

RENCANA ALOKASI AIR TAHUNAN SUNGAI KABUA BUA UNTUK MENDUKUNG KETAHANAN PANGAN DI KABUPATEN BANGGAI

I Wayan Sutapa^{a*}, Takdir Said^b, Astrid Dwijayanti^c

^a Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tadulako Palu, Indonesia

^{b,c} Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Banggai, Indonesia

ABSTRAK

Ketersediaan air irigasi yang berkelanjutan merupakan faktor krusial dalam mendukung ketahanan pangan, terutama di wilayah yang rentan terhadap variabilitas iklim. Penelitian ini bertujuan untuk menyusun rencana alokasi air tahunan (RAAT) Sungai Kabua Bua di Kabupaten Banggai, Sulawesi Tengah berdasarkan analisis debit andalan dan kebutuhan air tanaman. Data hidroklimatologi diambil dari Stasiun Hek Bunta. Ketersediaan air sungai dihitung menggunakan metode MockWyn-UB selama periode 2014–2023, debit andalan dihitung dengan Metode Weibull, sedangkan evapotranspirasi potensial (ET_o) dihitung dengan metode Penman-Monteith dengan bantuan software Cropwat-8 Windows berbasis data iklim bulanan. Hasil analisis menunjukkan bahwa debit Sungai Kabua Bua memiliki pola musiman yang kuat, dengan debit maksimum terjadi pada Juni–Juli dan debit minimum pada Februari–Maret serta Oktober–Desember. Perhitungan debit andalan menunjukkan bahwa pada kondisi normal (Q_{50}) dan basah (Q_{20}), kebutuhan air irigasi dapat terpenuhi sepanjang tahun. Namun, pada kondisi kering (Q_{80}), terjadi defisit air pada bulan Oktober. Analisis pola tanam menunjukkan bahwa alternatif pola tanam ke-5 memberikan cakupan irigasi terluas (422.894 ha) dari debit yang tersedia. Kebutuhan air tanaman (NFR) mencapai puncaknya pada musim kemarau, khususnya Juni hingga Agustus, menciptakan potensi defisit air pada periode kritis pertumbuhan tanaman. Studi ini merekomendasikan strategi alokasi air yang adaptif, seperti penyesuaian kalender tanam, pengembangan infrastruktur penampungan air, serta penerapan sistem irigasi hemat air untuk mengatasi ketidakseimbangan antara pasokan dan kebutuhan air. Dengan pengelolaan yang tepat, Sungai Kabua Bua berpotensi menjadi sumber irigasi yang handal dalam mendukung ketahanan pangan di Kabupaten Banggai.

Kata kunci: debit andalan, alokasi air, ET_o, ketahanan pangan, Sungai Kabua Bua

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan air irigasi yang andal dan berkelanjutan merupakan salah satu faktor penentu utama dalam mendukung produktivitas sektor pertanian, terutama di wilayah-wilayah yang bergantung pada sistem irigasi permukaan (FAO, 2011). Kabupaten Banggai di Provinsi Sulawesi Tengah memiliki potensi lahan pertanian yang cukup luas, dengan dominasi tanaman pangan seperti padi sawah. Salah satu sumber air utama untuk mendukung irigasi di wilayah ini adalah Sungai Kabua Bua. Namun, meningkatnya tekanan terhadap sumber daya air akibat ekspansi lahan pertanian, pertumbuhan penduduk, serta dampak perubahan iklim, menuntut adanya perencanaan alokasi air yang lebih efisien dan adaptif (Grafton, R. Q., et al., 2018), (IPPC, 2022).

Perubahan iklim telah menyebabkan terjadinya pergeseran pola curah hujan, peningkatan frekuensi kekeringan dan kejadian ekstrem lainnya, yang secara langsung memengaruhi ketersediaan debit sungai musiman (Nasri, M., Taghvaeian, S., & Oad, R., 2020). Ketidakpastian ini berimplikasi terhadap keberhasilan musim tanam, terutama pada periode kritis pertumbuhan tanaman. Dalam konteks ini, penyusunan Rencana Alokasi Air Tahunan (RAAT) menjadi instrumen penting dalam pengelolaan sumber daya air secara terukur, dengan mempertimbangkan keseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan air (Wurbs, R. A., 2005).

Penyusunan RAAT memerlukan integrasi berbagai komponen data, antara lain data debit historis Sungai Kabua Bua, data iklim (curah hujan, suhu, kelembaban, kecepatan angin, dan radiasi matahari), kebutuhan air tanaman berdasarkan fase pertumbuhan, serta efisiensi sistem irigasi. Perhitungan kebutuhan air irigasi biasanya dilakukan menggunakan metode klimatologis seperti Blaney-Criddle atau FAO Penman-Monteith yang direkomendasikan secara internasional (Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M., 1998). Sementara itu, estimasi ketersediaan air dilakukan melalui analisis debit andalan menggunakan pendekatan statistik probabilistik (Shrestha, R. R., Dibike, Y., & Prowse, T., 2015).

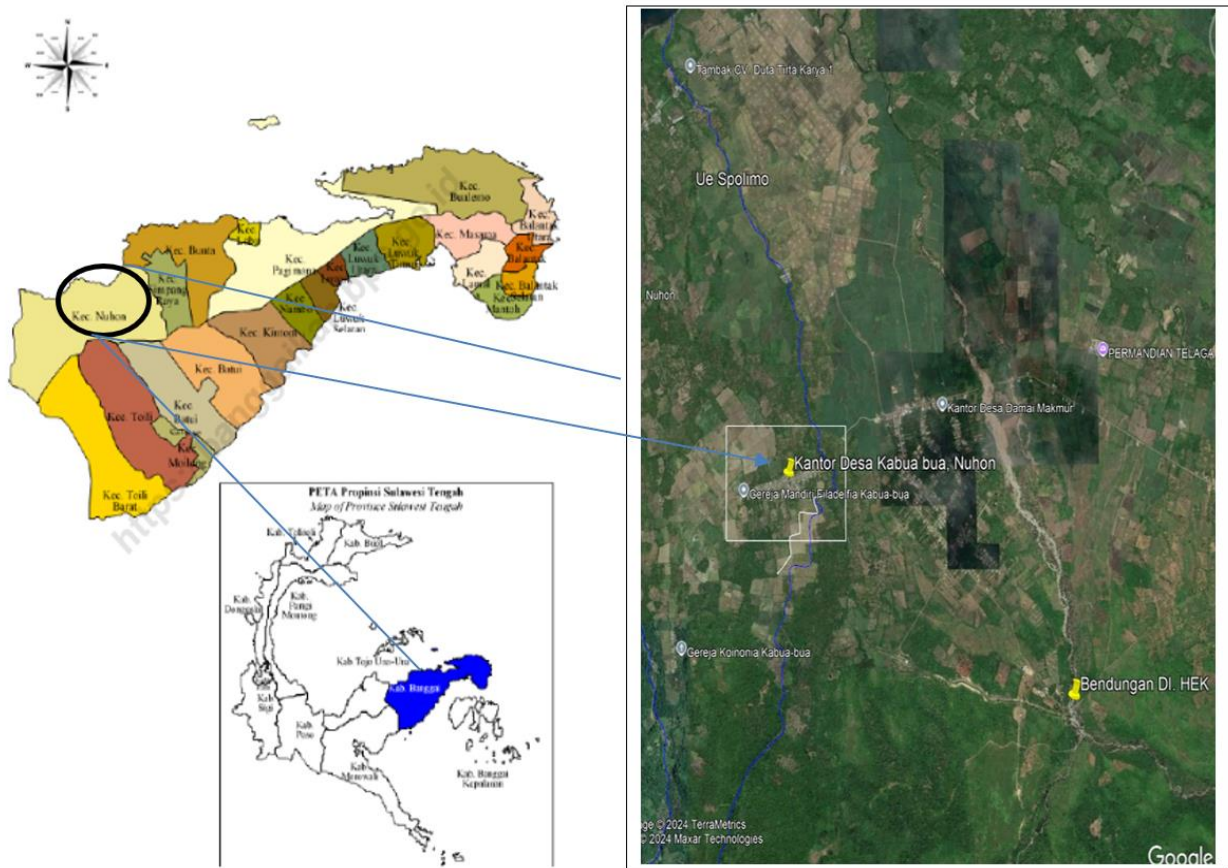
Penelitian ini bertujuan untuk menyusun rencana alokasi air tahunan Sungai Kabua Bua dengan pendekatan neraca air berbasis debit andalan dan kebutuhan air irigasi tanaman pangan, utamanya padi. Penelitian ini juga mempertimbangkan skenario musim tanam dan ketersediaan air dalam kondisi normal maupun kering. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan teknis bagi pengelola sumber daya air di tingkat daerah dalam menyusun strategi distribusi air yang lebih adil, efisien, dan adaptif terhadap perubahan iklim, serta mendukung upaya

ketahanan pangan daerah secara berkelanjutan

2. BAHAN DAN METODE

Deskripsi penelitian

Lokasi kegiatan berada di Sungai Kabua Bua, Kecamatan Nuhon, Kabupaten Banggai, Provinsi Sulawesi Tengah dengan koordinat $122^{\circ} 7' 16,51''$ bujur timur dan $0^{\circ} 59' 10,40''$ lintang selatan. Jarak tempuh dari Kota Palu sebagai Ibukota Provinsi Sulawesi tengah adalah 458 Km, dengan kondisi jalan aspal yang baik. Lokasi penelitian disajikan pada gambar berikut:



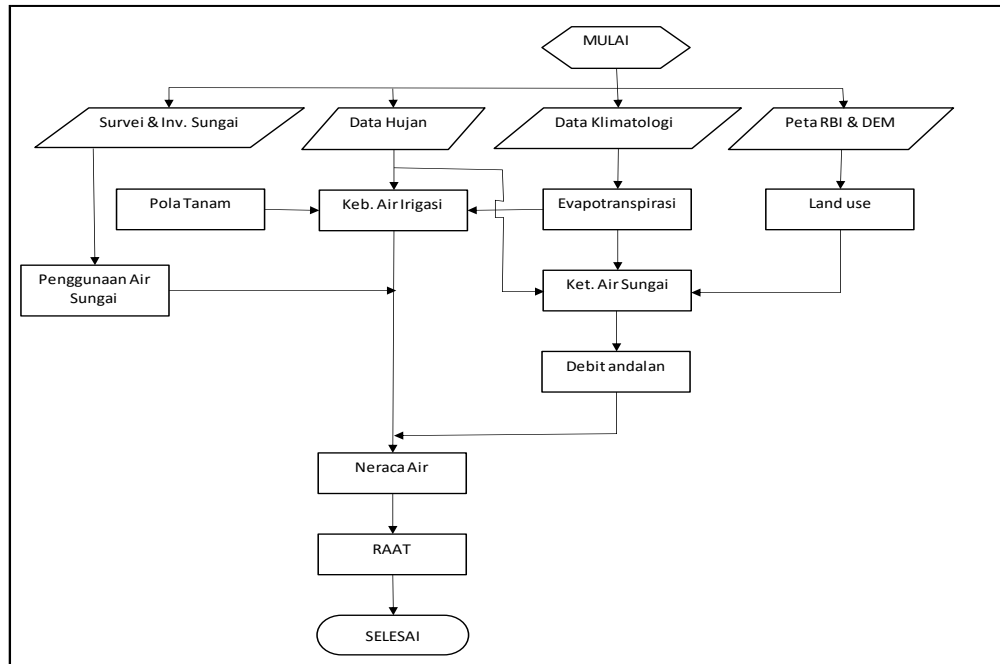
Gambar 1. Lokasi Penelitian

Sumber data

Data untuk penelitian ini diperoleh dari Kantor Dinas Cipta Karya dan Sumber Daya Air (Cikasda) Sulawesi Tengah, dan diambil dari stasiun hidro-klimat: Hek Bunta (data klimatologi dan hujan) untuk rentang waktu 2014-2023.

Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, evapotranspirasi dianalisis dengan Metode Penman Monteith dengan input data klimatologi. Kebutuhan air tanaman padi dianalisis dengan input data hujan bulanan, evapotranspirasi dan pola tanam. Ketersediaan air sungai dihitung dengan Metode MockWyn-UB berdasarkan input landuse, evapotranspirasi, dan hujan bulanan. Debit andalan dianalisis dengan Metode Weibull berdasarkan hasil analisis ketersediaan air sungai. Neraca air dianalisis berdasarkan hasil inventarisasi penggunaan air sungai, kebutuhan air tanaman dan debit andalan. Rencana alokasi air tahunan (RAAT) dianalisis berdasarkan hasil neraca air. Flowchart penelitian disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Penelitian

Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah penguapan yang disebabkan oleh evaporasi air bebas dan transpirasi oleh tumbuhan (evapo dan transpirasi). Perhitungan Evapotranspirasi potensial (ET_0) dibuat secara bulanan dengan menggunakan metode Penman Monteith (Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M., 1998), (Hadisusanto, 2011), (I W. Sutapa, Yassir Arafat, Sance Lipu, Nina B. Rustiati, & Abdul Munif, 2022):

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta Rn + \gamma \frac{900}{(T + 273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (1)$$

Ketersediaan ir sungai

Ketersediaan air sungai menggunakan persamaan empiris model MockWyn-UB, yaitu model yang dikembangkan dari model FJ. Mock (Lily M. L. & Whima R. P. , 2016). (Meylis Safriani, Alfiansyah Yulianur, & Azmeri, 2016) yang mempertimbangkan faktor tutupan lahan vegetasi dan perubahan iklim (I W. Sutapa, 2017), (I W. Sutapa, 2015b), (Ansari, Sutapa, & Ishak, 2017).

Debit andalan

Debit andalan adalah debit yang diperkirakan tersedia sepanjang tahun dengan risiko kegagalan yang sekecil mungkin. Data masukan merupakan hasil perhitungan ketersediaan air yang diperingkat dan probabilitasnya dihitung menggunakan persamaan Weibull (Asdak C., 2002).

$$P = m / (n + 1) \quad (2)$$

Kebutuhan air tanaman

Kebutuhan air tanaman padi dapat dihitung dengan persamaan berikut (I W. Sutapa, 2015a):

$$1. \text{ Periode penyiapan lahan: } NFR = IR - Re \quad (3)$$

$$2. \text{ Periode pertumbuhan: } NFR = ET_c + P + WLR - Re \quad (4)$$

Data masukan berupa data hujan semi bulanan, evapotranspirasi, perkolasi, dan pola tanam

Alokasi Air

Alokasi air merupakan serangkaian tindakan yang diperlukan untuk mengatur kuota air berdasarkan jenis air yang digunakan, sebagai upaya agar selalu mampu memenuhi kuantitas dan kualitas air sesuai dengan hak yang dijamin oleh negara (Arsyad, 2017). Terdapat tiga skenario yang diterapkan, yaitu: kondisi basah, kondisi normal, dan kondisi kering. Rencana Alokasi Air Tahunan (RAAT) untuk kondisi basah menggunakan debit andalan Q_{rerata} , kondisi normal menggunakan debit andalan Q_{50} , dan kondisi kering menggunakan debit andalan Q_{80} .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Evapotranspirasi

Hasil perhitungan evapotranspirasi dengan Metode Penman Monteith dan dengan bantuan software Cropwat 8-Windows disajikan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Rekapitulasi hasil perhitungan evapotranspirasi

No.	Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Rerata
1	2014	110.67	93.67	127.72	117.30	115.63	88.20	93.00	110.98	130.80	151.90	127.20	125.55	116.05
2	2015	118.42	120.06	114.70	121.80	119.97	90.00	102.61	126.79	153.90	160.89	151.20	132.06	126.03
3	2016	140.74	129.63	125.24	118.50	128.03	115.80	103.85	118.73	132.00	127.10	122.40	95.17	121.43
4	2017	116.25	88.45	117.18	113.40	117.18	84.30	92.69	94.55	106.80	121.21	123.30	110.98	107.19
5	2018	114.39	109.62	111.60	112.50	109.43	90.90	97.65	114.08	128.40	147.87	128.70	115.01	115.01
6	2019	110.05	115.42	131.44	103.80	106.95	78.30	89.90	126.17	139.80	149.11	150.30	136.71	119.83
7	2020	110.05	111.36	105.40	109.20	123.38	89.40	90.83	113.46	112.50	132.68	129.00	106.64	111.16
8	2021	115.63	104.98	116.56	123.60	109.74	85.20	94.24	117.80	112.20	137.95	122.70	119.04	113.30
9	2022	114.39	115.13	119.35	113.40	109.12	107.10	92.69	119.66	134.40	136.71	132.90	115.94	117.57
10	2023	115.94	102.95	119.04	116.70	105.40	94.80	99.51	110.98	125.40	155.62	133.80	129.27	117.45
	Rerata	116.65	109.13	118.82	115.02	114.48	92.40	95.70	115.32	127.62	142.10	132.15	118.64	116.50

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai ETo bulanan berkisar antara 92,40 mm (Juni) hingga 142,10 mm (Oktober), dengan rata-rata tahunan sebesar 1.398 mm/tahun atau sekitar 116,5 mm/bulan. Secara umum, nilai ETo cenderung meningkat pada periode akhir musim kemarau hingga awal musim hujan (September hingga November), dengan puncaknya pada bulan Oktober (142,10 mm). Sebaliknya, nilai ETo cenderung lebih rendah pada periode Mei hingga Juli.

Pola musiman ini menunjukkan bahwa kebutuhan air tanaman, khususnya tanaman padi sebagai komoditas pangan utama di Kabupaten Banggai, akan meningkat secara signifikan pada bulan-bulan tersebut. Oleh karena itu, perencanaan alokasi air tahunan di Daerah Irigasi Sungai Kabua Bua harus mempertimbangkan fluktuasi musiman ETo tersebut agar dapat menjamin ketersediaan air yang memadai selama masa-masa kritis pertumbuhan tanaman.

Dalam konteks ketahanan pangan, keandalan pasokan air irigasi selama bulan-bulan dengan ETo tinggi menjadi faktor strategis yang harus diperhatikan. Tanaman padi memiliki kebutuhan air yang tinggi pada fase vegetatif dan generatif yang sering kali bertepatan dengan periode ETo maksimum. Jika suplai air dari Sungai Kabua Bua tidak mencukupi selama periode ini, maka produktivitas pertanian dapat mengalami penurunan yang signifikan.

Lebih lanjut, fluktuasi tahunan ETo menunjukkan adanya variabilitas iklim yang perlu diantisipasi dalam perencanaan jangka panjang. Nilai rerata tahunan ETo selama satu dekade berkisar antara 107,19 mm (2017) hingga 126,03 mm (2015). Hal ini menunjukkan perlunya pendekatan adaptif dalam sistem tata kelola air, termasuk integrasi dengan sistem prediksi musim dan strategi konservasi air seperti pembangunan embung, optimalisasi bendung, serta pengelolaan kalender tanam

Ketersediaan air sungai

Ketersediaan air Sungai Kabua Bua dihitung dengan Metode MockWyn-UB. Hasilnya disajikan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Rekapitulasi hasil perhitungan ketersediaan air Sungai Kabua Bua

Tahun	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des	Rerata
2014	0.147	0.114	0.072	0.052	0.035	0.026	0.017	0.012	0.009	0.006	0.004	0.003	0.041
2015	0.418	0.563	0.157	0.156	1.319	2.056	0.618	0.424	0.307	0.208	1.272	0.342	0.653
2016	0.475	0.243	0.154	1.831	2.401	2.955	1.924	1.257	0.903	2.979	1.547	1.387	1.505
2017	0.676	0.524	0.690	0.322	1.506	2.609	2.214	1.407	2.268	1.470	1.169	1.359	1.351
2018	0.863	0.632	0.470	0.740	1.842	1.027	0.680	0.875	0.389	0.431	0.370	0.595	0.743
2019	0.221	0.171	0.108	0.971	0.274	2.918	2.378	0.867	0.627	0.425	0.307	0.225	0.791
2020	0.519	0.207	0.361	1.270	1.632	3.271	3.850	1.309	1.235	0.703	0.509	0.532	1.283
2021	0.727	0.388	1.386	1.215	2.435	1.147	2.426	0.829	1.449	1.337	0.637	0.413	1.199
2022	0.289	0.910	0.279	1.415	3.363	3.385	4.327	1.521	1.100	2.466	1.350	0.722	1.761
2023	1.932	1.307	0.533	0.385	0.820	0.317	0.215	0.936	0.289	0.196	0.443	0.294	0.639

Estimasi ketersediaan air Sungai Kabua Bua dihitung menggunakan metode MockWyn-UB, dengan satuan debit m³/detik. Tabel 2 menunjukkan hasil estimasi debit bulanan dari tahun 2014 hingga 2023, dengan nilai rerata bulanan selama satu dekade digunakan sebagai dasar perencanaan alokasi air tahunan.

Debit bulanan rerata Sungai Kabua Bua berkisar antara 0,006 m³/detik (Oktober) hingga 3,850 m³/detik (Juli 2020). Nilai rerata tahunan selama periode 2014–2023 adalah sekitar 1,096 m³/detik. Jika dikonversi ke volume bulanan, maka menggunakan konversi:

Volume (m³/bulan) = debit (m³/dt) x 86.400 x jumlah hari dalam bulan

Sebagai contoh: Juli (0,936 m³/detik rata-rata) → sekitar 2,51 juta m³/bulan

Oktober (0,196 m³/detik rata-rata) → hanya sekitar 0,53 juta m³/bulan

Perbedaan ini menunjukkan bahwa ketersediaan air sungai sangat bervariasi secara musiman, dengan debit tinggi pada Juni–Agustus, dan debit minimum pada September–Desember.

Keterkaitan antara Ketersediaan Air dan Evapotranspirasi (ET_o)

Hasil perbandingan dengan data ET_o Penman-Monteith menunjukkan adanya ketimpangan antara waktu ketersediaan air dan waktu kebutuhan air tanaman:

Bulan ET_o tinggi (mm) Debit rendah (m³/detik)

Sep 127.62 0.289

Okt 142.10 0.196

Nov 132.15 0.443

Sebaliknya, debit relatif tinggi terjadi pada:

Bulan Debit tinggi (m³/detik) ET_o sedang (mm)

Jun 0.317 92.40

Jul 0.936 95.70

Ags 0.936 115.32

Artinya: Kebutuhan air tanaman memuncak justru pada saat pasokan air dari sungai menurun drastis. Ini menjadi isu krusial dalam konteks perencanaan irigasi dan ketahanan pangan.

Debit andalan

Hasil perhitungan debit andalan dengan Metode Weibull disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Debit andalan Sungai Kabua Bua

Debit andalan (m3/detik)													
Ranking	$P = m / (n+1)$	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1	9.09	0.147	0.114	0.072	0.052	0.035	0.026	0.017	0.012	0.009	0.006	0.004	0.003
2	18.18	0.221	0.171	0.108	0.156	0.274	0.317	0.215	0.424	0.289	0.196	0.307	0.225
3	27.27	0.289	0.207	0.154	0.322	0.820	1.027	0.618	0.829	0.307	0.208	0.370	0.294
4	36.36	0.418	0.243	0.157	0.385	1.319	1.147	0.680	0.867	0.389	0.425	0.443	0.342
5	45.45	0.475	0.388	0.279	0.740	1.506	2.056	1.924	0.875	0.627	0.431	0.509	0.413
6	54.55	0.519	0.524	0.361	0.971	1.632	2.609	2.214	0.936	0.903	0.703	0.637	0.532
7	63.64	0.676	0.563	0.470	1.215	1.842	2.918	2.378	1.257	1.100	1.337	1.169	0.595
8	72.73	0.727	0.632	0.533	1.270	2.401	2.955	2.426	1.309	1.235	1.470	1.272	0.722
9	81.82	0.863	0.910	0.690	1.415	2.435	3.271	3.850	1.407	1.449	2.466	1.350	1.359
10	90.91	1.932	1.307	1.386	1.831	3.363	3.385	4.327	1.521	2.268	2.979	1.547	1.387
Q20- Tahun basah (lt/dt)		862.91	909.60	690.02	1414.84	2435.22	3271.27	3850.10	1407.24	1449.48	2465.92	1350.25	1359.16
Q50 - Tahun normal (lt/dt)		519.26	523.70	360.87	971.47	1631.58	2608.51	2213.59	936.35	902.92	703.32	636.54	532.27
Q80 - Tahun kering (lt/dt)		289.13	206.65	153.92	321.74	820.07	1027.11	617.60	829.34	306.88	207.89	370.27	293.71

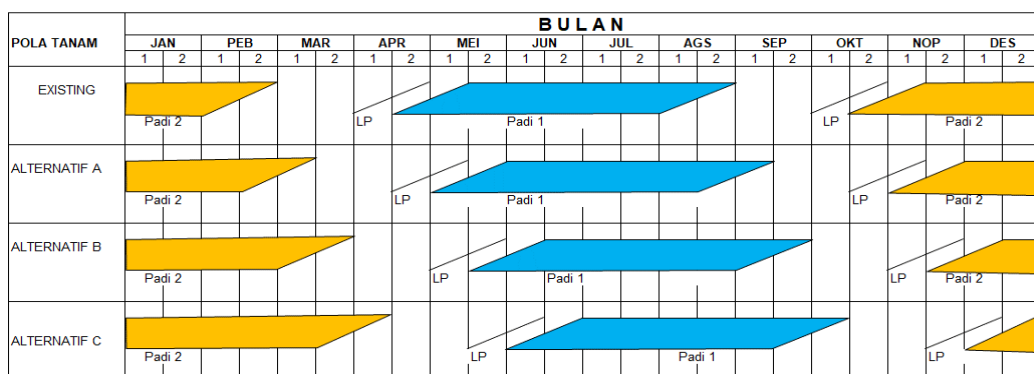
Berdasarkan Tabel 3, dapat dianalisis:

- Tahun Basah (Q_{20}): Debit maksimum terjadi pada bulan Juli (3850,10 l/dt) dan Juni (3271,27 l/dt), yang mencerminkan curah hujan tinggi dan limpasan maksimum. Debit minimum terdapat pada bulan Maret (690,02 l/dt) dan Desember (1359,16 l/dt), yang meskipun tergolong rendah, masih menunjukkan pasokan air yang memadai.
- Tahun Normal (Q_{50}): Debit puncak juga terjadi pada Juni–Juli (2608,51–2213,59 l/dt). Debit terendah terdapat pada Maret (360,87 l/dt) dan Desember (532,27 l/dt).
- Tahun Kering (Q_{80}): Debit maksimum terjadi pada bulan Juni (1027,11 l/dt), namun dengan tren penurunan tajam setelahnya. Debit sangat rendah teramati pada bulan Maret (153,92 l/dt) dan Oktober (207,89 l/dt).

Kebutuhan air tanaman

Pola tanam

Pola tanam yang saat ini digunakan pada Daerah Irigasi Kabua Bua mengandung prinsip Ok-Mar, A-Sep. Artinya: MT1: pada Bulan Oktober dan MT 2: pada Bulan April. Para petani hanya bertanam padi untuk kedua musim tanam tersebut. Sedangkan palawija hanya sebagian kecil saja ditanam. Pola tanam existing dan usulan disajikan pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3. Pola Tanam existing dan usulan Daerah Irigasi Kabua Bua

Dalam menganalisis kebutuhan air tanaman beberapa input data yang diperlukan seperti evapotranspirasi

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
ET ₀ (mm/hr)	3.76	3.76	3.83	3.83	3.69	3.08	3.09	3.72	4.25	4.58	4.41	3.83

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan: D.I. Kabua Bua menggunakan angka penjenjutan (S) = 300 mm. Jangka waktu penyiapan lahan 45 hari. Kebutuhan air untuk penjenjutan rata-rata sebesar 50 mm selama 15 hari, sehingga angka kebutuhan air adalah 3,33 mm/hari. Kehilangan air di sawah diperhitungkan karena adanya rembesan air ke dalam lapisan tanah (perkolasi) digunakan 4 mm/hari. Penggantian lapisan air dilakukan sebanyak 2 kali, masing-masing 50 mm (3,33 mm/hari selama setengah bulan). Hal ini dilakukan selama 1 dan 2 bulan setelah awal tanam. Curah hujan efektif untuk padi adalah 70% dari hujan tengah bulanan dengan keandalan 80 %. Proses perhitungan hujan efektif disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4. Curah hujan efektif

Ranking	Bulan																							
	Januari		Februari		Maret		April		Mei		Juni		Juli		Agustus		September		Oktober		Nopember		Desember	
	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	6.50	34.60	10.40	0.00	0.00	16.00	6.40	64.60	0.00	51.00	45.10	43.20	0.00	32.20	15.80	1.50	0.00	0.00	0.00	6.00	8.40	2.60	6.80	32.40
2	23.20	36.00	10.80	0.00	0.00	37.40	8.40	67.60	72.60	112.00	58.60	60.10	4.80	49.00	27.60	21.70	0.00	0.00	0.00	14.60	16.00	26.40	23.60	46.90
3	30.20	39.80	26.20	16.80	29.40	44.60	12.00	84.60	77.80	123.80	75.60	72.60	28.40	93.20	33.80	27.20	0.00	11.40	2.00	35.40	40.20	59.20	45.40	47.80
4	50.40	50.80	32.50	18.20	35.30	46.80	24.80	89.80	146.80	124.40	195.20	77.30	46.00	102.20	55.70	27.60	31.00	17.60	5.80	35.40	46.00	65.80	53.80	56.00
5	51.80	51.20	61.00	30.40	66.20	52.80	28.00	107.20	151.00	129.60	250.00	120.60	118.20	114.60	84.20	29.80	68.50	19.40	40.20	39.00	55.80	75.00	81.20	72.80
6	56.80	54.20	61.00	40.00	70.00	86.40	35.60	117.10	152.80	181.40	273.00	158.00	218.70	117.60	113.90	77.00	76.80	23.80	94.80	55.80	89.40	103.20	83.20	98.20
7	125.40	139.70	88.40	43.80	71.60	93.40	75.70	182.60	196.00	200.60	277.00	208.20	243.23	216.80	124.80	104.20	99.80	89.20	155.80	74.60	99.80	120.40	85.20	105.30
8	127.80	142.90	119.60	64.80	88.00	113.40	100.40	237.90	213.00	203.20	289.60	221.80	276.60	228.30	125.20	113.20	128.40	99.50	168.40	95.80	138.60	153.50	101.20	124.20
9	134.70	188.80	167.70	73.60	115.40	119.20	121.00	273.80	221.60	273.40	289.60	224.00	329.70	233.00	157.00	117.80	151.20	141.90	196.40	172.50	165.60	154.00	118.20	193.60
10	135.20	242.20	197.00	133.80	185.00	121.00	163.60	282.60	237.00	346.50	330.60	227.70	360.80	260.50	343.80	129.00	160.20	189.80	314.40	243.60	178.80	178.00	285.00	218.40
Perhitungan Hujan Efektif Padi dan Palawija																								
$R_{30} = n/5 + 1 = 10/5 + 1 = 3$ Ranking ke-3												$R_{50} = n/2 + 1 = 10/2 + 1 = 6$ Ranking ke-6												
$R_{ef} \text{ Padi} =$																								
$0,7 \times R_{30}/15$	1.41	1.86	1.22	0.78	1.37	2.08	0.56	3.95	3.63	5.78	3.53	3.39	1.33	4.35	1.58	1.27	0.00	0.53	0.09	1.65	1.88	2.76	2.12	2.23
$R_{ef} \text{ palawija} =$	111.00		101.00		156.40		152.70		334.20		431.00		336.30		190.90		100.60		150.60		192.60		181.40	
$(0,8R_{50} - 25)/30$	2.13		1.86		3.34		3.24		8.08		10.66		8.13		4.26		1.85		3.18		4.30		4.00	
Utk $R_{50} > 75 \text{ mm/bln}$																								

Berdasarkan data tersebut, dapat dihitung kebutuhan air tanaman padi

Tabel 4. Perhitungan kebutuhan air tanaman padi kondisi existing

Bulan	Periode	ET ₀ (mm/hr)	P (mm/hr)	Re (mm/hr)	WLR (mm/hr)	C1	C2	C3	C	ETC (mm/hr)	NFR (mm/hr)	DR lt/dt/ha
Januari	1	3.76	4	1.41	1.1	0	0.95	1.05	0.67	2.51	6.20	1.104
	2	3.76	4	1.86	1.1		0	0.95	0.48	1.79	5.03	0.000
Pebruari	1	3.76	4	1.22				0	0.00	0.00	2.78	0.495
	2	3.76	4	0.78						0.00		0.000
Maret	1	3.83	4	1.37						0.00		0.000
	2	3.83	4	2.08						0.00		0.000
April	1	3.83	4	0.56		LP			LP	11.57	11.01	1.960
	2	3.83	4	3.95		1.1	LP		LP	11.57	7.62	1.357
Mei	1	3.69	4	3.63		1.1	1.1	LP	LP	11.45	7.82	1.392
	2	3.69	4	5.78	1.1	1.05	1.1	1.1	1.08	4.00	3.32	0.591
Juni	1	3.08	4	3.53	1.1	1.05	1.05	1.1	1.07	3.29	4.86	0.000
	2	3.08	4	3.39	2.2	0.95	1.05	1.05	1.02	3.13	5.94	1.058
Juli	1	3.09	4	1.33	1.1	0	0.95	1.05	0.67	2.06	5.83	1.039
	2	3.09	4	4.35	1.1		0	0.95	0.48	1.47	2.22	0.395

Agustus	1	3.72	4	1.58				0	0.00	0.00	2.42	0.431
	2	3.72	4	1.27						0.00		0.000
September	1	4.25	4	0.00						0.00		0.000
	2	4.25	4	0.53						0.00		0.000
Oktober	1	4.58	4	0.09	LP				LP	12.13	12.04	2.143
	2	4.58	4	1.65	1.1	LP			LP	12.13	10.48	1.866
Nopember	1	4.41	4	1.88	1.1	1.1	LP	LP		12.01	10.13	1.804
	2	4.41	4	2.76	1.1	1.05	1.1	1.1	1.08	4.78	7.11	1.267
Desember	1	3.83	4	2.12	1.1	1.05	1.05	1.1	1.07	4.09	7.07	1.258
	2	3.83	4	2.23	2.2	0.95	1.05	1.05	1.02	3.89	7.86	0.000

Kebutuhan air tanaman alternatif A, B, dan C dilakukan dengan menggeser pola tanam 15 harian. Hasilnya disajikan pada tabel berikut.

Tabel 5. Perhitungan kebutuhan air tanaman padi berbagai alternatif

Bulan	Periode	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3	ALT. 4	ALT. 5	ALT. 6
Januari	1	1.534	1.371	1.382	1.453	1.429	1.377
	2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pebruari	1	1.008	1.137	1.567	1.073	1.237	1.352
	2	0.573	1.087	1.215	0.830	0.958	1.151
Maret	1	0.000	0.468	0.988	0.234	0.485	0.728
	2	0.000	0.000	0.342	0.000	0.114	0.171
April	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2	1.357	0.000	0.000	0.679	0.452	0.000
Mei	1	1.392	1.392	0.000	1.392	0.928	0.696
	2	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010
Juni	1	0.000	1.336	1.336	0.668	0.891	1.336
	2	0.000	0.000	1.361	0.000	0.454	0.680
Juli	1	1.427	0.000	0.000	0.714	0.476	0.000
	2	0.500	0.889	0.721	0.695	0.703	0.805
Agustus	1	0.942	1.069	1.497	1.005	1.169	1.283
	2	0.486	0.997	1.124	0.741	0.869	1.060
September	1	0.000	0.712	1.268	0.356	0.660	0.990
	2	0.000	0.000	0.618	0.000	0.206	0.309
Oktober	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2	1.866	0.000	0.000	0.933	0.622	0.000
Nopember	1	1.804	1.804	0.000	1.804	1.203	0.902
	2	1.647	1.647	1.647	1.647	1.647	1.647
Desember	1	1.270	1.683	1.683	1.476	1.545	1.683
	2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

KETERANGAN:

ALT 1	=	A Saja
ALT 2	=	B saja
ALT 3	=	C saja
ALT 4	=	A + B
ALT 5	=	A + B + C
ALT 6	=	B + C

Pemilihan alternatif kebutuhan air tanaman dilakukan dengan cara membagi debit andalan (lt/dt) dengan kebutuhan air berbagai alternatif (lt/dt/ha) sehingga didapatkan luas maksimum yang dapat diairi.

$A = Q \text{ and } / Q \text{ keb}$

Tabel 6. Maksimum areal yang dapat diairi

Bulan	Periode	Q Andalan (lt/dt)	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3	ALT. 4	ALT. 5	ALT. 6
Januari	1	289.125	188513	210837	209135	199051	202303	209983
	2		Max	Max	Max	Max	Max	Max
Pebruari	1	206.647	286709	254343	184514	269558	233660	213873
	2		504890	266097	237990	348514	301795	251260
Maret	1	153.921	Max	617856	292708	1235712	595845	397230
	2		Max	Max	846278	Max	2538835	1692557
April	1	321.741	Max	Max	Max	Max	Max	Max
	2		213031	Max	Max	426063	639094	Max
Mei	1	820.069	207655	207655	Max	207655	311483	415311
	2		286237	286237	286237	286237	286237	286237
Juni	1	1027.11	Max	216439	216439	432878	324659	216439
	2		Max	Max	212474	Max	637422	424948
Juli	1	617.598	202556	Max	Max	405113	607669	Max
	2		577701	325255	401250	416189	411087	359278
Agustus	1	829.34	306962	270501	193193	287580	247306	225403
	2		594626	290072	257299	389928	332753	272704
September	1	306.883	Max	405932	228091	811863	438105	292070
	2		Max	Max	468202	Max	1404607	936405
Oktober	1	207.888	Max	Max	Max	Max	Max	Max
	2		154965	Max	Max	309931	464896	Max
Nopember	1	370.272	160226	160226	Max	160226	240338	320451
	2		175589	175589	175589	175589	175589	175589
Desember	1	293.707	227716	171799	171799	195844	187114	171799
	2		Max	Max	Max	Max	Max	Max
Minimum Padi I			202556	216439	193193	207655	247306	216439
Minimum Padi II			160226	171799	171799	160226	175589	171799
Total			362782	388238	364992	367881	422894	388238

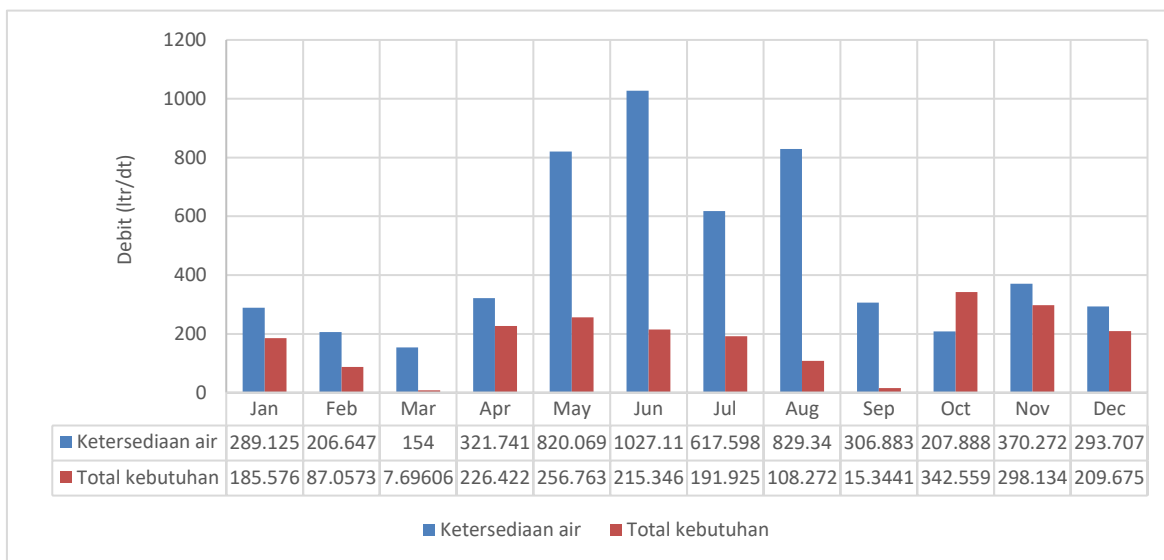
Berdasarkan Tabel 6 maka dipilih alternatif 5 karena luas areal yang dapat ditanami dari debit andalan yang tersedia paling luas (422.894 ha).

Rencana alokasi air

Rencana alokasi air direncanakan pada tiga kondisi, yaitu musim kering (Q_{80}), normal (Q_{50}) dan basah (Q_{20}). Hasilnya disajikan pada tabel berikut

Tabel 7. Neraca air dan alokasi air kondisi kering (Q_{80})

Kondisi: Tahun Kering													
No	Kondisi	Bulan											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1 SUNGAI KABUA BUA													
a.	Ketersediaan Air (lt/dt)	289.13	206.65	153.92	321.74	820.07	1027.11	617.60	829.34	306.88	207.89	370.27	293.71
b. Kebutuhan Air (lt/dt)													
b1 Kebutuhan Air Konsumtif													
	1 Air Baku	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
155	2 Irigasi (Ha)	171.12	76.725	0	210.335	215.76	163.99	161.045	66.805	0	332.165	279.62	194.99
	3 Industri												
	4 Penkunan												
b2 Kebutuhan air non konsumtif													
	1 Pembangkit Listrik												
	2 Pemeliharaan Sungai	14.46	10.33	7.70	16.09	41.00	51.36	30.88	41.47	15.34	10.39	18.51	14.69
	Total Kebutuhan	185.58	87.06	7.70	226.42	256.76	215.35	191.92	108.27	15.34	342.56	298.13	209.68
	Kebutuhan Air Konsumtif	171.12	76.73	0.00	210.34	215.76	163.99	161.05	66.81	0.00	332.17	279.62	194.99
	Kebutuhan air non konsumtif	14.46	10.33	7.70	16.09	41.00	51.36	30.88	41.47	15.34	10.39	18.51	14.69
c.	Neraca Air	103.55	119.59	146.23	95.32	563.31	811.77	425.67	721.07	291.54	-134.67	72.14	84.03
	Status NA	S	S	S	S	S	S	S	S	S	D	S	S
d. Alokasi Air													
	Air Baku	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Faktor K	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	1.00	1.00
	Pemeliharaan Sungai	14.46	10.33	7.70	16.09	41.00	51.36	30.88	41.47	15.34	10.39	18.51	14.69

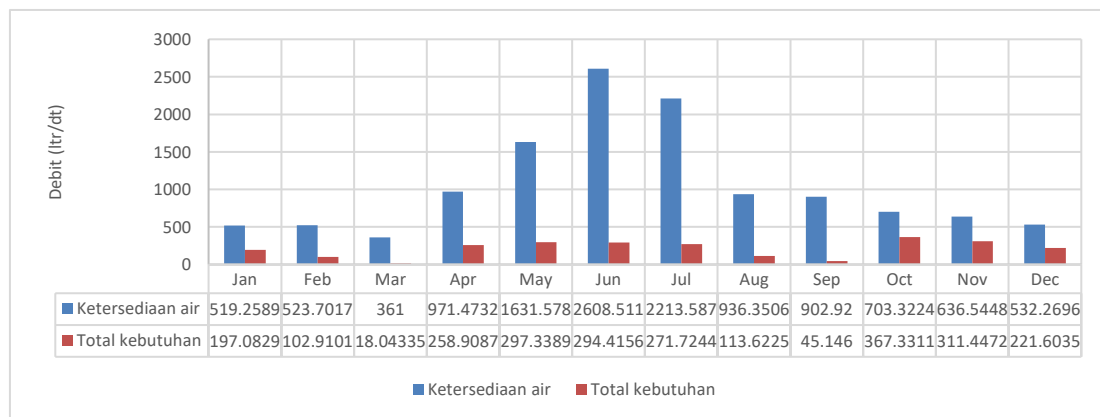


Gambar 4. Neraca air Sungai Kabua Bua kondis tahun kering (Q_{80})

Berdasarkan Tabel 7 dan Gambar 4, pada kondisi kering, air mencukupi sepanjang bulan kecuali pada Bulan Oktober.

Tabel 8. Neraca air dan alokasi air kondisi normal (Q_{50})

Kondisi: Normal													
No	Kondisi	Bulan											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1 SUNGAI KABUA BUA													
	a. Ketersediaan Air (lt/dt)	519.26	523.70	360.87	971.47	1631.58	2608.51	2213.59	936.35	902.92	703.32	636.54	532.27
	b. Kebutuhan Air (lt/dt)												
	b1 Kebutuhan Air Konsumtif												
	1 Air Baku	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
155	2 Irigasi (Ha)	171.12	76.725	0	210.335	215.76	163.99	161.045	66.805	0	332.165	279.62	194.99
	3 Industri												
	4 Perikanan												
	b2 Kebutuhan air non konsumtif												
	1 Pembangkit Listrik												
	2 Pemeliharaan Sungai	25.963	26.185	18.043	48.574	81.579	130.426	110.679	46.818	45.146	35.166	31.827	26.613
	Total Kebutuhan	197.083	102.910	18.043	258.909	297.339	294.416	271.724	113.623	45.146	367.331	311.447	221.603
	Kebutuhan Air Konsumtif	171.120	76.725	0.000	210.335	215.760	163.990	161.045	66.805	0.000	332.165	279.620	194.990
	Kebutuhan air non konsumtif	25.963	26.185	18.043	48.574	81.579	130.426	110.679	46.818	45.146	35.166	31.827	26.613
	c. Neraca Air	322.176	420.792	342.824	712.565	1334.239	2314.096	1941.863	822.728	857.774	335.991	325.098	310.666
	Status NA	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	d. Alokasi Air												
	Air Baku	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Faktor K	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Pemeliharaan Sungai	25.963	26.185	18.043	48.574	81.579	130.426	110.679	46.818	45.146	35.166	31.827	26.613

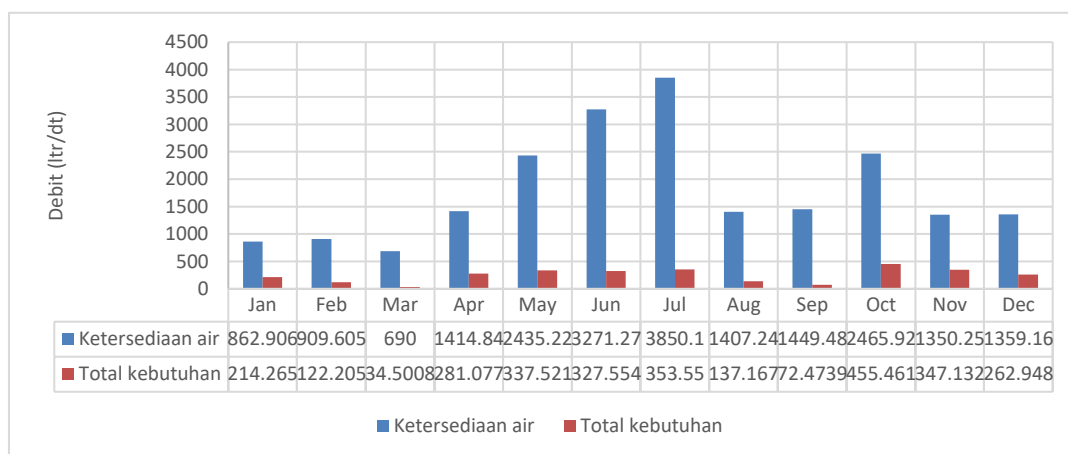


Gambar 5. Neraca air Sungai Kabua Bua kondis tahun normal (Q_{50})

Berdasarkan Tabel 8 dan Gambar 5, pada kondisi normal, air mencukupi sepanjang bulan.

Tabel 9. Neraca air dan alokasi air kondisi basah (Q₂₀)

Kondisi: Tahun Basah		Bulan											
No	Kondisi	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	SUNGAI KABUA BUA												
a.	Ketersediaan Air (lt/dt)	862.91	909.60	690.02	1414.84	2435.22	3271.27	3850.10	1407.24	1449.48	2465.92	1350.25	1359.16
b.	Kebutuhan Air (lt/dt)												
b1	Kebutuhan Air Konsumtif												
1	Air Baku	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
155	2 Irigasi (Ha)	171.12	76.725	0	210.335	215.76	163.99	161.045	66.805	0	332.165	279.62	194.99
	3 Industri												
	4 Perikanan												
b2	Kebutuhan air non konsumtif												
1	Pembangkit Listrik												
2	Pemeliharaan Sungai	43.145	45.480	34.501	70.742	121.761	163.564	192.505	70.362	72.474	123.296	67.512	67.958
	Total Kebutuhan	214.265	122.205	34.501	281.077	337.521	327.554	353.550	137.167	72.474	455.461	347.132	262.948
	Kebutuhan Air Konsumtif	171.120	76.725	0.000	210.335	215.760	163.990	161.045	66.805	0.000	332.165	279.620	194.990
	Kebutuhan air non konsumtif	43.145	45.480	34.501	70.742	121.761	163.564	192.505	70.362	72.474	123.296	67.512	67.958
c.	Neraca Air	648.641	787.399	655.514	1133.765	2097.702	2943.718	3496.551	1270.071	1377.004	2010.462	1003.113	1096.209
	Status NA	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
d.	Alokasi Air												
	Air Baku	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Faktor K	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Pemeliharaan Sungai	43.145	45.480	34.501	70.742	121.761	163.564	192.505	70.362	72.474	123.296	67.512	67.958



Gambar 6. Neraca air Sungai Kabua Bua kondis tahun basah (Q₂₀)

Berdasarkan Tabel 9 dan Gambar 6, pada kondisi basah, air mencukupi sepanjang bulan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini mengkaji potensi alokasi air tahunan Sungai Kabua Bua sebagai bagian dari strategi mendukung ketahanan pangan di Kabupaten Banggai. Berdasarkan analisis debit andalan menggunakan metode MockWyn-UB dan estimasi evapotranspirasi potensial (ET_o) dengan pendekatan Penman-Monteith, diperoleh beberapa poin utama sebagai berikut:

1. Variabilitas Debit Andalan: Debit Sungai Kabua Bua menunjukkan pola musiman yang konsisten, dengan debit maksimum umumnya terjadi pada bulan Juni–Juli, dan debit minimum pada bulan Februari–Maret serta Oktober–Desember. Perhitungan debit andalan menunjukkan bahwa pada kondisi normal (Q₅₀) dan basah (Q₂₀), kebutuhan air irigasi dapat terpenuhi sepanjang tahun. Namun, pada kondisi kering (Q₈₀), terjadi defisit air pada bulan Oktober.
2. Kebutuhan Air Tanaman Tinggi di Musim Kemarau: ET_o bulanan tertinggi tercatat pada bulan Juni dan Juli, bertepatan dengan musim kemarau. Kondisi ini menciptakan potensi ketidakseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air pada masa pertumbuhan kritis tanaman, khususnya pada bulan Juli hingga September.
3. Potensi Defisit Air: Kombinasi antara debit rendah dan ET_o tinggi pada bulan-bulan kemarau mengindikasikan adanya defisit air pada lahan pertanian, terutama pada tahun-tahun kering. Hal ini menimbulkan risiko kegagalan panen apabila tidak dilakukan pengelolaan air secara adaptif.
4. Perlunya Alokasi Air yang Adaptif: Hasil penelitian ini menunjukkan pentingnya pengaturan alokasi air tahunan yang mempertimbangkan fluktuasi debit andalan dan pola kebutuhan ET_o. Strategi seperti pengaturan kalender tanam, penggunaan teknologi irigasi hemat air, dan pembangunan infrastruktur konservasi air (embung atau kolam retensi) sangat diperlukan untuk menjaga keberlanjutan produksi pangan.

5. Kontribusi terhadap Ketahanan Pangan: Dengan pengelolaan sumber daya air yang berbasis data debit andalan dan kebutuhan air aktual, Sungai Kabua Bua memiliki potensi besar untuk menjadi sumber pasokan air irigasi yang handal dalam mendukung sistem pertanian berkelanjutan dan ketahanan pangan daerah.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). "FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, 601 Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements)". FAO. Water 602 Resources, Development and Management Service. Rome, Italy.
- Ansari, A., Sutapa, I., & Ishak, M. (2017). "Model Hydrology MockWyn-UB to Analyse Water Availability in Gumbasa Watershed Central Sulawesi Province". *Int. Journal of Engineering Research and Application*, 7(1), 94-101. doi:DOI: 10.9790/9622-07010394101
- Arsyad, K. M. (2017). "Annual Water Allocation Plan Module". Bandung, Indonesia: Minister for Public Works and Human Settlements.
- Asdak C. (2002). "Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai". Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- FAO. (2011). "The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk". Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Grafton, R. Q., Pittock, J., Davis, R., Williams, J., Fu, G., Warburton, M., & Connell, D. (2018). "The water governance reform framework: Overview and applications to Australia, China, Tanzania, USA and Vietnam". *Water*, 10(5), 1-20. doi:https://doi.org/10.3390/w10050666
- Hadisusanto, N. (2011). "Aplikasi Hidrologi (1 ed.)". Malang: Jogja Mediautama.
- I W. Sutapa. (2015a). "Study Water Availability of Malino River to Meet the Need of Water Requirement in District Ongka Malino, Central Sulawesi of Indonesia". *International Journal Of Engineering and Technology*, 7(3), 1069-1075.
- I W. Sutapa. (2015b). "Modeling Discharge of Bangga Watershed under Climate Change". *Applied Mechanics and Materials Journal*, 776, 133-138. doi:http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.776.133
- I W. Sutapa. (2017). "Effect of Climate Change on Recharging Groundwater in Bangga Watershed, Central Sulawesi of Indonesia". *Environ. Eng.Res.J.*, 22(1), 87-94. doi:https://doi.org/10.4491/eer.2015.127
- I W. Sutapa, Yassir Arafat, Sance Lipu, Nina B. Rustiati, & Abdul Munif. (2022). "Effect of Climate Change on Annual Water Allocation Plan". *Journal of Applied Engineering Science*, 20(4), 1317-1324. doi:DOI:10.5937/jaes0-38031
- IPPC. (2022). "Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". Cambridge University Press.
- Lily M. L., & Whima R. P. . (2016). "Analysis of the Reliability of Reservoir Storage in POCO POCO Embung Bangkalan". *Journal Teknik Sipil*, 23(2), 127-134. doi:https://multisite.itb.ac.id/wp-content/uploads/sites/8/2016/09/5.-Lily-Montarcih-Limantara-Whima-Regianto-Putra-Vol.23-No.2-Hal-127-134.pdf
- Meylis Safriani, Alfiansyah Yulianur, & Azmeri. (2016). "Analysis of the Effect of Palm Oil Land Interception on Water Availability in Nagan Raya Regency (Case Study in Krueng Isep Sub-watershed)". *Journal Teknik Sipil*, 23(2), 135-144. doi:https://doi.org/10.5614/jts.2016.23.2.6
- Nasri, M., Taghvaeian, S., & Oad, R. (2020). "Improving irrigation water allocation using weather forecast and remote sensing data". *Agricultural Water Management*, 237, 106166. doi:https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106166
- Shrestha, R. R., Dibike, Y., & Prowse, T. (2015). "Modelling climate change impacts on the hydrology of a Canadian subarctic watershed". *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 289-306. doi:https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.01.005
- Wurbs, R. A. (2005). "Modeling and analysis of reservoir system operations". Prentice Hall.