



Analisis Neraca Air Bendung Dodokuseng Daerah Irigasi Noongan Kabupaten Minahasa

Injilia P. Timbuleng^{#a}, Tiny Mananoma^{#b}, Jeffry S. F. Sumarauw^{#b}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^ainjilia.timbuleng@gmail.com; ^btmananoma@yahoo.com; ^cjeffrysumarauw@unsrat.ac.id

Abstrak

Penelitian ini berfokus pada analisis neraca air di Bendung Dodokuseng, yang merupakan bagian dari daerah irigasi Noongan di Desa Amongena, Kecamatan Langowan Timur, Kabupaten Minahasa. Dilihat dari pemanfaatan air yang sebagian besar digunakan untuk memenuhi kebutuhan air irigasi, maka dengan melakukan review neraca air, diharapkan dapat memberikan pemahaman tentang pemanfaatan sumber daya air yang optimal. Analisis ini menggunakan metode NRECA (*National Rural Electric Cooperative Association*) untuk menghitung ketersediaan air, yang juga diikuti oleh data-data penunjang, yaitu data curah hujan, data topografi dan klimatologi, serta data debit terukur sungai. Hasil dari analisis neraca air menunjukkan bahwa ketersediaan air untuk pemenuhan kebutuhan irigasi ditambah dengan kebutuhan untuk pemeliharaan sungai, tidak mampu memenuhi kebutuhan air untuk lahan irigasi. Namun, terjadi surplus air apabila tidak memperhitungkan kebutuhan pemeliharaan sungai.

Kata kunci : Bendung Dodokuseng, Metode NRECA, neraca air

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Perairan memiliki peran yang sangat penting dalam menjaga keberlanjutan kehidupan manusia dan ekosistem di sekitarnya. Salah satu bagian penting dalam manajemen sumber daya air adalah bendung. Bendung memiliki peran dalam mengendalikan aliran air sungai, yang pada gilirannya berdampak pada pasokan air untuk keperluan pertanian dan domestik. Penilaian potensi neraca air di sekitar bendung menjadi sangat relevan, karena hal ini berkontribusi pada pemahaman tentang bagaimana pengaturan air yang efisien dan berkelanjutan dapat dicapai.

Dalam konteks ini, Bendung Dodokuseng di Daerah Irigasi Noongan, Kabupaten Minahasa, memiliki peran yang signifikan dalam memenuhi kebutuhan air bagi pertanian dan masyarakat setempat. Oleh karena itu, melakukan review neraca air di bendung ini akan memberikan wawasan mendalam tentang bagaimana pemanfaatan sumber daya air yang optimal dapat diterapkan dalam rangka menjaga ketersediaan air yang seimbang antara kebutuhan pertanian dan lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Keseimbangan antara ketersediaan air dengan kebutuhan air di Bendung Dodokuseng.

1.3 Batasan Penelitian

Adapun dalam penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut :

- Analisis dilakukan untuk mendapatkan Neraca Air
- Kebutuhan air dihitung sesuai daerah layanan yang ada

1.4 Maksud dan Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan review potensi neraca air di Bendung Dodokuseng Daerah Irigasi Noongan, Kabupaten Minahasa. Dengan melakukan analisis terhadap aliran air masuk dan keluar dari bendung serta pola penggunaan air di sekitarnya, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang bagaimana neraca air yang optimal dapat dijaga untuk mendukung keberlanjutan pertanian dan lingkungan di daerah tersebut.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengelolaan sumber daya air di Bendung Dodokuseng dan daerah irigasi sekitarnya, diantaranya :

- Dapat menjadi dasar bagi pengambilan keputusan terkait pengaturan air, pertanian berkelanjutan, dan perlindungan lingkungan di Kabupaten Minahasa
- Dapat menjadi sumbangan ilmiah dalam literatur yang berkaitan dengan manajemen sumber daya air dan pertanian berkelanjutan di wilayah tropis

2. Metode

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi Bendung Dodokuseng terletak pada koordinat geografis 1°09'13"N dan 124°51'11"E, yang merupakan bagian dari DI Noongan, Kabupaten Minahasa di Provinsi Sulawesi Utara, Indonesia. Wilayah ini dikenal sebagai daerah agraris yang mengandalkan sebagian besar pada pertanian sebagai mata pencaharian utama penduduknya. Pertanian di daerah ini melibatkan berbagai jenis tanaman seperti padi, sayuran, dan buah-buahan.



Gambar 1. (a). Lokasi Penelitian (sumber: Google Earth), (b). Bendung dari Arah Hulu

2.2 Bagan Alir Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan menurut alur pada Gambar 2.

3. Kajian Literatur

3.1 Evapotranspirasi Metode Penman-Monteith Modification

Pengolahan data cuaca untuk perhitungan evapotranspirasi tanaman acuan dengan metode FAO Penman-Monteith Modifikasi perlu dilakukan mengingat pencatatan data di lapangan yang berbeda-beda. Rumus perhitungan evapotranspirasi tanaman acuan dengan metode *FAO Penman-Monteith Modification* (Sumarauw, J.S.F.,2018) adalah :

$$ET_o = c[W \times R_n + (1 - W)f(U)(e_a - e_d)]$$

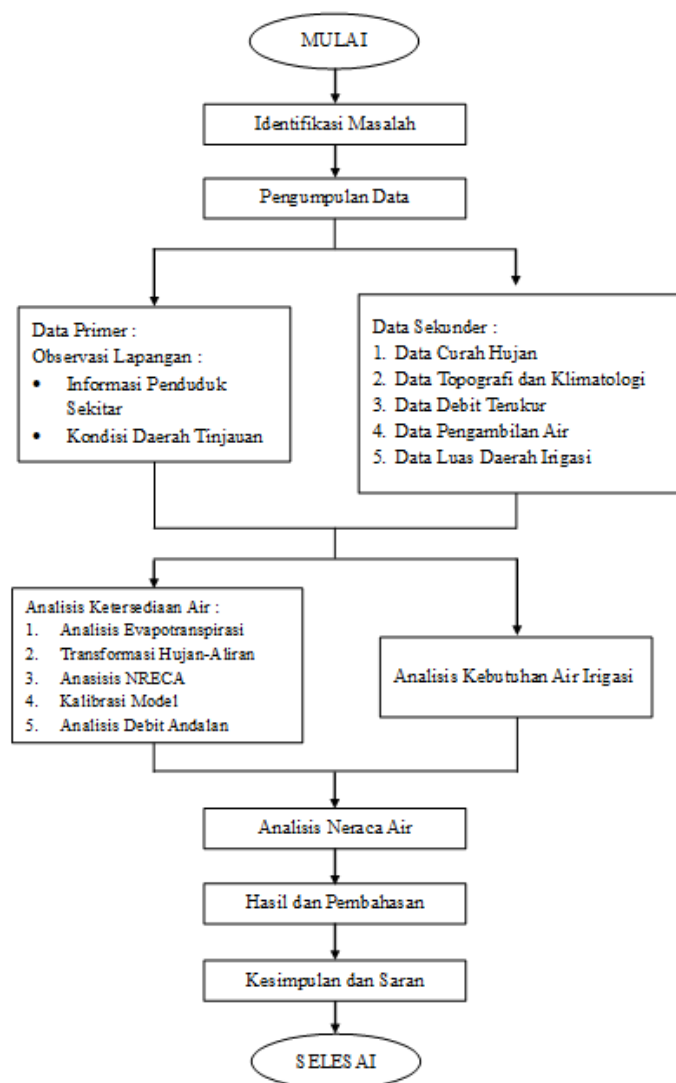
3.2 Analisis Ketersediaan Air dengan Model NRECA Modified

Dalam penelitian ini, transformasi hujan menjadi aliran akan dihitung menggunakan metode NRECA. *National Rural Electric Cooperative Association* (NRECA) di America mengembangkan suatu model hidrologi untuk menghitung besarnya aliran khususnya untuk proyek pembangkit listrik. Model ini dikembangkan oleh Norman H. Crawford dan Steven M. Thurin (1981).

Persamaan dasar keseimbangan air yang digunakan pada metode NRECA adalah sebagai berikut:

$$RO = Rb - AE + \Delta S$$

Model NRECA yang asli, tidak memperhitungkan *Crop Factor*, sehingga jika diaplikasikan pada daerah dengan lahan padi yang luas, maka pengaruh evapotranspirasi dari lahan padi yang relative besar tidak terakomodasi dengan baik. Adidarma (1996), memasukkan *Crop Factor* menjadi salah satu parameter DAS dalam *NRECA Modified*, untuk memperhitungkan jenis tanaman penutup dari suatu DAS. Kisaran nilai CROPF ini antara 0,9 - 1,1.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

3.3 Kalibrasi Debit

Hasil analisis debit metode NRECA tidak dapat langsung digunakan karena hasilnya masih diragukan, sehingga diperlukan langkah kalibrasi model untuk mengetahui kelayakan dan ketepatan data tersebut. Kalibrasi model dilakukan dengan membandingkan hasil analisis dengan

data terukur. Semakin sedikit selisih perbedaannya, maka semakin tepat hasil analisis data debit metode NRECA tersebut.

3.3.1 Koefisien Determinasi

Uji Koefisien Determinasi digunakan untuk menilai tingkat kemiripan model hidrologi antara hasil debit analisis dan debit terukur. Dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$r^2 = \left(\frac{(\sum n \cdot \sum Q_o \cdot Q_p) - (\sum Q_o \cdot \sum Q_p)}{\sqrt{(\sum n \cdot \sum Q_o^2) - (\sum Q_o)^2} (\sum n \cdot \sum Q_p^2) - (\sum Q_p)^2}} \right)^2$$

Nilai uji Koefisien Determinasi (r^2) berkisar antara $-\infty$ sampai 1. Jika nilainya adalah 1 ($r^2=1$) menandakan bahwa data analisis dan data terukur sangatlah mirip. Pada dasarnya, jika nilai Koefisien Determinasi (r^2) mendekati 1, maka semakin akurat data debit analisis.

3.4 Debit Andalan

Debit andalan adalah debit minimum sungai yang dipengaruhi oleh nilai probabilitas. Tingkat keandalan debit dihitung berdasarkan nilai probabilitas kejadian mengikuti rumus Weibull sebagai berikut:

$$P(X \geq x) = \frac{m}{n+1} \times 100\%$$

3.5 Kebutuhan Air

Kebutuhan air pengambilan adalah jumlah debit air yang dibutuhkan oleh suatu hektar sawah untuk menanam padi atau palawija. Kebutuhan pengambilan ini dipengaruhi oleh efisiensi irigasi. Kebutuhan pengambilan dihitung dengan cara membagi kebutuhan bersih air di sawah (NFR) dengan keseluruhan efisiensi irigasi.

3.6 Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif adalah curah hujan yang jatuh selama masa tumbuh tanaman, yang dapat digunakan untuk memenuhi air konsumtif tanaman. Untuk irigasi pada curah hujan efektif bulanan diambil 70% dari curah hujan minimum tengah bulanan dengan periode ulang 5 tahun (KP-01).

3.7 Neraca Air

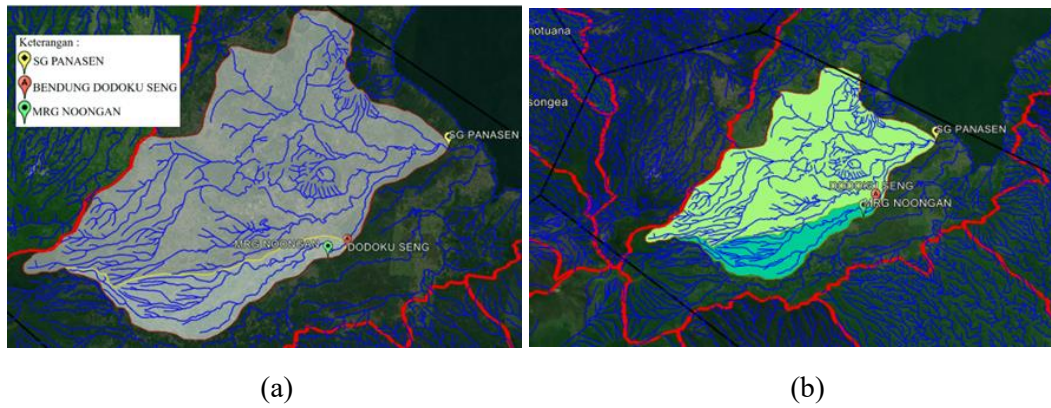
Neraca air merupakan kesetimbangan antara ketersediaan air dan kebutuhan air. Jika hasil neraca air positif, menandakan terdapat kelebihan air (*Surplus*) sedangkan jika neraca air negatif, menandakan terjadi kekurangan air di lokasi yang di teliti (*Defisit*). Persamaan yang dapat digunakan adalah sebagai berikut :

$$\text{Neraca Air} = \text{Ketersediaan Air} - \text{Kebutuhan Air}$$

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Perbandingan Luas DAS

Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh dari peta topografi, diperoleh luas DAS pada Bendung Dodokuseng, yaitu sebesar 9,28 Km² dan untuk luas DAS di titik SG Panasen, yaitu sebesar 59,6 Km².



Gambar 3. (a) Peta Topografi DAS di Titik SG Panasen, (b) Pembagian DAS menurut *Polygon Thiessen* (Sumber : BWS Sulawesi I)

Karena ketidakterediaan data debit di lokasi penelitian, maka akan dilakukan perhitungan debit dengan menggunakan persamaan analisis regional. Data yang diperlukan untuk analisis ini, yaitu untuk luas DAS di titik terdekat yang digunakan adalah SG Panasen, dengan luas DAS. Untuk data debit yang digunakan juga merupakan data debit tahun 2013 dari stasiun terdekat, yaitu SG Panasen yang berada pada hilir bendung.

Tabel 1. Data Debit Tahun 2013 SG Panasen (m³/d)

JAN		FEB		MAR		APR		MEI		JUN		JUL		AUG		SEP		OCT		NOV		DEC	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
92,08	119,19	95,83	52,50	12,58	42,46	17,38	55,17	32,01	4,25	7,68	6,49	8,37	30,54	26,94	5,86	6,06	2,30	3,34	21,75	15,71	29,66	13,78	8,85

$$\text{Perbandingan Luas} = \frac{9,28}{59,60} = 0,155705$$

$$Q_{\text{model}} = \frac{A_{\text{model}}}{A_{\text{observed}}} \times Q_{\text{observed}}$$

Keterangan :

Q_{model} = Debit yang akan dimodelkan

Q_{observed} = Debit terukur/tersedia

A_{model} = Luas DAS dari titik data pemodelan

A_{observed} = Luas DAS dari titik data terukur

Tabel 2. Data Debit Hasil Analisis Regional Sungai Panasen di Titik Bendung Dodokuseng

JAN		FEB		MAR		APR		MEI		JUN		JUL		AUG		SEP		OCT		NOV		DEC	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
14,34	18,56	14,92	8,18	1,96	6,61	2,71	8,59	4,98	0,66	1,20	1,01	1,30	4,76	4,19	0,91	0,94	0,36	0,52	3,39	2,45	4,62	2,15	1,38

Berdasarkan pembagian DAS menurut *Polygon Thiessen* yang ada, Stasiun hujan yang dekat dengan titik Bendung Dodokuseng adalah MRG Noongan. Berikut data curah hujan dari MRG Noongan yang yang diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi I yang kemudian di analisis dengan cara menjumlahkan data hujan per setengah bulannya.

4.2 Evapotranspirasi

Perhitungan Evapotranspirasi dengan menggunakan Metode FAO Penman-Monteith Modification untuk data bulan Januari periode I Tahun 2013 dituangkan dalam tabel perhitungan.

4.3 Pemodelan Debit Bulanan dengan Metode NRECA

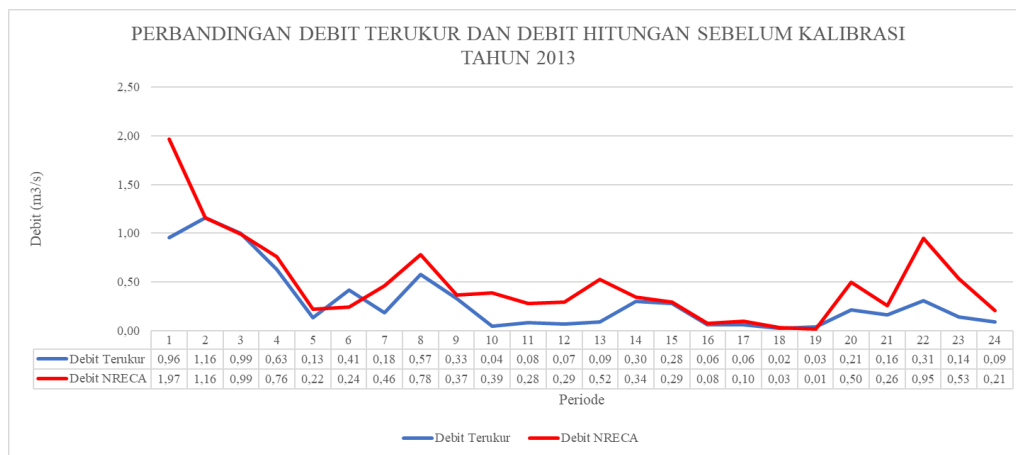
Untuk menghitung ketersediaan air dengan menggunakan metode NRECA tahun 2013, nilai awal yang diberikan adalah data yang diasumsikan sesuai dengan persyaratan dan keadaan di lapangan sebagai acuan awal, yang nantinya akan diperiksa keakuratannya pada tahap kalibrasi model.

4.4 Kalibrasi Model

Kalibrasi model dilakukan untuk mengetahui keterkaitan antara hasil perhitungan model apakah mendekati nilai dari data debit SG Panasen. Hal ini dilakukan untuk memastikan

Tabel 5. Perhitungan Debit dengan Menggunakan Metode NRECA Modified Tahun 2013 Sebelum Kalibrasi

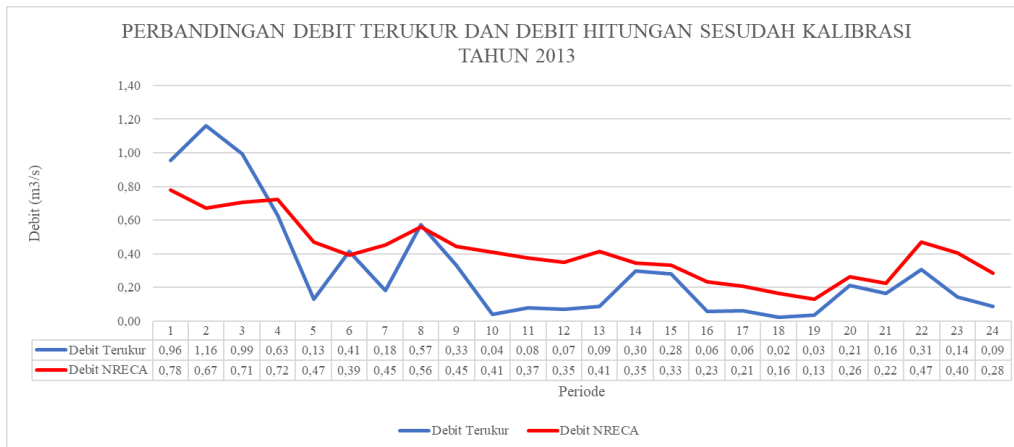
TAHUN	DATE PERIODE	DAY	Rb	PET	MOIST STORAGE (MS)	STOR RATIO (SR)	Rb/PET	AER/PET	AET	WATER BALANCE (WB)	EXCESS MOIST RATIO	EXCESS MOIST	DELTA STORAGE (ΔS)	RECHG GW	GROUND WATER STORAGE BEGIN	END	GW FLOW	DIRECT FLOW	TOTAL FLOW	TOTAL MONTHLY DISCHARGE	OBSERVED MONTHLY DISCHARGE	
			[mm]	[mm]	[mm]			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m ³ /det]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	
2013	Jan	1	15	132,40	30,98	500,00	0,80	4,27	1,00	27,88	104,52	0,32	32,95	71,57	16,47	500,00	516,47	258,24	16,47	274,71	1,97	0,96
		2	16	169,40	33,04	571,57	0,91	5,13	1,00	29,74	139,66	0,42	58,20	81,46	29,10	258,24	287,34	143,67	29,10	172,77	1,16	1,16
	Feb	1	15	193,70	34,32	653,03	1,04	5,64	1,00	30,89	162,81	0,54	88,07	74,74	44,03	143,67	187,70	93,85	44,03	137,89	0,99	0,99
		2	13	119,20	29,74	727,77	1,16	4,01	1,00	26,77	92,43	0,65	60,16	32,27	30,08	93,85	123,93	61,97	30,08	92,05	0,76	0,63
	Mar	1	15	12,00	35,49	760,04	1,21	0,34	0,74	23,63	-11,63	0,00	0,00	-11,63	0,00	61,97	61,97	30,98	0,00	30,98	0,22	0,13
		2	16	73,40	37,85	748,41	1,19	1,94	1,00	34,07	39,33	0,68	26,71	12,62	13,36	30,98	44,34	22,17	13,36	35,52	0,24	0,41
	Apr	1	15	134,20	35,05	761,03	1,22	3,83	1,00	31,54	102,66	0,70	71,43	31,23	35,71	22,17	57,88	28,94	35,71	64,65	0,46	0,18
		2	15	202,80	35,05	792,26	1,26	5,79	1,00	31,54	171,26	0,73	125,84	45,42	62,92	28,94	91,86	45,93	62,92	108,85	0,78	0,57
	Mei	1	15	78,40	33,29	837,68	1,34	2,35	1,00	29,96	48,44	0,79	38,05	10,39	19,02	45,93	64,95	32,48	19,02	51,50	0,37	0,33
		2	16	100,90	35,51	848,07	1,35	2,84	1,00	31,96	68,94	0,80	54,88	14,06	27,44	32,48	59,92	29,96	27,44	57,40	0,39	0,04
	Jun	1	15	66,80	30,04	862,13	1,38	2,22	1,00	27,04	39,76	0,81	32,20	7,57	16,10	29,96	46,06	23,03	16,10	39,13	0,28	0,08
		2	15	74,40	30,04	869,70	1,39	2,48	1,00	27,04	47,36	0,82	38,68	8,68	19,34	23,03	42,57	21,18	19,34	40,53	0,29	0,07
	Jul	1	15	129,60	31,58	878,38	1,40	4,10	1,00	28,42	101,18	0,82	83,43	17,75	41,72	21,18	62,90	31,45	41,72	73,17	0,52	0,09
		2	16	86,00	33,68	896,12	1,43	2,55	1,00	30,31	55,69	0,84	46,77	8,92	23,38	31,45	54,83	27,42	23,38	50,80	0,34	0,30
	Aug	1	15	71,40	32,23	905,04	1,45	2,22	1,00	29,01	42,39	0,85	35,91	6,48	17,95	27,42	45,57	22,69	17,95	40,64	0,29	0,28
		2	16	17,00	34,38	911,53	1,46	0,49	0,86	26,68	-9,68	0,00	0,00	-9,68	0,00	22,69	22,69	11,34	0,00	11,34	0,08	0,06
	Sep	1	15	44,60	36,16	901,84	1,44	1,23	1,00	32,55	12,05	0,84	10,18	1,87	5,09	11,34	16,43	8,22	5,09	13,31	0,10	0,06
		2	15	16,60	36,16	903,72	1,44	0,46	0,85	27,64	-11,04	0,00	0,00	-11,04	0,00	8,22	8,22	4,11	0,00	4,11	0,03	0,02
	Oct	1	15	17,20	36,16	892,68	1,43	0,48	0,85	27,64	-10,44	0,00	0,00	-10,44	0,00	4,11	4,11	2,05	0,00	2,05	0,01	0,03
		2	16	152,80	38,57	882,23	1,41	3,96	1,00	34,72	118,08	0,83	97,77	20,31	48,89	2,05	50,94	25,47	48,89	74,36	0,50	0,21
	Nov	1	15	68,20	34,80	902,54	1,44	1,96	1,00	31,32	36,88	0,85	31,17	5,71	15,58	25,47	41,05	20,53	15,58	36,11	0,26	0,16
		2	15	223,00	34,80	908,26	1,45	6,41	1,00	31,32	191,68	0,85	162,85	28,83	81,43	20,53	101,95	50,98	81,43	132,40	0,95	0,31
	Dec	1	15	105,50	33,73	937,09	1,50	3,13	1,00	30,35	75,15	0,87	65,44	9,71	32,72	50,98	83,70	41,85	32,72	74,57	0,53	0,14
		2	16	47,20	35,97	946,79	1,51	1,31	1,00	32,38	14,82	0,88	13,01	1,82	6,50	41,85	48,35	24,18	6,50	30,68	0,21	0,09



Gambar 4. Grafik Perbandingan Debit Terukur dan Debit Hitungan Tahun 2013 Sebelum Kalibrasi

Tabel 6. Perhitungan Debit dengan Menggunakan Metode NRECA Modified Tahun 2013 Sesudah Kalibrasi

TAHUN	DATE PERIOD	DAY	MOIST STORAGE		STOR RATIO	WATER BALANCE			EXCESS MOIST RATIO	EXCESS MOIST	DELTA STORAGE	RECING GW	GROUND WATER STORAGE		GW FLOW	DIRECT FLOW	TOTAL FLOW	TOTAL MONTHLY DISCHARGE	OBSERVED MONTHLY DISCHARGE		
			(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)					(mm)	(mm)						(mm)	(mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)
Jan	1	15	132,40	30,98	500,00	0,80	4,27	1,00	34,08	98,32	0,32	31,00	67,33	27,90	500,00	527,89	105,58	3,10	108,68	0,78	0,96
	2	16	169,40	33,04	567,32	0,91	5,13	1,00	36,35	133,05	0,41	54,61	78,45	40,15	422,31	471,46	94,29	5,46	99,75	0,67	1,16
Feb	1	15	193,70	34,32	645,77	1,03	5,64	1,00	37,75	135,95	0,53	82,63	73,32	74,36	377,17	481,53	90,31	8,26	98,57	0,71	0,99
	2	13	119,20	29,74	719,09	1,15	4,01	1,00	32,72	86,48	0,64	55,34	31,25	49,71	361,22	409,94	82,19	5,52	87,71	0,72	0,63
Mar	1	15	12,00	35,40	750,34	1,20	0,34	0,73	28,68	-16,68	0,00	0,00	-16,68	0,00	328,75	328,75	65,75	0,00	65,75	0,47	0,13
	2	16	73,40	37,85	733,66	1,17	1,94	1,00	41,64	31,76	0,66	20,93	10,83	18,84	263,00	281,84	56,37	2,09	58,46	0,39	0,41
Apr	1	15	134,20	35,05	744,49	1,19	3,83	1,00	38,55	95,65	0,67	64,45	31,19	58,01	225,47	283,48	56,70	6,45	63,14	0,45	0,58
	2	15	202,80	35,05	775,68	1,24	5,79	1,00	38,55	164,25	0,71	117,35	46,90	105,62	226,78	332,40	66,48	11,74	78,21	0,56	0,57
Mai	1	15	78,40	33,20	822,58	1,31	2,35	1,00	36,62	41,78	0,77	32,15	9,63	26,93	265,92	294,85	38,97	3,21	42,18	0,45	0,33
	2	16	100,90	35,51	832,21	1,33	2,84	1,00	39,06	61,84	0,78	48,22	13,62	41,40	235,88	279,28	55,86	4,82	60,68	0,41	0,44
Jun	1	15	66,80	30,04	845,83	1,35	2,22	1,00	33,05	33,75	0,79	26,79	6,96	34,11	223,42	247,54	40,51	2,68	43,19	0,37	0,88
	2	15	74,40	30,04	852,79	1,36	2,48	1,00	33,05	41,35	0,80	33,11	8,24	29,80	198,03	227,83	45,57	3,31	48,88	0,35	0,07
Jul	1	15	120,60	31,38	861,03	1,37	4,10	1,00	34,74	94,86	0,81	76,71	18,15	69,04	182,26	251,31	30,26	7,67	57,93	0,41	0,89
	2	16	86,00	33,68	879,18	1,40	2,55	1,00	37,05	48,95	0,83	40,40	8,55	36,36	201,04	237,40	47,48	4,04	51,52	0,35	0,30
Aug	1	15	71,40	32,23	887,73	1,42	2,22	1,00	35,45	35,95	0,83	29,94	6,01	36,94	189,92	216,86	43,37	2,99	46,37	0,33	0,28
	2	16	17,00	34,38	893,74	1,43	0,49	0,86	32,34	-15,34	0,00	0,00	-15,34	0,00	173,49	173,49	34,70	0,00	34,70	0,23	0,06
Sep	1	15	44,60	36,16	898,40	1,40	1,23	1,00	39,78	4,82	0,82	3,98	0,85	3,58	138,79	142,37	28,47	0,40	28,87	0,21	0,06
	2	15	16,60	36,16	899,25	1,40	0,46	0,84	33,36	-16,76	0,00	0,00	-16,76	0,00	113,90	113,90	22,78	0,00	22,78	0,16	0,02
Okt	1	15	17,20	36,16	882,48	1,38	0,48	0,84	33,28	-16,08	0,00	0,00	-16,08	0,00	91,12	91,12	18,22	0,00	18,22	0,13	0,03
	2	16	152,80	38,57	846,40	1,35	3,96	1,00	42,43	110,37	0,79	87,67	22,69	78,91	72,89	151,80	30,36	8,77	39,13	0,26	0,21
Nov	1	15	88,20	34,80	869,09	1,39	1,96	1,00	38,28	29,92	0,82	24,42	5,50	21,98	121,44	149,42	28,68	2,44	31,13	0,22	0,16
	2	15	223,00	34,80	874,59	1,40	6,41	1,00	38,28	184,72	0,82	151,70	33,02	136,53	114,74	291,26	50,25	15,17	65,42	0,47	0,31
Des	1	15	105,50	33,73	907,62	1,45	3,13	1,00	37,10	68,40	0,85	58,08	10,32	52,27	201,01	253,28	50,66	5,81	56,46	0,40	0,14
	2	16	47,20	33,97	917,94	1,47	1,31	1,00	39,57	7,63	0,86	6,54	1,09	5,88	202,63	208,51	41,70	0,65	42,36	0,28	0,09



Gambar 5. Grafik Perbandingan Debit Terukur dan Debit Hitungan Tahun 2013 Sesudah Kalibrasi

Untuk menguji keterkaitan antara debit analisis hasil kalibrasi dan debit terukur, digunakan uji Koefisien Determinasi.

Tabel 8. Kriteria Nilai Korelasi

$r^2 > 0 - 0,199$	Sangat Rendah
$r^2 > 0,20 - 0,399$	Rendah
$r^2 > 0,40 - 0,599$	Sedang
$r^2 > 0,6 - 0,799$	Kuat
$r^2 = 0,80 - 1,00$	Sangat Kuat

(Sumber ; Sugiyono, 2008)

Tabel 9. Perhitungan Uji Koefisien Determinasi (r^2) untuk Data Tahun 2013

No	Bulan	X	Y	XY	X ²	Y ²	r	r ²
1	Jan	1	0,96	0,78	0,74	0,91	0,84	0,71
2		2	1,16	0,67	0,78	1,35		
3	Feb	1	0,99	0,71	0,70	0,99		
4		2	0,63	0,72	0,46	0,40		
5	Mar	1	0,13	0,47	0,06	0,02		
6		2	0,41	0,39	0,16	0,17		
7	Apr	1	0,18	0,45	0,08	0,03		
8		2	0,57	0,56	0,32	0,33		
9	Mei	1	0,33	0,45	0,15	0,11		
10		2	0,04	0,41	0,02	0,00		
11	Jun	1	0,08	0,37	0,03	0,01		
12		2	0,07	0,35	0,02	0,00		
13	Jul	1	0,09	0,41	0,04	0,01		
14		2	0,30	0,35	0,10	0,09		
15	Aug	1	0,28	0,33	0,09	0,08		
16		2	0,06	0,23	0,01	0,00		
17	Sep	1	0,06	0,21	0,01	0,00		
18		2	0,02	0,16	0,00	0,00		
19	Oct	1	0,03	0,13	0,00	0,00		
20		2	0,21	0,26	0,06	0,04		
21	Nov	1	0,16	0,22	0,04	0,03		
22		2	0,31	0,47	0,14	0,09		
23	Dec	1	0,14	0,40	0,06	0,02		
24		2	0,09	0,28	0,02	0,01		
	Jumlah		7,31	9,80	4,11	4,69		
	Rata-rata		0,30	0,41	0,17	0,20		

Setelah dilakukan perhitungan debit analisis untuk tahun-tahun berikutnya, berikut ini disajikan tabel rekapitulasi debit hitungan hasil kalibrasi model NRECA dari tahun 2011 sampai dengan tahun 2022.

Tabel 10. Rekapitulasi Debit Hitungan Model NRECA Modified Kalibrasi

Tahun	Debit (m ³ /s)																							
	Jan		Feb		Mar		Apr		Mei		Jun		Jul		Aug		Sep		Okt		Nov		Des	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
2011	0,72	0,58	0,57	0,60	0,51	0,49	0,47	0,39	0,39	0,65	0,52	0,47	0,36	0,30	0,24	0,25	0,56	0,36	0,42	0,28	0,41	0,38	0,40	0,35
2012	0,78	0,61	0,53	0,56	0,53	0,43	0,51	0,53	0,38	0,35	0,31	0,24	0,29	0,36	0,25	0,39	0,27	0,22	0,17	0,13	0,15	0,25	0,32	0,22
2013	0,78	0,67	0,71	0,72	0,47	0,39	0,45	0,56	0,45	0,41	0,37	0,35	0,41	0,35	0,33	0,23	0,21	0,16	0,13	0,26	0,22	0,47	0,40	0,28
2014	0,77	0,63	0,58	0,51	0,36	0,31	0,27	0,21	0,29	0,35	0,32	0,26	0,20	0,29	0,38	0,31	0,24	0,19	0,15	0,20	0,34	0,23	0,31	0,42
2015	0,73	0,63	0,59	0,52	0,36	0,34	0,27	0,38	0,39	0,30	0,38	0,26	0,21	0,16	0,13	0,10	0,09	0,07	0,06	0,04	0,12	0,28	0,32	0,20
2016	0,74	0,59	0,49	0,54	0,35	0,26	0,26	0,25	0,18	0,26	0,24	0,19	0,18	0,21	0,19	0,13	0,17	0,29	0,43	0,43	0,34	0,37	0,30	0,22
2017	0,74	0,58	0,54	0,69	0,47	0,44	0,38	0,34	0,62	0,73	0,68	0,55	0,53	0,42	0,38	0,30	0,25	0,36	0,26	0,25	0,35	0,54	0,34	0,54
2018	0,75	0,55	0,53	0,50	0,42	0,33	0,35	0,37	0,31	0,27	0,24	0,20	0,18	0,13	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05	0,07	0,18	0,20	0,36	0,29
2019	0,76	0,56	0,49	0,48	0,34	0,30	0,26	0,35	0,24	0,26	0,29	0,21	0,17	0,20	0,15	0,11	0,09	0,08	0,06	0,14	0,09	0,12	0,28	0,23
2020	0,82	0,59	0,51	0,47	0,36	0,30	0,25	0,39	0,26	0,35	0,25	0,20	0,23	0,30	0,21	0,16	0,20	0,22	0,26	0,18	0,15	0,12	0,13	0,23
2021	0,75	0,59	0,60	0,52	0,38	0,31	0,31	0,23	0,22	0,27	0,42	0,31	0,24	0,26	0,26	0,18	0,41	0,44	0,30	0,24	0,35	0,39	0,47	0,30
2022	0,76	0,56	0,48	0,53	0,51	0,40	0,45	0,42	0,47	0,38	0,38	0,33	0,26	0,23	0,22	0,27	0,20	0,29	0,28	0,45	0,57	0,50	0,65	0,51

4.5 Debit Andalan

Debit andalan adalah debit minimum sungai dengan kemungkinan terpenuhi dalam presentase tertentu, dengan mengurutkan data debit pada minggu yang sama sesuai dengan jumlah seri data yang ada. Setelah data diurutkan dari besar ke kecil dan didapat probabilitasnya tiap ranking, selanjutnya menentukan debit andalan $Q_{80\%}$ (Berdasarkan KP-01 untuk keperluan irigasi) dan $Q_{95\%}$ (Berdasarkan PP RI No. 38 Tahun 2011 untuk keperluan pemeliharaan sungai), yang jika Debit andalan $Q_{80\%}$ dan $Q_{95\%}$ berada di antara maka harus diinterpolasikan.

Tabel 11. Urutan Data dan perhitungan P(%)

Rangking Data	P	Debit (m ³ /dt)																							
		Jan		Feb		Mar		Apr		Mei		Jun		Jul		Ags		Sep		Okt		Nov		Des	
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1	7,69	0,82	0,67	0,71	0,72	0,53	0,49	0,51	0,56	0,62	0,73	0,68	0,55	0,53	0,42	0,38	0,39	0,56	0,44	0,43	0,45	0,57	0,54	0,65	0,54
2	15,38	0,78	0,63	0,60	0,69	0,51	0,44	0,47	0,53	0,47	0,65	0,52	0,47	0,41	0,36	0,38	0,31	0,41	0,36	0,42	0,43	0,41	0,50	0,47	0,51
3	23,08	0,78	0,63	0,59	0,60	0,51	0,43	0,45	0,42	0,45	0,41	0,42	0,35	0,36	0,35	0,33	0,30	0,27	0,36	0,30	0,28	0,35	0,47	0,40	0,42
4	30,77	0,77	0,61	0,58	0,56	0,47	0,40	0,45	0,39	0,39	0,38	0,38	0,33	0,29	0,30	0,26	0,27	0,25	0,29	0,28	0,26	0,35	0,39	0,40	0,35
5	38,46	0,76	0,59	0,57	0,54	0,47	0,39	0,38	0,39	0,39	0,35	0,38	0,31	0,26	0,30	0,25	0,25	0,24	0,29	0,26	0,25	0,34	0,38	0,36	0,30
6	46,15	0,76	0,59	0,54	0,53	0,42	0,34	0,35	0,38	0,38	0,35	0,37	0,26	0,24	0,29	0,24	0,23	0,21	0,22	0,26	0,24	0,34	0,37	0,34	0,29
7	53,85	0,75	0,59	0,53	0,52	0,38	0,33	0,31	0,37	0,31	0,35	0,32	0,26	0,23	0,26	0,22	0,18	0,20	0,22	0,17	0,20	0,22	0,28	0,32	0,28
8	61,54	0,75	0,58	0,53	0,52	0,36	0,31	0,27	0,35	0,29	0,30	0,31	0,24	0,21	0,23	0,21	0,16	0,20	0,19	0,15	0,18	0,18	0,25	0,32	0,23
9	69,23	0,74	0,58	0,51	0,51	0,36	0,31	0,27	0,34	0,26	0,27	0,29	0,21	0,20	0,21	0,19	0,13	0,17	0,16	0,13	0,14	0,15	0,23	0,31	0,23
10	76,92	0,74	0,56	0,49	0,50	0,36	0,30	0,26	0,25	0,24	0,27	0,25	0,20	0,18	0,20	0,15	0,11	0,09	0,08	0,06	0,13	0,15	0,20	0,30	0,22
11	84,62	0,73	0,56	0,49	0,48	0,35	0,30	0,26	0,23	0,22	0,26	0,24	0,20	0,18	0,16	0,13	0,10	0,09	0,07	0,06	0,07	0,12	0,12	0,28	0,22
12	92,31	0,72	0,55	0,48	0,47	0,34	0,26	0,25	0,21	0,18	0,26	0,24	0,19	0,17	0,13	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,09	0,12	0,13	0,20
13	100,00	0,66	0,51	0,44	0,43	0,32	0,24	0,23	0,19	0,17	0,24	0,22	0,18	0,16	0,12	0,10	0,08	0,07	0,05	0,04	0,04	0,08	0,11	0,12	0,19

Tabel 12. Nilai Analisis Debit Andalan $Q_{80\%}$ dan $Q_{95\%}$ di DAS Panasasen Titik Bendung Dodokuseng

Debit Andalan	Debit (m ³ /dt)																							
	Jan		Feb		Mar		Apr		Mei		Jun		Jul		Ags		Sep		Okt		Nov		Des	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Q_{80}	0,74	0,56	0,49	0,49	0,35	0,30	0,26	0,24	0,23	0,27	0,25	0,20	0,18	0,18	0,14	0,11	0,09	0,07	0,06	0,11	0,14	0,17	0,30	0,22
Q_{95}	0,70	0,54	0,47	0,46	0,33	0,26	0,24	0,20	0,18	0,25	0,24	0,19	0,16	0,13	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,09	0,11	0,13	0,20

4.6 Kebutuhan Air

Penggunaan air DAS Panasen di Titik Bendung Dodokuseng sebagian besar digunakan untuk memenuhi kebutuhan air irigasi. Jadi, kebutuhan air irigasi akan dihitung untuk kebutuhan air irigasi lahan fungsional pada 3 kali pola tanam dalam jangka waktu 1 tahun.

Tabel 13. Masa Persiapan Lahan dan Masa Tanam

Jan		Feb		Mar		Apr		May		Jun		Jul		Aug		Sep		Oct		Nov		Dec	
I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
LP	LP	C	C	C	C	C	C	LP	LP	C	C	C	C	C	C	LP	LP	C	C	C	C	C	C

Keterangan :

LP = Land Preparation (Masa Persiapan Lahan)

C = Crop (Masa Tanam)

Perhitungan Curah hujan efektif menggunakan data curah hujan yang tersedia selama 12 tahun dari tahun 2011-2022 yang disusun dalam setengah bulanan, kemudian diurutkan dari terkecil hingga yang terbesar dan dipilih curah hujan setengah bulanan pada urutan.

Tabel 14. Perhitungan Curah Hujan Efektif (Re)

Urutan	Jan		Feb		Mar		Apr		May		Jun		Jul		Aug		Sep		Oct		Nov		Dec	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1	38,60	12,70	18,00	20,00	5,50	17,00	30,20	29,40	7,80	73,50	0,00	0,00	0,00	22,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,80	0,00	0,00	34,20	4,00
2	64,00	19,80	29,80	22,40	12,00	71,80	36,50	36,50	25,00	75,00	52,40	3,70	4,60	29,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,50	28,30	48,40	57,50	35,00
3	67,00	40,80	48,10	23,50	16,60	73,40	51,00	69,60	26,00	85,80	53,90	23,50	25,00	55,90	7,70	1,00	22,00	0,00	2,30	23,80	55,00	76,00	60,40	40,90
3,4	69,00	42,12	50,22	28,70	17,84	77,00	51,28	71,56	32,08	88,68	59,06	28,10	26,08	58,54	8,62	7,40	23,36	6,64	4,06	35,68	58,60	84,16	78,44	43,42
4	72,00	44,10	53,40	36,50	19,70	82,40	51,70	74,50	41,20	93,00	66,80	35,00	27,70	62,50	10,00	17,00	25,40	16,60	6,70	53,50	64,00	96,40	105,50	47,20
5	88,90	85,90	56,60	63,20	58,20	85,80	59,00	90,50	67,60	100,90	81,00	45,80	35,40	68,20	13,20	25,50	28,20	19,60	17,20	54,50	68,20	103,70	112,60	53,80
6	90,80	87,00	100,00	67,70	60,90	92,00	75,00	108,60	74,70	114,30	83,00	46,00	43,00	86,00	23,41	37,10	29,90	33,80	24,00	69,00	115,50	104,50	119,40	92,40
7	102,40	89,40	101,60	100,80	70,50	96,90	82,30	132,20	78,40	140,20	83,40	53,40	51,20	94,70	55,00	41,20	40,00	48,00	32,20	76,60	127,10	109,50	138,50	94,30
8	104,30	103,00	119,10	119,20	77,80	101,00	103,80	156,20	97,60	168,00	86,40	57,20	59,58	98,50	57,20	55,00	44,60	91,60	51,50	104,50	129,20	127,00	152,60	96,00
9	115,40	109,00	124,50	123,50	122,10	103,50	109,70	183,00	142,00	171,00	105,60	62,00	90,60	104,50	59,00	83,20	82,60	120,50	91,50	133,20	138,30	130,00	154,90	96,20
10	132,40	128,90	150,00	129,00	147,00	117,50	134,20	187,90	146,50	178,20	125,10	64,40	99,30	137,00	71,40	86,30	85,50	130,90	114,10	152,80	139,80	209,14	194,20	146,60
11	141,60	161,30	167,20	137,30	190,60	130,00	137,00	202,80	152,50	285,10	129,50	74,40	101,00	150,20	78,70	118,00	211,40	152,00	123,40	161,00	164,50	220,40	199,50	189,00
12	200,00	169,40	193,70	235,50	204,70	156,50	163,30	224,00	288,50	307,60	198,10	81,00	129,60	152,40	151,60	175,00	265,40	162,50	210,00	213,50	192,00	223,00	200,20	209,50
Rc	3,22	1,97	2,34	1,34	0,83	3,59	2,39	3,34	1,50	4,14	2,76	1,31	1,22	2,73	0,40	0,35	1,09	0,31	0,19	1,67	2,73	3,93	3,66	2,03

Efisiensi irigasi di saluran primer sebesar 90%, di saluran sekunder sebesar 90% dan efisiensi di saluran tersier sebesar 80%. Sehingga diperoleh efisiensi totalnya adalah 90% x 90% x 80% = 65%. Hal ini sesuai dengan KP – 01 dan standarisasi efisiensi penyaluran berdasarkan Direktorat Jenderal Pengairan (1986).

Tabel 15. Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi

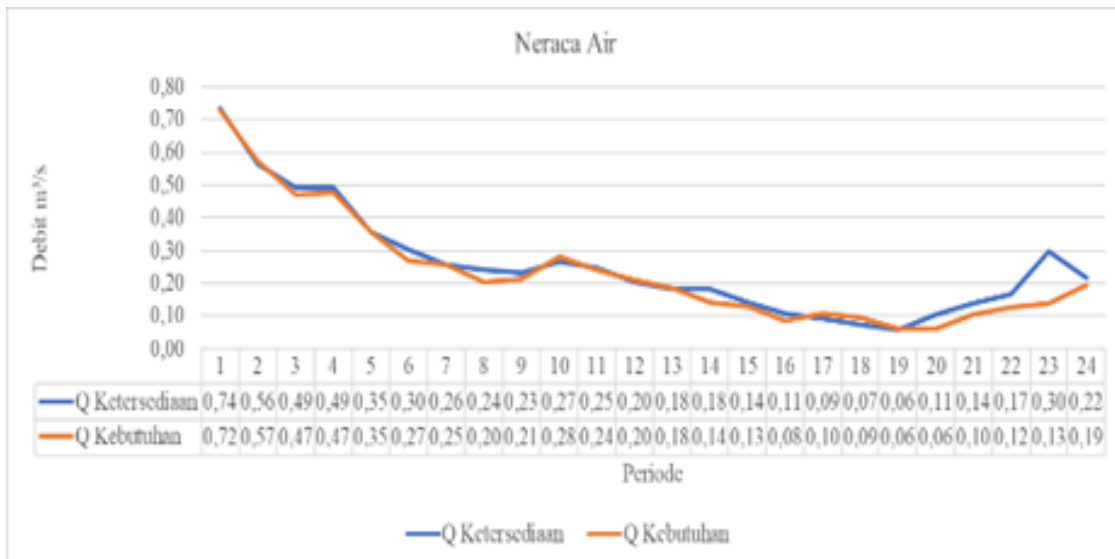
Bulan/ Periode	Eto mm/hari	Re mm/hari	P mm/hari	Masa Penyiapan Lahan (LP)						Masa Tanam ©				Dr lt/dt.ha	Qir m ³ /dt	
				Eo	M	TLp	S	k	IR	NFR*	Kc	Etc	WLR			NFR**
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)
Jan I	2,07	3,22	2,00	2,27	4,27	30,00	300,00	0,43	12,29	9,07					1,61	0,03
Jan II	2,07	1,97	2,00	2,27	4,27	30,00	300,00	0,43	12,29	10,32					1,84	0,03
Feb I	2,29	2,34	2,00								1,10	2,52		2,17	0,39	0,01
Feb II	2,29	1,34	2,00								1,10	2,52	3,85	7,02	1,25	0,02
Mar I	2,37	0,83	2,00								1,05	2,48	3,33	6,99	1,24	0,02
Mar II	2,37	3,59	2,00								1,05	2,48	3,13	4,02	0,72	0,01
April I	2,34	2,39	2,00								0,95	2,22	3,33	5,16	0,92	0,02
April II	2,34	3,34	2,00												0,00	0,00
Mei I	2,22	1,50	2,00	2,44	4,44	30,00	300,00	0,44	12,38	10,89					1,94	0,03
Mei II	2,22	4,14	2,00	2,44	4,44	30,00	300,00	0,44	12,38	8,25					1,47	0,03
Juni I	2,00	2,76	2,00								1,10	2,20		1,45	0,26	0,00
Juni II	2,00	1,31	2,00								1,10	2,20	3,33	6,23	1,11	0,02
Juli I	2,11	1,22	2,00								1,05	2,21	3,33	6,33	1,13	0,02
Juli II	2,11	2,73	2,00								1,05	2,21	3,13	4,60	0,82	0,01
Agust I	2,15	0,40	2,00								0,95	2,04	3,33	6,97	1,24	0,02
Agust II	2,15	0,35	2,00												0,00	0,00
Sept I	2,41	1,09	2,00	2,65	4,65	30,00	300,00	0,47	12,51	11,42					2,03	0,04
Sept II	2,41	0,31	2,00	2,65	4,65	30,00	300,00	0,47	12,51	12,20					2,17	0,04
Okt I	2,41	0,19	2,00								1,10	2,65		4,46	0,79	0,01
Okt II	2,41	1,67	2,00								1,10	2,65	3,13	6,11	1,09	0,02
Nov I	2,32	2,73	2,00								1,05	2,44	3,33	5,03	0,90	0,02
Nov II	2,32	3,93	2,00								1,05	2,44	3,33	3,84	0,68	0,01
Des I	2,25	3,66	2,00								0,95	2,14	3,33	3,81	0,68	0,01
Des II	2,25	2,03	2,00												0,00	0,00

4.7 Analisis Neraca Air

Setelah didapat hasil analisis ketersediaan air dan kebutuhan air DAS Panasen di Titik Bendung Dodokuseng, maka selanjutnya dapat dilihat keseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air di titik kontrol tersebut.

Tabel 16. Neraca Air DAS Panasen di Titik Bendung Dodokuseng untuk Irigasi dengan Memperhitungkan Kebutuhan Air $Q_{95\%}$

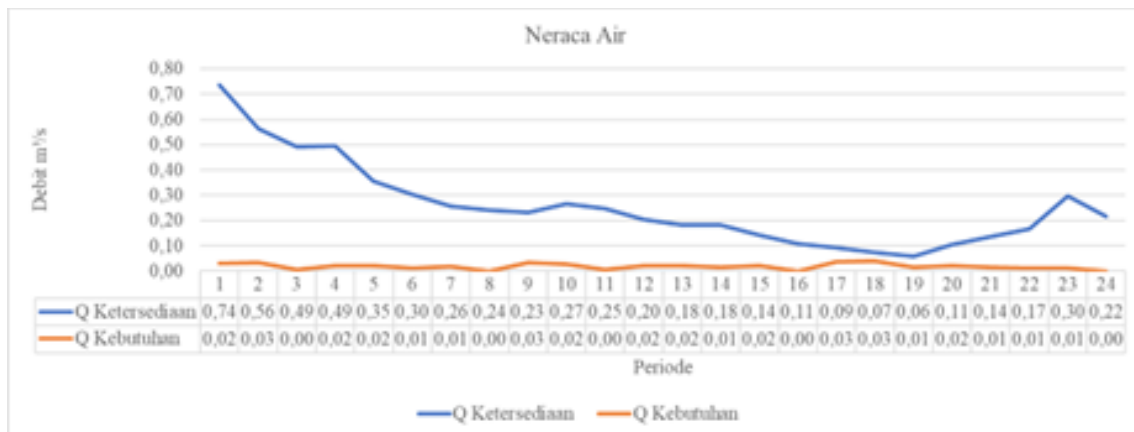
Bulan	Periode	Ketersediaan Air (m ³ /s)	Q 95 (m ³ /det)	Kebutuhan Air Irigasi (m ³ /s)	Kebutuhan Air Total (m ³ /det)	Neraca Air (m ³ /s)
Jan	I	0,74	0,70	0,029	0,729	0,007
	II	0,56	0,54	0,033	0,572	-0,009
Feb	I	0,49	0,47	0,007	0,472	0,020
	II	0,49	0,46	0,023	0,478	0,015
Mar	I	0,35	0,33	0,022	0,356	-0,001
	II	0,30	0,26	0,013	0,270	0,033
Apr	I	0,26	0,24	0,017	0,255	0,003
	II	0,24	0,20	0,000	0,205	0,036
May	I	0,23	0,18	0,035	0,213	0,020
	II	0,27	0,25	0,026	0,280	-0,014
Jun	I	0,25	0,24	0,005	0,241	0,007
	II	0,20	0,19	0,020	0,209	-0,006
Jul	I	0,18	0,16	0,020	0,184	-0,002
	II	0,18	0,13	0,015	0,141	0,041
Aug	I	0,14	0,11	0,022	0,130	0,012
	II	0,11	0,09	0,000	0,085	0,022
Sep	I	0,09	0,07	0,037	0,108	-0,017
	II	0,07	0,06	0,039	0,096	-0,023
Oct	I	0,06	0,05	0,014	0,060	-0,002
	II	0,11	0,04	0,020	0,060	0,045
Nov	I	0,14	0,09	0,016	0,104	0,033
	II	0,17	0,11	0,012	0,127	0,040
Dec	I	0,30	0,13	0,012	0,139	0,156
	II	0,22	0,20	0,000	0,196	0,022



Gambar 6. Grafik Neraca Air di Titik Bendung Dodokuseng untuk Irigasi pada Lahan Fungsional dengan Memperhitungkan Air $Q_{95\%}$

Tabel 17. Neraca Air DAS Panasen di Titik Bendung Dodokuseng untuk Irigasi Tanpa Memperhitungkan Kebutuhan Air $Q_{95\%}$

Bulan	Periode	Ketersediaan Air (m ³ /s)	Kebutuhan Air Irigasi (m ³ /s)	Neraca Air (m ³ /s)
Jan	I	0,74	0,029	0,707
	II	0,56	0,033	0,530
Feb	I	0,49	0,007	0,485
	II	0,49	0,023	0,471
Mar	I	0,35	0,022	0,332
	II	0,30	0,013	0,291
Apr	I	0,26	0,017	0,241
	II	0,24	0,000	0,241
May	I	0,23	0,035	0,198
	II	0,27	0,026	0,240
Jun	I	0,25	0,005	0,243
	II	0,20	0,020	0,183
Jul	I	0,18	0,020	0,162
	II	0,18	0,015	0,168
Aug	I	0,14	0,022	0,120
	II	0,11	0,000	0,107
Sep	I	0,09	0,037	0,055
	II	0,07	0,039	0,034
Oct	I	0,06	0,014	0,044
	II	0,11	0,020	0,086
Nov	I	0,14	0,016	0,121
	II	0,17	0,012	0,155
Dec	I	0,30	0,012	0,283
	II	0,22	0,000	0,218

**Gambar 7.** Grafik Neraca Air di Titik Bendung Dodokuseng untuk Irigasi pada Lahan Fungsional Tanpa Memperhitungkan Air $Q_{95\%}$

5. Kesimpulan

Setelah dilakukan perhitungan untuk neraca air dengan memperhitungkan kebutuhan $Q_{95\%}$, didapati beberapa periode terjadi defisit, yaitu pada bulan Januari II, Maret I, Mei II, Juni II, Juli I, September I, September II, dan Oktober I, imana kebutuhan (*Demand*) air lebih besar dibandingkan ketersediaan (*Supply*) air, sehingga tidak mampu melayani kebutuhan air irigasi. Namun, pada perhitungan yang tidak memperhitungkan kebutuhan $Q_{95\%}$ tidak terjadi defisit air, sebaliknya terjadi surplus atau kelebihan air. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa ketersediaan air di Bendung Dodokuseng yang diikuti dengan perhitungan untuk kebutuhan pemeliharaan sungai belum optimal dalam memenuhi kebutuhan air irigasi untuk lahan fungsional.

Referensi

- _____. *Data Debit Harian SG Panasen*. Balai Wilayah Sungai Sulawesi I
- _____. *Data Hujan Harian MRG Noongan*. Balai Wilayah Sungai Sulawesi I
- _____. *Data Klimatologi Pos Pengamatan Peleloan Tondano*. Balai Wilayah Sungai I
- _____. *Direktorat Jenderal Pengairan, 1986-1987*. Direktorat Jenderal Pengairan, Indonesia
- _____. *Siklus Air (Gadget)*. 2017. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, Dan Teknologi Republik Indonesia, Jakarta.
- _____. *Standar Perencanaan Irigasi-Kriteria Perencanaan Bagian Jaringan Irigasi KP-01*. Direktur Jendral Pengairan, Jakarta.
- _____. *Sungai*. 2011. Peraturan Pemerintah Nomor 38, Republik Indonesia
- Adare, Demetrius R. Ch, Liany A. Hendratta, Jeffry S. F. Sumarauw. 2018. *Analisis Neraca Air Sungai Talawaan di Titik Bendung Talawaan Kabupaten Minahasa Utara*. Jurnal Sipil Statik Vol.6 No.3 (153-162) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Bambang Triadmodjo. 2008. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset, Yogyakarta.
- Dorenboos, J., dan pruit W.O. 1977. *Guidelines for predicting crop water requiremenst, irrigation and drainage paper FAO*.
- Komala Sari, N., & Raya Prima, G. 2023. *Evaluasi Kebutuhan Dan Ketersediaan Air Irigasi Dalam Rangka Peningkatan Hasil Pertanian*. Menara: Jurnal Teknik Sipil, 18(1), 49–58.
- Mentang, Risky Schwars., Tiny Mananoma, Jeffry S. F. Sumarauw. 2017. *Analisis Neraca Air Sungai Paniki Dengan Titik Tinjau Di Jembatan Paniki*, Jurnal Sipil Statik Vol. 5 No. 3 Mei 2017 (123-132) ISSN: 2337-6732, Manado.
- Nayoan, Gerald C. A., Jeffry S. F. Sumarauw, Liany A. Hendratta. 2023. *Analisis Neraca Air Sungai Alopohu Di Titik Bendung Alopohu Kabupaten Gorontalo*. Jurnal Sipil Tekno Vol.21 No.84 Tahun 2023 ISSN: 0215- 9617, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Sisvanto, Kenyo S., Tiny Mananoma, Jeffry S. F. Sumarauw. 2017. *Analisis Neraca Air Sungai Alo di Titik Bendung Alo Kabupaten Gorontalo*, Jurnal Sipil Statik Vol. 8 No. 4 Juli 2020 (565- 578) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Sosrodarsono, Suyono dan Takeda, Kensaku. 2003. *Hidrologi untuk Pengairan*. Pradna Pramita, Jakarta.
- Sugiyono. 2008. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Alfabeta, Bandung.
- Sumarauw, J. S. F. 2018. *Bahan Ajar Model Rainfall-Runoff NRECA*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Sumarauw, J. S. F. 2018. *Bahan Ajar Metode Perhitungan Evapotranspirasi*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Sumarauw, J. S. F. 2018. *Bahan Ajar Debit Andalan*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Taju, Matthew D., Jeffry S. F. Sumarauw, Tiny Mananoma. 2023. *Analisis Neraca Air Sungai Malalayang Di Titik Pengamatan Instalasi Pengolahan Air (IPA) Pancuran IX, Winangun, Kota Manado*. Jurnal Sipil Tekno Vol.21 No.84 Tahun 2023 p-ISSN : 0215-9617.