}\end{aligned}$$

Langkah 2: perhitungan nilai simpangan baku (Sd)

Perhitungan nilai simpangan baku dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}\text{Sd} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.36) \\ &= \sqrt{\frac{520,75}{10-1}} \\ &= 18,05 \text{ mm}^3/\text{dt} \text{ (dapat dilihat pada Tabel 4.13)}\end{aligned}$$

Langkah 3: perhitungan nilai koefisien korelasi (r_j)



Tabel 4.14 Perhitungan Keofisien Korelasi (rj)

Tahun	Des 2	Jan-01	$\bar{Q}_{j-1} - Q_{i,j-1}$	$\bar{Q}_j - Q_{i,j}$	$\bar{Q}_{j-1} - Q_{i,j-1} \times \bar{Q}_j - Q_{i,j}$	$(\bar{Q}_{j-1} - Q_{i,j-1})^2$	$(\bar{Q}_j - Q_{i,j})^2$
Qi	Qj-1 (mm3/dt)	Qj (mm3/dt)					
2011	50.29	61.14	3.31	8.86	29.30	10.93	78.58
2012	27.87	73.84	-19.11	21.57	-412.17	365.07	465.34
2013	72.68	72.78	25.70	20.51	526.92	660.27	420.50
2014	47.56	53.24	0.58	0.97	0.56	0.34	0.94
2015	39.63	65.87	-7.35	13.59	-99.98	54.09	184.80
2016	56.06	22.36	9.08	-29.91	-271.69	82.53	894.46
2017	50.95	44.75	3.97	-7.52	-29.85	15.75	56.58
2018	30.48	33.98	-16.50	-18.29	301.74	272.16	334.54
2019	32.97	32.38	-14.01	-19.90	278.66	196.19	395.82
2020	61.31	62.38	14.33	10.11	144.85	205.40	102.15
Rata-rata	46.98	52.27	Jumlah		468.35	1862.72	2933.71

$$R_j = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{Q}_{j-1} - Q_{i,j-1} \times \bar{Q}_j - Q_{i,j}}{\sqrt{\sum (\bar{Q}_{j-1} - Q_{i,j-1})^2 \times \sum (\bar{Q}_j - Q_{i,j})^2}} \dots\dots\dots(2.37)$$

$$= \frac{461,86}{\sqrt{2902,41 \times 1862,72}}$$

$$= 0,20 \text{ mm}^3/\text{dt} \text{ (dapat dilihat pada Tabel 4.13)}$$

Langkah 4: perhitungan nilai koefisien regresi (bj)

Tabel 4.15 Perhitungan Keofisien Regresi (bj)

Data	Tahun	Jan-01	Des 1	Qj × Qj-1	Qj-1^2	Qj^2
	Qi	Qj-1 (mm3/dt)	Qj (mm3/dt)			
1	2011	61.14	60.61	3705.70	3737.59	3674.09
2	2012	73.84	33.15	2448.02	5452.80	1099.04
3	2013	72.78	68.38	4976.21	5296.56	4675.24
4	2014	53.24	33.00	1757.22	2834.74	1089.28
5	2015	65.87	45.73	3011.92	4338.26	2091.08
6	2016	22.36	39.03	872.89	500.14	1523.45
7	2017	44.75	34.51	1544.15	2002.53	1190.70
8	2018	33.98	25.69	872.84	1154.71	659.78



Data	Tahun	Jan-01	Des 1	$Q_j \times Q_{j-1}$	Q_{j-1}^2	Q_j^2
	Q_i	Q_{j-1} (mm ³ /dt)	Q_j (mm ³ /dt)			
9	2019	32.38	10.14	328.28	1048.22	102.81
10	2020	62.38	72.26	4507.70	3891.07	5222.06
	Jumlah	522.71	422.50	24024.95	30256.61	21327.53

$$b_j = \frac{n \sum(Q_j \times Q_{j-1}) - \sum Q_j \times \sum Q_{j-1}}{n \sum Q_j^2 - (\sum Q_j)^2}$$

$$= \frac{(10 \times 23906,10) - (422,50 \times 520,75)}{(10 \times 21327,61) - 422,50^2}$$

$$= 0,25 \text{ mm}^3/\text{dt} \text{ (dapat dilihat pada Tabel 4.13)}$$

Sehingga diperoleh nilai rata-rata, simpangan baku, koefisien korelasi, dan koefisien regresi yang dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Langkah 5: Menentukan bilangan *random* (t_i) tiap periode dan tiap tahun hasil perhitungan bilangan random untuk tiap tahun.

Langkah 6: Tahap peramalan

Nilai rata-rata debit *inflow* (\bar{Q}) = 52,26 m³/dt (dapat dilihat pada Tabel 4.13)

Simpangan baku (sd) = 18,05 (dapat dilihat pada Tabel 4.13)

Koefisien korelasi (r_j) = 0,20 (dapat dilihat pada Tabel 4.13)

Koefisien regresi (b_j) = 0,25 (dapat dilihat pada Tabel 4.13)

Data debit 2020 Des P2 = 61,31 m³/dt (dapat dilihat pada Tabel 4.13)

Debit rata-rata 2020 Des P2 = 46,98 m³/dt (dapat dilihat pada Tabel 4.13)

Bilangan random Januari P1 = 0,3621 (dapat dilihat pada Tabel 4.17)

Contoh perhitungan nilai debit *inflow* bangkitan Q_{Januari} tahun ke 1 periode 1 dengan rumus sebagai berikut.

$$Q_{i+1,j} = \bar{Q} + b_j (Q_{i,j-1} - \bar{Q}_{j-1}) + t_i \cdot Sd_j (1 - (r_j)^2)^{0,5}$$

$$Q_{2020 \text{ Jan P1}} = \bar{Q}_{\text{Jan P1}} + b_{\text{Jan P1}} (Q_{2020 \text{ Des P2}} - \bar{Q}_{2019 \text{ Des P2}}) + t_{1\text{Jan P1}} \times Sd_{\text{Jan P1}} (1 - (r_{\text{Jan P1}})^2)^{0,5}$$

$$= 52,26 + 0,25 (61,31 - 46,98) + (0,3621 \times 18,05 (1 - (0,20)^2)^{0,5})$$

$$= 62,38 \text{ m}^3/\text{dt} \text{ (dapat dilihat pada Tabel 4.15)}$$

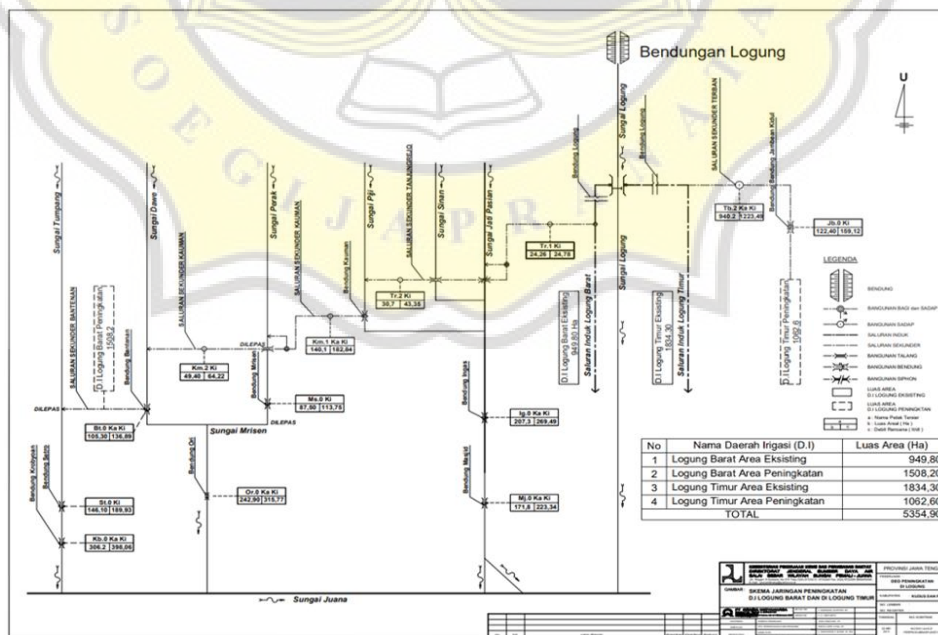
Sehingga diperoleh hasil perhitungan debit *inflow* bangkitan untuk 50 tahun yang akan datang (2021 – 2070).

4.3. Analisis Kebutuhan Air Irigasi Pola Tanam Eksisting

Pada analisis kebutuhan air irigasi, dilakukan perhitungan besar kebutuhan air yang dibutuhkan daerah irigasi Logung mulai dari persiapan lahan sesuai dengan kondisi eksisting. Kondisi eksisting pemanfaatan air irigasi pada daerah irigasi Logung perlu diperhatikan sebagai berikut:

1. Jenis tanaman yang ditanam berasal dari dua jenis, yaitu: padi dan palawija.
2. Variasi koefisien tanaman (Kc) padi adalah varietas unggul (FAO) dan tanaman palawija yaitu jagung yang dapat dilihat pada Tabel 2.7
3. Pola tata tanam eksisting yang ada pada daerah irigasi ini adalah Padi 1 pada bulan Oktober periode 1, Padi 2 pada bulan Maret periode 1, dan Palawija pada bulan Juni periode 1. Palawija yang digunakan sesuai dengan skema pola tata tanam yaitu jagung.
4. Kondisi eksisting saat ini 5.354,9 hektar yang ditanami padi dan jagung, adapun skema jaringan irigasinya.
5. Surat Keputusan Bupati Kudus untuk pola tata tanam Kabupaten Kudus Nomor 521/688/2012 Tahun 2012 dapat dilihat pada lampiran L-1

Daerah irigasi yang mendapat air dari sungai Logung yaitu DI Logung yang terletak di Kabupaten Kudus



Gambar 4.7 Skema DI Logung (PSDA Seluna)



4.3.1. Perhitungan Curah Hujan Efektif

Nilai curah hujan efektif dapat diambil dari data curah hujan efektif 15 harian. Nilai yang diambil 80% dari curah hujan minimum setengah bulanan. Berikut ini adalah contoh perhitungan curah hujan efektif pada bulan Januari. Untuk curah hujan setengah bulanan dari kedua pos stasiun hujan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Data Hujan 15 Harian DAS Logung Tahun 2011-2020

Tahun	Satuan	Januari		Februari		Maret		April		Mei		Juni	
		Jan-1	Jan-2	Feb-1	Feb-2	Mar-1	Mar-2	Apr-1	Apr-2	Mei-1	Mei-2	Jun-1	Jun-2
2011	mm/hari	269.00	287.00	267.00	106.00	223.00	282.50	191.00	108.50	28.50	75.50	1.00	3.00
2012	mm/hari	347.00	184.50	150.50	189.50	201.00	66.50	69.50	29.50	44.00	1.00	10.50	1.50
2013	mm/hari	377.50	338.00	129.50	310.50	205.00	158.00	170.00	104.00	21.50	146.00	71.00	43.00
2014	mm/hari	234.00	122.50	186.00	100.00	76.50	47.50	145.50	81.00	26.50	15.00	4.50	62.00
2015	mm/hari	353.50	266.00	235.50	114.00	179.00	75.00	144.00	129.50	6.00	0.00	0.00	0.00
2016	mm/hari	69.00	138.50	354.50	74.00	199.00	227.50	220.00	123.00	23.00	87.00	0.00	0.00
2017	mm/hari	191.50	261.50	464.00	156.50	222.50	225.50	123.50	108.50	35.00	50.50	110.00	19.00
2018	mm/hari	144.00	225.00	449.50	164.50	213.00	109.50	14.50	41.50	1.00	50.00	0.00	3.00
2019	mm/hari	132.50	496.50	109.50	81.50	187.00	229.00	103.00	46.00	96.50	0.50	1.00	0.00
2020	mm/hari	363.50	128.50	219.50	373.00	89.50	85.00	130.50	77.50	8.50	125.50	10.00	13.50

Tahun	Satuan	Juli		Agustus		September		Oktober		Nopember		Desember	
		Jul-1	Jul-2	Ags-1	Ags-2	Sep-1	Sep-2	Okt-1	Okt-2	Nop-1	Nop-2	Des-1	Des-2
2011	mm/hari	10.50	1.00	0.00	0.00	73.00	0.00	0.00	45.00	175.50	178.00	288.50	205.50
2012	mm/hari	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50	48.00	24.50	170.00	74.00	156.50	113.00
2013	mm/hari	60.50	37.50	0.00	0.00	6.00	0.00	60.50	74.00	34.50	90.00	352.00	340.00
2014	mm/hari	48.50	34.00	9.00	17.50	0.00	10.00	0.50	1.00	63.00	62.00	173.50	242.50
2015	mm/hari	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	53.50	66.00	258.50	186.00
2016	mm/hari	14.50	31.50	42.00	9.00	9.50	158.50	141.00	137.00	169.00	130.00	163.50	268.00
2017	mm/hari	22.50	23.00	0.00	0.00	0.00	32.50	77.00	54.50	82.50	117.50	157.00	257.50
2018	mm/hari	0.00	2.00	0.00	0.00	14.00	4.50	7.00	35.00	107.50	216.50	91.50	133.50
2019	mm/hari	1.00	0.00	1.00	7.00	0.00	2.50	0.00	9.00	79.50	37.50	46.50	161.50
2020	mm/hari	39.50	32.50	6.00	8.00	16.00	29.50	40.00	88.00	115.50	147.00	390.00	265.50



Tugas Akhir
Simulasi Pola Operasi Waduk Logung Kabupaten Kudus (Studi Kasus
Untuk Kebutuhan Air Irigasi)

Langkah 1: mengurutkan data hujan tiap periode (terkecil hingga terbesar)
Dari data hujan, kemudian dicari curah hujan efektifnya menggunakan grafik.
Data hujan diurutkan dari terkecil hingga terbesar seperti pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Data Curah Hujan 15 Harian Sebelum dan Sesudah Diurutkan

Tahun	Sebelum diurutkan		Sebelum diurutkan	
	Januari		Januari	
	1	2	1	2
2011	269,00	287,00	69,00	122,50
2012	347,00	184,50	132,50	128,50
2013	377,50	338,00	144,00	138,50
2014	234,00	122,50	191,50	184,50
2015	353,50	266,00	234,00	225,00
2016	69,00	138,50	269,00	261,50
2017	191,50	261,50	347,00	266,00
2018	144,00	225,00	353,50	287,00
2019	132,50	496,50	363,50	338,00
2020	363,50	128,50	377,50	496,50

Langkah 2: perhitungan probabilitas, R80 dan Re Digunakan rumus 2.45 untuk perhitungan probabilitas, digunakan data hujan pada bulan Januari sebagai contoh perhitungannya.

1. Perhitungan probabilitas pada bulan Januari periode 1

$$\begin{aligned} \text{Probabilitas} &= \frac{\text{Data ke-n}}{\Sigma \text{Data}+1} \times 100\% \dots\dots\dots(2.33) \\ &= \frac{1}{10+1} \times 100\% \\ &= 9,09\% \end{aligned}$$

2. Perhitungan R80 pada bulan Januari periode 1

Perhitungan R80 menggunakan grafik antara data hujan dan probabilitas, kemudian menggunakan metode *trendline* sehingga muncul persamaan untuk menghitung nilai curah hujan 80% (R80). Grafik yang dihasilkan harus menunjukkan kurva yang naik. Melalui grafik didapat persamaan, nilai koefisien x diinput nilai 20, karena kemungkinan yang ingin dipenuhi yaitu 80%. Jika nilai R80 bernilai negatif, maka nilai dianggap “nol”. Berikut adalah contoh perhitungan persamaan dan grafik pada bulan Januari periode 1.

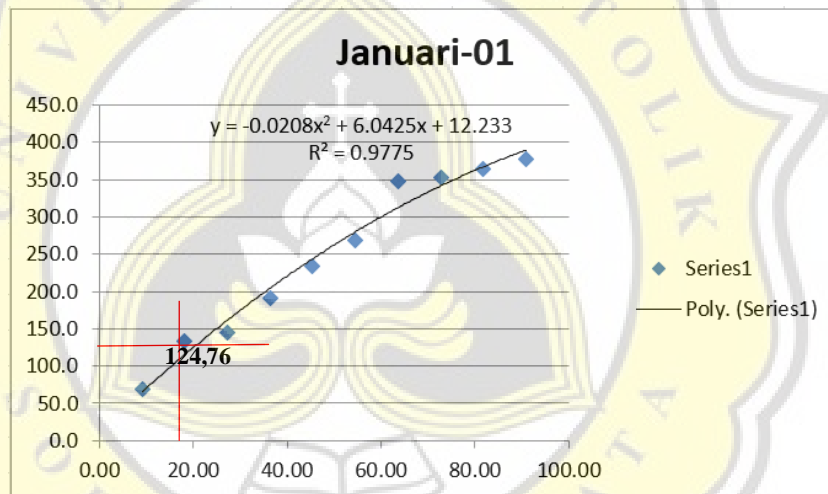


Tugas Akhir
Simulasi Pola Operasi Waduk Logung Kabupaten Kudus (Studi Kasus Untuk Kebutuhan Air Irigasi)

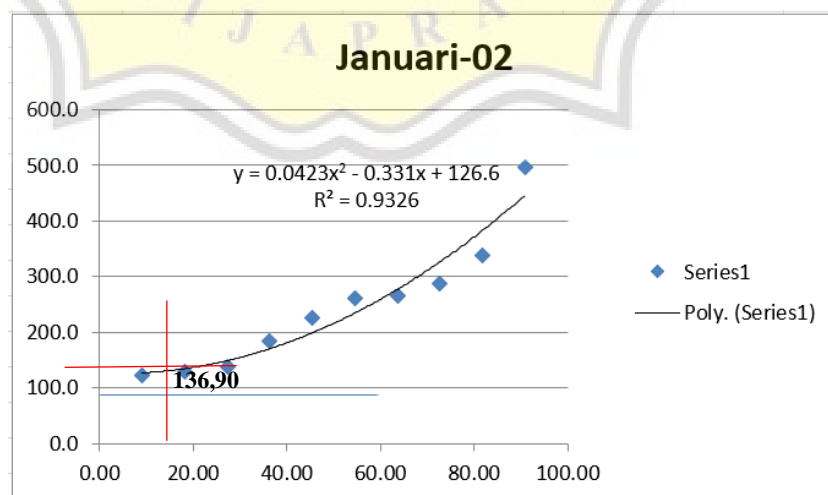
Tabel 4.18 Probabilitas dan Data Hujan Bulan Januari

Jan-01	Probabilitas	Data	Jan-02	Probabilitas	Data
1	9.09	69.0	1	9.09	122.5
2	18.18	132.5	2	18.18	128.5
3	27.27	144.0	3	27.27	138.5
4	36.36	191.5	4	36.36	184.5
5	45.45	234.0	5	45.45	225.0
6	54.55	269.0	6	54.55	261.5
7	63.64	347.0	7	63.64	266.0
8	72.73	353.5	8	72.73	287.0
9	81.82	363.5	9	81.82	338.0
10	90.91	377.5	10	90.91	496.5
R80 =		124.76	R80 =		136.90

Berikut adalah grafik pada bulan Januari periode 1 dan periode 2 yang dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.



Gambar 4.8 Grafik R80 Bulan Januari Periode 1



Gambar 4.9 Grafik R80 Bulan Januari Periode 2



Tugas Akhir
 Simulasi Pola Operasi Waduk Logung Kabupaten Kudus (Studi Kasus
 Untuk Kebutuhan Air Irigasi)

$$y = -0,0208x^2 + 6,0425x + 12,233$$

$$R_{80} = -0,0208 \times (20)^2 + 6,0425 \times (20) + 12,233$$

$$= 124,76 \text{ mm/hari (dapat dilihat pada Tabel 4.19)}$$

Sehingga didapat nilai R80 tiap bulannya tahun 2011 yang dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4. 19 Rekap Nilai Curah Hujan Efektif (R80)

Periode		R80 (mm)	Periode		R80 (mm)
Januari	1	124,76	Juli	1	14,50
	2	136,90		2	0,00
Pebruari	1	97,98	Agustus	1	0,18
	2	183,55		2	0,00
Maret	1	129,04	September	1	3,10
	2	32,58		2	8,84
April	1	75,95	Oktober	1	0,00
	2	45,10		2	8,33
Mei	1	25,96	November	1	51,42
	2	2,75		2	54,87
Juni	1	3,56	Desember	1	101,23
	2	0,32		2	36,51

3. Perhitungan curah hujan efektif (Re) tanaman padi pada bulan Januari periode 1.

$$Re = \frac{1}{15} \times 70\% \times 124,76$$

$$= 5,82 \text{ mm/hari (dapat dilihat pada Tabel 4.20)}$$

Sehingga didapat nilai Re untuk tanaman padi bulan Januari hingga Desember yang dapat dilihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Nilai Re Tanaman Padi Tahun 2011

Bulan	Januari		Februari		Maret		April		Mei		Juni	
Periode	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
R80 (mm/15 hari)	124,76	136,90	97,98	183,55	129,04	32,58	75,95	45,10	25,96	2,75	3,56	0,32
Re (mm/hari)	5,82	6,39	4,57	8,57	6,02	1,52	3,54	2,10	1,21	0,13	0,17	0,01

Bulan	Juli		Agustus		September		Oktober		November		Desember	
Periode	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
R80 (mm/15 hari)	14,50	0,00	0,18	0,00	3,10	8,84	0,00	8,33	51,42	54,87	101,23	36,51
Re (mm/hari)	0,68	0,00	0,01	0,00	0,14	0,41	0,00	0,39	2,40	2,56	4,72	1,70

4. Perhitungan curah hujan efektif (Re) tanaman palawija pada bulan Januari periode 1.



Tugas Akhir
Simulasi Pola Operasi Waduk Logung Kabupaten Kudus (Studi Kasus
Untuk Kebutuhan Air Irigasi)

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{1}{15} \times 50\% \times 124,76 \\ &= 4,16 \text{ mm/hari (dapat dilihat pada Tabel 4.21)} \end{aligned}$$

Sehingga didapat nilai Re untuk tanaman palawija bulan Januari hingga Desember yang dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4. 21 Nilai Re Tanaman Palawija Tahun 2011

Bulan	Januari		Februari		Maret		April		Mei		Juni	
Periode	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
R80 (mm/15 hari)	124,76	136,90	97,98	183,55	129,04	32,58	75,95	45,10	25,96	2,75	3,56	0,32
Re (mm/hari)	4,16	4,56	3,27	6,12	4,30	1,09	2,53	1,50	0,87	0,09	0,12	0,01

Bulan	Juli		Agustus		September		Oktober		November		Desember	
Periode	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
R80 (mm/15 hari)	14,50	0,00	0,18	0,00	3,10	8,84	0,00	8,33	51,42	54,87	101,23	36,51
Re (mm/hari)	0,48	0,00	0,01	0,00	0,10	0,29	0,00	0,28	1,71	1,83	3,37	1,22

4.3.2. Perhitungan Kebutuhan Air Penyiapan Lahan

Perhitungan kebutuhan air untuk penyiapan lahan pada analisis ini menggunakan metode yang dikembangkan oleh *Van de Goor* dan *Zijstra*. Metode ini menggunakan dasar laju air konstan dalam satuan lt/dt/ha selama periode penyiapan lahan. Dalam studi ini lamanya waktu yang digunakan untuk penyiapan lahan (T) adalah 30 hari. Berikut ini adalah contoh perhitungan kebutuhan air untuk penyiapan lahan sesuai dengan pola tanam eksisting pada bulan Oktober periode 1.

1. Perhitungan kebutuhan air untuk penyiapan lahan

Langkah 1: perhitungan evapotranspirasi

Dari perhitungan sebelumnya didapat nilai $ET_0 = 3,28$ mm/hari

Langkah 2: perhitungan air terbuka (E_o)

$$\begin{aligned} E_o &= 1,1 \times ET_0 \\ &= 1,1 \times 3,28 \\ &= 3,61 \text{ mm/hari (dapat dilihat pada Tabel 4.22)} \end{aligned}$$

Langkah 3: menentukan laju perkolasi (Pr)

Nilai laju perkolasi diambil berdasarkan dari Tabel 2.6 menurut Standar Perencanaan Irigasi KP-01, dan menurut data tanah yaitu lempung yang dapat dilihat pada Gambar 2.7 sehingga termasuk tanah dengan tekstur sedang. Maka nilai laju perkolasi diambil sebesar 2 mm/hari

Langkah 4: menentukan jangka waktu penyiapan lahan (T)



Lama penyiapan lahan menurut Standar Perencanaan Irigasi KP-01 yaitu 30 hari, karena dilakukan dengan peralatan mesin sehingga dalam jangka waktu satu bulan bisa dipertimbangkan.

Langkah 5: menentukan kebutuhan air untuk penjemuran (S)

Menurut Standar Perencanaan Irigasi KP-01, Kebutuhan air untuk pengolahan lahan sawah (*puddling*) dapat diambil 200 mm. Ini meliputi penjemuran (*presaturation*) dan penggenangan sawah pada awal transplantasi akan ditambahkan lapisan air 50 mm lagi. Angka 200 mm di atas mengandaikan bahwa tanah itu "bertekstur berat, cocok digenangi dan bahwa lahan itu belum bera (tidak ditanami) selama lebih dari 2,5 bulan. Jika tanah itu dibiarkan bera lebih lama lagi, ambillah 250 mm sebagai kebutuhan air untuk penyiapan lahan.

Langkah 6: perhitungan kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air akibat evapotranspirasi dan perkolasi (M).

$$\begin{aligned} M &= E_o + P \\ &= 3,61 + 2 \\ &= 5,61 \text{ mm/hari (dapat dilihat pada Tabel 4.22)} \end{aligned}$$

Langkah 7: perhitungan koefisien k

$$\begin{aligned} k &= M \times \frac{T}{S} \\ &= 5,61 \times \frac{30}{250} \\ &= 0,67 \text{ (dapat dilihat pada Tabel 4.22)} \end{aligned}$$

Langkah 8: perhitungan kebutuhan air irigasi di tingkat sawah untuk penyiapan lahan (IR)

$$\begin{aligned} IR &= M \times \frac{e^k}{e^k - 1} \\ &= 5,61 \times \frac{e^{0,59}}{e^{0,59} - 1} \\ &= 11,45 \text{ mm/hari (dapat dilihat pada Tabel 4.22)} \end{aligned}$$

2. Hasil perhitungan kebutuhan air untuk penyiapan lahan selama setahun dapat dilihat pada Tabel 4.22.



Tabel 4.22 Perhitungan Kebutuhan Air untuk Penyiapan Lahan

Uraian	Oktober		November		Desember		Januari		Februari		Maret	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
ET0 (mm/hari)	3.28	3.28	3.00	3.00	2.99	2.99	2.64	2.64	2.82	2.82	2.56	2.56
E0 (mm/hari)	3.61	3.61	3.30	3.30	3.29	3.29	2.90	2.90	3.10	3.10	2.81	2.81
P (mm/hari)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
T (hari)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
S (mm)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Re (mm/hari)	0.00	0.39	2.40	2.56	4.72	1.70	5.82	6.39	4.57	8.57	6.02	1.52
M (mm/hari)	5.61	5.61	5.30	5.30	5.29	5.29	4.90	4.90	5.10	5.10	4.81	4.81
k	0.67	0.67	0.64	0.64	0.63	0.63	0.59	0.59	0.61	0.61	0.58	0.58
IR (mm/hari)	11.45	11.45	11.26	11.26	11.26	11.26	11.02	11.02	11.14	11.14	10.97	10.97

Uraian	April		Mei		Juni		Juli		Agustus		September	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
ET0 (mm/hari)	2.18	2.18	1.89	1.89	1.72	1.72	1.88	1.88	2.53	2.53	3.13	3.13
E0 (mm/hari)	2.40	2.40	2.08	2.08	1.90	1.90	2.06	2.06	2.79	2.79	3.44	3.44
P (mm/hari)	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	2	2
T (hari)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
S (mm)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Re (mm/hari)	3.54	2.10	1.21	0.13	0.12	0.01	0.48	0.00	0.01	0.00	0.14	0.41
M (mm/hari)	4.40	4.40	4.08	4.08	1.90	1.90	2.06	2.06	2.79	2.79	5.44	5.44
k	0.53	0.53	0.49	0.49	0.23	0.23	0.25	0.25	0.33	0.33	0.65	0.65
IR (mm/hari)	10.73	10.73	10.54	10.54	9.32	9.32	9.41	9.41	9.81	9.81	11.35	11.35



4.3.3. Perhitungan Kebutuhan Air Untuk Tanaman

Perhitungan untuk kebutuhan air tanaman dapat ditentukan oleh berbagai macam faktor, antarlain: jenis tanah, evapotranspirasi, dan jenis varietas tanaman. Jumlah air yang diberikan akan berpengaruh terhadap hasil panen tanaman. Pada perhitungan ini dapat dibedakan berdasarkan jenis tanamannya. Berikut hasil perhitungan kebutuhan air tanaman padi dan tanaman palawija berdasarkan pola tanam eksisting dengan pola tanam

1. Perhitungan kebutuhan air untuk tanaman padi 1

Langkah 1: nilai evapotranspirasi potensial (ET_0)

Dari perhitungan sebelumnya didapat nilai ET_0 bulan November periode 1 sebesar 3,00 mm/hari (dapat dilihat pada Tabel 4.22)

Langkah 2: menentukan koefisien tanaman (K_c)

Koefisien tanaman (K_c) digunakan 1,1 karena dipakai padi varietas unggul (FAO) dan pada bulan November merupakan masa tanam padi minggu ke-1, nilai K_c dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Langkah 3: perhitungan konsumsi air tanaman (ET_c)

Perhitungan konsumsi air dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} ET_c &= ET_0 \times K_c \dots\dots\dots(2.40) \\ &= 3,00 \times 1,1 \\ &= 3,30 \text{ mm/hari (dapat dilihat pada Tabel 4.23)} \end{aligned}$$

Langkah 4: menentukan nilai penggantian air lapisan (WLR)

Diberikan setelah tahap persiapan lahan, yaitu 3,3 mm/hari selama setengah bulan.

Langkah 5: perhitungan kebutuhan air irigasi untuk padi (NFRpadi)

Perhitungan kebutuhan air irigasi untuk padi dihitung menggunakan persamaan berikut:

Re bulan November periode 1 sebesar 2,40 yang dapat dilihat pada Tabel 4.22.

$$\begin{aligned} NFR &= ET_c + P - Re + WLR \dots\dots\dots(2.42) \\ &= 3,30 + 2 - 2,40 + 0 \\ &= 2,90 \text{ mm/hari (dapat dilihat pada Tabel 4.23)} \end{aligned}$$



Jika angka NFR bernilai negatif (-) artinya curah hujan efektif dapat memenuhi kebutuhan air tanaman, namun apabila NFR bernilai positif (+) artinya curah hujan efektif tidak dapat memenuhi kebutuhan air tanaman sehingga diperlukan jumlah air tambahan yang berasal dari saluran irigasi. $\frac{1}{8,64}$ merupakan angka konversi satuan dari mm/hari ke lt/dt/ha.

Langkah 6: perhitungan kebutuhan air di pintu pengambilan (DR)

Perhitungan kebutuhan air di pintu pengambilan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} DR &= \frac{NFR}{8,64 \times EI} \dots\dots\dots(2.43) \\ &= \frac{2,90}{8,64 \times 0,8 \times 0,9 \times 0,9} \\ &= 0,52 \text{ lt/dt/ha (dapat dilihat pada Tabel 4.23)} \end{aligned}$$

Langkah 7: perhitungan kebutuhan air irigasi

Perhitungan kebutuhan air irigasi dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air} &= DR \times \text{luas daerah irigasi} \dots\dots\dots(2.44) \\ &= 0,52 \text{ lt/dt/ha} \times 5354,9 \text{ ha} \\ &= 2774,14 \text{ liter/detik (dapat dilihat pada Tabel 4.23)} \end{aligned}$$

- Perhitungan kebutuhan air untuk tanaman palawija (jagung) dengan awal masa tanam pada bulan Juni.

Langkah 1: nilai evapotranspirasi (ET_0)

Dari perhitungan sebelumnya didapat nilai ET_0 bulan Juni periode 1 sebesar 1,72 mm/hari (dapat dilihat pada Tabel 4.22)

Langkah 2: menentukan koefisien tanaman (K_c)

Koefisien tanaman (K_c) yang digunakan untuk menghitung yaitu 0,50 karena tanaman palawija yang digunakan yaitu jagung, serta bulan Juni merupakan masa tanam jagung dua minggu ke-1, nilai K_c dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Langkah 3: perhitungan konsumsi air tanaman (ET_c)

Perhitungan konsumsi air tanaman dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} ET_c &= ET_0 \times K_c \dots\dots\dots(2.40) \\ &= 1,72 \times 0,50 \end{aligned}$$



= 0,86 mm/hari (dapat dilihat pada tabel 4.23)

Langkah 4: perhitungan kebutuhan air irigasi untuk palawija (NFR_{palawija}) Re bulan Juni periode 1 sebesar 0,12 yang dapat dilihat pada Tabel 4.22.

$$\begin{aligned} NFR &= ET_c - Re \dots\dots\dots(2.42) \\ &= 0,86 - 0,12 \\ &= 0,74 \text{ mm/hari (dapat dilihat pada Tabel 4.23)} \end{aligned}$$

Langkah 5: perhitungan kebutuhan air di pintu pengambilan (DR). $\frac{1}{8,64}$ merupakan angka konversi satuan dari mm/hari ke lt/dt/ha.

$$\begin{aligned} DR &= \frac{NFR}{8,64 \times EI} \dots\dots\dots(2.43) \\ &= \frac{0,74}{8,64 \times 0,8 \times 0,9 \times 0,9} \\ &= 0,13 \text{ lt/dt/ha (dapat dilihat pada tabel 4.23)} \end{aligned}$$

Langkah 6: perhitungan kebutuhan air irigasi

Perhitungan kebutuhan air irigasi dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air} &= DR \times \text{luas daerah irigasi} \dots\dots\dots(2.44) \\ &= 0,13 \text{ lt/dt/ha} \times 5354,9 \text{ ha} \\ &= 710,38 \text{ liter/detik (dapat dilihat pada Tabel 4.23)} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan dari langkah 1 sampai langkah 7 dapat dilihat pada Tabel 4.23

3. Hasil perhitungan kebutuhan air irigasi

Hasil dari perhitungan kebutuhan air irigasi untuk daerah irigasi Logung seluas 5354,9 ha dan dengan pola tanam eksisting dengan jenis tanaman padi dan palawija, dengan menggunakan skema pola tanam padi – padi - palawija yang masa tanam dimulai dengan mempersiapkan lahan pada bulan Oktober periode 1 (tanggal 1-15). Hasil dari perhitungan di atas menghasilkan kebutuhan air yang digunakan untuk irigasi, sehingga didapat total debit kebutuhan air yang ditunjukkan pada Tabel 4.23 Kebutuhan Air Irigasi.



Tabel 4.23 Kebutuhan Air Irigasi

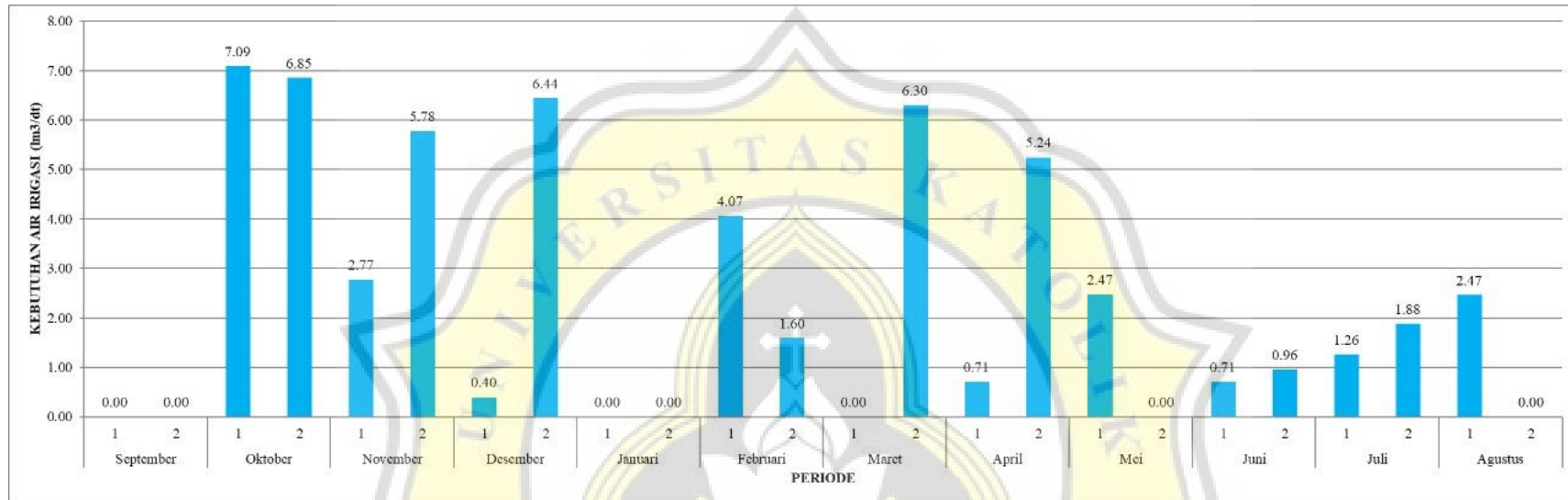
Uraian	Oktober		November		Desember		Januari		Februari		Maret	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
ET0 (mm/hari)	3.28	3.28	3.00	3.00	2.99	2.99	2.64	2.64	2.82	2.82	2.56	2.56
E0 (mm/hari)	3.61	3.61	3.30	3.30	3.29	3.29	2.90	2.90	3.10	3.10	2.81	2.81
P (mm/hari)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
T (hari)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
S (mm)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Re (mm/hari)	0.00	0.39	2.40	2.56	4.72	1.70	5.82	6.39	4.57	8.57	6.02	1.52
M (mm/hari)	5.61	5.61	5.30	5.30	5.29	5.29	4.90	4.90	5.10	5.10	4.81	4.81
k	0.67	0.67	0.64	0.64	0.63	0.63	0.59	0.59	0.61	0.61	0.58	0.58
IR (mm/hari)	11.45	11.45	11.26	11.26	11.26	11.26	11.02	11.02	11.14	11.14	10.97	10.97
Kc	-	-	1.10	1.10	1.05	1.05	0.95	0.00	-	-	1.10	1.10
ETc (mm/hari)	-	-	3.30	3.30	3.14	3.14	2.51	0.00	-	-	2.81	2.81
WLR (mm/hari)	-	-	0.00	3.30	0.00	3.30	0.00	0.00	-	-	0.00	3.30
NFR (mm/hari)	0.00	0.00	2.90	6.04	0.42	6.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.59
DR (lt/dt/ha)	0.00	0.00	0.52	1.08	0.07	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.18
Kebutuhan air (lt/dt)	7094.58	6853.82	2774.14	5775.12	398.84	6441.48	0.00	0.00	4069.36	1595.11	0.00	6304.34
Kebutuhan air (m3/dt)	7.09	6.85	2.77	5.78	0.40	6.44	0.00	0.00	4.07	1.60	0.00	6.30
Masa Tanam	PL		PADI				PL		PADI			



Tabel 4.23 Kebutuhan Air Irigasi (lanjutan)

Uraian	April		Mei		Juni		Juli		Agustus		September	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
ET0 (mm/hari)	2.18	2.18	1.89	1.89	1.72	1.72	1.88	1.88	2.53	2.53	3.13	3.13
E0 (mm/hari)	2.40	2.40	2.08	2.08	1.90	1.90	2.06	2.06	2.79	2.79	3.44	3.44
P (mm/hari)	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	2	2
T (hari)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
S (mm)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Re (mm/hari)	3.54	2.10	1.21	0.13	0.12	0.01	0.48	0.00	0.01	0.00	0.14	0.41
M (mm/hari)	4.40	4.40	4.08	4.08	1.90	1.90	2.06	2.06	2.79	2.79	5.44	5.44
k	0.53	0.53	0.49	0.49	0.23	0.23	0.25	0.25	0.33	0.33	0.65	0.65
IR (mm/hari)	10.73	10.73	10.54	10.54	9.32	9.32	9.41	9.41	9.81	9.81	11.35	11.35
Kc	1.05	1.05	0.95	0.00	0.50	0.59	0.96	1.05	1.20	0.95	-	-
ETc (mm/hari)	2.29	2.29	1.80	0.00	0.86	1.02	1.80	1.97	3.04	2.41	-	-
WLR (mm/hari)	0.00	3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
NFR (mm/hari)	0.75	5.49	2.59	0.00	0.74	1.01	1.32	1.97	3.04	2.41	0.00	0.00
DR (lt/dt/ha)	0.13	0.98	0.46	0.00	0.13	0.18	0.24	0.35	0.54	0.43	0.00	0.00
Kebutuhan air (lt/dt)	712.36	5244.31	2474.85	0.00	710.38	961.97	1260.47	1884.13	2902.61	2302.46	0.00	0.00
Kebutuhan air (m3/dt)	0.71	5.24	2.47	0.00	0.71	0.96	1.26	1.88	2.90	2.30	0.00	0.00
Masa Tanam	PADI				PALAWIJA (JAGUNG)						BERO	

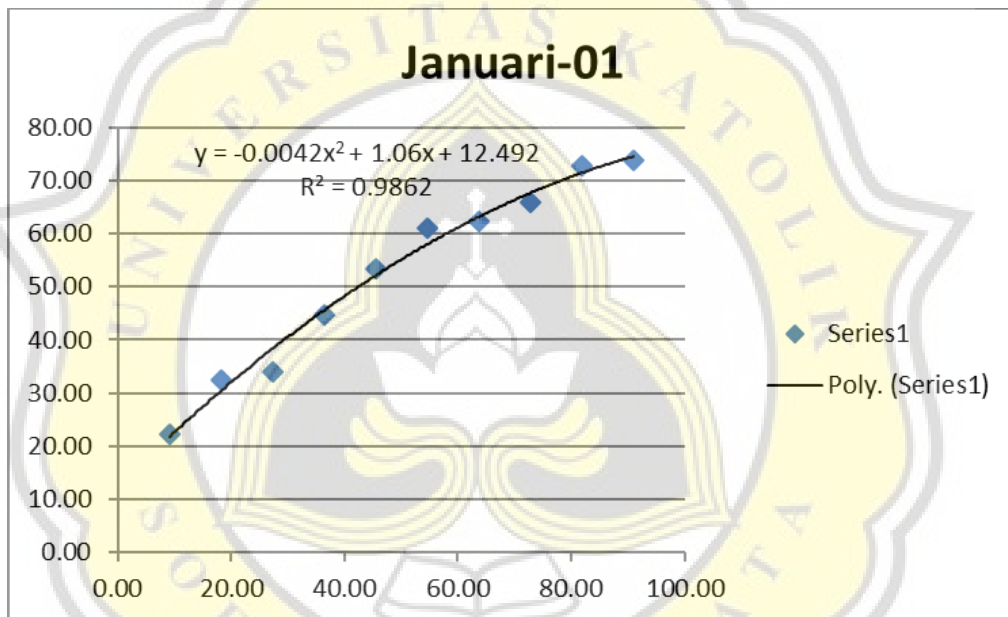
Berikut adalah grafik kebutuhan air irigasi dengan pola tanam eksisting yang dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik Kebutuhan Air Irigasi Berdasarkan Pola Tanam Eksisting

4.4. Neraca Air

Penghitungan neraca air dilakukan untuk mengecek apakah air yang tersedia cukup memadai untuk memenuhi kebutuhan air irigasi di Waduk Logung. Menurut KP-01 neraca air digunakan untuk membandingkan kebutuhan air dengan ketersediaan air yang ada. Debit minimum tengah bulanan ini didasarkan pada debit rata-rata untuk kemungkinan tak terpenuhi 20%. Metode prediksi ketersediaan air digunakan untuk menentukan besarnya probabilitas kebutuhan air yang diperlukan dengan kemungkinan terpenuhi 80% yang dapat dilihat pada Tabel 4.24. Contoh grafik perhitungan Q80 dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Grafik Perhitungan Q80

Contoh perhitungan neraca air pada Januari periode 1

Perhitungan neraca air dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$y = -0,0042 \times (20)^2 + 1,06 \times (20) + 12,492$$

$$Q80 = 32,01$$

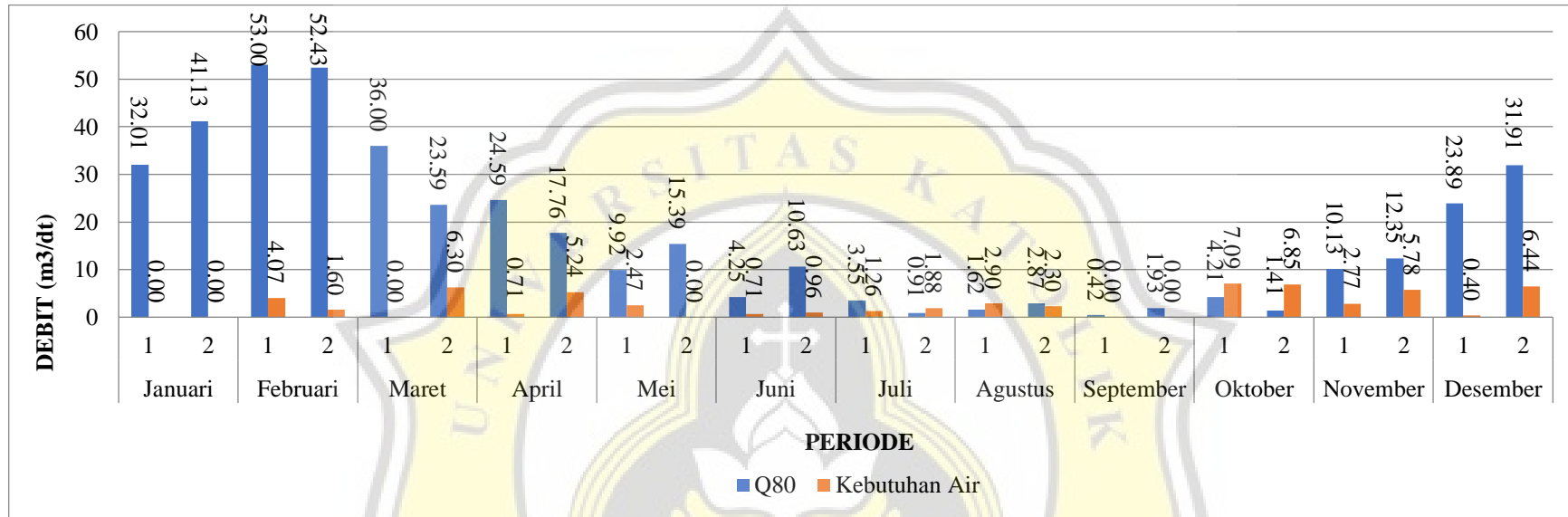
Setelah melakukan perhitungan diatas, hasil dari perbandingan Q80 dengan kebutuhan air irigasi dapat dilihat pada Tabel 4.24 Perbandingan Q80 Dengan Kebutuhan Air Irigasi.



Tabel 4. 24 Perbandingan Q80 Dengan Kebutuhan Air Irigasi

Data ke	Probabilitas	Satuan	Januari		Februari		Maret		April		Mei		Juni		
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
1	9.09%	m3/dt	22.36	32.30	39.99	28.69	24.73	16.96	16.82	13.92	7.02	5.15	4.02	2.37	
2	18.18%	m3/dt	32.38	32.53	41.32	30.13	34.14	25.67	22.70	16.33	11.06	6.71	4.15	2.41	
3	27.27%	m3/dt	33.98	36.53	44.26	31.22	44.68	26.43	33.12	21.24	11.86	8.36	4.74	3.03	
4	36.36%	m3/dt	44.75	47.93	44.78	36.92	45.01	28.24	34.92	22.66	12.52	8.69	4.86	3.14	
5	45.45%	m3/dt	53.24	51.86	47.66	37.82	46.32	36.84	35.11	25.19	12.54	13.02	5.37	4.87	
6	54.55%	m3/dt	61.02	58.46	55.53	47.21	48.81	47.63	36.05	33.21	16.30	16.85	8.12	5.44	
7	63.64%	m3/dt	62.38	59.15	63.16	49.32	52.28	51.80	38.99	33.43	17.37	22.67	8.18	7.17	
8	72.73%	m3/dt	65.87	63.55	68.21	50.32	53.01	53.45	44.81	34.07	18.34	23.57	8.75	10.94	
9	81.82%	m3/dt	72.78	74.04	88.19	67.36	55.61	57.15	51.06	35.93	18.52	25.98	22.25	12.89	
10	90.91%	m3/dt	73.84	91.26	93.37	73.00	56.20	62.40	51.61	38.04	25.14	33.42	26.57	16.09	
Q80%			m3/dt	32.01	41.13	53.00	52.43	36.00	23.59	24.59	17.76	9.92	15.39	4.25	10.63
Kebutuhan air irigasi			m3/dt	0.00	1.61	0.10	0.00	0.00	0.00	4.45	5.34	2.75	6.94	3.48	6.78
Data ke	Probabilitas	Satuan	Juli		Agustus		September		Oktober		November		Desember		
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
1	9.09%	m3/dt	1.45	0.83	0.50	0.30	0.18	0.11	0.07	0.28	9.45	9.61	10.14	27.87	
2	18.18%	m3/dt	1.50	0.87	0.52	0.31	0.19	0.77	0.27	0.84	9.48	11.34	25.69	30.48	
3	27.27%	m3/dt	1.60	1.17	0.63	0.38	0.48	0.79	1.14	1.43	10.38	14.20	33.00	32.97	
4	36.36%	m3/dt	2.08	1.27	0.90	0.78	1.12	1.26	1.64	5.88	13.19	18.69	33.15	39.63	
5	45.45%	m3/dt	4.59	2.31	1.30	1.56	1.93	1.44	1.78	6.26	18.47	19.36	34.51	47.56	
6	54.55%	m3/dt	5.08	7.50	3.10	1.86	2.58	2.73	8.17	9.03	19.56	26.22	39.03	50.29	
7	63.64%	m3/dt	8.92	8.06	3.99	2.93	2.83	2.97	8.58	12.64	24.15	32.45	45.73	50.95	
8	72.73%	m3/dt	10.31	9.22	4.87	3.61	3.62	6.53	11.30	14.72	29.09	33.00	60.61	56.06	
9	81.82%	m3/dt	11.82	9.31	4.88	4.74	3.92	6.63	15.17	17.33	33.99	37.09	68.38	61.31	
10	90.91%	m3/dt	17.77	12.82	10.64	5.33	13.50	28.57	29.82	30.95	37.97	41.47	72.26	72.68	
Q80%			m3/dt	3.55	0.91	1.62	2.87	0.42	1.93	4.21	1.41	10.13	12.35	23.89	31.91
Kebutuhan air irigasi			m3/dt	2.97	0.00	1.21	1.43	2.78	2.86	3.77	2.72	5.49	5.39	0.54	6.58

Berikut merupakan grafik perbandingan Q80 dengan kebutuhan air irigasi yang dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Q80 Dengan Kebutuhan Air Irigasi

Maka berdasarkan grafik diatas dapat dilihat keseimbangan antara Q80 dan debit kebutuhan air di DAS Logung. Pada bulan Juli periode 2, bulan Agustus periode 1, dan bulan oktober periode 1 dan 2 debit ketersediaan air kurang mencukupi kebutuhan air, hal ini dikarenakan pada bulan tersebut musim kemarau sehingga curah hujan cenderung rendah.



4.5. Simulasi Waduk Logung

Simulasi Waduk Logung bertujuan untuk mengetahui tingkat keberhasilan dan kegagalan dari kinerja waduk berdasarkan debit ketersediaan air dan jumlah debit kebutuhan air. Kapasitas pada tampungan efektif dihitung menggunakan kurva lengkung kapasitas waduk yang dapat dilihat pada Gambar 4.14 diperoleh volume tampungan efektif waduk Logung sebesar 19.410.000 m³ pada elevasi +88,5 dengan luas genangan 842.000 m². Volume yang didapatkan sebagai acuan pola operasi *water balance* waduk untuk kebutuhan air irigasi selama 50 tahun, setelah diperoleh data debit *inflow* bangkitan dengan Metode *Thomas-Fiering* dan debit *outflow* yang berupa data debit kebutuhan irigasi, maka tahap analisis berikutnya adalah melakukan simulasi pola operasi berdasarkan kondisi waduk.

4.5.1. Lengkung Kapasitas Waduk

Lengkung kapasitas waduk adalah kurva yang menghubungkan antara volume tampungan waduk dan luas tampungan terhadap elevasi tampungan waduk. Melalui kurva kapasitas lengkung tersebut, dapat diketahui kapasitas volume tampungan efektif dimana nantinya digunakan sebagai acuan pola operasi keseimbangan air pada waduk.

1. Data teknik Waduk Logung

a. Waduk

- a.1. Luas Daerah Tangkapan = 47.95 km²
- a.2. Volume Normal = 20.150 Juta m³
- a.3. Volume tampungan mati = 6,430 Juta m³
- a.4. Volume Efektif = 19,41 Juta m³
- a.5. Luas Genangan (elevasi MAB) = 155,73 Ha
- a.6. Luas Genangan (elevasi MAE) = 121,72 Ha
- a.7. Elevasi Muka Air Rendah = +73 m
- a.8. Elevasi Muka Air Efektif (MAE) = +88,5 m
- a.9. Elevasi Muka Air Banjir (MAB) = +92.78 m

b. Bendungan

- b.1. Type = Urugan tanah random dengan inti tegak
- b.2. Tinggi diatas pondasi = 61.00 m



Tugas Akhir
Simulasi Pola Operasi Waduk Logung Kabupaten Kudus (Studi Kasus
Untuk Kebutuhan Air Irigasi)

b.3. Elevasi Mercu = +94.00 m

b.4. Panjang Mercu = 350.00 m

b.5. Lebar Mercu = 9.00 m

b.6. Kemiringan Lereng Hulu = 1:3.0

b.7. Kemiringan Lereng Hilir = 1:2.5

c. Bangunan Pelimpah

c.1. Type = Pelimpah Samping, Ogge tanpa pintu

c.2. Elevasi Mercu = +88.50 m

c.3. Panjang Mercu = 32.50 m

c.4. Debit QPMF In = 878.711 m³/s

c.5. Debit QPMF Out = 624.139 m³/s

d. Bangunan Pengelak

d.1. Type = Box Culvert/Konduit

d.2. Dimensi = 2 x 3.50m x 3.50m

d.3. Panjang = 370.00 m

d.4. Banjir Rencana = Q25 th, 189.265 m³/dt

2. Data kapasitas tampungan

Data yang berkaitan dengan Waduk Logung didapatkan dari BBWS Pemali Juana. Dalam menganalisis tampungan untuk waduk dibedakan menjadi dua bagian, yaitu: tampungan mati dan tampungan efektif. Tampungan mati yaitu tampungan yang digunakan untuk menampung sedimen selama proses simulasi yang direncanakan 50 tahun. Berdasarkan pengukuran topografi, berikut adalah tabel kurva kapasitas waduk yang ditunjukkan pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Lengkung Kapasitas Waduk Logung

Elevasi	Luas Area	Volume Tampungan	Kumulatif Volume Tampungan	Elevasi	Luas Area	Volume Tampungan	Kumulatif Volume Tampungan
48	3.73	0.06	0.10	71	46.9	5	40.95
49	4.52	0.11	0.21	72	49.67	5.48	46.43
50	5.29	0.15	0.36	73	52.6	5.99	52.42
51	6.14	0.21	0.57	74	56.07	6.53	58.95
52	7.01	0.28	0.85	75	59.73	7.11	66.06



Tabel 4.25 Lengkung Kapasitas Waduk Logung (lanjutan)

Elevasi	Luas Area	Volume Tampungan	Kumulatif Volume Tampungan	Elevasi	Luas Area	Volume Tampungan	Kumulatif Volume Tampungan
53	7.80	0.35	1.20	76	65.24	7.74	73.8
54	8.78	0.43	1.63	77	70.18	8.41	82.21
55	11.27	0.53	2.16	78	74.68	9.14	91.35
56	12.85	0.66	2.82	79	78.97	9.91	101.26
57	14.92	0.79	3.61	80	84.2	10.72	111.98
58	16.13	0.95	4.56	81	88	11.58	123.56
59	17.82	1.12	5.68	82	91.84	12.48	136.04
60	21.34	1.32	7.00	83	96.03	13.42	149.46
61	23.21	1.54	8.54	84	100.59	14.41	163.87
62	25.25	1.78	10.32	85	105.38	15.44	179.31
63	27.29	2.04	12.36	86	109.89	16.51	195.82
64	29.55	2.33	14.69	87	114.25	17.63	213.45
65	31.90	2.63	17.32	88	118.94	18.8	232.25
66	34.05	2.96	20.28	89	124.5	20.02	252.27
67	36.77	3.32	23.60	90	131.65	21.3	273.57
68	39.31	3.70	27.30	91	137.35	22.64	296.21
69	41.97	4.11	31.41	92	144.87	24.05	320.26
70	44.96	4.54	35.95	93	151.73	25.54	345.8

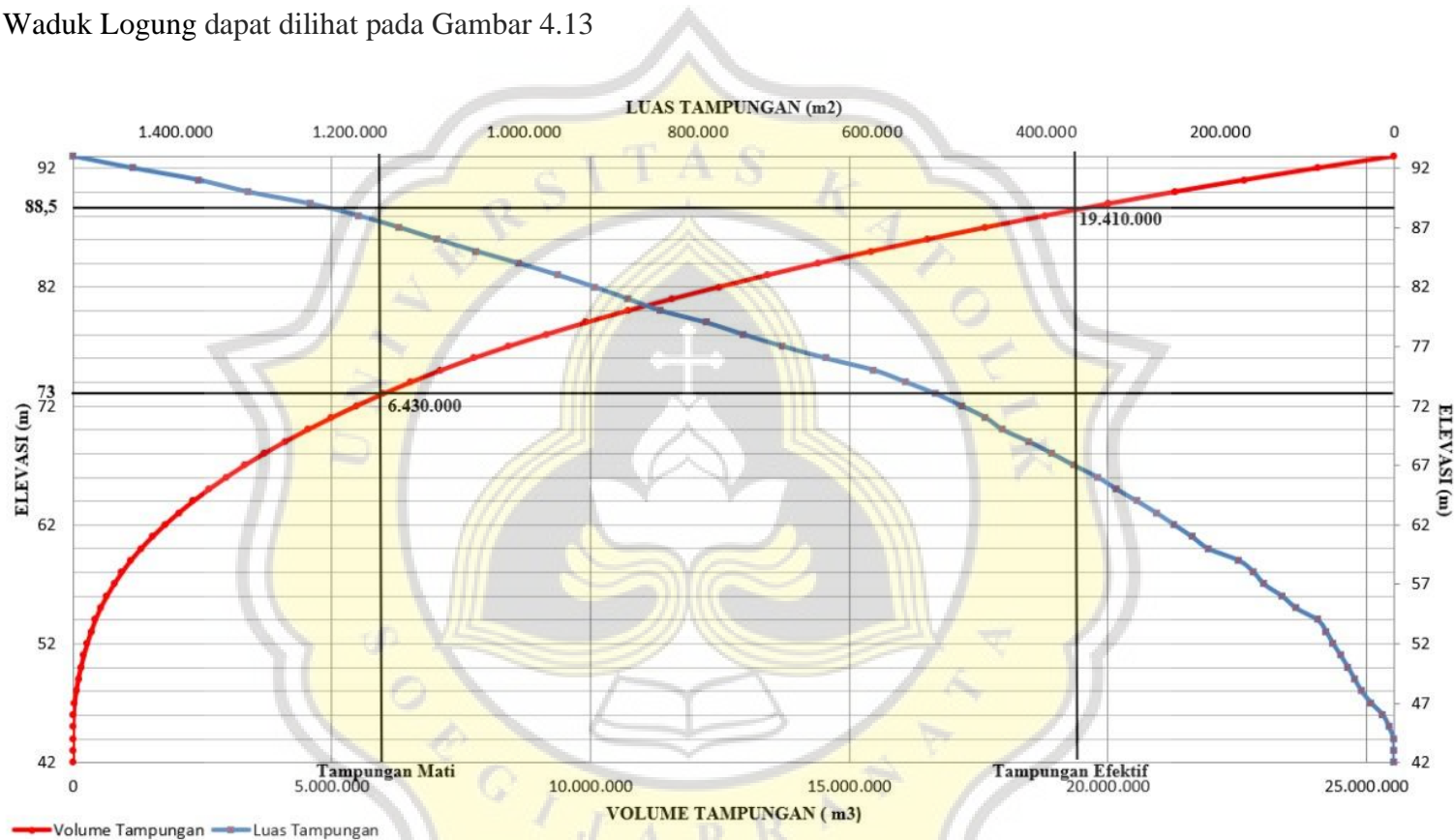
Berikut contoh perhitungan pada volume tampungan waduk dengan elevasi 93 m. contoh perhitungan perubahan volume pada elevasi ke-43

$$\begin{aligned} \text{Perubahan volume} &= \frac{(\text{elevasi}_n - \text{elevasi}_{n-1}) \times (A_n + A_{n-1})}{2} \dots\dots\dots(4.8) \\ &= \frac{(43 - 42) \times (100,00 + 0)}{2} \\ &= 50,00 \text{ m}^3 \text{ (dapat dilihat pada Tabel 4.25)} \end{aligned}$$

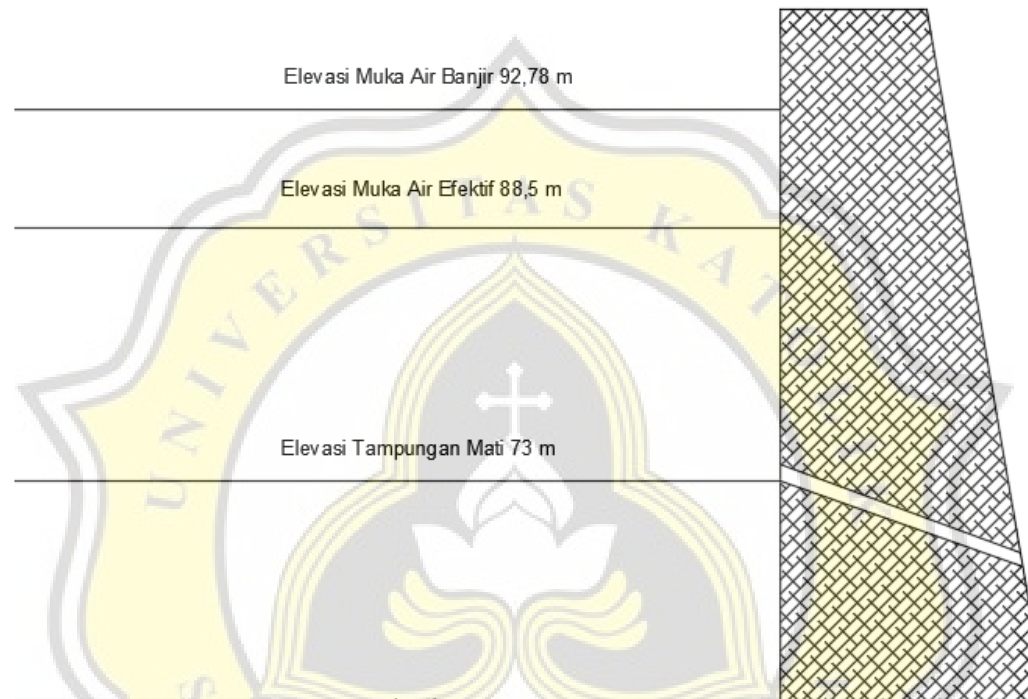
$$\begin{aligned} \text{Volume tampungan} &= \text{perubahan volume}_n + \text{volume komulatif}_{n-1} \dots\dots(4.9) \\ &= 50,00 + 0 \\ &= 50,00 \text{ m (dapat dilihat pada Tabel 4.25)} \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan diatas dapat menghasilkan lengkung kapasitas tampungan Waduk Logung. Lengkung kapasitas dapat dilihat pada Gambar 4.13 Kurva Lengkung Kapasitas Waduk Logung.

Berdasarkan pada Tabel 4.24, didapatkan lengkung kapasitas tampungan Waduk Logung, berikut Gambar kurva lengkung kapasitas tampungan Waduk Logung dapat dilihat pada Gambar 4.13



Gambar 4.13 Kurva Lengkung Kapasitas Waduk Logung



Gambar 4.15 Elevasi Muka Air Logung



4.5.2. Simulasi Pola Tanam Eksisting

Simulasi dengan pola tanam eksisting ini digunakan untuk mengetahui persentase keberhasilan dan kegagalan dari pola operasi waduk yang sudah di analisis ada dari tahun 2011 hingga 2070. Berikut merupakan contoh perhitungan pada Waduk Logung pada bulan Januari periode 1 tahun 2011 dengan MT1 Padi dengan penyiapan lahan pada bulan Oktober periode 1, MT2 Padi dengan penyiapan lahan pada bulan Febuari periode 1, dan MT 3 Palawija dengan awal masa tanam pada bulan Juni periode 1.

1. Pada simulasi pola tanam, digunakan hasil perhitungan yang dilakukan sebelumnya, meliputi sebagai berikut.
 - a. Debit ketersediaan air = $61,14 \text{ m}^3/\text{detik}$ (dapat dilihat pada Tabel 4.12)
 - b. Debit kebutuhan air = $0 \text{ m}^3/\text{detik}$ (dapat dilihat pada Tabel 4.24)
 - c. Evaporasi = $3,90 \text{ mm/hari}$ (dapat dilihat pada Tabel 2.8)

2. Perhitungan *water balance*

Langkah 1: perhitungan volume *inflow*

Volume *Inflow* = Ketersediaan Air Selama 15 Hari

Angka $(60 \times 60 \times 24)$ merupakan jumlah detik dalam 1 hari

$$\begin{aligned}\text{Volume Inflow} &= (61,14 \text{ m}^3/\text{dt} \times (60 \times 60 \times 24) \times 15 \text{ hari}) \\ &= 79,23 \text{ juta m}^3\end{aligned}$$

Langkah 2: perhitungan volume *outflow*

Volume *Outflow* = Kebutuhan Air Selama 15 Hari

$$\begin{aligned}\text{Volume Outflow} &= (7,09 \text{ m}^3/\text{dt} \times (60 \times 60 \times 24) \times 15 \text{ hari}) \\ &= 9.194.569 \text{ m}^3 \\ &= 9,19 \text{ juta m}^3\end{aligned}$$

Langkah 3: perhitungan volume evaporasi

Luas Muka Air = Luas permukaan air pada elevasi muka air akhir bulan sebelumnya

Volume Evaporasi = (Nilai Evaporasi \times Luas Muka Air) selama 15 hari

$$\begin{aligned}\text{Volume Evaporasi} &= 3,90 \text{ mm/hari} \times \frac{3,90 \times 121,72 \text{ ha} (60 \times 60 \times 24) \times 15 \text{ hari}}{1000} \\ &= 0,62 \text{ juta m}^3\end{aligned}$$

Langkah 4: perhitungan volume rembesan



Nilai rembesan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.6 yaitu 2 mm/hari, karena sesuai Standar Perencanaan Irigasi KP-01 dan menurut jenis tanah yang ada di daerah Waduk Logung yaitu lempung-berpasir termasuk tanah dengan tekstur sedang. Rembesan pada tampungan terjadi pada luas muka air akhir genangan pada periode sebelumnya, Pada perhitungan ini menggunakan asumsi luas muka air akhir pada bulan Desember tahun 2010 yaitu 1.217.200 m² atau 121,72 ha.

$$\begin{aligned}\text{Volume rembesan} &= 2 \text{ mm/hari} \times \frac{121,72 \text{ ha} (60 \times 60 \times 24) \times 15 \text{ hari}}{1000} \\ &= 0,32 \text{ juta m}^3\end{aligned}$$

Langkah 5: perhitungan volume total

Berdasarkan hasil kurva lengkung kapasitas waduk, didapat volume tampungan efektif sebesar 19,41 juta m³ pada elevasi +88,50. Diasumsikan volume tampungan sebelumnya (bulan Desember 2010) dalam keadaan penuh, karena pada bulan tersebut musim penghujan sehingga ketersediaan air melimpah.

$$\begin{aligned}\text{Volume total} &= (\text{volume } \textit{inflow} + \text{volume tampungan sebelumnya}) - (\text{volume} \\ &\quad \textit{outflow} + \text{volume evaporasi} + \text{volume rembesan}) \\ &= (79,23 + 19,41) - (9,19 + 0,62 + 0,32) \\ &= 88,52 \text{ juta m}^3\end{aligned}$$

Langkah 6: perhitungan *spill out*.

$$\begin{aligned}\textit{Spill out} &= \text{total volume} - \text{tampungan akhir} \\ &= 88,52 \text{ juta m}^3 - 19,41 \text{ juta m}^3 \\ &= 69,11 \text{ juta m}^3 \text{ tambah batasanya}\end{aligned}$$

Batas *maximal* tampungan akhir sebesar 19,41 juta m³ jika perhitungannya melebihi batas tersebut maka digunakan angka *maximal*. Batas *minimal* tampungan akhir sebesar 6,43 juta m³ jika perhitungan kurang dari batas tersebut maka digunakan angka *minimal*. Nilai *spill out* adalah volume air yang dilimpahkan karena melebihi volume tampungan efektif (19,41 juta m³). Jika nilai volume tampungan kurang dari volume tampungan mati (6,43 juta m³), maka pada periode tersebut disebut gagal memenuhi kebutuhan air irigasi.



3. Hasil simulasi berdasarkan pola tanam eksisting pada tahun 2011 yang dapat dilihat pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26 Hasil simulasi berdasarkan pola tanam eksisting pada tahun 2011

Bulan (1)	Periode (2)	Tamp Awal (3) (m ³ /dtk)	Elv M A Awal (4)	L Prmkn (5) ha	Dbt (m ³ /dtk)	Vol (juta m ³)	Dbt (m ³ /dtk)	Vol (juta m ³)	Evaporasi (mm/hari)	V (juta m ³)	Rembesan (mm/hari)	V (juta m ³)	T Vol (juta m ³)	T Akhir (juta m ³)	Elv M A Akhir (16)	Spillout (juta m ³)	Ket (18)
Januari	1	19.41	88.50	121.72	61.14	79.23	7.09	9.19	3.90	0.62	2.00	0.32	88.52	19.41	88.50	69.11	berhasil
	2	19.41	88.50	121.72	63.62	82.46	6.85	8.88	3.90	0.62	2.00	0.32	92.05	19.41	88.50	72.64	berhasil
Februari	1	19.41	88.50	121.72	63.20	81.91	2.77	3.60	3.80	0.60	2.00	0.32	96.80	19.41	88.50	77.39	berhasil
	2	19.41	88.50	121.72	36.94	47.88	5.78	7.48	3.80	0.60	2.00	0.32	58.89	19.41	88.50	39.48	berhasil
Maret	1	19.41	88.50	121.72	52.30	67.78	0.40	0.52	4.80	0.76	2.00	0.32	85.60	19.41	88.50	66.19	berhasil
	2	19.41	88.50	121.72	62.41	80.88	6.44	8.35	4.80	0.76	2.00	0.32	90.87	19.41	88.50	71.46	berhasil
April	1	19.41	88.50	121.72	51.06	66.18	0.00	0.00	4.30	0.68	2.00	0.32	84.59	19.41	88.50	65.18	berhasil
	2	19.41	88.50	121.72	35.93	46.57	0.00	0.00	4.30	0.68	2.00	0.32	64.98	19.41	88.50	45.57	berhasil
Mei	1	19.41	88.50	121.72	18.35	23.78	4.07	5.27	4.00	0.63	2.00	0.32	36.97	19.41	88.50	17.56	berhasil
	2	19.41	88.50	121.72	22.67	29.39	1.60	2.07	4.00	0.63	2.00	0.32	45.78	19.41	88.50	26.37	berhasil
Juni	1	19.41	88.50	121.72	8.18	10.60	0.00	0.00	4.00	0.63	2.00	0.32	29.06	19.41	88.50	9.65	berhasil
	2	19.41	88.50	121.72	5.44	7.05	6.30	8.17	4.00	0.63	2.00	0.32	17.35	17.35	86.00	0.00	berhasil
Juli	1	17.35	86.00	109.89	4.59	5.95	0.71	0.92	4.30	0.61	2.00	0.28	21.47	19.41	88.50	2.06	berhasil
	2	19.41	88.50	121.72	2.31	2.99	5.24	6.80	4.30	0.68	2.00	0.32	14.61	14.61	84.00	0.00	berhasil
Agustus	1	14.61	84.00	100.59	1.30	1.69	2.47	3.21	4.90	0.64	2.00	0.26	12.19	12.19	81.00	0.00	berhasil
	2	12.19	81.00	88.00	0.78	1.01	0.00	0.00	4.90	0.56	2.00	0.23	12.41	12.41	81.00	0.00	berhasil
September	1	12.41	81.00	88.00	13.50	17.49	0.71	0.92	5.00	0.57	2.00	0.23	28.19	19.41	88.50	8.78	berhasil
	2	19.41	88.50	121.72	2.73	3.54	0.96	1.25	5.00	0.79	2.00	0.32	20.60	19.41	88.50	1.19	berhasil
Oktober	1	19.41	88.50	121.72	1.64	2.13	1.26	1.63	5.30	0.84	2.00	0.32	18.75	18.75	87.00	0.00	berhasil
	2	18.75	87.00	114.25	9.03	11.70	1.88	2.44	5.30	0.78	2.00	0.30	26.93	19.41	88.50	7.52	berhasil
November	1	19.41	88.50	121.72	33.99	44.05	2.90	3.76	5.30	0.84	2.00	0.32	58.54	19.41	88.50	39.13	berhasil
	2	19.41	88.50	121.72	37.09	48.07	2.30	2.98	5.30	0.84	2.00	0.32	63.34	19.41	88.50	43.93	berhasil
Desember	1	19.41	88.50	121.72	60.61	78.56	0.00	0.00	4.20	0.66	2.00	0.32	96.99	19.41	88.50	77.58	berhasil
	2	19.41	88.50	121.72	50.29	65.17	0.00	0.00	4.20	0.66	2.00	0.32	83.60	19.41	88.50	64.19	berhasil



Keterangan:

Kolom 3: Tampilan Awal

Tampilan awal pada bulan januari 2011 menggunakan asumsi karena kondisi waduk penuh, kemudian untuk periode selanjutnya diambil dari kolom 15 pada periode sebelumnya.

Kolom 4: Elevasi Muka Air Awal

Elevasi muka air pada bulan januari 2011 menggunakan asumsi karena kondisi waduk penuh jadi menggunakan elevasi *maximal*, kemudian untuk periode selanjutnya diambil dari kolom 16 pada periode sebelumnya.

Kolom 5: Luas Permukaan Awal

Luas permukaan awal pada bulan januari 2011 menggunakan asumsi karena kondisi waduk penuh jadi menggunakan luas permukaan air *maximal*, kemudian untuk periode selanjutnya luas permukaan awal tergantung pada elevasi muka air awalnya dan bisa dilihat pada Tabel 4.25.

Kolom 6: Debit *inflow*

Didapat dari debit ketersediaan air

Kolom 7: Volume *Inflow*

Didapat dari kolom 6 dikali jumlah detik pada satu hari dikali 15 hari.

Kolom 8: Debit *Outflow*

Pada tahun 2011 – 2020 didapat dari debit kebutuhan air yang sudah ada, untuk tahun 2020 sampai 2070 menggunakan debit yang sudah dihitung menggunakan rumus thomas fiering.

Kolom 9: Volume *Outflow*

Didapat dari kolom 8 dikali jumlah detik dalam satu hari dikali 15 hari.



Kolom 10: Nilai evaporasi

Nilai evaporasi menggunakan data evaporasi dari lokasi penelitian terdahulu di Waduk Kedung Ombo, Desa Rambat, Kecamatan Geyer, Kabupaten Grobogan

Kolom 11: Volume Evaporasi

Didapat dari kolom 10 dikali luas permukaan dibagi 1000 kemudian dikali jumlah detik dalam sehari dikali 15 hari.

Kolom 12: Nilai Rembesan

Nilai laju perkolasi diambil berdasarkan dari Tabel 2.6 menurut Standar Perencanaan Irigasi KP-01, dan menurut data tanah yaitu lempung yang dapat dilihat pada Gambar 2.7 sehingga termasuk tanah dengan tekstur sedang. Maka nilai laju perkolasi diambil sebesar 2 mm/hari.

Kolom 13: Volume Rembesan

Didapat dari kolom 12 dikali kolom 5 dibagi 1000 kemudian dikali jumlah detik dalam sehari dikali 15 hari.

Kolom 14: Total Volume

Didapat dari kolom 7 ditambah kolom 3 kemudian dikurangkan hasil dari kolom 9 ditambah kolom 11 ditambah kolom 13.

Kolom 15: Tampung Akhir

Didapat dari apabila total volume melebihi tampungan efektif maka volume maksimal menggunakan tampungan efektif, apabila total volume kurang dari tampungan mati maka volume minimal menggunakan tampungan mati apabila total volume diantara volume *minimal* dan *maximal* nilai tersebut dapat digunakan.

Kolom 16: Elevasi Muka Air Akhir

Didapat dari melihat kolom 15, apabila kolom 15 melebihi batas *maximal* maka yang digunakan yaitu batas *maximal*, jika kolom 15 kurang dari elevasi *minimal* maka yang digunakan yaitu batas *minimal*, apabila elevasi diantara batas *maximal* dan *minimal* maka dapat dilihat pada Tabel 4.25



Kolom 17: *Spill Out*

Didapat dari kolom 14 dikurang kolom 15

Kolom 18: Keterangan

Dinyatakan berhasil apabila tampungan akhir tidak kurang dari tampungan mati, dinyatakan gagal apabila volume tampungan akhir kurang dari tampungan mati

Periode dikatakan “berhasil” apabila volume air yang ada di tampungan waduk melebihi tampungan mati (6,43 juta m³) dan dapat memenuhi kebutuhan air irigasi pada periode tersebut. Volume *inflow* yang melebihi tampungan efektif (19,41 juta m³) akan dilimpahkan melalui *spillway* ke aliran sungai. Dapat dilihat pada tabel jika menggunakan pola tanam sesuai dengan Surat Keputusan Bupati Kudus untuk pola tata tanam Kabupaten Kudus Nomor 521/688/2012 Tahun 2012 tidak terjadi gagal. Sehingga diperoleh persentase berhasil dan kegagalan tampungan pada waduk untuk setiap kondisi sebagai berikut.

Tabel 4.27 Persentase Keberhasilan Dan Kegagalan Tahun 2011-2070

Uraian	Nilai
Periode Berhasil	1427
Periode Gagal	13
Persentase Berhasil (%)	99,10
Persentase Gagal (%)	0,90

Periode berhasil adalah periode dengan kondisi tampungan dapat melayani kebutuhan air irigasi dengan cukup dan masih mengisi tampungan efektif *minimal* sebesar 6,43 juta m³ (tampungan mati). Sedangkan periode gagal adalah periode dengan kondisi tampungan hanya dapat memenuhi kebutuhan air irigasi dan air di tampungan dibawah volume tampungan mati. Sehingga persentase berhasil dan gagal didapat dengan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \% \text{ Berhasil} &= \frac{\sum \text{Periode layan}}{\sum \text{Periode total}} \\ &= \frac{1427}{1440} \\ &= 99,10 \% \end{aligned}$$



Tugas Akhir
Simulasi Pola Operasi Waduk Logung Kabupaten Kudus (Studi Kasus
Untuk Kebutuhan Air Irigasi)

$$\begin{aligned}\% \text{ Gagal} &= \frac{\sum \text{Periode layan}}{\sum \text{Periode total}} \\ &= \frac{14}{1440} \\ &= 0,90 \%\end{aligned}$$



4. Berdasarkan hasil simulasi, didapat elevasi muka air tampungan pada tiap periodenya. Berikut adalah grafik elevasi muka air



Gambar 4.16 Grafik Elevasi Muka Air



4.5.3. Optimalisasi Waduk Logung

Optimalisasi pola tanam dilakukan dengan cara menggeser awal masa tanam tanpa mengubah pola tanamnya. Terdapat 23 alternatif untuk mendapatkan hasil yang optimal dengan menggeser awal masa tanam selama 1 periode atau 15 hari. sehingga diperoleh persentase keberhasilan dan kegagalan tampungan pada waduk untuk setiap kondisi sebagai berikut.

Tabel 4.28 Persentase Kegagalan dan Keberhasilan Awal Masa Tanam

Kondisi Tampungan	Awal Masa Tanam							
	Jan-01	Jan-02	Feb-01	Feb-02	Mar-01	Mar-02	Apr-01	Apr-02
Periode berhasil	1421	1417	1417	1400	1407	1409	1416	1407
Periode gagal	19	23	23	40	33	31	24	33
Persentase sukses (%)	98.68	98.40	98.40	97.22	97.71	97.85	98.33	97.71
Persentase gagal (%)	1.32	1.60	1.60	2.78	2.29	2.15	1.67	2.29

Kondisi Tampungan	Awal Masa Tanam							
	Mei-01	Mei-02	Jun-01	Jun-02	Jul-01	Jul-02	Ags-01	Ags-02
Periode berhasil	1407	1417	1423	1419	1424	1422	1420	1422
Periode gagal	33	23	17	21	16	18	20	18
Persentase sukses (%)	97.71	98.40	98.8	98.5	98.8	98.75	98.61	98.75
Persentase gagal (%)	2.29	1.60	1.18	1.46	1.11	1.25	1.39	1.25

Kondisi Tampungan	Awal Masa Tanam							
	Sep-01	Sep-02	Okt-01	Okt-02	Nov-01	Nov-02	Des-01	Des-02
Periode berhasil	1425	1428	1427	1431	1433	1427	1432	1417
Periode gagal	15	12	13	9	7	13	8	23
Persentase sukses (%)	98.9	99.1	99.10	99.38	99.51	99.1	99.44	98.40
Persentase gagal (%)	1.04	0.83	0.90	0.63	0.49	0.90	0.56	1.60

Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa awal masa tanam dengan presentasi kegagalan lebih rendah dan keberhasilan lebih tinggi terjadi pada bulan November periode 1 dengan keberhasilan sebesar 99,51% dan kegagalan sebesar 0,90%. Berikut rumus untuk perhitungannya:

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Berhasil} &= \frac{\sum \text{Periode layan}}{\sum \text{Periode total}} \\
 &= \frac{1433}{1440} \times 100\% \\
 &= 99,51 \% \\
 \% \text{ Gagal} &= 1 - \% \text{ berhasil} \\
 &= 0,49 \%
 \end{aligned}$$

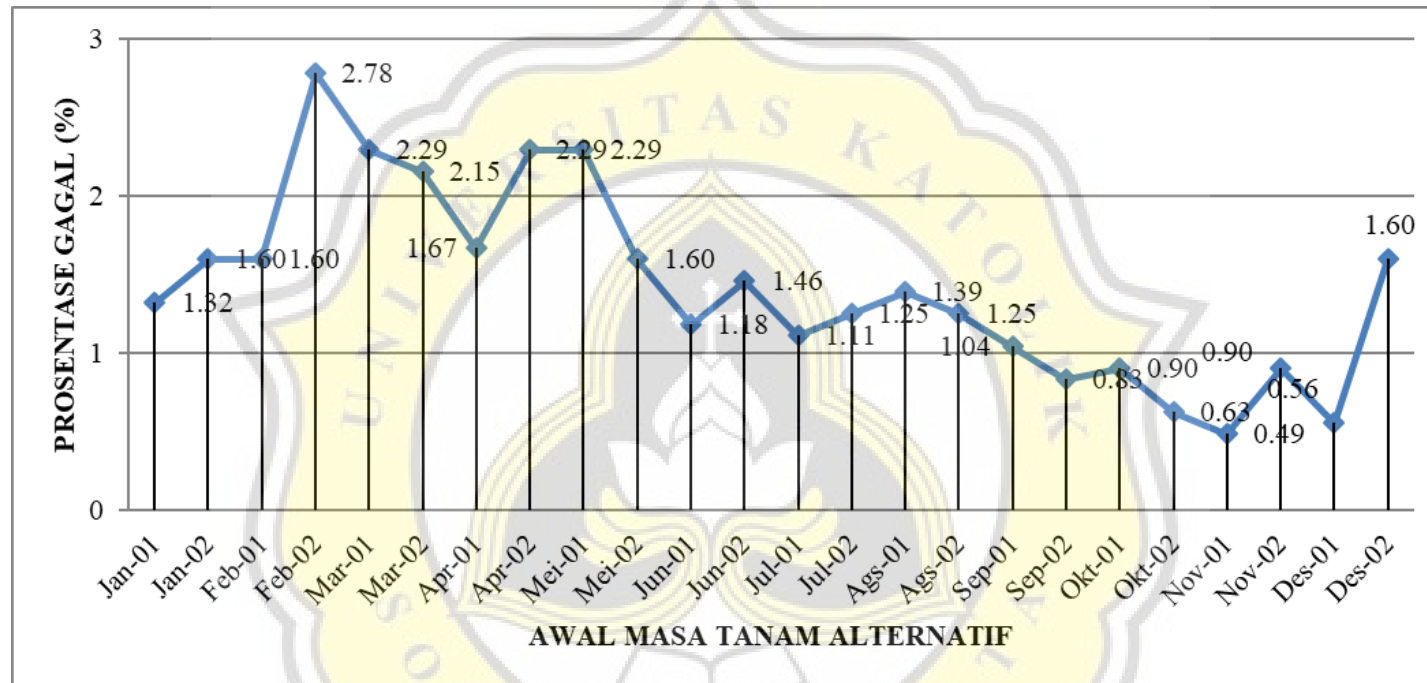


Hasil simulasi berdasarkan awal masa tanam dimulai pada bulan November periode 1 tahun 2011 yang dapat dilihat pada Tabel 4.29.

Tabel 4.29 Hasil Simulasi Optimalisasi Masa Tanam November Periode 1

Bulan	Periode	T Awal (m ³ /dtk)	Elv Muka Air Awal	L Permukaan ha	Debit (m ³ /dtk)	Volume (juta m ³)	Debit (m ³ /dtk)	Volume (juta m ³)	Evaporasi (mm/hari)	V (juta m ³)	Rembesan (mm/hari)	V (juta m ³)	T Volume (juta m ³)	T Akhir (juta m ³)	Elv Muka Air Akhir	Spillout (juta m ³)	Keteran gan
Januari	1	19.41	88.50	121.72	61.14	79.23	1.23	1.60	3.90	0.62	2.00	0.32	96.12	19.41	88.50	76.71	berhasil
	2	19.41	88.50	121.72	63.62	82.46	4.00	5.18	3.90	0.62	2.00	0.32	95.75	19.41	88.50	76.34	berhasil
Februari	1	19.41	88.50	121.72	63.20	81.91	1.52	1.96	3.80	0.60	2.00	0.32	98.44	19.41	88.50	79.03	berhasil
	2	19.41	88.50	121.72	36.94	47.88	0.00	0.00	3.80	0.60	2.00	0.32	66.37	19.41	88.50	46.96	berhasil
Maret	1	19.41	88.50	121.72	52.30	67.78	4.31	5.58	4.80	0.76	2.00	0.32	80.53	19.41	88.50	61.12	berhasil
	2	19.41	88.50	121.72	62.41	80.88	6.30	8.17	4.80	0.76	2.00	0.32	91.05	19.41	88.50	71.64	berhasil
April	1	19.41	88.50	121.72	51.06	66.18	2.27	2.94	4.30	0.68	2.00	0.32	81.66	19.41	88.50	62.25	berhasil
	2	19.41	88.50	121.72	35.93	46.57	6.40	8.30	4.30	0.68	2.00	0.32	56.68	19.41	88.50	37.27	berhasil
Mei	1	19.41	88.50	121.72	18.35	23.78	3.91	5.07	4.00	0.63	2.00	0.32	37.17	19.41	88.50	17.76	berhasil
	2	19.41	88.50	121.72	22.67	29.39	7.81	10.12	4.00	0.63	2.00	0.32	37.73	19.41	88.50	18.32	berhasil
Juni	1	19.41	88.50	121.72	8.18	10.60	4.12	5.34	4.00	0.63	2.00	0.32	23.72	19.41	88.50	4.31	berhasil
	2	19.41	88.50	121.72	5.44	7.05	1.90	2.47	4.00	0.63	2.00	0.32	23.05	19.41	88.50	3.64	berhasil
Juli	1	19.41	88.50	121.72	4.59	5.95	0.00	0.00	4.30	0.68	2.00	0.32	24.36	19.41	88.50	4.95	berhasil
	2	19.41	88.50	121.72	2.31	2.99	0.00	0.00	4.30	0.68	2.00	0.32	21.41	19.41	88.50	2.00	berhasil
Agustus	1	19.41	88.50	121.72	1.30	1.69	2.81	3.64	4.90	0.77	2.00	0.32	16.36	16.36	85.00	0.00	berhasil
	2	16.36	85.00	105.38	0.78	1.01	2.98	3.86	4.90	0.67	2.00	0.27	12.57	12.57	82.00	0.00	berhasil
September	1	12.57	82.00	91.84	13.50	17.49	1.48	1.92	5.00	0.60	2.00	0.24	27.31	19.41	88.50	7.90	berhasil
	2	19.41	88.50	121.72	2.73	3.54	1.45	1.88	5.00	0.79	2.00	0.32	19.97	19.41	88.50	0.56	berhasil
Oktober	1	19.41	88.50	121.72	1.64	2.13	2.15	2.79	5.30	0.84	2.00	0.32	17.59	17.59	86.00	0.00	berhasil
	2	17.59	86.00	109.89	9.03	11.70	1.44	1.87	5.30	0.75	2.00	0.28	26.39	19.41	88.50	6.98	berhasil
November	1	19.41	88.50	121.72	33.99	44.05	0.00	0.00	5.30	0.84	2.00	0.32	62.30	19.41	88.50	42.89	berhasil
	2	19.41	88.50	121.72	37.09	48.07	0.00	0.00	5.30	0.84	2.00	0.32	66.33	19.41	88.50	46.92	berhasil
Desember	1	19.41	88.50	121.72	60.61	78.56	0.00	0.00	4.20	0.66	2.00	0.32	96.99	19.41	88.50	77.58	berhasil
	2	19.41	88.50	121.72	50.29	65.17	6.73	8.72	4.20	0.66	2.00	0.32	74.88	19.41	88.50	55.47	berhasil

Pada optimasi awal masa tanam terjadi beberapa kegagalan yang berbeda-beda. Berikut adalah grafik persentase kegagalan dari masa tanam alternatif yang dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Grafik Persentase Kegagal Alternatif Awal Masa Tanam

Alternatif masa tanam paling optimal terjadi pada awal masa tanam bulan November periode 1 dengan persentase kegagalan 0,49%. Sedangkan alternatif masa tanam paling gagal terjadi pada awal masa tanam bulan Februari periode 2 sebesar 2,78%.