

Analisis Daya Tampung Desain Waduk Laut Galang–Galang Baru Batam untuk Memenuhi Kebutuhan Air Baku pada Defisit Air Maksimum

AGUNG PUTRA PAMUNGKAS¹, NI MADE RAI RATIH CAHYA PERBANI²

¹Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional
Jl. PHH. Hasan Mustopa No. 23, Bandung
Email : agungputrapamungkas24@gmail.com

ABSTRAK

Batam mengalami peningkatan kebutuhan air baku seiring pertumbuhan penduduk dan ekonomi. Proyeksi menunjukkan defisit air baku pada tahun 2029 dan kebutuhan mencapai 26,58 juta m³ pada tahun 2047. Penelitian ini menganalisis kapasitas desain alternatif Waduk Laut Galang–Galang Baru untuk memenuhi kebutuhan air baku. Menggunakan analisis cut and fill dengan GIS, lima alternatif desain waduk dievaluasi. Data kontur dan DEM digunakan untuk menentukan elevasi maksimum, kapasitas tampungan, luas genangan, dan elevasi rencana optimal. Hasil menunjukkan hanya alternatif 1 dan 3 yang dapat memenuhi kebutuhan air baku hingga tahun 2047. Alternatif 1 memiliki kapasitas 97,83 juta m³ dan maksimum 243,91 juta m³ pada elevasi +5 m, sementara alternatif 3 memiliki kapasitas 37,64 juta m³ dan maksimum 74,71 juta m³ pada elevasi +3 m. Alternatif 1 dan 3 direkomendasikan untuk kondisi eksisting, sementara alternatif 1, 3, dan 4 direkomendasikan untuk rencana pembangunan ke depan.

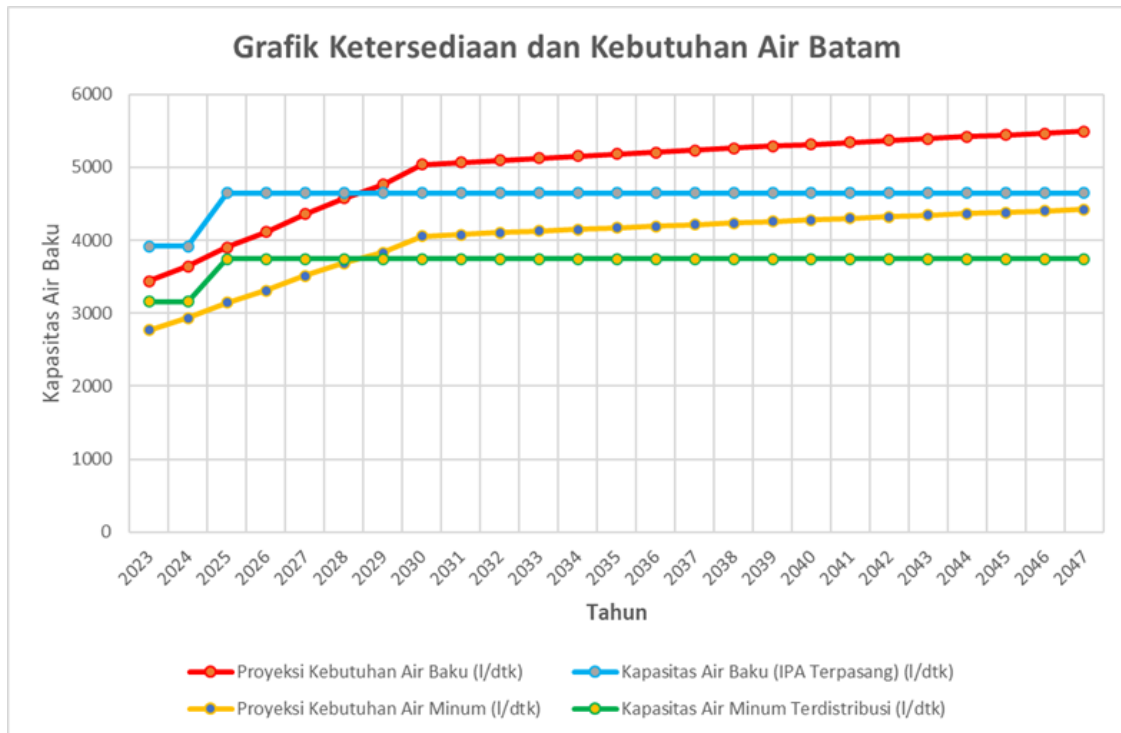
Kata kunci: waduk laut, kebutuhan air baku, cut and fill, kapasitas tampungan, Batam.

1. PENDAHULUAN

Batam, yang terletak di Kepulauan Riau, Indonesia, telah berkembang pesat menjadi Kawasan Perdagangan Bebas dan Pelabuhan Bebas (KPBPB) berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 46 Tahun 2007. Status ini diikuti dengan pengakuan sebagai Kawasan Strategis Nasional (KSN) Batam-Bintan-Karimun (BBK) sesuai dengan Peraturan Presiden No. 87 Tahun 2011. Dengan semakin meningkatnya kegiatan ekonomi dan keterbatasan sumber daya di Pulau Batam, pemerintah memutuskan untuk mengembangkan Pulau Rempang dan Pulau Galang sebagai bagian dari wilayah industri Batam, serta menetapkan sebagai kawasan berikat berdasarkan Keputusan Presiden No. 28 Tahun 1992.

Salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh Batam adalah ketersediaan air baku. Air adalah sumber daya vital bagi kehidupan manusia dan ekonomi, termasuk pertanian, perikanan, industri dan pembangkit listrik. Kebutuhan air yang terus meningkat seiring pertumbuhan jumlah penduduk di Batam menjadi perhatian utama. Pada penelitian yang dilakukan oleh Priyandes (2023), ditemukan bahwa kebutuhan air bersih di Batam diproyeksikan akan mencapai 2.543 liter per detik pada tahun 2025 dengan surplus sebesar 309,58 liter per detik. Namun, kebutuhan yang terus meningkat hingga tahun 2040 diperkirakan akan mengakibatkan kekurangan pasokan air sebesar 2.644 liter per detik. Temuan ini menunjukkan pentingnya pengembangan infrastruktur air baku di Batam untuk memenuhi kebutuhan di masa depan.

Berdasarkan data dari Pusat Perencanaan Program Strategis Batam, beberapa waduk telah beroperasi sejak tahun 2024 untuk memenuhi kebutuhan air baku. Kapasitas Instalasi Pengolahan Air (IPA) pada waduk-waduk tersebut hanya mampu mengolah air untuk kebutuhan yang telah ada. Tercatat delapan waduk dibangun untuk memenuhi kebutuhan air baku di Batam, dengan lima waduk sudah beroperasi untuk penyediaan IPA. Sementara itu, tiga waduk lainnya, seperti Tembesi, Sei Rempang, dan Sei Gong, masih dalam tahap pembangunan dengan kapasitas desain tampungan air baku sebesar 1.232 liter per detik.



Gambar 1. Ketersediaan dan Kebutuhan Air Batam (Sumber: Pusat Perencanaan Program Strategis Batam, 2024)

Analisis ketersediaan dan kebutuhan air di Batam pada Gambar 1 menunjukkan bahwa pada tahun 2025, kapasitas air baku diproyeksikan meningkat dengan selesainya pembangunan beberapa waduk. Namun, proyeksi ini juga menunjukkan bahwa akan terjadi defisit air pada tahun 2029. Menghadapi tantangan ini, BP Batam merencanakan pembangunan Waduk Laut Galang-Galang Baru di wilayah sekitar Pulau Galang dan Galang Baru.

Dalam penentuan lokasi studi, BP Batam telah memilih beberapa kawasan alternatif untuk pembangunan bendungan dengan kapasitas tampungan yang masih perlu dianalisis lebih lanjut. Oleh karena itu, sebelum *Detail Engineering Design* (DED) disusun, akan dilakukan analisis perhitungan daya tampung waduk berdasarkan wilayah alternatif yang telah ditentukan. Hal ini menjadi bahan pertimbangan penting dalam pemenuhan kebutuhan air baku dan pemilihan lokasi bendungan yang tepat.

Berdasarkan latar belakang ini, penelitian ini bertujuan untuk memberikan informasi mengenai kecukupan daya tampung desain alternatif Waduk Laut Galang-Galang Baru dengan besar kebutuhan air baku di Batam. Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan model perhitungan kapasitas daya tampung dam menggunakan perangkat GIS sebagai informasi kapasitas tampungan untuk pemerintah kota Batam.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Bendungan

Berdasarkan PP No. 37 Tahun 2010 pasal 1 ayat 1 dijelaskan bahwa bendungan adalah bangunan yang berupa urukan tanah, urukan batu, beton, dan/atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (tailing), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk. Bendungan secara fungsi dijelaskan pada pasal 4 yaitu sebagai penyedia air baku, air irigasi, pengendalian banjir, atau digunakan untuk pembangkit listrik.

Berdasarkan kalimat diatas dapat disimpulkan bahwa bendungan merupakan bangunan yang dibuat untuk menahan dan menampung air, selain itu bendungan juga berfungsi sebagai penyedia air baku, air irigasi, pengendalian banjir dan juga digunakan sebagai pembangkit listrik.

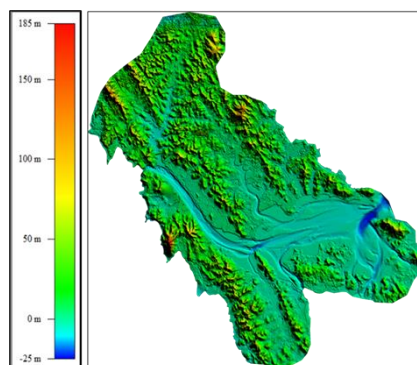
2.2 Waduk

Waduk adalah tempat menyimpan cadangan air dengan kapasitas besar yang dibuat dengan menghambat aliran sungai. Air dalam waduk tersebut digunakan untuk berbagai keperluan seperti pertanian, pembangkit listrik, pasokan air minum, dll.

Waduk laut adalah waduk yang dibuat di Kawasan pesisir atau di dekat laut, biasanya waduk laut dibuat dengan cara membendung sebagian area laut untuk menciptakan reservoir air. Sama seperti waduk biasanya, waduk laut juga memiliki beberapa fungsi yaitu sebagai Pengendali banjir yaitu dengan menampung air pasang atau air yang datang dari aliran Sungai, waduk laut juga berfungsi sebagai Penyedia air baku, setelah melalui proses desalinasi air laut dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan domestik, pertanian dll. Energi waduk laut juga dapat berfungsi sebagai penghasil energi dengan adanya Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut air laut (PLTPs) seperti yang bisa kita temui di waduk Saemangeum, Korea Selatan. Selain sebagai fungsi utama, waduk laut juga biasanya menjadi habitat berbagai jenis flora dan fauna juga sebagai tempat rekreasi.

2.3 Digital Elevation Model

Digital Elevation Model (DEM) adalah representasi digital yang menggambarkan bentuk geometri permukaan bumi atau bagian-bagiannya, terdiri dari kumpulan titik koordinat hasil sampling dari permukaan yang didefinisikan oleh algoritma tertentu (Gambar 2). DEM menyajikan informasi tentang bentuk permukaan (topografi) dalam format data seperti raster, vektor, atau bentuk lainnya. DEM mencakup data elevasi dan kemiringan yang memudahkan proses interpretasi (Hernanda, dkk. 2022).



**Gambar 2. Data Digital Elevation Model Pulau Galang-Galang Baru Batam
(Sumber: BP Batam, 2021)**

Data DEM terdiri dari piksel yang biasanya berbentuk kotak dengan ukuran panjang dan lebar yang seragam, serta memuat informasi tentang nilai ketinggian. Oleh karena itu, rumus untuk menghitung volume data DEM adalah dengan mengalikan luas setiap piksel (LP) dengan ketinggiannya (H). Perhitungan volume ini akan melibatkan lebih dari satu piksel yang membentuk data raster (Map Visian Indonesia 2021).

Dari pernyataan di atas dapat disimpulkan bahwa DEM adalah sebuah representasi digital permukaan bumi yang terdiri dari koordinat hasil sampling dan disajikan dalam format seperti raster atau vektor. DEM menyimpan informasi elevasi dan kemiringan untuk analisis topografi. Data DEM berbentuk piksel dengan ukuran yang seragam, dimana volume dihitung dengan mengalikan luas piksel dengan ketinggian.

2.4 Cut and Fill

Cut and fill adalah proses pemindahan tanah dengan menggali massa tanah di satu lokasi dan menimbunnya di lokasi lain. Perencanaan *cut and fill* sangat penting untuk memastikan volume tanah yang dipindahkan tidak berlebihan atau kurang, sehingga biaya transportasi dapat diminimalkan. Perencanaan pekerjaan ini biasanya dilakukan setelah pengukuran lahan, menghasilkan peta situasi dengan garis kontur atau dari pengukuran profil melintang sepanjang koridor proyek atau bangunan (Pratama, 2017).

Berdasarkan pernyataan diatas, dapat disimpulkan bahwa *cut and fill* merupakan suatu proses pemindahan tanah yang memerlukan perencanaan yang matang agar volume tanah seimbang, sehingga biaya transportasi dapat diminimalkan. Perencanaan ini dilakukan berdasarkan pengukuran lahan dan peta kontur untuk memastikan efisiensi pekerjaan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk menghitung kapasitas daya tampung desain pada rencana pembangunan Waduk Laut Galang–Galang Baru Batam adalah dengan menggunakan metode *cut and fill* menggunakan perangkat GIS. Perangkat GIS digunakan untuk menghitung volume tampungan pada setiap alternatif desain. Dalam analisis daya tampung, estimasi volume tampungan dilakukan berdasarkan data elevasi dan luas genangan pada berbagai tingkat muka air. Volume dapat dihitung berdasarkan luas dan kedalaman yang dihitung dari ketinggian yang digambar oleh garis kontur. Pada danau, maka volume dihitung di setiap perubahan kontur (Zahwa, dkk. 2021).

Rumus Umum Perhitungan Volume:

$$V = Ci \times \left(\frac{L1 + L2}{2} \right) + \left(\frac{L2 + L3}{2} \right)$$

Dimana:

CI = kontur interval,

L1 = luas genangan pada elevasi kedalaman ke 1

L2 = luas genangan pada elevasi kedalaman ke 2, dst.

Perhitungan ini ditentukan berdasarkan kebutuhan debit air pada setiap tahunnya, kapasitas air baku yang tersedia akan dikurangi dengan proyeksi kebutuhan air baku, maka dari data tersebut akan tergambarkan grafik kebutuhan yang akan terus meningkat pada setiap tahunnya. Perhitungan volume *cut and fill* dengan data DEM pada aplikasi Global Mapper dihitung berdasarkan ukuran piksel dari data tersebut, dimana nilai piksel yang lebih kecil akan menghasilkan perhitungan volume yang lebih akurat (Blue Marble Geographics, 2022). Pada

penelitian ini, ukuran maksimum piksel yang digunakan adalah 2,5 meter. Perhitungan perambatan kesalahan dalam volume dilakukan menggunakan diferensial total dengan pendekatan rumus Taylor sebagai berikut (Taylor, J. R. 1997):

$$V = A \times h$$

$$\sigma V = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial g} \times \sigma g\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial h} \times \sigma h\right)^2}$$

$$\sigma V = \sqrt{(2gh \times \sigma g)^2 + (g^2 \times \sigma h)^2}$$

Dimana:

A = Luas satu piksel DEM (m²)

h = Elevasi (m)

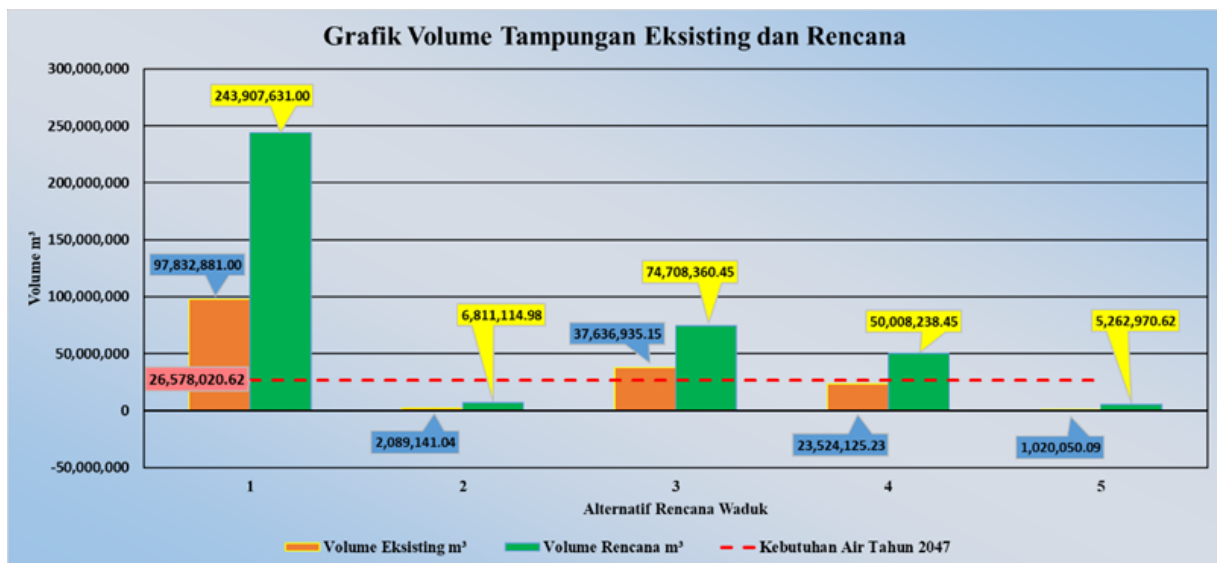
σv = Simpangan baku/standar deviasi volume.

g = ukuran grid piksel (m) dalam data DEM

σg = standar deviasi horizontal (m)

σh = standar deviasi vertikal (m)

Dari hasil hitungan tersebut maka didapatkan besaran volume eksisting dan rencana dari lima alternatif rencana Bendung Laut Galang – Galang Baru Batam seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Hitungan Volume Tampungan terhadap Kebutuhan Air Maksimum tahun 2047

Analisis data dari Pusat Perencanaan Program Strategis BP Batam tahun 2024 memprediksi bahwa defisit air akan terjadi pada tahun 2029, dengan proyeksi yang mencakup periode 2023 hingga 2047. Berdasarkan hasil analisis BP Batam, defisit maksimum pada tahun 2047 diperkirakan membutuhkan suplai air baku sebesar 26.578.020,62 m³.

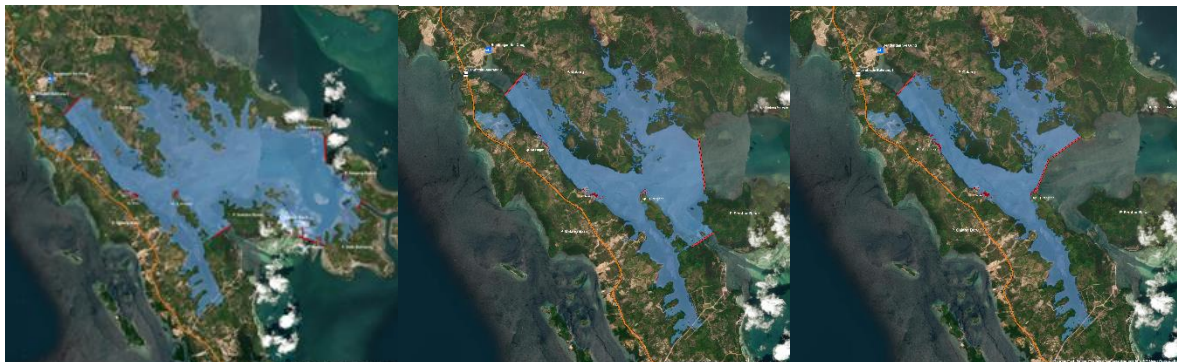
Berdasarkan perhitungan volume tampungan eksisting yang ditampilkan, hanya alternatif 1 yang mampu memenuhi kebutuhan defisit air maksimum dengan kapasitas tampungan sebesar 97.832.881 m³ dan toleransi kesalahan perhitungan ±1.504.318,79 m³. Selain itu, alternatif 3 juga dapat memenuhi kebutuhan dengan kapasitas sebesar 37.636.935,15 m³

pada elevasi eksisting, dengan toleransi kesalahan sebesar $\pm 712.892,77 \text{ m}^3$. Sementara itu, alternatif 2, 4, dan 5 masih belum dapat memenuhi kebutuhan tersebut.



Gambar 4. Peta Luas Area Genangan Alternatif 1 dan 3 Pada Kondisi Tampungan Eksisting

Berdasarkan hasil perhitungan, luas area genangan eksisting pada alternatif 1 diperkirakan mencapai 2.202,50 Ha, sementara alternatif 3 memiliki luas genangan sekitar 1.043,76 Ha dengan kenampakan luas seperti pada Gambar 4. Kondisi ini tidak menimbulkan dampak terhadap permukiman, populasi penduduk, maupun ekosistem mangrove karena ketinggian air tetap berada pada rata-rata muka air laut.



Gambar 5. Peta Luas Area Genangan Alternatif 1, 3, dan 4 Pada Kondisi Tampungan Rencana

Apabila dilakukan peningkatan elevasi pada rencana bendung untuk semua alternatif, maka alternatif 1, 3, dan 4 mampu memenuhi kebutuhan defisit air maksimum pada tahun 2047 dengan luas area genangan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Elevasi rencana maksimum ditetapkan pada +5 m di atas rata-rata muka air laut, namun hanya Alternatif 1 yang mencapai ketinggian tersebut, sementara alternatif lainnya hanya dapat mencapai maksimum +3 m.

Meskipun tiga alternatif tersebut memberikan daya tampung yang besar, namun dengan adanya hal tersebut akan terjadi kenaikan tinggi muka air yang dapat berdampak pada penduduk sekitar. Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2012 tentang Pengadaan Tanah untuk Kepentingan Umum, khususnya Pasal 1 Ayat 2 dan 3, menyatakan bahwa pengadaan tanah adalah proses penyediaan lahan dengan memberikan

ganti rugi yang layak dan adil kepada pihak yang berhak, yaitu mereka yang memiliki atau menguasai lahan yang terkena pengadaan. Dengan demikian, pemerintah daerah wajib memberikan kompensasi yang adil kepada masyarakat terdampak sebagai bagian dari proses pembebasan lahan guna mendukung kelancaran pembangunan waduk laut yang direncanakan. Sementara itu, alternatif 2 dan 5 masih belum dapat memenuhi kebutuhan air pada defisit maksimum dengan elevasi maksimum di +3 m dan pada area tersebut tidak akan menyebabkan kerusakan pada bangunan penduduk seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Peta Luas Area Genangan Alternatif 2 dan 5 Pada Kondisi Tampungan Rencana

Hal ini dikarenakan pada kedua lokasi alternatif didominasi vegetasi mangrove di sekitar area genangan rencana waduk. Jika alternatif ini direalisasikan, pemerintah daerah perlu melakukan pembebasan lahan. Sejalan dengan hal tersebut berdasarkan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 73 Tahun 2012 tentang Strategi Nasional Pengelolaan Ekosistem Mangrove, Pasal 1 Ayat 3, pengelolaan ekosistem mangrove untuk keberlanjutan merupakan upaya perlindungan, pelestarian, dan pemanfaatan secara berkelanjutan melalui proses terpadu agar fungsi mangrove tetap terjaga dan dapat mendukung kesejahteraan masyarakat. Karena hutan mangrove termasuk dalam kawasan lindung, setiap alternatif tampungan yang direncanakan tetap akan memberikan dampak terhadap ekosistem di sekitar area tampungan, termasuk vegetasi mangrove.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak semua dari lima alternatif dapat memenuhi kebutuhan air baku pada kondisi genangan eksisting saat terjadi defisit maksimum. Dari hasil analisis, alternatif 1 dan 3 mampu mencukupi kebutuhan air baku hingga tahun 2047, dengan estimasi kebutuhan sebesar 26.578.020 m³. Alternatif 1 memiliki kapasitas tampungan sekitar 97.832.881 ± 777.482,50 m³, sedangkan alternatif 3 mencapai 37.636.935,15 ± 368.446,94 m³. Sementara itu, alternatif 2, 4, dan 5 masih belum mampu memenuhi kebutuhan air pada kondisi tampungan eksisting.

Pada kondisi elevasi rencana, alternatif 4 dapat memenuhi defisit air dengan elevasi maksimum hingga +3 m dan kapasitas tampungan sebesar 50.008.238,45 ± 405.640,62 m³. Untuk elevasi maksimum +5 m, hanya alternatif 1 yang dapat terealisasi, dengan kapasitas maksimum 243.907.631 ± 1.256.185,80 m³. Alternatif 3, 2, dan 5 hanya dapat mencapai elevasi maksimum +3 m, dengan kapasitas tampungan masing-masing 74.708.360 ± 537.592,06 m³, 6.811.114,98 ± 84.288,19 m³, dan 5.262.970,62 ± 72.881,08 m³. Oleh karena itu, alternatif 2 dan 5 tetap tidak dapat memenuhi kebutuhan defisit maksimum, meskipun dilakukan peningkatan elevasi.

Berdasarkan analisis ini, alternatif 1 dan 3 dipilih karena mampu memenuhi kebutuhan air baku dalam jangka panjang pada kondisi eksisting. Sedangkan pada kondisi rencana, alternatif 1, 3, dan 4 menjadi opsi terbaik dalam strategi pembangunan Waduk Laut Galang–Galang Baru karena dapat memenuhi kebutuhan air secara optimal.

DAFTAR RUJUKAN

- Alivah, E. N., Setiawan, A., & Sedyono, E. (2016). Penerapan Metode Kerucut Terpancung dan Bujur Sangkar Dalam Perhitungan Luas Lahan Berkontur Menggunakan Bantuan Media Informasi Google Earth/Google Maps. Prosiding Seminar Matematika dan Pendidikan Matematika.
- Atik Wahyuni, J. (2017). Analisa Kebutuhan Air Bersih Kota Batam Pada Tahun 2025. Tapak Vol. 6 No. 2.
- Batam, P. P. (2021). Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Batam Tahun 2021 - 2041 (Nomor 3). Kota Batam.
- Fadli, R., Noor, T. I., & Isyanto, A. Y. (2019). Dampak Sosial Ekonomi Pembangunan Waduk Jatigede Terhadap Masyarakat Tani di Kabupaten Sumedang. Jurnal Ilmiah Mahasiswa AGROINFO GALUH Volume 6, Nomor 3.
- Keputusan Presiden, R. (1990). Pengelolaan Kawasan Lindung (Nomor 32). DKI Jakarta.
- Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, R. (2015). Bendungan (PP Nomor 27/PRT/M/2015). DKI Jakarta.
- Peraturan Pemerintah, R. (1992). Penambahan Wilayah Lingkungan Kerja Daerah Industri Pulau Batam dan Penetapannya Sebagai Wilayah Usaha Kawasan Berikat (PP Nomor 28). DKI Jakarta.
- Peraturan Pemerintah, R. (2010). Tentang Bendungan (PP Nomor 37). DKI Jakarta.
- Peraturan Pemerintah, R. (2012). Pengadaan Tanah Bagi Pembangunan Untuk Kepentingan Umum (UU Nomor 2). DKI Jakarta.
- Peraturan Pemerintah, R. (2014). Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (Nomor 1). DKI Jakarta.
- Peraturan Pemerintah, R. (2019). Sumber Daya Air (PP Nomor 17). DKI Jakarta.
- Priyandes, A. (2023, November). Analisis Ketersediaan dan Kebutuhan Infrastruktur Sumber Daya Air Batam. Sigma Teknika, Vol. 6, No.2, 503-510.
- Rani Sahfitri, S. P. (2021). Analisis Kapasitas Tampungan dan Kinerja Waduk Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Tanaman Nanas di PT. Great Giant Pineapple. Jurnal Tanah dan Sumber daya Lahan Vol 8 No 1: 135-148, 2021, 135-148.
- RI, P. P. (1992). Tentang Penambahan Wilayah Lingkungan Kerja Daerah Industri Pulau Batam dan Penetapannya Sebagai Wilayah Usaha Kawasan Berikat (Bonded Zone) (Nomor 28 Tahun 1992). DKI Jakarta.
- Walikota, B. (2021). Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Batam Tahun 2021-2041 (PP Nomor 3). Batam.
- Wulandari, A. (2023). Perhitungan Volume Cut and Fill pada Pembangunan Kawasan Industri Tanjung Enim - BACBIE (Bukit Asam Coal Based Industrial Estate). Kota Lampung.
- Yuniar, I. R., & Silvia, N. (2023). Menghitung Luas dan Volume Genangan pada Waduk atau Danau. ResearchGate.
- Zaenuddin, M. (2023). Strategi Kebijakan Pembangunan di Kota Batam. Jurnal Ekonomi Pembangunan Vol. 5 No. 1.