

MODEL POLA OPERASI WADUK BULANGO ULU

*Elma Tiani Nani¹, Barry Yusuf Labdul² and Rawiyah Husnan³^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo

*Corresponding Author, Received: Jan. 2024, Revised: Mei. 2024, Accepted: Juli. 2024

ABSTRAK: Waduk Bulango Ulu berada di Provinsi Gorontalo, pembangunan Waduk Bulango Ulu adalah untuk pemenuhan Kebutuhan air baku, air irigasi, dan PLTA, untuk memastikan apakah penggunaan sumber daya air termasuk penjadwalan dan pembebasan air untuk pemenuhan kebutuhan air baku, air irigasi, dan PLTA dengan menyesuaikan ketersediaan air pada musim hujan dan musim kering dapat memenuhi tujuan awal perencanaannya. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah simulasi pola operasi waduk dengan variasi musim basah dengan probabilitas debit (66,67%), musim normal dengan probabilitas debit (50%), dan musim kering dengan probabilitas debit (33,33%) sehingga dapat diketahui ketersediaan Waduk Bulango Ulu pada saat musim hujan dan musim kering untuk memenuhi kebutuhan air, karena itu perancangan dan pengoperasian waduk yang tepat sangat dibutuhkan karena kecenderungan persediaan air yang terbatas, sementara kebutuhan air terus meningkat dari tahun ke tahun sebagai dampak dari laju pertumbuhan penduduk. Hasil yang diperoleh dapat dijadikan masukan bagi pengaturan pola operasi Waduk Bulango Ulu.

Keywords: Reservoir Operation Pattern, Simulation, Outflow, Inflow

1. PENDAHULUAN

Operasi Waduk adalah proses pengelolaan debit air yang masuk dan keluar dari waduk untuk berbagai keperluan, seperti irigasi, Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), pengendalian banjir, dan lain-lain. Umumnya tujuan dari dibangunnya suatu waduk atau bendungan adalah untuk melestarikan sumber daya air dengan cara menyimpan air disaat kelebihan yang biasanya terjadi pada saat musim penghujan [3].

Pembangunan Waduk Bulango Ulu adalah untuk pemenuhan kebutuhan air baku, air untuk irigasi, dan PLTA. Waduk Bulango Ulu merupakan waduk dengan bangunan bendungan yang masih dalam tahap pembangunan. Waduk Bulango Ulu berada dalam kewenangan dan pengelolaan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) melalui Balai Wilayah Sungai (BWS) Sulawesi II. Bendungan Bulango Ulu terletak di antara wilayah Desa Tulo'a Kecamatan Bulango Utara, Desa Mongiilo dan Desa Owata di Kecamatan Bulango Ulu, Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo. Bendungan ini nantinya memiliki manfaat untuk mereduksi banjir, suplai irigasi seluas ± 4.193 hektar, suplai air baku sebanyak 2.200 liter/detik, PLTA sebesar 4,95 MW dan juga sebagai pariwisata serta sarana olahraga air dengan daerah aliran sungai (DAS) seluas 243,19 km² dan curah hujan tahunan 2.100 mm/tahun. Diharapkan dengan adanya Waduk Bulango Ulu ini dapat meningkatkan perekonomian dan kesejahteraan masyarakat daerah sekitaran aliran Waduk Bulango [2].

Berdasarkan uraian tersebut, untuk memastikan penggunaan sumber daya air termasuk penjadwalan dan pembebasan air untuk pemenuhan kebutuhan air baku, air irigasi, dan PLTA dengan menyesuaikan ketersediaan air yang ada, sehingga dapat memenuhi kebutuhan semua pihak sesuai dengan tujuan awal dalam pembangunan Waduk Bulango Ulu, maka dilakukan penelitian dengan judul "Model Pola Operasi Waduk Bulango Ulu". Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui optimalisasi dan pola operasi Waduk Bulango Ulu dengan menggunakan metode simulasi dalam 3 kondisi, yaitu tahun basah, normal, dan kering.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Inflow

Air yang masuk ke waduk dapat diklasifikasikan menjadi air yang masuk pada kondisi tahunan basah, normal, atau kering. Air ini dapat berasal dari sungai, lingkungan sekitar, atau curah hujan yang jatuh langsung ke permukaan waduk. Jika debit sungai yang masuk ke waduk tidak dapat diukur secara langsung, debit inflow waduk dihitung dengan menggunakan model hujan aliran, seperti model F.J.Mock, NRECA, atau lainnya.

Debit yang masuk di sungai dikategorikan berdasarkan tiga kondisi dimana tahun kering adalah tahun dimana curah hujan atau aliran sungai berkisar antara 0%-33% dari jumlah curah hujan hasil pengamatan. Tahun normal adalah tahun dimana jumlah debit aliran atau curah hujan hasil pengamatan lebih dari 33,33% dan kurang dari 66,67%. Tahun basah adalah tahun dimana jumlah

debit aliran atau curah hujan hasil pengamatan lebih dari 66,67 dan kurang dari 100% [3].

2.1 Outflow

Keluaran air waduk dihitung hanya untuk memenuhi satu kebutuhan, tetapi untuk waduk yang digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti irigasi, PLTA, air baku, dan perikanan. kebutuhan air irigasi adalah menyalurkan air yang perlu untuk pertumbuhan tanaman ke tanah yang diolah dan mendistribusikannya secara sistematis. Sebagian besar air permukaan mencukupi untuk kebutuhan irigasi. Kebutuhan air bersih diperkirakan berdasarkan jumlah penduduk. Kebutuhan air bersih dikelompokkan menjadi kebutuhan rumah tangga, kebutuhan industri dan perdagangan, pemakaian fasilitas umum, kehilangan pada sistem, kesalahan meter, pencurian air, dan lain-lain [9].

Air yang diperlukan untuk PLTA adalah jumlah air yang paling sedikit yang diperlukan untuk menggerakkan turbin sehingga dapat menghasilkan listrik [8].

Evaporasi merupakan faktor penting dalam studi tentang pengembangan sumber-sumber daya air. Evaporasi sangat mempengaruhi debit sungai, besarnya kapasitas waduk, besarnya kapasitas pompa untuk irigasi, penggunaan konsumtif untuk tanaman dan lain-lain [1].

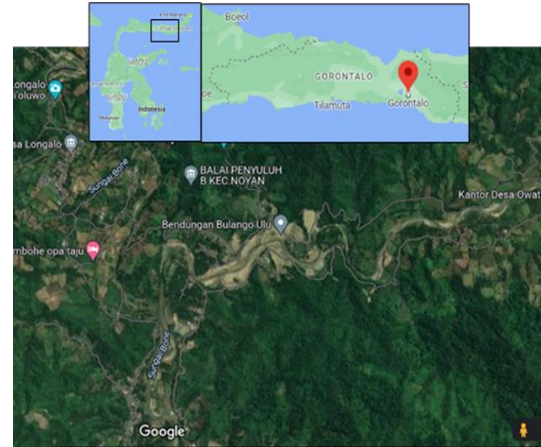
Pelaksanaan pemeliharaan Sungai diatur dalam peraturan pemerintah RI nomor 38 tahun 2011 tentang Sungai. Perlindungan aliran pemeliharaan sungai dilakukan dengan mengendalikan ketersediaan debit andalan 95% [7].

2.3 Simulasi operasi Waduk

Simulasi operasional waduk memanfaatkan *inflow* (ketersediaan air), *outflow* (kebutuhan air), dan kapasitas waduk untuk mensimulasikan pelepasan air waduk untuk memenuhi kebutuhan air di hilir. Teknik ini digunakan untuk menggunakan kapasitas tampungan dan *inflow* yang masuk ke waduk untuk memodelkan pelepasan air waduk [10].

3. METODE PENELITIAN

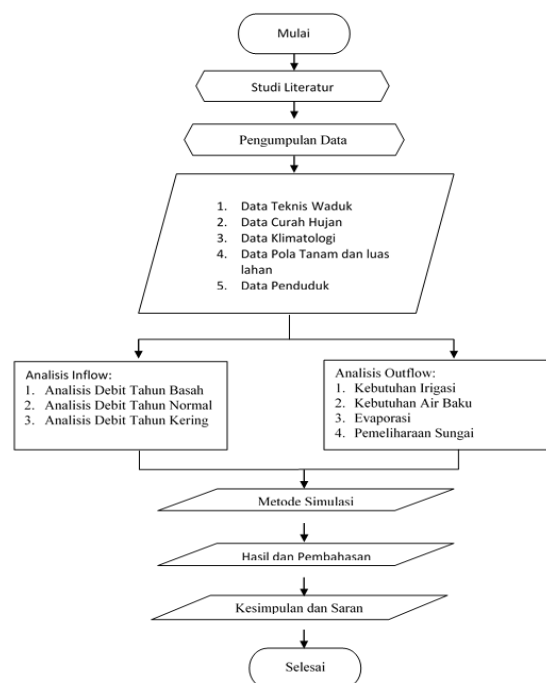
Lokasi penelitian ini berada di Bendungan Bulango Ulu yang terletak diantara 0°39'39.35"N 123°05'45.68"E. Bendungan ini berada di Desa Tulo'a Kecamatan Bulango Utara, Desa Mongiilo dan Desa Owata di Kecamatan Bulango Ulu Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Lokasi penelitian

Penelitian ini yang diperlukan adalah melakukan studi literatur, selanjutnya data yang diperlukan meliputi data curah hujan, data teknis, data luas potensial lahan irigasi dan pola tanam, data klimatologi, dan data penduduk untuk menghitung outflow Waduk Bulango Ulu. Kemudian mengolah data yang telah dikumpulkan selama penelitian, yaitu analisis hidrologi. Pada simulasi pola operasi Waduk Bulango Ulu yang diperoleh dari perhitungan ketersediaan dan kebutuhan yang disimulasikan berdasarkan tahun basah, tahun normal, dan tahun kering.

Metedologi yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Bagan Alir

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

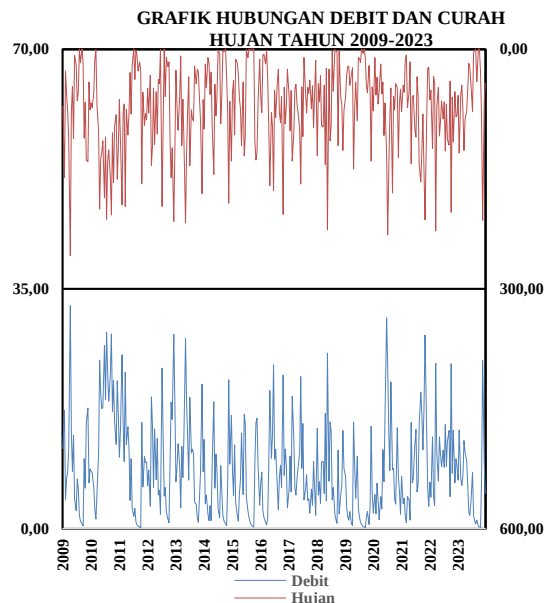
4.1 Inflow

4.1.1 Analisis Curah Hujan

Data curah hujan yang akan diuji yaitu curah hujan yang berada Stasiun Dulamayo, Stasiun Boidu, dan Stasiun Longalo selama periode pengamatan 15 tahun terakhir. Analisis curah hujan menggunakan Metode Rerata Aritmatik yang merupakan metode yang sangat mudah diterapkan. Terdapat curah hujan hilang yang terjadi pada Stasiun Dulamayo dan Longalo Curah hujan yang hilang di kedua stasiun tersebut dapat dilengkapi dengan data curah hujan dari beberapa stasiun terdekat dengan menggunakan metode perbandingan normal (*normal ratio method*).

4.1.2 Analisis Debit

Analisis debit bulanan menggunakan metode *FJ Mock*. Analisis debit bulanan dilakukan dua periode per-bulan dari tahun 2009-2023 dengan menggunakan rerata curah hujan Stasiun Dulamayo, Stasiun Longalo, dan Stasiun Boidu. Perbandingan anatar curah hujan dan debit yang dihitung menggunakan metode *FJ Mock* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Grafik hubungan debit dan curah hujan tahun 2009-2023

4.1.3 Kondisi Musim

Kondisi musim digunakan untuk menentukan pola tahun basah, tahun normal, dan tahun kering, dimana dari perhitungan debit dapat diketahui kondisi musim dengan mengerutkan debit dari yang terkecil sampai yang terbesar, kemudian dilanjutkan dengan peluang kejadian dari urutan data. Tahun basah diketahui dengan melihat peluang probabilitasnya berkisar antara 66-100%,

tahun normal berkisar antara 33,33-66,67%, dan tahun kering berkisar antara 0-33,33%.

Tabel 1 Pola Musim

No	Tahun	Prob%	Debit (m³/det)	Kondisi Musim
1	2020	6,25	2,29	Kering 0- 33,33%
2	2017	12,50	5,61	
3	2012	18,75	6,22	
4	2016	25,00	6,69	
5	2022	31,25	6,74	
6	2013	37,50	6,88	Normal 33,33- 66,67%
7	2023	43,75	7,10	
8	2019	50,00	7,65	
9	2021	56,25	7,66	
10	2010	62,50	8,45	
11	2015	68,75	8,52	Basah 66,67- 100%
12	2011	75,00	10,42	
13	2009	81,25	11,68	
14	2014	87,50	12,99	
15	2018	93,75	14,68	

4.2 Outflow

4.2.1 Evaporasi

Analisis evaporasi dimaksudkan untuk mengetahui berapa besar pengupan yang terjadi dibadan air. Kehilangan air yang terjadi akibat evaporasi pada permukaan genangan air waduk menyebabkan berkurangnya volume tampungan waduk. Data iklim yang digunakan dalam perhitungan evaporasi yaitu data Klimatologi Bone Tumbihe dengan periode waktu 15 tahun terakhir. Perhitungan evaporasi menggunakan metode *Penman* (1948). Data yang digunakan dalam perhitungan yaitu suhu, kelembapan udara, kecepatan angin, penyinaran matahari, dan ketinggian untuk menentukan konstanta psikometrik. Persamaan *Penamn* (1948) sebagai Berikut (Maharani et al., 2021):

$$E = \frac{0,408 \Delta R_n}{(\Delta + \gamma)} + \frac{\gamma f(u)(e_s - e_a)}{(\Delta + \gamma)} \quad (1)$$

dengan:

- E : evaporasi (mm/hari).
- Δ : kemiringan kurva tekanan uap air terhadap suhu udara (kPa/°C).
- Rn : radiasi bersih (MJ/m²/hari).
- γ : konstanta psikometrik (kPa/°C).
- f(u) : fungsi kecepatan angin.
- ea : tekanan uap aktual (kPa)
- es : tekanan uap jenuh (kPa).
- u : kecepatan angin (m/det).

4.2.2 Kebutuhan Air Irigasi

Luas lahan yang akan dilayani Waduk Bulango Ulu seluas ± 4.193 ha. Curah hujan efektif yang

digunakan untuk kebutuhan air irigasi yaitu curah hujan andalan 80%. Pola tanam yang digunakan untuk menghitung kebutuhan air irigasi yaitu Padi-Padi-Padi. Penggunaan pola tanam padi-padi-padi dipilih karena air yang tersedia memungkinkan untuk menggunakan pola tanam tersebut. Koefisien tanaman padi yang digunakan yaitu FAO dengan varietas biasa selama 3,5 bulan [4].

Tabel 2 Koefisien Tanaman Padi

Bulan	Nedeco/Prosida		FAO	
	Varietas Biasa	Varietas Unggul	Varietas Biasa	Varietas Unggul
0,5	1,20	1,20	1,10	1,10
1,0	1,20	1,27	1,10	1,10
1,5	1,32	1,33	1,10	1,05
2,0	1,40	1,30	1,10	1,05
2,5	1,35	1,30	1,10	0,95
3,0	1,24	0	1,05	0
3,5	1,12		0,95	
4,0	0		0	

Sumber: (KP-01, 2013)

4.2.3 Kebutuhan Air Baku

Suplay air baku Waduk Bulango Ulu sebanyak 2.200 liter/detik. Tiga daerah yang direncanakan akan dilayani yaitu Kabupaten Bone Bolango, Kabupaten Kota Gorontalo, dan Kabupaten Gorontalo. Proyeksi kebutuhan air baku dihitung sama dengan proyeksi penduduk yaitu selama 6 tahun dari tahun 2025-2030. Kabupaten Bone Bolango, Kabupaten Kota Gorontalo, dan Kabupaten Gorontalo termasuk termasuk kota sedang dengan jumlah penduduk berkisaran antara 100.000-500.000 jiwa.

Tabel 3 Nilai Kebutuhan Air bersih untuk Bangunan Tempat Tinggal

Kategori Kota	Keterangan	Jumlah Penduduk	Kebutuhan Air Bersih (l/org/hri)
I	Kota Metropolitan	Di atas 1 juta	>150
II	Kota Besar	500.000-1.000.000	150-120
II	Kota Sedang	100.000-500.000	90-120
IV	Kota Kecil	20.000-100.000	80-120
V	Desa	10.000-20.000	60-80

Sumber: (Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU, 1996)

4.3 Pemeliharaan Sungai

Kebutuhan air untuk pemeliharaan sungai diatur dalam PP No 38 pasal 25 tahun 2011, dimana besar kebutuhan air dengan mengendalikan ketersediaan debit andalan 95%. Kebutuhan debit pemeliharaan sungai merupakan debit minimum sungai di hilir waduk untuk menjaga agar

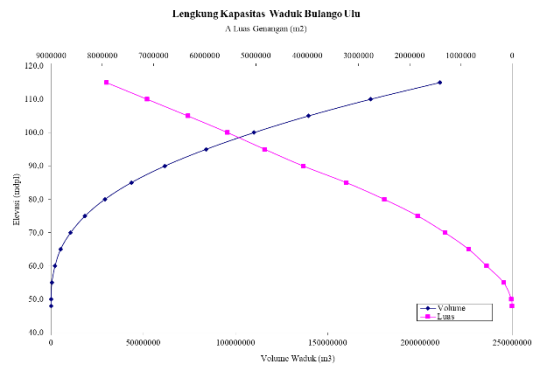
kehidupan biota di alur-alur sungai terpelihara dengan baik serta menjaga kelestarian lingkungan wilayah sungai [7].

4.4 Pola Operasi Waduk

Pola operasi waduk yang didasarkan pada kondisi debit masuk (*inflow*) dan debit keluar (*outflow*) untuk kondisi debit masuk dibagi menjadi tiga yaitu tahun basah, tahun normal, dan tahun kering dan debit keluaran kebutuhan air untuk air baku, irigasi, evaporasi, dan pemeliharaan sungai.

4.5 Lengkung Kapasitas

Kapasitas lengkung Waduk Bulango Ulu ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 4 Lengkung Kapasitas

4.6 Simulasi Operasi Waduk

Simulasi operasional waduk merupakan teknik pemodelan pelepasan air waduk untuk menyuplai kebutuhan air di hilir, berdasarkan kapasitas tampungan dan *inflow* yang masuk ke waduk. Simulasi operasional yang dimaksud merupakan fungsi dari ketersediaan (*inflow*), kebutuhan (*outflow*), dan kapasitas waduk. Ketersediaan (*inflow*) disimulasikan berdasarkan tahun basah, tahun normal, dan tahun kering sedangkan kebutuhan (*outflow*) berdasar kebutuhan air irigasi, air baku, penguapan, dan pemeliharaan sungai, dari kedua volume *inflow* dan *outflow* didapat nilai water balance dan volume air limpasan (*spillover*). Persamaan yang digunakan dalam simulasi sebagai berikut [10]:

$$S_{t+1} = S_t + Q_t - D_t - E_t - L_t \quad (2)$$

$$0 < S_t < C \quad (3)$$

dengan:

S_{t+1} : tampungan waduk pada akhir interval waktu t-1.

S_t : tampungan waduk pada awal interval waktu t.

Q_t : aliran masuk pada interval waktu t.

D_t : lepasan air selama interval waktu t.

E_t : evaporasi air selama interval waktu t.

L_t : kehilangan air di waduk (bisa diabaikan).

C : tampungan efektif.

Berdasarkan lengkung lengkung kapasitas Waduk Bulango Ulu awalnya di simulasikan dengan elevasi + 95,00 m, volume tampungan 84,10

juta m³, luas genangan 483,05 ha, dan tampungan efektif 52,32 juta m³.

Pada tahun basah, hasil simulasinya terpenuhi dengan baik dimana ditunjukkan dengan tingkat kesuksesan hasil simulasi tiap bulan, dengan volume *inflow* waduk Bulango Ulu terendah pada bulan September periode II yaitu sebesar 5,91 juta m³ dengan volume *outflow* yaitu sebesar 4,87 juta m³ sedangkan volume *inflow* waduk tertinggi pada bulan November periode II sebesar 20,08 juta m³ dengan volume *outflow* sebesar 11,33 juta m³. Hasil dari simulasi tahun basah berarti ketersediaan debit *inflow* dapat memenuhi kebutuhan air untuk keperluan irigasi, air baku, dan pemeliharaan.

Pada tahun normal dapat terpenuhi dengan baik yang ditunjukkan dengan tingkat kesuksesan hasil simulasi tiap bulan, dengan volume *inflow* waduk Bulango Ulu terendah pada bulan September periode II yaitu sebesar 1,85 juta m³ dengan volume *outflow* yaitu sebesar 3,34 juta m³, walaupun volume *outflow* lebih besar dari volume *inflow* kebutuhan air masih dapat terpenuhi karena adanya volume tampungan akhir, bulan sebelumnya. Volume *inflow* waduk tertinggi pada bulan Mei periode I sebesar 17,04 juta m³ dengan volume *outflow* sebesar 7,54 juta m³.

Pada tahun kering menunjukkan tingkat kesuksesan tiap bulan, walaupun ada beberapa bulan yang volume *inflow* lebih kecil dari pada volume *outflow* karena adanya tampungan akhir, bulan sebelumnya sehingga volume *inflow* yang kecil masih bisa memenuhi kebutuhan volume *outflow* yang tinggi. Volume *inflow* terendah pada tahun kering terdapat pada bulan September periode II sebesar 0,72 juta m³ dengan volume *outflow* sebesar 3,25 juta m³ sedangkan volume *inflow* tertinggi pada bulan Mei periode I sebesar 13,06 dengan volume *outflow* sebesar 7,82 juta m³.

Simulasi operasi Waduk Bulango Ulu berdasarkan kondisi tahun basah, tahun normal, dan tahun kering dapat memenuhi kebutuhan air baku, irigasi dan pemeliharaan sehingga sesuai dengan perencanaan awal dibangunnya Waduk Bulango Ulu untuk memenuhi kebutuhan tersebut Dan tidak terjadi kekurangan air pada daerah layanan Waduk Bulango Ulu.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis simulasi operasi Waduk Bulango Ulu, maka disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Total kebutuhan air irigasi dengan pola tanam Padi-Padi-Padi sebesar 2,53 m³/det, air baku untuk proyeksi tahun 2030 sebesar 2,36 m³/det, evaporasi 3,79 mm/hari dan pemeliharaan sungai sebesar 1,29 m³/det.

2. Rancangan pola operasi Waduk Bulango Ulu dengan menggunakan debit *inflow* berdasarkan tahun basah dengan probabilitas 66,67% didapat debit *inflow* sebesar 10,65 m³/det, tahun normal dengan probabilitas 50% didapat debit *inflow* sebesar 6,90 m³/det dan tahun kering dengan probabilitas 33,33% didapat debit *inflow* sebesar 4,76 m³/det.
3. Simulasi yang dilakukan berdasarkan tahun normal, tahun kering, dan basah, bahwa Waduk Bulango Ulu dapat memenuhi kebutuhan daerah layanan sepanjang musim dengan ditunjukkan kesuksesan hasil simulasinya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Basudira. (2018). Perencanaan Tampungan Air Untuk Pemenuhan Kebutuhan Air Baku Kota Semarang. In *Perencanaan Tampungan Air Untuk Pemenuhan Kebutuhan Air Baku Kota Semarang* (Issue Perencanaan Tampungan Air).
- [2] BWS Sulawesi II. (2024). *Analisis Hidrologi*. BWS.
- [3] Kementrian PUPR. (2017). Modul Operasi Waduk Pelatihan Alokasi Air. In *Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air Konstruksi* (p. 67).
- [4] KP-01, S. P. I. (2013). Standar Perencanaan Irigasi. In *Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Perencanaan Jaringan Irigasi KP-01* (Vol. 53, Issue 9, pp. 5–35).
- [5] Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU. (1996). *Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum* (No 18/PRT/). Departemen Pekerjaan Umum.
- [6] Maharani, B. V., Wahyuni, S., & Harisuseno, D. (2021). Brigita. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 1(2), 917–928.
- [7] Peraturan Pemerintah RI. (2011). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Tentang Sungai (PP Nomor 38 Pasal 25 Tahun 2011)* (Vol. 11, Issue 2, pp. 10–14).
- [8] Rachmawati, R. A., Soetopo, W., & Juwono, P. T. (2021). *admin,+17+Ratu+Anita+Rachmawati*. 1(1), 206–218.
- [9] Santoso, R. W., Mashadi, A., Widaryanto, L. H., & Sutarto, A. (2022). Studi Optimasi Pemanfaatan Waduk Wadaslintang Untuk Kebutuhan Air Irigasi , Air Baku , Dan Potensi PLTA. *Renovasi*, Vol. 7 No., 26–38.
- [10] Susilo, G. E., Wahono, E. P., Sukaraja, B., Lampung, K., Sukaraja, B., & Timur, K. L. (2016). Simulasi Waduk Sukaraja III , Kecamatan Margatiga , Kabupaten Lampung Timur. *Simulasi Waduk Sukaraja III , Kecamatan Margatiga , Kabupaten Lampung Timur*, 4(3), 381–396