

Evaluasi Keseimbangan Kebutuhan dan Ketersediaan Air pada Daerah Irigasi Gane Timur Kabupaten Halmahera Selatan

Rifan Hamid ^{1*}, Ratna Musa ², Andi Amin Latief ³

1*) Balai Wilayah Sungai Maluku Utara, Kementerian Pekerjaan Umum, Kota Ternate,

ipangkaagam@yahoo.com

2) Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar

3) Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar

Abstract

The agricultural sector plays a vital role in national food security and economic development, with irrigation being a key factor in supporting agricultural productivity. However, water resources are increasingly limited, while irrigation water demand continues to rise due to climate change, population growth, and agricultural intensification. This imbalance between water availability and demand often leads to water shortages, reduced crop yields, and inefficient water use. Such conditions are also experienced in the Gane Timur Irrigation Area, South Halmahera Regency, North Maluku, which covers approximately 2,000 ha of agricultural land and relies on water supply from the SP3 Weir/Galala River. This study aims to analyze irrigation water requirements based on cropping patterns, evaluate water availability supplied by the weir, and assess the water balance between available water and irrigation demand in the Gane Timur Irrigation Area. The methodology involved the analysis of primary and secondary data obtained from field surveys and related agencies. Average and effective rainfall were determined using the arithmetic mean method, while reference evapotranspiration (ET_o) was calculated using the Modified Penman method. Irrigation water requirements were analyzed based on a paddy-paddy-secondary crops cropping pattern, and water availability was assessed using the F.J. Mock method to estimate dependable discharge. The water balance was evaluated by comparing available discharge with irrigation water demand. The results show that the maximum irrigation water requirement ranges from 1.57 to 1.94 L/s/ha, while the dependable discharge of the Galala River varies between 0.913 and 2.449 m³/s. The water balance analysis indicates that the first cropping pattern alternative provides a surplus water condition throughout the year for an irrigated area of 1,000 ha. Therefore, this alternative is considered the most optimal and sustainable cropping pattern for implementation in the Gane Timur Irrigation Area.

Keywords: Cropping pattern, Dependable discharge, Irrigation, Water balance, Water demand,

Abstrak

Sektor pertanian sangat bergantung pada ketersediaan air irigasi yang memadai untuk menjamin produktivitas dan ketahanan pangan. Namun, keterbatasan sumber daya air, fluktuasi curah hujan, serta peningkatan kebutuhan air akibat intensifikasi pertanian dan perubahan iklim sering menimbulkan ketidakseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air. Kondisi tersebut juga terjadi di Daerah Irigasi (D.I.) Gane Timur, Kabupaten Halmahera Selatan, Maluku Utara, yang memiliki luas areal pertanian sekitar 2.000 ha dan bergantung pada suplai air dari Bendung SP3/Sungai Galala. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan air irigasi berdasarkan pola tanam, menghitung ketersediaan air yang dapat disuplai oleh bendung, serta mengevaluasi keseimbangan air (water balance) antara ketersediaan dan kebutuhan air irigasi di D.I. Gane Timur. Metode yang digunakan meliputi analisis data primer dan sekunder melalui survei lapangan, pengolahan data curah hujan rata-rata dan curah hujan efektif dengan metode rerata aritmatik, perhitungan evapotranspirasi menggunakan metode Penman Modifikasi, analisis kebutuhan air irigasi berdasarkan pola tanam padi-padi-palawija, serta analisis ketersediaan air menggunakan metode F.J. Mock untuk memperoleh debit andalan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebutuhan air irigasi maksimum berkisar antara 1,57–1,94 L/detik/ha, sementara debit andalan Sungai Galala berada pada rentang 0,913–2,449 m³/detik. Analisis neraca air menunjukkan bahwa

pola tanam padi-padi-palawija alternatif I memberikan kondisi surplus air sepanjang tahun untuk luasan 1.000 ha, sehingga dinilai paling optimal dan berkelanjutan untuk diterapkan di D.I. Gane Timur.

Kata Kunci: Debit andalan, Irigasi, Kebutuhan air, Neraca air, Pola tanam.

1. PENDAHULUAN

Sektor pertanian memegang peranan vital dalam perekonomian dan ketahanan pangan nasional, dengan irigasi menjadi salah satu faktor penentu keberhasilannya. Namun, ketersediaan sumber daya air semakin terbatas, sementara kebutuhan air irigasi terus meningkat akibat perubahan iklim, pertumbuhan penduduk, dan intensifikasi pertanian. Ketidakseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air dapat mengakibatkan kekurangan air, penurunan produktivitas pertanian, dan konflik pemanfaatan air. Ketersediaan air pada suatu sistem jaringan irigasi akan berpengaruh pada pola tanam. Pola tanam pada musim hujan pasti berbeda dengan pola tanam pada saat musim kemarau. Karena ketersediaan air yang berbeda, sehingga harus menerapkan beberapa pola tanam agar sumber daya dapat dimanfaatkan secara optimal dan juga menghindari dari gagal panen (Alifa Yudha, 2016)

Keseimbangan air atau water balance merupakan siklus air yang seimbang dimana besarnya aliran air yang masuk atau ketersediaan (inflow) dan keluar kebutuhan (outflow) siklus adalah sama, adapun komponen dari ketersediaan air (inflow) ialah air sungai, air hujan, mata air. Dan komponen dari kebutuhan air (outflow) ialah air baku, evaporasi, evapotranspirasi, air irigasi. sedangkan ketidakseimbangan air adalah kebalikannya. Keseimbangan air dalam siklus hidrologi tergantung pada daerah yang diamati sesuai dengan inflow dan outflow. Siklus hidrologi merupakan konsep dasar tentang keseimbangan air secara global dan juga menunjukkan semua hal yang berhubungan dengan air. Siklus hidrologi tidak akan dapat berlangsung jika atmosfer tidak mempunyai kemampuan dalam menampung dan mengangkut uap air. Karena itu, keberadaan atmosfer sangat penting dalam proses distribusi air ke seluruh permukaan bumi. Untuk menganalisis keseimbangan air, banyak metode yang dalam proses perhitungannya memanfaatkan data iklim yang pada umumnya tersedia di stasiun klimatologi (Hadriyana dkk., 2015)

Ketersediaan air yang cukup untuk irigasi guna mendukung produksi pertanian yang optimal dan keterbatasan pasokan air akibat faktor-faktor seperti curah hujan, evapotranspirasi, dan manajemen irigasi. Evaluasi keseimbangan kebutuhan dan ketersediaan air diperlukan untuk memastikan sistem irigasi dapat memenuhi kebutuhan tanaman secara berkelanjutan dan mencegah masalah seperti kekurangan air atau inefisiensi penggunaan air.

Penelitian ini dilakukan di Daerah Irigasi Gane Timur terletak di Desa Sumber makmur Kecamatan Gane Timur, yang secara administratif berada di Kabupaten Halmahera Selatan, Maluku Utara merupakan salah satu daerah pertanian yang mencakup areal pertanian seluas 2.000 Ha, dengan pensuplaian airnya di ambil dari dari Bendung SP3/Sungai Galala dan Bendung SP2/Maribobudo, persawahan dengan produksi padi 2,50 ton/Ha dan intensitas tanam sebesar 50%. Namun, fluktuasi pasokan air musiman, terutama pada musim kemarau, sering kali menyebabkan defisit air. Hal itu terjadi karena air bersifat dinamis maka nilai neraca air selalu berubah dari waktu ke waktu sehingga di suatu tempat kemungkinan bisa terjadi kelebihan air (surplus) ataupun kekurangan (defisit). Oleh karena itu D.I Gane Timur sering mengalami masalah dalam keseimbangan air karena kebutuhan air melebihi ketersediaan air yang ada. Di sisi lain, belum ada evaluasi komprehensif mengenai kondisi keseimbangan air di wilayah ini.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis dan menghitung besarnya kebutuhan air irigasi di Daerah Irigasi Gane Timur berdasarkan pola tanam serta data klimatologi,

menganalisis dan menghitung ketersediaan air yang dapat dipasok oleh Bendung SP3 dalam memenuhi kebutuhan air irigasi Daerah Irigasi Gane Timur, serta menganalisis keseimbangan air (water balance) antara ketersediaan air dan kebutuhan air irigasi di Daerah Irigasi Gane Timur.

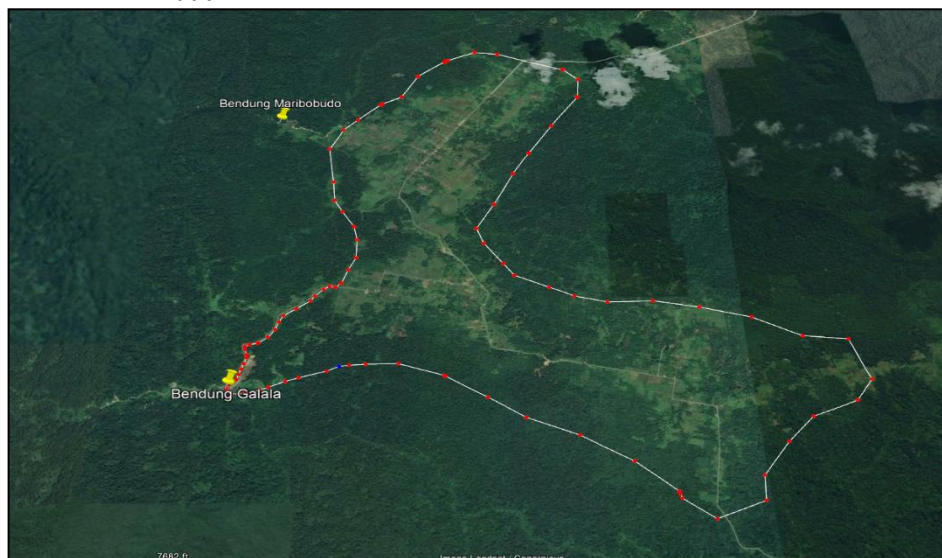
2. METODE

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengukuran langsung dan menganalisa, Untuk menghitung efisiensi dengan menggunakan metoda debit air masuk (inflow) dan debit air yang keluar (outflow), menganalisa kebutuhan air berdasarkan pola tata tanam hasil analisa dengan metode penman dan menganalisa ketersediaan air pada bendung SP3/Galala untuk memenuhi kebutuhan Daerah Irigasi Gane Timur menggunakan metode F.J. Mock.

A. Lokasi Penelitian

Pemilihan lokasi ini didasarkan pada beberapa pertimbangan sebagai berikut:

1. Kecamatan Gane Timur merupakan wilayah daerah irigasi yang perlu diperhatikan karena distribusi kebutuhan air untuk daerah persawahan.
2. Lokasi yang memiliki saluran irigasi yang cukup memadai, memiliki luas potensial sawah ± 2.000 Ha.



Gambar 1 Peta lokasi penelitian Daerah Irigasi Gane Timur

B. Metode Pengumpulan Data

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung oleh peneliti melalui kegiatan pengamatan dan pengukuran di lapangan. Dalam penelitian ini, data primer mencakup data penampang saluran yang diperoleh melalui pengukuran langsung pada lokasi saluran irigasi yang ditinjau, data hasil pengukuran debit aliran pada saluran untuk mengetahui kondisi aktual aliran air, serta data hasil wawancara dengan Perkumpulan Petani Pemakai Air (P3A) yang bertujuan untuk menggali informasi terkait kondisi pelayanan irigasi, khususnya pada lahan-lahan yang mengalami kesulitan air. Selain itu, data primer juga dilengkapi dengan data teknis yang menggambarkan kondisi eksisting di lapangan yang diperoleh melalui dokumentasi foto sebagai bukti visual dan pendukung analisis teknis.

Data sekunder merupakan data pendukung yang diperoleh peneliti dari instansi atau lembaga terkait yang berwenang dalam pengelolaan dan pengembangan irigasi. Pada penelitian ini, data sekunder diperoleh dari Balai Wilayah Sungai (BWS) Maluku Utara dan Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR) Provinsi Maluku Utara Bidang Sumber Daya Air. Data tersebut meliputi data curah hujan harian maksimum selama periode 15 tahun, yaitu dari tahun 2009 hingga 2024, yang digunakan sebagai dasar analisis klimatologi dan perhitungan kebutuhan air irigasi. Selain itu, digunakan pula peta situasi jaringan irigasi Gane Timur dan skema jaringan irigasi Gane Timur yang bersumber dari BWS Maluku Utara untuk memahami tata letak dan sistem distribusi air. Data teknis Daerah Irigasi Gane Timur yang diperoleh dari Dinas PUPR Provinsi Maluku Utara selanjutnya dimanfaatkan untuk mendukung analisis ketersediaan air dan evaluasi kinerja sistem irigasi.

C. Metode Analisis Data

Penelitian dilaksanakan dengan melakukan analisis data-data sekunder dan data primer yang diperoleh melalui kegiatan pengumpulan data dan survey lapangan. Analisa data dilaksanakan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Analisa data Sta. curah hujan (Stasiun Hujan Kobe dan Stasiun Hujan Wairoro) yang terdekat dari lokasi penelitian dilakukan untuk menentukan curah hujan rata-rata tengah bulanan dengan metode rerata aritmatik periode 10 tahun terakhir, dengan menggunakan **Persamaan 1** yang selanjutnya digunakan untuk penentuan curah hujan efektif.

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

Keterangan :

$P(X \geq x)$ adalah probabilitas terjadinya variable X (debit) yang sama dengan atau lebih besar dari x m³/det

m adalah peringkat data

n adalah jumlah data

X adalah seri data debit

X adalah debit andalan jika probabilitas sesuai dengan peruntukannya, misal ($X \geq Q_{80\%}$) = 0.80

2. Analisa Data Sta. Klimatologi yang terdekat dari lokasi penelitian, analisa data Sta. klimatologi untuk menghitung besarnya nilai evapotranspirasi (ET_o) menggunakan metode Penman Modifikasi dengan menggunakan data. Untuk menghitung evapotranspirasi menggunakan **Persamaan 2**

$$ET_o = c(W.R_n + (1 - W)f(u)(e_a - e_d) \quad (2)$$

Keterangan:

ET_o = evapotranspirasi tanaman referensi

c = Faktor koreksi akibat keadaan iklim siang atau malam

w = Faktor bobot

R_n = Radiasi netto

F(u) = Fungsi kecepatan angin

E_a = Tekanan uap jenuh

e_d = Tekanan uap actual

3. Analisa Kebutuhan Air Irigasi, dihitung untuk beberapa kondisi sesuai dengan perubahan penggunaan lahan, dalam hal ini ditinjau untuk kondisi eksisting, dengan menggunakan **Persamaan 3** dan **Persamaan 4**

$$NFR = ET_c + P - Re + WLR \quad (3)$$

$$IR = NFR / e \quad (4)$$

Keterangan:

NFR = Kebutuhan air bersih di sawah (mm/hari)

ETc = Penggunaan air konsumtif (mm), (mm/hari)

P = Kehilangan air akibat perkolasi.

Re = Curah hujan efektif (mm/hari)

WLR = Penggantian lapisan air (mm/hari)

IR = Kebutuhan air irigasi (mm/hari)

E = Efisiensi irigasi secara keseluruhan (mm/hari).

4. Analisa Ketersediaan Air, analisa ketersediaan air dihitung dengan menggunakan Metode F. J. Mock. Model sederhana simulasi keseimbangan air bulanan digunakan untuk menganalisis aliran dengan mempertimbangkan data curah hujan, evaporasi, serta karakteristik hidrologi daerah pengaliran, di mana perhitungan dilakukan berdasarkan sejumlah kriteria dan asumsi tertentu. Salah satu komponen utama dalam analisis ini adalah penentuan evapotranspirasi aktual (Ea) atau evapotranspirasi terbatas (Et), yang dihitung berdasarkan evaporasi potensial menggunakan metode Penman (ETo), kemudian dikorelasikan dengan kondisi ketersediaan air di daerah pengaliran melalui hubungan matematis antara evaporasi potensial dan evapotranspirasi aktual sesuai **Persamaan 5** dan **Persamaan 6**.

$$Ea = Eto - \Delta E \rightarrow (Ea = Et) \quad (5)$$

$$\Delta E = Eto \times (m/20) \times (18 - n) \rightarrow (E = \Delta E) \quad (6)$$

Keterangan:

Ea = Evapotranspirasi aktual (mm/hari).

Et = Evapotranspirasi terbatas (mm/hari).

Eto = Evaporasi Potensial metode Penman (mm/hari).

m = Persentase lahan yang tidak tertutup tanaman, ditaksir dari peta tata guna lahan.

m = 0 untuk lahan dengan hutan lebat.

m = 0 untuk lahan dengan hutan sekunder pada akhir musim hujan dan bertambah 10% setiap bulan kering berikutnya.

m = 10-40% untuk lahan yang tererosi.

m = 30-50% untuk lahan pertanian yang diolah (misal: sawah, ladang).

n = jumlah hari hujan dalam sebulan.

5. Neraca air irigasi sebagai pengurangan antara jumlah ketersediaan air dan jumlah kebutuhan airnya pada irigasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Curah Hujan

Berdasarkan hasil analisis curah hujan rata-rata kawasan DAS Galala yang dihitung menggunakan metode rerata aritmatik dari dua stasiun hujan, yaitu Stasiun Klimatologi Kobe dan Pos Hujan Wairoro, terlihat adanya variasi curah hujan yang cukup signifikan sepanjang tahun. Curah hujan rata-rata cenderung lebih rendah pada awal tahun, khususnya pada bulan Februari hingga Maret, kemudian mengalami peningkatan mulai bulan April dan mencapai nilai tertinggi pada periode pertengahan tahun, terutama bulan Juni hingga Agustus, dengan puncak curah hujan terjadi sekitar bulan Juni dan Agustus. Setelah itu, curah hujan kembali menurun pada bulan September dan Oktober, sebelum sedikit meningkat kembali pada bulan November dan relatif menurun pada bulan Desember. Pola ini menunjukkan karakteristik iklim musiman yang jelas, di mana intensitas hujan tinggi terjadi pada musim hujan dan menurun pada musim kemarau, sehingga informasi ini sangat penting sebagai dasar dalam perencanaan dan pengelolaan sumber daya air irigasi di wilayah DAS Galala.

Pola curah hujan efektif mengikuti fluktuasi curah hujan andalan bulanan dengan perbedaan besaran sesuai dengan jenis tanaman. Curah hujan efektif untuk padi dihitung sebesar 70% dari R80, sedangkan untuk palawija sebesar 50% dari R50, sehingga nilai Re padi selalu lebih tinggi dibandingkan Re palawija pada setiap periode. Nilai curah hujan efektif cenderung meningkat pada periode Maret hingga Juni, yang menunjukkan ketersediaan air hujan yang relatif optimal untuk kebutuhan tanaman, kemudian mengalami penurunan signifikan pada periode Agustus hingga Oktober, dengan nilai terendah terjadi pada bulan Oktober. Setelah itu, curah hujan efektif kembali meningkat pada bulan November dan Desember seiring dengan mulai meningkatnya curah hujan. Pola ini mencerminkan kondisi musiman yang penting dalam penentuan pola tanam, di mana periode dengan curah hujan efektif tinggi lebih sesuai untuk tanaman padi, sedangkan pada periode curah hujan rendah diperlukan pengaturan irigasi tambahan atau penyesuaian jenis tanaman palawija.

Bulan	Periode	R80	R50	Padi		Palawija	
				Re	mm/hari	Re	mm/hari
Jan	1	35.90	93.33	25.13	1.68	46.66	3.11
	2	33.00	61.78	23.10	1.54	30.89	2.06
Feb	1	39.30	62.23	27.51	1.83	31.11	2.07
	2	25.50	58.05	17.85	1.19	29.03	1.94
Mar	1	32.65	53.20	22.86	1.52	26.60	1.77
	2	65.40	110.53	45.78	3.05	55.26	3.68
Apr	1	47.75	83.58	33.43	2.23	41.79	2.79
	2	41.60	86.50	29.12	1.94	43.25	2.88
Mei	1	48.60	102.50	34.02	2.27	51.25	3.42
	2	38.75	96.70	27.13	1.81	48.35	3.22
Jun	1	54.25	108.90	37.98	2.53	54.45	3.63
	2	55.65	104.93	38.96	2.60	52.46	3.50
Jul	1	38.75	80.75	27.13	1.81	40.38	2.69
	2	24.00	72.00	16.80	1.12	36.00	2.40
Aug	1	22.00	69.43	15.40	1.03	34.71	2.31
	2	43.90	139.85	30.73	2.05	69.93	4.66
Sep	1	35.50	86.50	24.85	1.66	43.25	2.88
	2	18.50	46.25	12.95	0.86	23.13	1.54
Okt	1	6.70	53.40	4.69	0.31	26.70	1.78
	2	30.75	66.23	21.53	1.44	33.11	2.21
Nov	1	31.30	66.35	21.91	1.46	33.18	2.21
	2	57.50	79.80	40.25	2.68	39.90	2.66
Des	1	41.70	78.25	29.19	1.95	39.13	2.61
	2	46.25	73.80	32.38	2.16	36.90	2.46

Gambar 2 Rekapitulasi Curah Hujan Efektif untuk Padi dan Palawija

B. Analisis Evapotranspirasi

Tahapan analisis evapotranspirasi pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode Penman Modifikasi FAO dengan memanfaatkan data klimatologi dari Stasiun Balbullah Ternate, yang meliputi suhu udara, kelembaban relatif, kecepatan angin, dan lama penyinaran matahari, karena tidak tersedia stasiun klimatologi lain di sekitar DAS Galala. Proses perhitungan diawali dengan menentukan radiasi matahari yang datang (R_s) berdasarkan rasio lama penyinaran terhadap penyinaran maksimum dan radiasi ekstraterrestrial, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan tekanan uap jenuh (e_a) dan tekanan uap nyata (e_d) untuk memperoleh fungsi tekanan uap nyata $f(e_d)$. Selanjutnya dihitung fungsi rasio lama penyinaran $f(n/N)$ dan fungsi suhu $f(T)$ guna menentukan radiasi netto (R_n). Setelah itu, faktor kecepatan angin dihitung melalui fungsi $f(u)$, yang selanjutnya digunakan bersama selisih tekanan uap ($e_a - e_d$) dan faktor bobot (w) untuk memperoleh nilai evapotranspirasi sementara (ET_0^*). Tahap akhir dilakukan dengan mengalikan ET_0^* dengan faktor koreksi Penman (C) sesuai bulan pengamatan sehingga

diperoleh nilai evapotranspirasi potensial (ET_0) dalam satuan mm/hari. Dengan prosedur yang sama, perhitungan dilakukan untuk bulan Februari hingga Desember, dan hasilnya direkapitulasi dalam Tabel 4.5 sebagai dasar analisis kebutuhan air selanjutnya.

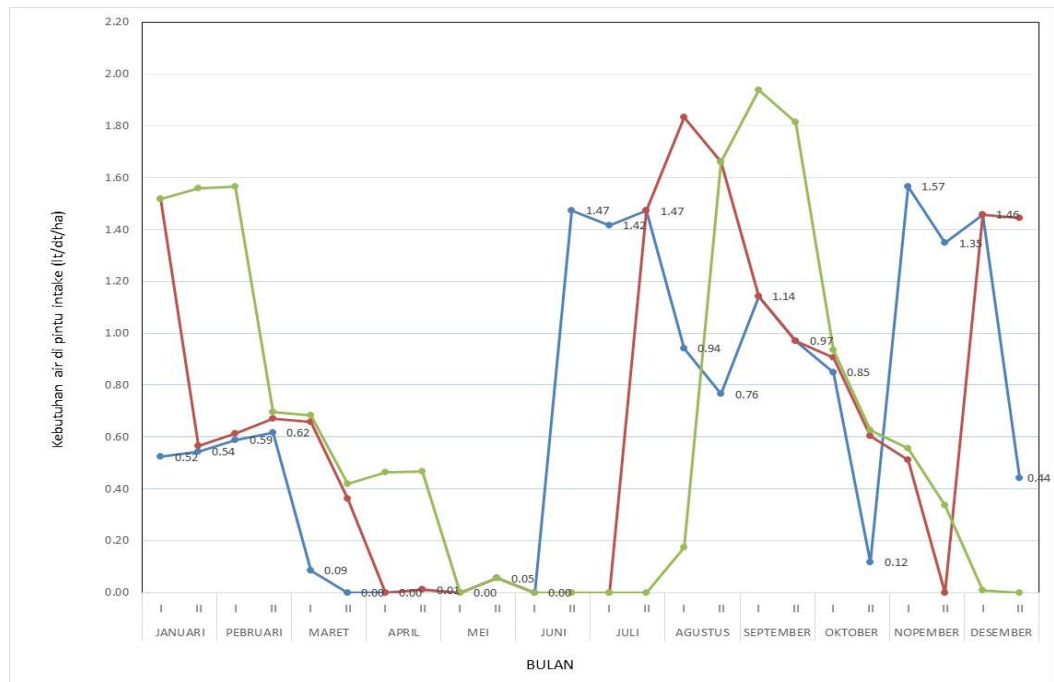
No.	Keterangan	Jan	Peb	Maret	April	Mei	Jun	Jul	Agus	Sep	Okt	Nop	Des
1	Temperatur, T ($^{\circ}C$)	29.0	29.1	29.3	29.5	28.5	28.1	27.7	27.8	28.4	29.0	29.7	29.3
2	Relative Humidity, Rh (%)	87.3	86.7	87.8	86.8	85.9	87.9	88.6	87.5	87.4	88.1	87.9	88.5
3	Penyinaran Matahari, n (hours/hari)	41.0	62.0	68.0	56.0	61.0	59.0	41.0	69.0	71.0	49.0	44.0	37.0
4	Kecapatan Angin, U_2 (km/hari)	45.3	60.3	55.3	45.2	47.0	46.7	59.0	71.0	71.9	62.2	51.2	61.9
5	Penyinaran Matahari Maksimum, N (jam/hari)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
6	Rasio n/N	0.4	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.4	0.7	0.7	0.5	0.4	0.4
7	Faktor Temperatur, $f(T)$	16.50	16.53	16.55	16.59	16.39	16.32	16.23	16.25	16.38	16.50	16.63	16.56
8	Faktor Temperatur, W	0.78	0.78	0.78	0.78	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.78	0.78	0.78
9	Tekanan uap air rata-rata, e_a (mbar)	40.10	40.42	40.70	41.14	38.86	37.98	37.07	37.30	38.67	40.10	41.64	40.77
10	Fungsi kecepatan angin, $f(U)$	0.39	0.43	0.42	0.39	0.40	0.40	0.43	0.46	0.46	0.44	0.41	0.44
11	Tekanan uap jenuh, e_d (mbar)	35.00	35.05	35.74	35.71	33.38	33.38	32.85	32.65	33.82	35.32	36.60	36.06
12	Radiasi ekstra terestrial, R_a (mm/hari)	15.45	15.78	15.63	14.95	13.88	13.28	13.48	14.35	15.13	15.58	15.45	15.33
13	Radiasi matahari bersih gelombang pendek, R_{ns} (mm/hari)	5.52	6.83	7.11	6.15	5.96	5.61	4.82	6.58	7.04	6.02	5.69	5.26
14	Radiasi bersih gelombang panjang, R_{nl} (mm/hari)	0.62	0.87	0.94	0.80	0.88	0.86	0.65	1.02	0.98	0.71	0.66	0.57
15	Radiasi bersih, R_n (mm/hari)	4.91	5.96	6.16	5.35	5.08	4.75	4.17	5.56	6.06	5.30	5.03	4.69
16	Radiasi matahari, R_s (mm/hari)	7.37	9.11	9.48	8.20	7.95	7.48	6.42	8.77	9.39	8.02	7.59	7.01
17	Faktor perkiraan dari kondisi musim, c	1.06	1.08	1.08	1.07	1.07	1.06	1.04	1.07	1.08	1.06	1.06	1.04
18.00	Evapotranspirasi Potensial, ET_0 (mm/hari)	2.37	2.98	3.05	2.70	2.73	2.54	2.18	3.00	3.11	2.59	2.45	2.27

Gambar 3 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Evapotranspirasi

C. Analisa Kebutuhan Air

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan dihitung dengan memperhitungkan kehilangan air akibat evaporasi dan perkolasi selama masa penjemuran tanah sawah. Pada contoh perhitungan bulan Januari, evaporasi (E_o) diperoleh dari hasil perkalian evapotranspirasi potensial (ET_0) sebesar 2,37 mm/hari dengan koefisien 1,1 sehingga diperoleh E_o sebesar 2,607 mm/hari. Dengan asumsi perkolasi (P) sebesar 2 mm/hari, maka kebutuhan air harian untuk mengganti kehilangan air di lahan yang telah dijenuhkan (M) adalah 4,607 mm/hari. Jangka waktu penyiapan lahan ditetapkan selama 45 hari dengan kebutuhan air untuk penjemuran dan lapisan air (S) sebesar 250 mm, sehingga diperoleh konstanta K sebesar 0,83. Berdasarkan nilai tersebut, diperoleh nilai eksponensial e^k sebesar 2,291. Selanjutnya, kebutuhan air irigasi untuk penyiapan lahan (IR) dihitung menggunakan persamaan $IR = M \times e^k / (e^k - 1)$, sehingga diperoleh kebutuhan air sebesar 8,17 mm/hari. Dengan metode perhitungan yang sama, kebutuhan air penyiapan lahan untuk bulan-bulan lainnya dihitung dan direkapitulasi.

Kebutuhan air untuk irigasi dihitung berdasarkan periode setengah bulan dengan mempertimbangkan kebutuhan air tanaman, curah hujan efektif, dan kehilangan air di lahan. Pada contoh perhitungan bulan Agustus periode 1, evapotranspirasi tanaman (ET_c) diperoleh dari hasil perkalian evapotranspirasi potensial (ET_0) sebesar 3,91 mm/hari dengan koefisien tanaman padi sebesar 1,1, sehingga ET_c bernilai 4,30 mm/hari. Dengan asumsi perkolasi (P) sebesar 2 mm/hari dan tanpa penggantian lapisan air (WLR), serta curah hujan efektif (Re) untuk padi sebesar 1,68 mm/hari, maka kebutuhan bersih air di sawah (NFR) dihitung sebagai selisih antara ET_c dan Re , yaitu sebesar 2,62 mm/hari. Selanjutnya, kebutuhan pengambilan air pada sumbernya (DR) dihitung dengan mempertimbangkan efisiensi irigasi dan luas layanan, sehingga diperoleh nilai DR sebesar 0,94 liter/detik/ha.



Gambar 4 Hubungan Kebutuhan Air di Sawah Dengan Bulan

Hasil perhitungan kebutuhan air/penyiapan (DR) terlihat bahwa dengan mengatur jadwal tanam (mulai penyiapan lahan) yang berbeda-beda akan memberikan kebutuhan air yang berbeda pula, maka didapat besarnya nilai kebutuhan air irigasi maksimal masing-masing pada alternatif I yaitu 1.57 L/detik/ha, alternatif II yaitu 1.83 L/detik/ha dan alternatif III yaitu 1.94 L/detik/ha. Didapatkan nilai kebutuhan air irigasi maksimal yang terkecil yaitu 1.57 L/detik/ha pada periode pertama bulan Agustus.

D. Analisa Ketersediaan Air

Analisis ketersediaan air pada DAS Galala dilakukan dengan menghitung debit air sungai menggunakan Metode F. J. Mock yang berbasis neraca air, dengan parameter utama berupa curah hujan bulanan dan evapotranspirasi potensial. Pada contoh perhitungan bulan Januari 2010, data curah hujan sebesar 187,4 mm/bulan dengan 11 hari hujan dan periode analisis setengah bulan (15 hari) digunakan sebagai dasar perhitungan. Evapotranspirasi potensial (ET_0) dihitung dari evapotranspirasi harian sebesar 2,366 mm/hari sehingga diperoleh ET_0 sebesar 35,49 mm/0,5 bulan. Dengan asumsi persentase lahan terbuka sebesar 30%, diperoleh evapotranspirasi terbatas (E_e) sebesar 31,8 mm/bulan, sehingga evapotranspirasi aktual (E_a) bernilai 3,75 mm/bulan. Selanjutnya dilakukan analisis keseimbangan air dengan menghitung selisih antara curah hujan dan evapotranspirasi aktual (ΔS) sebesar 155,6 mm/bulan, yang menunjukkan kondisi surplus air. Karena ΔS bernilai positif, limpasan badai (PF) dan kandungan air tanah (SS) dianggap nol, sehingga kelebihan air (WS) tetap sebesar 155,6 mm/bulan.

Kelebihan air ini kemudian dibagi ke dalam proses infiltrasi dan limpasan dengan menggunakan faktor infiltrasi (i) sebesar 0,65 dan faktor resesi air tanah (k) sebesar 0,85, menghasilkan infiltrasi (I) sebesar 101,2 mm/bulan. Volume air tanah baru (G) diperoleh sebesar 93,6 mm/bulan dan ditambahkan dengan penyimpanan sebelumnya (L) sebesar 85 mm/bulan sehingga total volume air tanah (V_n) mencapai 178,6 mm/bulan, dengan perubahan volume aliran tanah (ΔV_n) sebesar 78,6 mm/bulan. Aliran dasar (baseflow) yang dihasilkan sebesar 22,6 mm/bulan, sedangkan limpasan langsung (direct runoff)

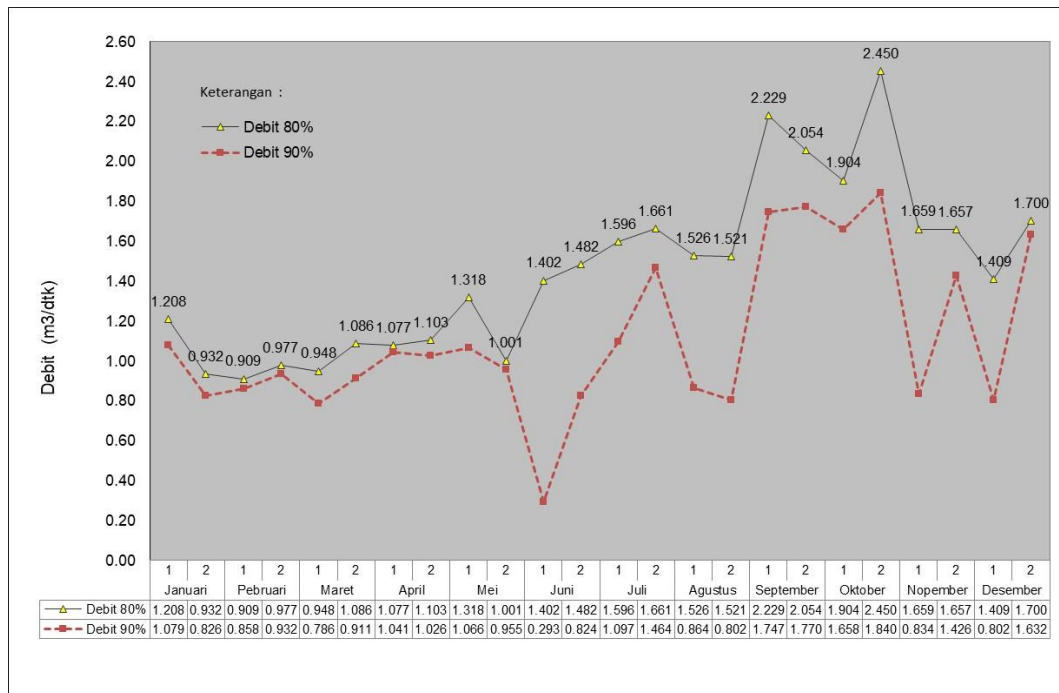
sebesar 54,5 mm/bulan, sehingga total limpasan (Ron) menjadi 77,1 mm/bulan. Berdasarkan luas DAS Galala sebesar 37,26 km² dan periode waktu 15 hari, debit air sungai (Q) dihitung sebesar 2,3 m³/detik. Dengan prosedur perhitungan yang sama, debit air untuk bulan-bulan lainnya dihitung dan direkapitulasi pada **Gambar 5** sebagai dasar evaluasi ketersediaan air DAS Galala sepanjang tahun.

[illegible]

Gambar 5 Hasil Perhitungan debit aliran rendah pada DAS Galala dengan Metode F. J.Mock

E. Analisa Debit Andalan

Analisis debit andalan pada Sungai/DAS Galala dilakukan dengan mengolah deret debit hasil perhitungan Metode F.J. Mock sebagai dasar untuk menentukan debit minimum yang dapat diandalkan memenuhi kebutuhan irigasi pada tingkat peluang tertentu. Debit andalan didefinisikan sebagai debit sungai dengan kemungkinan terpenuhi (reliability) yang ditetapkan, umumnya 80% (Q80), artinya peluang debit sungai lebih kecil dari nilai tersebut hanya 20% (kemungkinan tidak terpenuhi 20%). Tahap perhitungannya dimulai dengan mengumpulkan data debit tahunan/bulanan selama periode pengamatan (misalnya 25 tahun), kemudian setiap data debit untuk bulan yang sama disusun menurut urutan (umumnya dari terbesar ke terkecil sesuai prosedur yang digunakan), lalu ditentukan nomor tingkatan m berdasarkan peluang tidak terpenuhi: $m = 0,20 \times n$, sehingga untuk $n = 25$ diperoleh $m = 0,20 \times 25 = 5$. Selanjutnya nilai Q80 diambil pada posisi peluang 80% dengan cara interpolasi sederhana, yaitu merata-ratakan dua debit yang mengapit posisi tersebut. Contoh bulan Januari untuk Q80: setelah data debit Januari diurutkan, diperoleh $N_{10} = 1,26$ dan $N_{11} = 1,13$, sehingga $Q_{80} = (1,26 + 1,13)/2 = 1,208 \text{ m}^3/\text{detik}$ (nilai lengkapnya kemudian direkap pada Tabel 4.11). Dengan langkah serupa, debit andalan peluang 90% (Q90) dihitung untuk menunjukkan kondisi yang lebih konservatif, yakni peluang terpenuhi 90% (kemungkinan tidak terpenuhi 10%); contoh bulan Januari setelah data diurutkan diperoleh $N_{11} = 1,13$ dan $N_{12} = 1,06$, sehingga $Q_{90} = (1,13 + 1,06)/2 = 1,079 \text{ m}^3/\text{detik}$, dan hasil lengkap tiap bulan selanjutnya disajikan pada **Gambar 6**



Gambar 6 Hubungan debit aliran rendah R80 dan R90 pada DAS Galala dengan Bulan (m³/s)

F. Neraca Air

Analisis neraca air (water balance) pada D.I. Gane Timur dilakukan dengan membandingkan debit tersedia (Q) dari hasil analisis debit andalan sungai terhadap debit kebutuhan pengambilan irigasi (DR) berdasarkan pola tanam padi-padi-palawija untuk luas layanan 1.000 ha, sehingga dapat diketahui apakah ketersediaan air mampu memenuhi kebutuhan irigasi pada setiap periode. Tahap perhitungannya diawali dengan menetapkan luas areal yang akan diairi (1.000 ha) dan menentukan kebutuhan pengambilan maksimum dari hasil perhitungan kebutuhan air irigasi, yaitu DR maksimum sebesar 1,56 L/det/ha, kemudian menghitung kebutuhan debit total yang harus diambil sesuai luas layanan dan memasukkannya ke dalam persamaan Water balance = $Q - (DR \times 1000)$ (dengan penyesuaian satuan). Setelah kebutuhan debit dikonversi menjadi m^3/det , nilai tersebut dibandingkan dengan debit tersedia (Q) pada bulan/periode yang sama. Contoh pada bulan Januari, debit andalan tersedia adalah $Q = 1,208 m^3/det$, sedangkan kebutuhan debit pengambilan untuk 1.000 ha pada periode tersebut adalah $0,52 m^3/det$, sehingga neraca air dihitung sebagai Neraca Air = $Q - \text{Kebutuhan} = 1,208 - 0,52 = 0,682 m^3/det$, yang bernilai positif dan berarti ketersediaan air masih surplus serta mencukupi untuk kebutuhan irigasi. Dengan prosedur yang sama, neraca air dihitung untuk seluruh bulan/periode dan direkapitulasi pada **Gambar 7**, dan berdasarkan hasil rekap tersebut—terutama pada alternatif 1 pola tata tanam—ditunjukkan bahwa pada Agustus periode 1 kondisi ketersediaan air dinyatakan mencukupi untuk mengairi sawah seluas 1.000 ha, sehingga pola tanam padi-padi-palawija dapat dijalankan dengan dukungan suplai air yang memadai pada periode tersebut.

Bulan		Debit Andalan (m3/det)	Kebutuhan Air Irigasi		Water Balance (m3/det)	Ketangan
			L/det/Ha	m3/det		
Jan	1	1.208	0.52	0.52	0.685	Surplus Air
	2	0.936	0.54	0.54	0.393	Surplus Air
Feb	1	0.913	0.59	0.59	0.326	Surplus Air
	2	0.977	0.62	0.62	0.360	Surplus Air
Mar	1	0.948	0.09	0.09	0.863	Surplus Air
	2	1.090	0.00	0.00	1.090	Surplus Air
Apr	1	1.079	0.00	0.00	1.079	Surplus Air
	2	1.103	0.01	0.01	1.092	Surplus Air
May	1	1.320	0.00	0.00	1.320	Surplus Air
	2	1.001	0.05	0.05	0.946	Surplus Air
Jun	1	1.409	0.00	0.00	1.409	Surplus Air
	2	1.487	1.47	1.47	0.013	Surplus Air
Jul	1	1.597	1.42	1.42	0.180	Surplus Air
	2	1.665	1.47	1.47	0.193	Surplus Air
Aug	1	1.529	0.94	0.94	0.587	Surplus Air
	2	1.521	0.76	0.76	0.756	Surplus Air
Sep	1	2.229	1.14	1.14	1.085	Surplus Air
	2	2.055	0.97	0.97	1.084	Surplus Air
Oct	1	1.905	0.85	0.85	1.056	Surplus Air
	2	2.450	0.12	0.12	2.333	Surplus Air
Nov	1	1.660	1.57	1.57	0.094	Surplus Air
	2	1.658	1.35	1.35	0.310	Surplus Air
Dec	1	1.461	1.46	1.46	0.003	Surplus Air
	2	1.740	0.44	0.44	1.298	Surplus Air

Gambar 7 Hubungan debit andalan Bendung Galala dengan Kebutuhan Air di Sawah

G. Pembahasan

Hasil perhitungan kebutuhan air/penyiapan (DR) terlihat bahwa dengan mengatur jadwal tanam (mulai penyiapan lahan) yang berbeda-beda akan memberikan kebutuhan air yang berbeda pula, maka didapat besarnya nilai kebutuhan air irigasi maksimal masing-masing pada alternatif I yaitu 1.57 L/detik/ha, alternatif II yaitu 1.83 L/detik/ha dan alternatif III yaitu 1.94 L/detik/ha. Didapatkan nilai kebutuhan air irigasi maksimal yang terkecil yaitu 1.57 L/detik/ha pada periode pertama bulan Agustus.

Hasil perhitungan debit andalan (Q80) periode 15 tahun dengan nilai maksimum 2.449 m3/s pada bulan Oktober periode 2 dan nilai minimum 0.913 m3/s pada bulan pebruari periode 1. Sedangkan berdasarkan perhitungan neraca air D.I Gane Timur untuk kebutuhan air irigasi alternatif 1 (Agustus periode 1) mengalami surplus air dari bulan januari sampai dengan desember untuk luasan area 1.000 Ha sedangkan luasan keseluruhan DI. Gane Timur sebesar 2.000 Ha untuk itu diperlukan sumber air baru untuk mengaliri keseluruhan luasan potensial DI. Gane Timur (berdasarkan data dari Balai Wilayah Sungai Maluku Utara ada DI. Gane Timur Ada dua pengambilan bendung yang pertama Bendung Galala yang kedua Bendung Maribobudo/SP2).

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kebutuhan air irigasi pada Daerah Irigasi Gane Timur dengan pola tanam padi-padi-palawija menunjukkan variasi antar alternatif, di mana kebutuhan maksimum terjadi pada Alternatif I sebesar 1,57 L/detik/ha (Agustus periode 1), Alternatif II sebesar 1,83 L/detik/ha (September periode 1), dan Alternatif III sebesar 1,94 L/detik/ha (Oktober periode 1). Dari sisi ketersediaan air, hasil analisis debit andalan menunjukkan bahwa debit maksimum mencapai 2,449 m³/detik pada bulan Oktober periode 2, sedangkan debit minimum sebesar 0,913 m³/detik terjadi pada bulan Februari periode 1. Berdasarkan hasil perhitungan neraca air, Pola Tata Tanam Alternatif I dipilih sebagai pola yang paling optimal karena mampu menyeimbangkan antara kebutuhan dan ketersediaan air, dengan kondisi neraca air yang selalu surplus sepanjang tahun dari bulan Januari hingga Desember, sehingga ketersediaan air dinilai mencukupi untuk mengairi areal irigasi seluas 1.000 ha secara berkelanjutan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, T., Musa, R., & Mallombassi, A. (2022). Analisis Kebutuhan Air Irigasi Akibat Perubahan Tata Guna Lahan. *Jurnal Flyover*, 2(2), 66–75. <https://doi.org/10.52103/JFO.V2I2.1343>
- Amal, N., & Wulandari, R. A. (2024). Analisis Neraca Air Sesuai Pola Tanam Eksisting Padi Lokal pada Daerah Irigasi Rawa (DIR) Antasan Sutun Kabupaten Banjar. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 6(1), 94-101.
- Aprilestari, N., Setiawan, A., & Saidah, H. (2020). Analisis Keseimbangan Air Daerah Irigasi Gebong, Kecamatan Narmada Lombok Barat. *Jurnal Teknik Sipil*, 7(2).
- Ariesandy Maya A, J. S., Musa, R., & Sar, M. (2024). Kajian Sumur Resapan Dalam Mengurangi Risiko Limpasan Permukaan di Kawasan Pondambea Kota Kendari. *Jurnal Flyover*, 4(1), 167–180. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2175>
- Aunurrafiq, Musa, R., & Sar, M. (2024). Kajian Pengaruh Tata Guna Lahan terhadap Debit Banjir. *Jurnal Flyover*, 4(1), 87–98. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2168>
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. (2013). *Perencanaan Jaringan Irigasi (KP-01)*. Jakarta.
- Direktorat Irigasi. (1980). *Pedoman dan Kriteria Perencanaan Teknik Irigasi, Volume IV*. Jakarta.
- Direktorat Jendral Pengairan, DepartemenPekerjaan Umum, (1986). *Standar Perencanaan Irigasi: Kriteria perencanaan jaringan Irigasi (KP-01)*. Jakarta.
- Fernanda, F., Ashad, H., & SAR, M. (2024). Kajian Pola Hujan Akibat Pemanasan Global pada DAS Konaweha Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Flyover*, 4(2), 191–202. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I2.2177>
- Fikri Wahyuddin, M. S., Musa, R., & Ashad, H. (2024). Kajian Koefisien Limpasan Penutup Lahan dengan Perkerasan Aspal (Uji Laboratorium). *Jurnal Flyover*, 4(1), 133–142. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2172>
- Hadryana, I. M. A. D., & Arsana, I. G. N. K. (2015). Analisis Keseimbangan Air/Water Balance di DAS Tukad Sungai Kabupaten Tabanan. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*.
- Hidayat, E., Nurhayati, N., & Akbar, A. A. Analisis Neraca Air Irigasi Pada Daerah Irigasi Merowi. *Jurnal Teknik Sipil*, 19(2).
- Hidayat, M. I., Hadi, A. K., & Musa, R. (2022). Kelayakan Proyek Pembangunan Jaringan Irigasi Daerah Irigasi (DI) Teko Kabupaten Sinjai. *Jurnal Flyover*, 2(2), 86–98. <https://doi.org/10.52103/JFO.V2I2.1346>
- Kasrawawi, Musa, R., & Mallombassi, A. (2022). Perbaikan Alur Sungai Akibat Debit Banjir. *Jurnal Flyover*, 2(1), 48–55. <https://doi.org/10.52103/JFO.V2I1.871>

- Katili, N. P. R., Musa, R., & SAR, M. (2024). Evaluasi Kinerja Sistem Irigasi pada Daerah Irigasi Posso Kabupaten Gorontalo Utara. *Jurnal Flyover*, 4(2), 211–224. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I2.2180>
- Kurniawati, A., Musa, R., Mallombassi, A., & Wellang, M. (2021). Kajian Debit Banjir di Wilayah Sungai Saddang Kabupaten Pinrang Sulawesi Selatan dengan Menggunakan Grafik Creager. *Jurnal Flyover*, 1(2), 1–7. <https://doi.org/10.52103/JFO.V1I2.755>
- Limantara, L.M., (2010), Hidrologi Praktis. Bandung: Lubuk Agung.
- Maddi, H. C., Musa, R., & Ashad, H. (2021). Kajian Pengendalian Banjir dengan Menggunakan Waduk Regulasi. *Jurnal Flyover*, 1(1), 21–32. <https://doi.org/10.52103/JFO.V1I1.658>
- Mella, A. V., Messakh, J. J., & Tamelan, P. G. (2020). Keseimbangan Penggunaan Air Irigasi di Daerah Irigasi Noelaku Kabupaten Timor Tengah Selatan: Balance of The Use of Irrigated Water in Noelaku Irrigation Area South Central Timor District. *Batakarang*, 1(1), 41–47.
- Mohamad, I., Musa, R., & Ashad, H. (2021). Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Petugas Operasi dan Pemeliharaan dalam Pengelolaan Operasi Jaringan Irigasi. *Jurnal Flyover*, 1(2), 48–59. <https://doi.org/10.52103/JFO.V1I2.750>
- Muhidin, A. H., Musa, R., & Latif, A. A. (2024). Kajian Potensi Sedimen Di Sub-DAS Bionga-Bulota terhadap Upaya Penanganan Pendangkalan Danau Limboto. *Jurnal Flyover*, 4(2), 359–369. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I2.2204>
- Musa, R. (2024). Rekayasa Irigasi & Kebutuhan Air (Studi D.I Kuru-Kuru Kecamatan Soppeng Riaja Kabupaten Barru). Makassar: Nasmedia.
- Musa, R., Pratama, W., & Subhan, A. M. (2025). Kajian Potensi Pemanenan Air Hujan sebagai Sumber Air Alternatif di Kampus Pascasarjana Universitas Muslim Indonesia. *Jurnal Flyover*, 5(1), 85–96. <https://doi.org/10.52103/JFO.V5I1.2213>
- Nirmalawaty, D., Musa, R., & Latif, A. A. (2024). Kajian Peran P3A Sipakainga 1 terhadap Kinerja Jaringan Irigasi Saddang UPTD Langnga Kabupaten Pinrang. *Jurnal Flyover*, 4(2), 235–246. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I2.2192>
- Patabai, A. I. (2021). Analisis Neraca Air Irigasi Pada Daerah Irigasi Bissua Kec. Polombangkeng Utara Kab. Takalar (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Poleanto, E., Musa, R., & Subhan, A. M. (2024). Kajian Kinerja Operasi dan Pemeliharaan Jaringan Irigasi D.I Bendung Amohalo Kota Kendari. *Jurnal Flyover*, 4(1), 181–190. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2176>
- Priyanto, R. E., Musa, R., & SAR, M. (2024). Kajian Geometrik dan Kapasitas Penampang Sungai Klagison Kota Sorong Menggunakan Metode HEC-RAS. *Jurnal Flyover*, 4(2), 287–298. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I2.2197>
- Purwanto, P., & Ikhsan, J. (2006). Analisis Kebutuhan Air Irigasi Pada Daerah Irigasi Bendung Mricanl. *Semesta Teknik*, 9(1), 83–93.
- Putri, A. S. S., Ashad, H., & SAR, M. (2024). Kajian Model Debit Banjir Hidrograf Daerah Aliran Sungai Maros. *Jurnal Flyover*, 4(2), 247–256. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I2.2193>
- Ribowo, L., Ashad, H., & SAR, M. (2024). Analisis Pola Hujan Terhadap Parameter Iklim Subdas Klagison Kota Sorong. *Jurnal Flyover*, 4(2), 313–322. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I2.2199>
- Riduan, Musa, R., & Latif, A. A. (2024). Evaluasi Kapasitas Saluran Drainase Jongaya dengan Menggunakan Software HEC-RAS. *Jurnal Flyover*, 4(2), 225–234. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I2.2181>
- Rizal, R. (2023). Kajian Potensi Pemanfaatan Air Tanah Berdasarkan Data Geolistrik Resistiviti untuk Air Baku. *Jurnal Flyover*, 3(2), 120–128. <https://doi.org/10.52103/JFO.V3I2.1637>

- Rizky Auliarahman, R., Musa, R., & Mallombassi, A. (2024). Kajian Penilaian Kerusakan Jaringan Irigasi Bila Kanan, Kabupaten Sidenreng Rappang. *Jurnal Flyover*, 4(1), 1–11. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2153>
- Saputra, R. E., Musa, R., & Ashad, H. (2024). Kajian Debit Banjir Sungai terhadap Kala Ulang pada Sungai Wanggu di Kota Kendari Sulawesi Tenggara. *Jurnal Flyover*, 4(2), 323–332. <https://doi.org/10.52103/JFO.V4I2.2200>
- Sari, I. K., Limantara, L. M., & Priyantoro, D. (2011). Analisa ketersediaan dan kebutuhan air pada DAS Sampean. *Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering*, 2(1), 29-41.
- Setiyawan, S., Andiese, V. W., & Anzar, L. A. (2016). Analisis Ketersediaan Air Dengan Metode FJ Mock Pada Daerah Persawahan Desa Poboya Palu Sulawesi Tengah. *Journal Teknik Sipil Dan Infrastruktur*.
- Sidharta S.K. (1997). Irigasi dan Bangunan air. Jakarta: Gunadarma.
- Soemarto, C. D. (1986) . Hidrologi Teknik Edisi 2. Jakarta: Erlangga.
- Sosrodarsono, S. (2009). Hidrologi Untuk Pengairan . Jakarta: Pradnya Paramita.
- Sosrodarsono, S. dan Takeda. (1976). Hidrologi Untuk Pengairan. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Toding, R. O., Ashad, H., & SAR, M. (2025). Evaluasi Operasi Waduk Ameroro Kabupaten Konawe untuk Keperluan Irigasi. *Jurnal Flyover*, 5(1), 189–200. <https://doi.org/10.52103/JFO.V5I1.2231>
- Triatmodjo, B. (2008). Hidrologi Terapan. Yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta.
- Vania, F. D., Nomeritae, N., & Kamiana, I. M. (2023). Analisis Neraca Air Pada Daerah Irigasi Rawa Gambut Di Desa Talio Hulu. *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi*.
- Y. Sutopo, K. S. (2019). Irigasi & Bangunan Air. Semarang : LPPM Universitas Negeri Semarang.
- Yamin, A., Ashad, H., & Sar, M. (2024). Kajian Kerusakan Bangunan Pantai pada Kawasan Anaiwoi – Kampung Bajo Kabupaten Kolaka. *Jurnal Flyover*, 4(1), 121–132. <https://doi.org/10.52103/JFO.V5I1.2171>