

Desain Tata Air Waduk Pantai Cisadane

Hydraulic Treatise Design of Cisadane Coastal Reservoir

Andojo Wurjanto^{1,a)} & Julfikhsan Ahmad Muhti^{1,b)}

¹⁾*Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung*

Koresponden : ^{a)}andojowurjanto@gmail.com & ^{b)}julfikhsan.am@gmail.com

ABSTRAK

Berdasarkan konsep dari Bappenas pada tahun 2020, rencana pengamanan pesisir ibukota negara mencakup pengembangan waduk pantai. Waduk pantai ini memiliki dua fungsi yaitu untuk mencegah wilayah persisir terkena banjir pantai atau rob sekaligus menyediakan air baku untuk kebutuhan domestik dan industri. Berdasarkan hal tersebut maka diperlukan Evaluasi infrastruktur fisik air sebagai penunjang tercapainya target cakupan layanan sebesar 100%. Pilot project dari waduk pantai tersebut akan dibangun di depan muara Sungai Cisadane. Tujuan dari studi ini adalah mendesain pola operasi yang tepat untuk Waduk Pantai Cisadane dalam menanggulangi banjir serta memenuhi kebutuhan air. Lingkup dari studi ini mencakup (1) penyusunan denah dan fasilitas waduk pantai berdasarkan batasan lokasi dari Bappenas (2) pengembangan model hidrodinamika Teluk Jakarta (3) desain pola operasi waduk di musim kemarau dan hujan dengan simulasi tata air. Studi dilakukan dengan mengkaji konsep Bappenas, mengumpulkan data lingkungan, dan mengkaji kebutuhan fasilitas. Fasilitas-fasilitas tata air pada Waduk Pantai yang diperoleh utamanya terdiri dari (1) tanggul lepas pantai (2) saluran dan tanggul transversal (3) *flood gate* (4) *trash rack* (5) *tide gate* (6) *untreated water reservoir* (7) *treated water reservoir*, dan (8) *waste water treatment plant*. Pemodelan hidrodinamika dilakukan untuk mensimulasikan tata air dalam waduk pada kondisi tanpa hujan atau kemarau dan kondisi musim hujan. Dari hasil simulasi diperoleh daya tampung waduk untuk menghadapi banjir serta kebutuhan kapasitas pompa.

Kata Kunci : manajemen infrastruktur, waduk pantai, NCICD, banjir pantai

PENDAHULUAN

Kota-kota di Pantai Utara Pulau Jawa (Pantura Jawa) terus dilanda banjir pesisir atau rob. Penyebab utama dari banjir rob ini adalah penurunan tanah, dimana sebagai contoh untuk wilayah Jakarta dapat mencapai 3 hingga 18 cm/tahun (Bappenas, 2018). Untuk wilayah Jabodetabek, pemerintah sudah mengembangkan rencana induk perlindungan dari banjir rob. Salah satu upaya awal perlindungan tersebut adalah dengan membuat Jakarta Coastal Defence Strategy di tahun 2011 (Departemen Pekerjaan Umum, 2011) yang dilanjutkan menjadi National Capital Integrated Coastal Development (NCICD) dari tahun 2013. Rencana induk ini dilaksanakan mulai tahun 2014 dengan membangun tanggul pantai yang melingkupi pantai utara Jakarta serta sebagian Tangerang dan Bekasi dan masih berproses hingga studi ini diselesaikan.

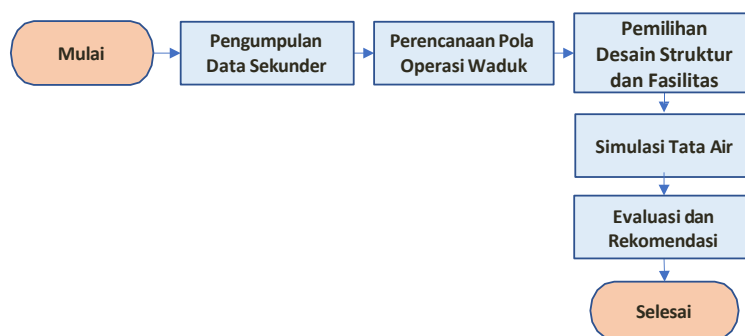
Fasilitas merupakan kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia. Fasilitas bisa diartikan sebagai fasilitas bagi kehidupan dan fasilitas yang merupakan bagian dari infrastruktur (Soemitro & Suprayitno, 2018). Pada konsep Bappenas tahun 2020, perlindungan pantai dalam NCICD utamanya berbentuk tanggul lepas pantai yang melingkupi Tangerang, Jakarta,

hingga Bekasi. Perlindungan pantai ini tidak hanya berfungsi untuk mencegah banjir pantai, namun juga menjadi solusi air baku dengan pembuatan waduk pantai, solusi pencemaran air dengan pembuatan pengolahan limbah di hilir, serta penciptaan lahan baru dengan menurunkan elevasi muka air di hilir ke -5 m.

Sebagai *pilot project* dari rencana Bappenas tersebut, saat ini tengah dirancang konsep waduk pantai yang dibangun di depan muara Sungai Cisadane. Waduk pantai memiliki beberapa keunggulan dibandingkan waduk konvensional di daratan antara lain dapat mengumpulkan seluruh air dari daerah aliran sungai jika dibutuhkan (Yang dan Kelly, 2015). Tujuan dari studi ini adalah untuk merancang tata air pada Waduk Pantai Cisadane tersebut. Lingkup dari studi ini mencakup (1) penyusunan denah dan fasilitas waduk pantai berdasarkan batasan lokasi dari Bappenas (2) pengembangan model hidrodinamika Teluk Jakarta (3) desain pola operasi waduk di musim kemarau dan hujan dengan simulasi tata air.

METODA PENELITIAN

Studi dilakukan dengan mengkaji konsep dari Bappenas, mengumpulkan data lingkungan eksisting, dan mengkaji kebutuhan fasilitas. Hasil pengumpulan data tersebut menjadi dasar untuk pemilihan desain struktur dan merancang pola operasi dan wilayah studi baik dari segi luas dan dampak yang diberikan terhadap masyarakat. Fungsionalitas desain yang telah dipilih kemudian diuji dari segi hidrodinamika menggunakan perangkat lunak. Diagram alir pengerjaan studi ini ditunjukkan pada Gambar 1.



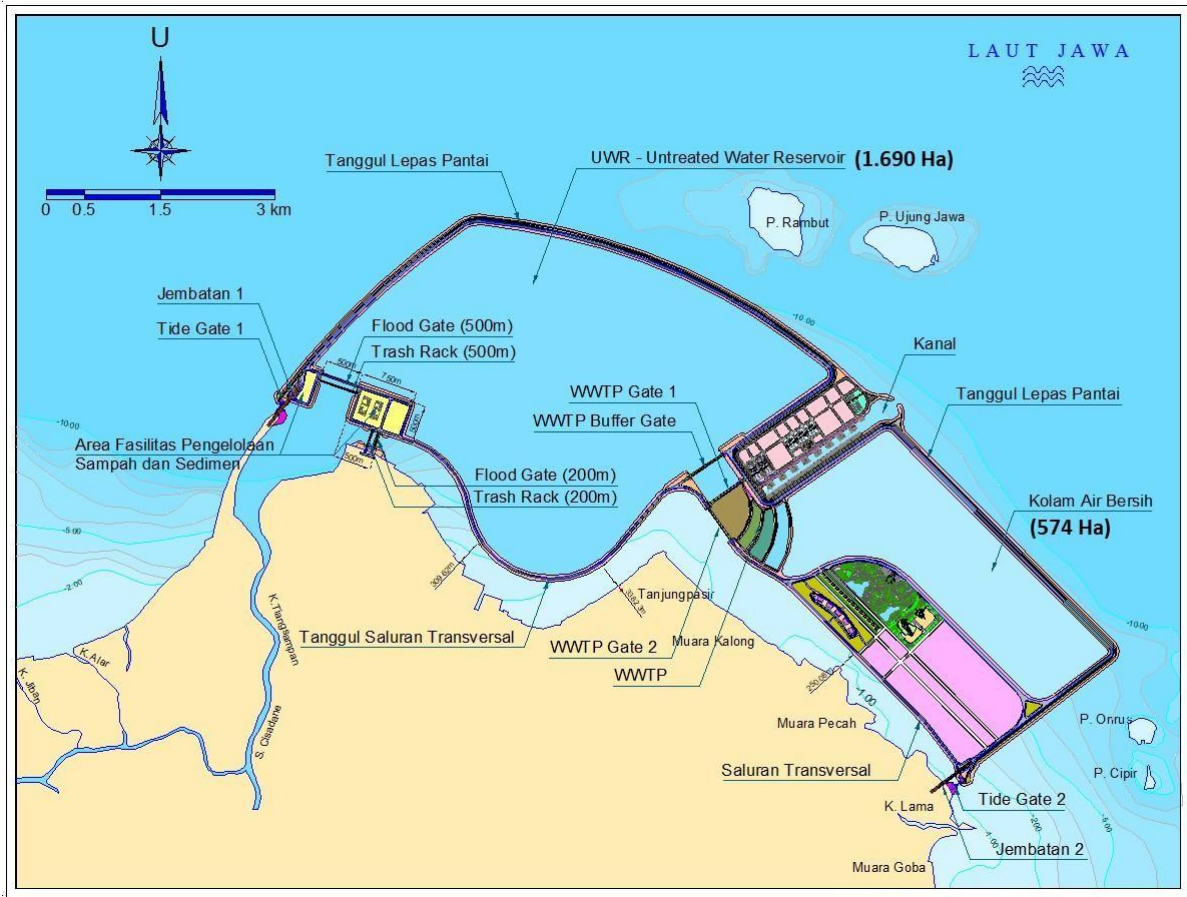
Gambar 1. Diagram alir pengerjaan studi

Data sekunder yang diperoleh pada studi ini antara lain adalah peta laut Teluk Jakarta dari Pushidrosal (2020) serta data meteorologi-oseanografi yang akan dibahas lebih lanjut pada bagian berikutnya. Infrastruktur dan fasilitas ini harus selalu dioperasikan dan dijaga dengan baik, agar selalu bisa berfungsi dengan baik. Perbaikan yang barangkali harus dilakukan, harus dilakukan secara ekonomis dan efisien (Soemitro & Suprayitno, 2018; Suprayitno & Soemitro, 2018).

Perancangan Fasilitas

Pada konsep Bappenas 2020, Waduk Pantai Cisadane dirancang berupa sistem kanal dengan waduk yang terpisah untuk pengendalian banjir dan untuk distribusi air baku untuk domestik dan industri. Waduk tersebut dilingkupi oleh tanggul lepas pantai yang mencegah air dari laut masuk ke dalam waduk.

Berdasarkan hasil kajian kebutuhan fasilitas, diperoleh denah waduk pantai sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Fasilitas utama dari waduk tersebut adalah (1) tanggul lepas pantai (2) Saluran dan tanggul transversal (3) *flood gate* (4) *trash rack* (5) *tide gate* (6) *untreated water reservoir* atau UWR (7) *treated water reservoir* atau TWR, dan (8) *waste water treatment plant* (WWTP).



Gambar 2. Denah fasilitas waduk pantai

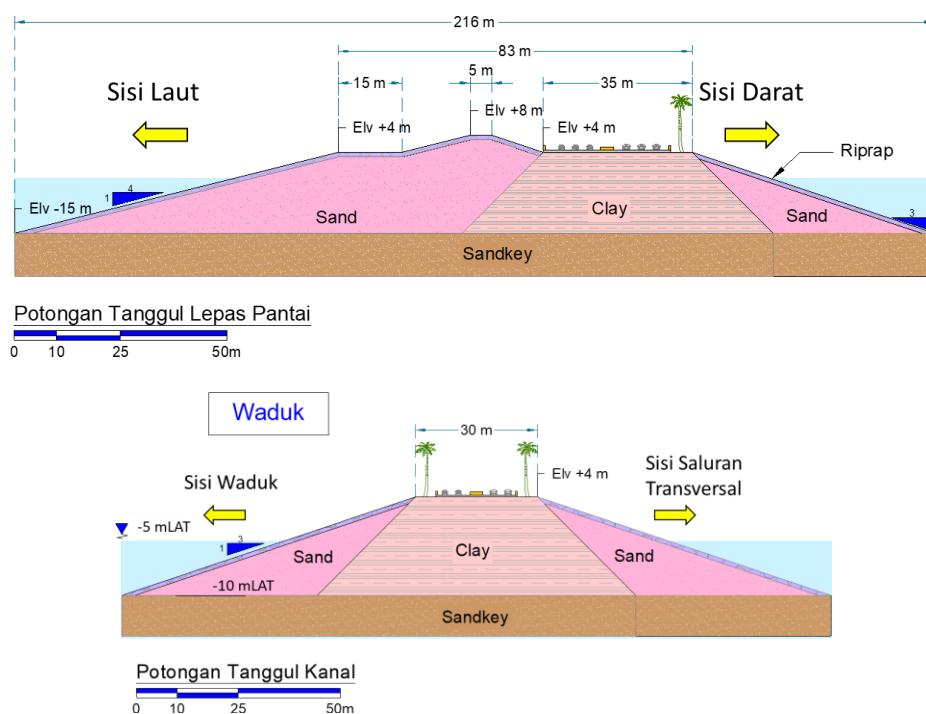
Tanggul lepas pantai menghadap ke laut, menerima gaya-gaya lingkungan dari laut, dan juga berfungsi sebagai akses transportasi. Alternatif struktur tanggul lepas pantai yang dipilih adalah tipe timbunan. Tipe timbunan memiliki keunggulan dibandingkan tipe alternatif seperti beton karena (1) sudah terbukti efektif dalam menanggul wilayah daratan di berbagai negara (contoh: Afsluitdijk di Belanda dan Saemangeum di Korea Selatan), (2) mudah dipelihara atau ditinggikan kembali, dan (3) sisi atas tanggul dapat diperlebar untuk keperluan jalan.

Tanggul Saluran Transversal berada di sisi dalam Waduk Pantai. Tanggul ini berfungsi untuk memisahkan UWR dan TWR dari Saluran Transversal. Konfigurasi dari Tanggul Saluran Transversal serupa dengan Tanggul Lepas Pantai sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.

UWR berfungsi untuk menampung air aliran Sungai Cisadane yang belum dijernihkan seperti air banjir dari hujan ekstrem. Elevasi muka air pada kolam ini dapat disesuaikan dengan musim yang akan dijelaskan lebih lanjut pada bagian berikutnya. Air dari UWR dialirkan lebih lanjut ke kolam buffer, WWTP, kemudian ke TWR. UWR memiliki kedalaman -10,0 m dibawah muka air terendah astronomis (*lowest astronomical tide*, LAT) dengan *gate* selebar 100 m.

WWTP berbentuk kolam-kolam pengendapan sedimen dengan elevasi dinding kolam yang semakin merendah seiring mendekati TWR. Tinggi dinding WWTP tertinggi adalah pada elevasi -1.5 m dari *mean sea level* (MSL) dengan terendah -4.5 mMSL. Kedalaman setiap kolam adalah 1.5 m.

TWR berfungsi untuk menampung air yang sudah dijernihkan setelah melewati WWTP. Air tampungan dari UWR akan didistribusikan ke domestik dan industri dengan bantuan pompa. Serupa dengan UWR, TWR memiliki kedalaman -10,0 mLAT.



Gambar 3. Potongan melintang tipikal Tanggul Lepas Pantai (atas) dan Tanggul Saluran Transversal/Kanal (bawah)

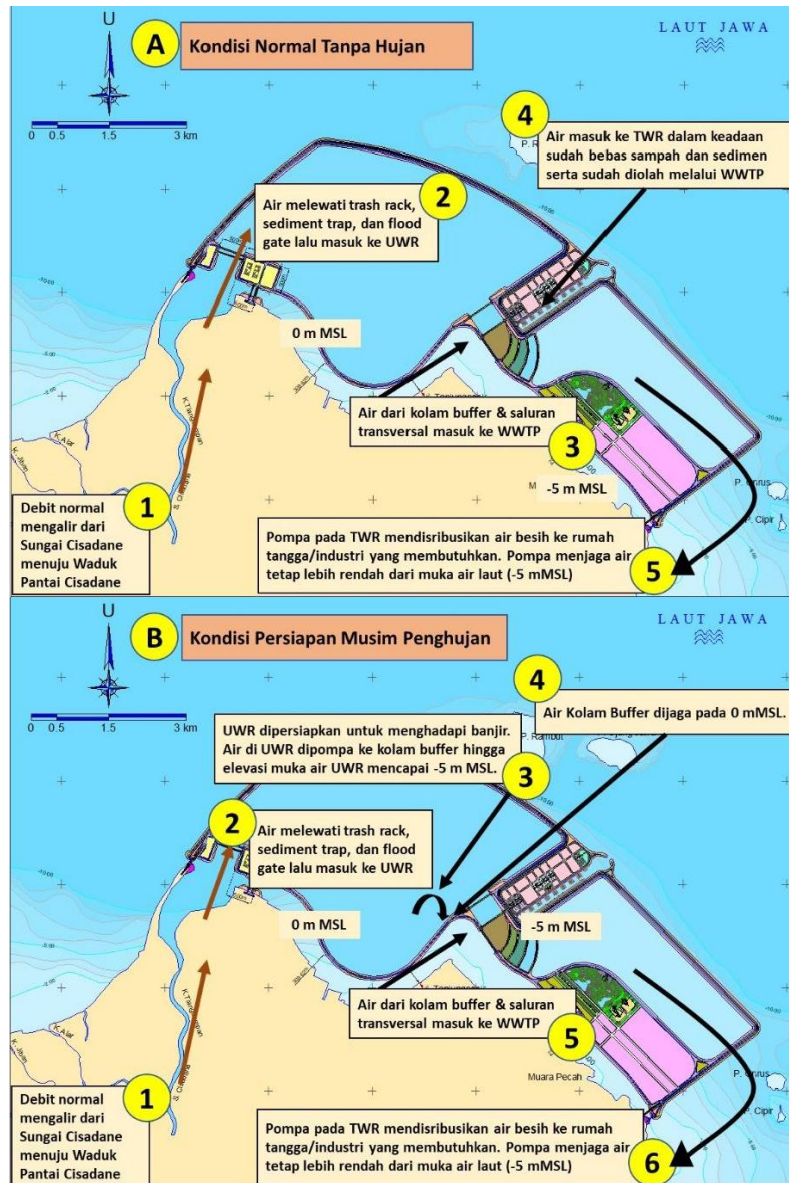
TWR berfungsi untuk menampung air yang sudah dijernihkan setelah melewati WWTP. Air tampungan dari UWR akan didistribusikan ke domestik dan industri dengan bantuan pompa. Serupa dengan UWR, TWR memiliki kedalaman -10,0 mLAT.

Pola Operasi

Sesuai dengan fungsinya untuk mencegah banjir dan mengalirkan air bersih, pola operasi dari Waduk Pantai disesuaikan dalam tiga kondisi yaitu kondisi normal tanpa hujan atau musim kemarau, kondisi musim hujan, dan kondisi banjir besar (*freak flood*). Pola operasi pada musim kemarau dan musim hujan ditunjukkan pada Gambar 4. Pada kondisi *freak flood*, debit banjir di sisi dalam tanggul dalam kondisi terlalu berlimpah sehingga *tide gate* perlu dibuka agar air tidak melimpasi UWR dan TWR. Dalam studi ini, pola operasi *freak flood* tidak dibahas lebih lanjut. Dengan upaya-upaya pengurangan risiko bencana kedalam pembangunan demi keberlanjutan serta pengarusutamaan pengurangan risiko bencana ke dalam perencanaan program dan kegiatan.

Perangkat Lunak Simulasi Tata Air

Simulasi tata air diperlukan untuk memastikan fasilitas waduk pantai dapat menjalankan fungsinya dari segi hidrodinamika. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Delft3D. Delft3D sudah pernah digunakan sebelumnya dalam penelitian serupa oleh Jung & Cho (2013) untuk pemodelan tata air Saemangeum Dam, Korea Selatan. Modul yang digunakan dalam Delft3D adalah modul FLOW untuk pemodelan elevasi muka air dan arus. Modul FLOW berbasis dari persamaan Navier-Stokes untuk pemodelan hidrodinamika (Deltares, 2011). Asumsi yang digunakan adalah (1) fluida yang dimodelkan inkompresibel, (2) Pemodelan dilakukan untuk alut dangkal, dan (3) variasi densitas air tidak mempengaruhi bidang alir atau disebut sebagai asumsi Boussinesq.



Gambar 4. Pola operasi Waduk Pantai Cisadane pada (A) kondisi normal tanpa hujan dan (B) kondisi persiapan musim penghujan

Simulasi tata air diperlukan untuk memastikan fasilitas waduk pantai dapat menjalankan fungsinya dari segi hidrodinamika. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Delft3D. Delft3D sudah pernah digunakan sebelumnya dalam penelitian serupa oleh Jung dan Cho (2013) untuk pemodelan tata air Saemangeum Dam, Korea Selatan. Modul yang digunakan dalam Delft3D adalah modul FLOW untuk pemodelan elevasi muka air dan arus. Modul FLOW berbasis dari persamaan Navier-Stokes untuk pemodelan hidrodinamika (Deltares, 2011). Asumsi yang digunakan adalah (1) fluida yang dimodelkan inkompresibel, (2) Pemodelan dilakukan untuk alut dangkal, dan (3) variasi densitas air tidak mempengaruhi bidang alir atau disebut sebagai asumsi Boussinesq.

Modul FLOW dapat dijalankan dalam bidang kartesian atau *spherical*. Pada bidang kartesian, ξ adalah latitude dan η adalah longitude. $\sqrt{G_{\xi\xi}}$ adalah $R \cos\varphi$ dan $\sqrt{G_{\eta\eta}}$ adalah R , dimana R adalah radius Bumi (Deltares, 2011). Koordinat vertikal pada Delft3D dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{z-\xi}{d+\xi} = \frac{z-\xi}{H} \quad \dots (1)$$

dimana z adalah koordinat dalam arah vertikal, ξ adalah elevasi muka air diatas $z=0$, dan d adalah elevasi dibawah $z=0$. Total kedalaman H adalah penjumlahan d dengan ξ .

Persamaan pengatur pada modul FLOW adalah persamaan kontinuitas dan momentum. Persamaan momentum dijabarkan sebagai berikut:

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{EE}G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [HU\sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{EE}G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [HV\sqrt{G_{EE}}]}{\partial \eta} = Q \quad \dots (2)$$

dimana Q adalah fungsi dari H , aliran masuk, aliran keluar, presipitasi, dan evaporasi. U dan V merupakan kecepatan arus pada kedalaman rata-rata masing-masing pada arah ξ dan η .

Persamaan momentum dalam bidang horizontal adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{EE}}} \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{\omega}{d+\xi} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \frac{v^2}{\sqrt{G_{EE}G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} + \frac{uv}{\sqrt{G_{EE}G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{EE}}}{\partial \eta} = \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G_{EE}}} \frac{P}{\xi} + \frac{F}{\xi} + \frac{1}{(d+\xi)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(v \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) + M \quad \dots (3)$$

dimana u adalah kecepatan arus dalam arah x dan ξ , v adalah kecepatan arus dalam arah y dan η , ρ_0 adalah densitas air yang menjadi referensi, P adalah gaya hidrostatis dalam arah ξ dan η , F adalah percepatan momentum pada arah ξ dan η , M adalah variabel gaya luar pada arah ξ dan η , dan v_v adalah viskositas Eddy arah vertikal.

Modul FLOW untuk pemodelan arus membutuhkan data input minimal berupa (1) garis pantai, (2) batimetri, (3) pasang surut, dan (4) debit aliran air sungai. Garis pantai yang digunakan sudah termuat dalam Delft3D. Data batimetri diperoleh dari GEBCO (*General Bathymetric Chart of the Oceans*) yang merupakan data open-source dengan modifikasi pada sisi dalam waduk yang dikeruk hingga -10 mLAT. Data pasang surut diperoleh dengan konstituen dari NAOTide (2004).

Simulasi Tata Air

Pada model, input berupa debit aliran dari Sungai Cisadane mengalir ke Saluran Transversal. Namun, tidak ada data debit Sungai Cisadane dalam resolusi tinggi (per 15 menit) yang tersedia untuk umum. Pada penelitian oleh Jihad (2018) telah dirangkum debit bulanan dari hulu Sungai Cisadane dari tahun 1999 hingga 2010. Rata-rata debit aliran dari data tersebut diperoleh sebesar 76 m³/s. Dalam penelitian ini dipilih debit konstan 100 m³/s untuk kondisi tanpa hujan agar perhitungan lebih konservatif dalam hal perhitungan daya tampung waduk. Untuk pemodelan kondisi banjir, diperlukan analisis nilai ekstrem untuk debit sungai. Untuk mensimulasikan banjir, digunakan Metode Nakayasu dengan persamaan sebagai berikut (Sosrodarsono & Takeda, 1987):

$$Q_d = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \quad \text{jika } 0 < t T_p \quad \dots (4)$$

$$Q_d = Q_p 0,3^{\frac{t-T_p}{T_{0,3}}} \quad \text{jika } T_p < t < (T_p T_{0,3}) \quad \dots (5)$$

$$Q_d = Q_p 0,3^{\frac{t-T_p+0,5T_{0,3}}{1,5T_{0,3}}} \quad \text{jika } (T_p + T_{0,3}) < t < (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}) \quad \dots (6)$$

$$Q_d = Q_p 0,3^{\frac{t-T_p+1,5T_{0,3}}{2T_{0,3}}} \quad \text{jika } t > (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3}) \quad \dots (7)$$

Q_p merupakan puncak debit aliran dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_p = \frac{C x A x R_0}{3,6 x (0,3 T_p + T_{0,3})} \quad \dots (8)$$

dimana C merupakan koefisien aliran, A merupakan wilayah tangkapan air (*catchment area*) dalam m^2 , R_0 adalah satuan hujan, T_p adalah jeda waktu hujan (*time lag*), dan $T_{0.3}$ adalah periode penurunan aliran. Persamaan dari T_p dan $T_{0.3}$ adalah sebagai berikut:

$$T_p = t_g + (0,4 t_g) \quad \dots (9)$$

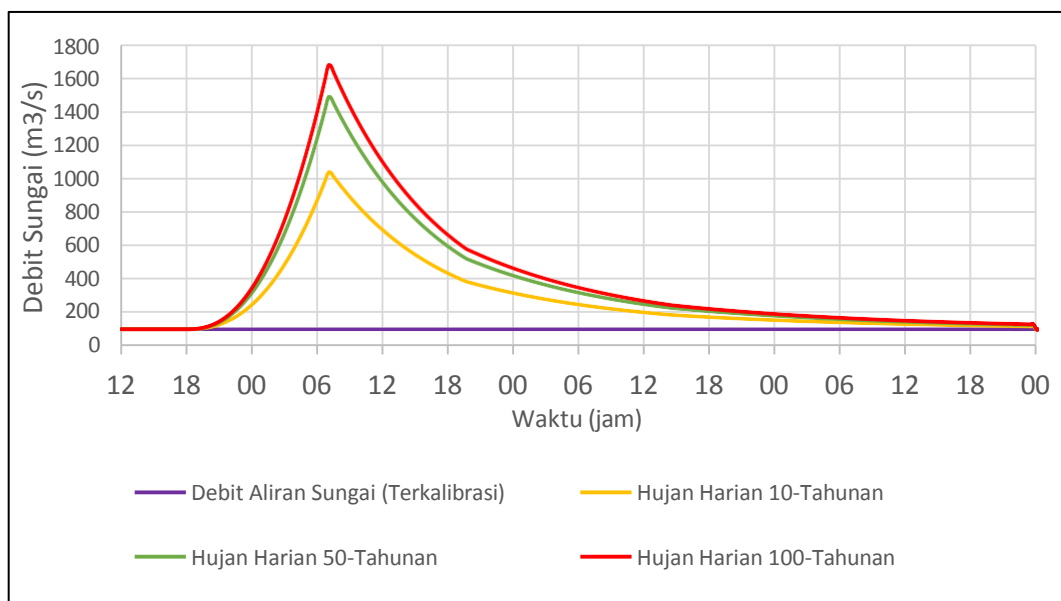
$$T_{0,3} = \alpha \times t_g \quad \dots (10)$$

$$\begin{aligned} t_g &= 0,4 + 0,058 L \text{ untuk } L < 15.000 m \\ &= 0,21L^{0,7} \text{ untuk } L > 15.000 m \end{aligned} \quad \dots (11)$$

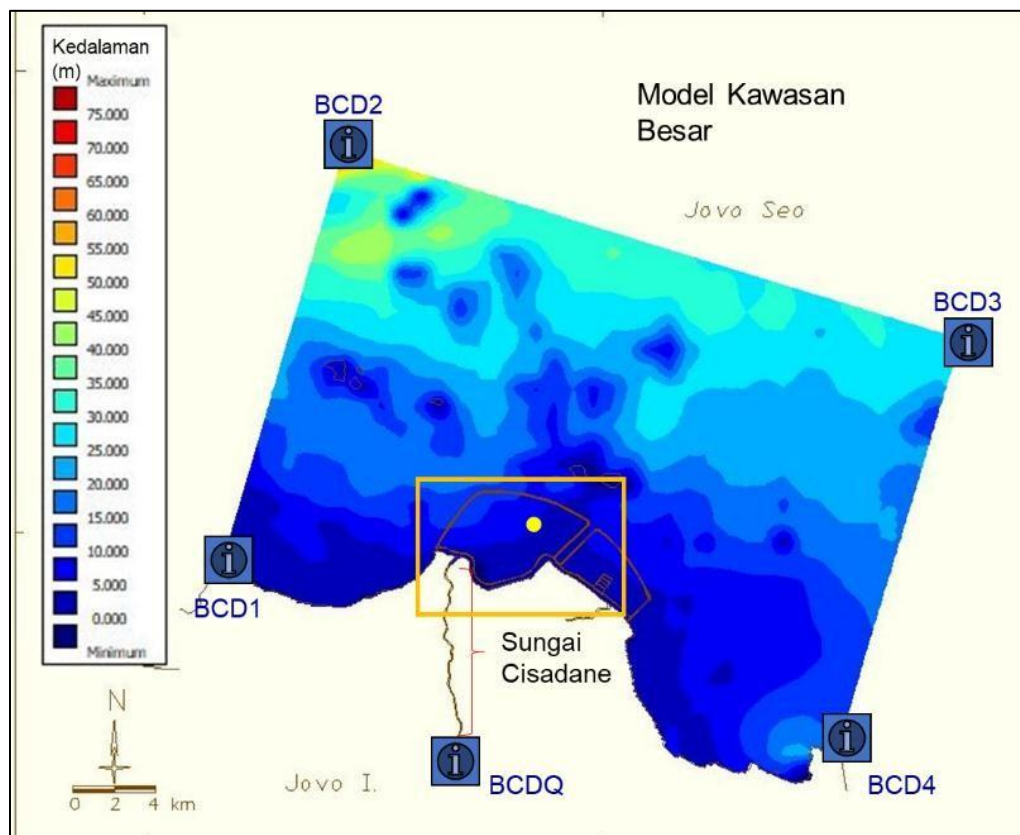
Data unit hujan yang digunakan bersumber dari Stasiun Cengkareng BMKG selama 10 tahun terakhir (2010-2019). Nilai ekstrem dihitung dengan metode analisis Distribusi Gumbel dengan hasil satuan hujan 259 cm untuk periode ulang 10 tahun, 383 cm untuk 50 tahun, dan 436 cm untuk 100 tahun, Periode-periode ulang tersebut dengan dasar 10 tahun merupakan periode ulang desain bangunan sungai dan 100 tahun untuk kondisi ekstrem di lepas pantai, sementara 50 tahun sebagai nilai tengah antara 10 dan 100 tahun.

Diketahui dari Bappenas (2018) bahwa debit puncak hujan 100 tahun dari Sungai Cisadane adalah $1.600 \text{ m}^3/\text{s}$. Disebutkan pula bahwa Panjang dari Sungai Cisadane adalah 137,8 km. Koefisien pengaliran pada iterasi pada persamaan Nakayasu dengan input unit hujan 100 tahun hingga menghasilkan debit puncak $1.600 \text{ m}^3/\text{s}$. Berdasarkan persamaan tersebut, dibuat hidrograf sintetik dengan hasil sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.

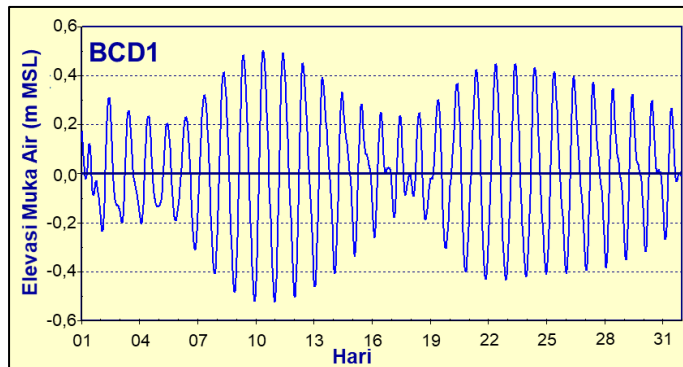
Pemodelan dilakukan dengan melakukan kalibrasi di kawasan besar dengan *setup* model ditunjukkan pada Gambar 6 dengan mula-mula tanpa memuat tanggul. Input berupa debit sungai ditunjukkan sebagai BCDQ, sedangkan input berupa elevasi pasang surut ditunjukkan sebagai BCD1 hingga BCD4. Contoh dari BCD ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 5. Debit aliran Sungai Cisadane dalam kondisi normal dan ekstrem dari hidrograf sintesis Nakayasu



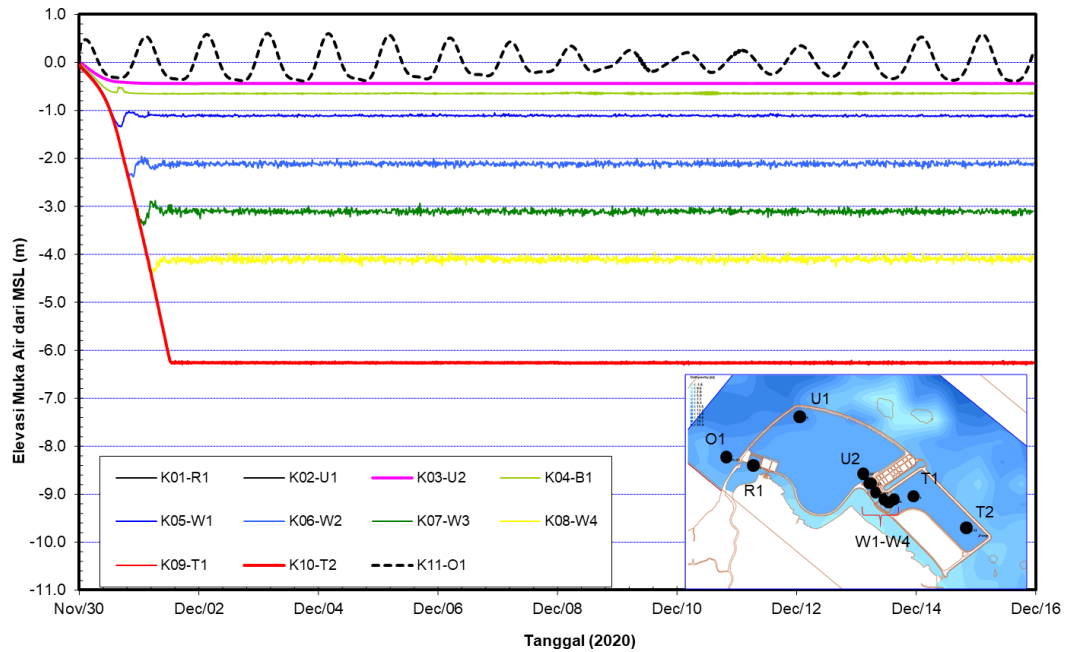
Gambar 6. Setup pemodelan kawasan besar



Gambar 7. Contoh kondisi batas berupa pasang surut (BCD1)

ANALISIS PENELITIAN

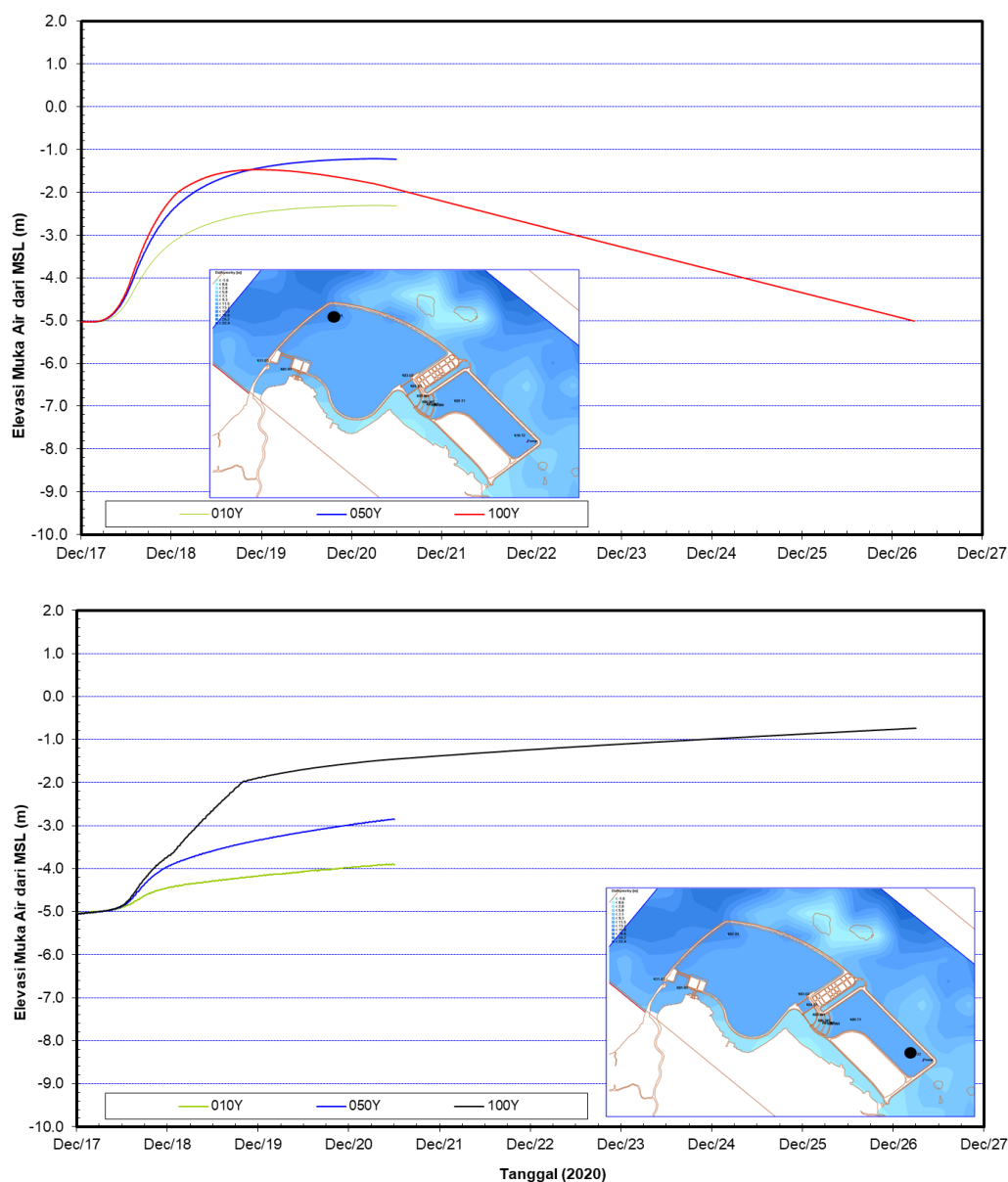
Setelah diperoleh model Kawasan besar yang stabil, pemodelan dilanjutkan ke kawasan kecil dimana Waduk Pantai akan dibangun (kotak oranye pada Gambar 6). Simulasi tahap pertama adalah simulasi pada kondisi musim kemarau, dimana elevasi dijaga pada 0 mMSL pada UWR maupun -5 mMSL TWR. Air dialirkan dari UWR ke TWR melalui kolam buffer dan WWTP baik secara gravitasi dan dengan pompa berkapasitas 100 m³/s. Hasil dari pemodelan tahap pertama ditunjukkan pada Gambar 8. Pada hasil tersebut, dapat terlihat bahwa air dapat mengalir secara gravitasi dari saluran transversal dan kolam buffer dengan kebutuhan pompa untuk mengalirkan air dari TWR ke domestik dan industri.



Gambar 8. Elevasi muka air pada titik-titik tinjau berdasarkan hasil simulasi tahap pertama (kondisi musim kemarau)

Pada simulasi tahap kedua, UWR dipersiapkan untuk menerima debit ekstrem dari Sungai Cisadane. Tahap awal dari simulasi ini adalah penurunan debit pada kolam UWR hingga -5 mMSL agar dapat menampung debit ekstrem. Setelah itu, simulasi dijalankan dengan skenario debit banjir masing-masing 10 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun. Pompa tambahan berkapasitas 100 m³/s diaktifkan setelah elevasi muka air mencapai -2 mMSL untuk mempercepat aliran air dari UWR ke kolam buffer. Hasil dari simulasi ditunjukkan pada Gambar 9.

Berdasarkan hasil simulasi, dapat dilihat bahwa kolam UWR dapat menampung debit banjir hingga 100 tahun tanpa melimpas mencapai elevasi MSL, dimana pada elevasi tersebut elevasi muka air sudah terlalu tinggi, sehingga WWTP tidak dapat menjalankan fungsinya untuk mengendapkan sedimen. Dapat dilihat juga bahwa dengan kapasitas pompa 100 + 100 m³/s dari UWR ke kolam buffer dibutuhkan waktu hingga 9 hari untuk mengembalikan elevasi muka air di UWR ke -5 mMSL. Pada akhir durasi hujan 100 tahun, elevasi muka air pada TWR juga tidak mencapai hingga MSL, namun dalam proses pemindahan debit banjir 100 tahun ini WWTP terlampaui cukup tinggi hingga elevasinya menyamai TWR, sehingga diperlukan tambahan pompa pada TWR atau UWR yang membuang air langsung ke laut agar WWTP tetap dapat berfungsi dengan limpasan rendah.



Gambar 9. Elevasi muka air pada titik-titik tinjau berdasarkan hasil simulasi tahap pertama (kondisi musim kemarau)

KESIMPULAN

Pada studi ini telah dikembangkan rancangan fasilitas tata air pada Waduk Pantai Cisadane beserta pola operasinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari sisi kelayakan teknis (aspek tata ruang, aspek transportasi, aspek teknis dan aspek dukungan) serta Simulasi tata air untuk pola operasi yang direncanakan telah dilakukan pada Waduk Pantai Cisadane. TWR dapat dikondisikan agar dapat tetap menyediakan air pada musim kemarau dengan mengondisikan UWR agar memiliki elevasi muka air yang lebih tinggi dari TWR. Untuk musim penghujan, berdasarkan hasil analisis didapat bahwa Waduk Pantai Cisadane dapat menampung hujan ekstrem dengan periode ulang 100 tahun dengan operasi pompa sehingga air tidak melampaui elevasi 0 mMSL. Untuk dapat menampung kondisi tersebut, diperlukan pompa untuk mengalirkan air dari UWR ke kolam buffer dengan kapasitas sekitar 200 m³/s.

Pada penelitian lebih lanjut, dapat dikembangkan pula simulasi dengan operasi saat terjadi *freak flood*. Pada simulasi ini, terdapat pengaturan pada *tide gate* untuk menjaga muka

air tidak melimpas ke daratan yaitu pada prakiraan elevasi dibawah mean sea level (MSL). Dengan demikian, simulasi tata air pada Waduk Pantai Cisadane menjadi lengkap.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asih Aryani Soemitro, R., & Suprayitno, H. (2025). Pemikiran Awal tentang Konsep Dasar Manajemen Aset Fasilitas. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 2, 1–14.
- [2] Baharuddin, F., & Robert Hutaaruk, T. (2025). Tinjauan Kelayakan Teknis Metode Scoring dan Kelayakan Ekonomi-Finansial dalam Penentuan Lokasi Dermaga Wisata di Tepian Alur Sungai Mahakam Samarinda - Tenggarong. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 5(4), 361–372.
- [3] Bappenas (2018). *Laporan Konsep Pengembangan Terpadu Kawasan Pesisir Ibukota Negara*. Bappenas. Jakarta.
- [4] Deltares (2011). *Delft3D-FLOW Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments: User Manual, version 3.15*. Deltares. The Netherlands.
- [5] Departemen Pekerjaan Umum (2011). *Jakarta Coastal Defence Strategy: Agenda*. Kementerian Pekerjaan Umum. Jakarta.
- [6] Jihad (2018). “Prediksi Debit Andalan pada DAS Cisadane Hulu dengan Model Mock”. *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi*, Vol.17, No. 1, Hal. 62-75.
- [7] Jung & Cho (2013). “A 3D Hydrodynamic Model for Determination of Flood Level inside Saemangeum Embankment”. *Journal of Coastal Research*, Vol. 65, Hal. 243-248.
- [8] Harish Yosaeni, A. (2025). Evaluasi Infrastruktur Fisik Jaringan Distribusi Air Bersih (Studi Kasus: Perumahan Citra Indah City). *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 5(2), 121–134.
- [9] Martua, D., Sutjiningsih, D., Anggraheni, E., & Hamid, N. (2021). Analisis Penerapan Kolam Retensi Sebagai Upaya Penanganan Banjir dengan Model 2-Dimensi. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 5(4), 339–348.
- [10] NAO Tide (2004). “NAO.99b tidal prediction system”. https://www.miz.nao.ac.jp/staffs/nao99/index_En.html [diakses pada tanggal 21 Desember 2020]
- [11] Rasadi, A., Hidayat, B., & Ophiyandri, T. (2025). Persepsi Masyarakat Mengenai Prioritas Pembangunan Infrastruktur Desa Berbasis Mitigasi Bencana (Studi Kasus Nagari/Desa Inderapura Selatan). *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 4(4), 335–342.
- [12] Sosrodarsono & Takeda (1987). *Hidrologi untuk Pengairan*. Pradnya Paramita. Jakarta.
- [13] Suprayitno, H., & Asih Aryani Soemitro, R. (2025). Developing a Framework for Infrastructure & Facility Asset Management Knowledge & Science Development by Using Concept Mapping. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 2(2), 109–116.
- [14] Wong, T.H.F., Fletcher, T.D., Duncan, H.P. & Jenkins, G.A. (2006). “Modelling urban stormwater treatment - a unified approach”. *Ecological Engineering*, Vol.27, No. 1, Hal. 58-70.
- [15] Yang S.Q. and Kelly, S. (2015). “The Use of Coastal Reservoirs and SPP Strategy o Provide Sufficient High Quality Water to Coastal Communities”. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, Vol. 3, Hal. 80-92.

