

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pemanfaatan Waduk

Waduk merupakan rekayasa hidraulika yang penting untuk pemanfaatan manusia dan pengelolaan sumber daya air. Waduk telah secara efektif memecahkan kontradiksi antara alokasi sumber daya air, ekonomi manusia, dan pembangunan masyarakat. Jika dilihat dalam lingkup yang kecil tujuan dibangunnya waduk secara umum adalah untuk melayani penyediaan air baku dan air irigasi (Firdaus, 2020). Namun berbagai tujuan fungsional dari waduk sendiri adalah sebagai pengendali banjir, penyedia air, pembangkit listrik, dan tujuan ekologis (Zhang, 2019). Hal serupa juga disampaikan oleh Yassin (2019) dimana waduk dibangun untuk memenuhi permintaan yang lebih kompleks seperti kebutuhan rumah tangga, industri, irigasi, tenaga air, dan untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan lainnya seperti pengendalian banjir, dan konservasi habitat perairan.

Widyastari (2020) dalam penelitiannya menyatakan bahwa waduk memiliki peranan yang penting terhadap sektor perekonomian masyarakat, diantaranya sektor pertanian, perikanan, dan pariwisata. Dengan adanya waduk maka terdapat jaringan irigasi yang dapat membantu pemanfaatan sumber daya air semaksimal mungkin sehingga hal tersebut akan meningkatkan produksi pangan dan palawija, yang kemudian hal tersebut dapat dikatakan bahwa adanya irigasi membantu tercapainya swasembada beras dan diversifikasi bahan pangan (Suprihati, 2014). Selain itu jika dilihat dari sektor perikanan, pembendungan sebuah sungai menjadi sebuah waduk

memberikan dampak yang signifikan bagi keanekaragaman ikan baik di dalam maupun diluar waduk (Widyati, 2007). Dengan keanekaragaman yang ada masyarakat yang berada disekitar waduk dapat menggunakan kesempatan tersebut menjadi petani ikan dan menjual hasil tangkapan dan budidayanya di pasar ikan, sehingga hal tersebut dapat membantu perekonomian masyarakat (Widyastari, 2020). Untuk pengelolaan perikanan sendiri agar tidak terjadi konflik atau perselisihan yang akan terjadi di masa mendatang diatur sesuai dengan pengaturan jenis dan ukuran alat tangkap ikan, pemacuan stok ikan dan zonasi (Muhartono *et al*, 2015). Sektor ketiga yang terkena dampak positif dengan adanya waduk adalah sektor pariwisata. Dengan adanya pengembangan perikanan yang terjadi di dalam waduk, maka waduk dapat digunakan sebagai wisata memancing, selain itu kegiatan di waduk tidak hanya sebatas untuk menikmati udara segar namun juga dapat melakukan aktivitas fisik seperti *outbound* (Trisanti *et al*, 2017). Adanya fenomena – fenomena yang telah disebutkan tersebut dapat dimanfaatkan bagi masyarakat untuk berjualan makanan, minuman, atau cendera mata sehingga masyarakat disekitar waduk memperoleh penghasilan dan pekerjaan. Hal ini membuktikan bahwa waduk bukan hanya dibangun untuk memenuhi kebutuhan sosial saja namun waduk juga menjadi sumber pertumbuhan ekonomi masyarakat.

2.2. Kapasitas Tampung Waduk

Perubahan iklim global yang terjadi di seluruh dunia telah mempengaruhi kondisi ketersediaan air suatu wilayah. Hal tersebut menyebabkan ketersediaan air menjadi sangat sulit untuk diprediksi, sehingga hal ini mempengaruhi pola alokasi penyediaan air di berbagai sektor (Andawayanti *et al*, 2019). Dibangunnya sebuah

waduk merupakan hal yang penting untuk dapat menyimpan persediaan air yang di dapat pada musim penghujan dan selanjutnya dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan air pada musim kemarau, kemampuan tersebut disebut juga dengan kapasitas tampungan waduk.

Dalam penelitian Triadi (2020) menyatakan kapasitas tampungan waduk berkaitan dengan produksi suatu waduk. Produksi waduk adalah kemampuan waduk untuk menyediakan jumlah air dalam suatu interval waktu tertentu. Interval waktu tersebut juga berbeda-beda, untuk waduk dengan distribusi yang kecil dimulai dari satu hari sedangkan untuk waduk dengan penyimpanan yang besar dibutuhkan waktu satu tahun atau lebih. Produksi waduk atau kapasitas tampungan waduk bergantung pada aliran yang masuk dan akan mengalami perubahan tiap tahunnya.

Kapasitas tampungan waduk dikatakan aman atau pasti ketika jumlah air maksimum dapat dijamin ketersediannya selama suatu periode aliran berada pada titik aliran terendah atau yang sering disebut dengan periode kering kritis. Sehingga waduk dapat memenuhi kebutuhan yang direncanakan tanpa mengalami kekurangan selama periode umur waduk yang telah direncanakan, besaran peluang tersebut disebut juga dengan keandalan suatu waduk. Keandalan waduk sendiri merupakan indikator yang dapat digunakan untuk melihat keefektifan sebuah pola operasi bekerja pada suatu waduk.

2.3. Pengaruh Pola Operasi Terhadap Efektivitas Waduk

Demi mewujudkan fungsi waduk diperlukan rencana pengoperasian yang masuk akal dan efektif. Rencana pengoperasian waduk tidak hanya menjadi faktor acuan pengambilan keputusan proyek pemeliharaan air dalam rangka perencanaan dan perancangan saja, tetapi juga sebagai kunci untuk pemanfaatan waduk secara menyeluruh selama masa operasi dan pengelolaannya (Zhang, 2019). Hal serupa juga dinyatakan oleh Andawayanti (2019) dimana fungsi sebuah waduk tidak hanya terbatas pada sisi fisik seperti kapasitas dan aliran saja tetapi juga bergantung pada kebutuhan dan pola pengoperasiannya. Menurut Tridadi (2020) sendiri sebuah pola operasi perlu diterapkan di dalam sebuah waduk dikarenakan pemeliharaan dan pengoperasian waduk yang tidak mengikuti prosedur dan pola operasi yang sudah ditetapkan dapat mengurangi efektivitas dari sebuah waduk yang bersangkutan.

Pihak yang secara langsung menentukan keberhasilan sebuah pola operasi di dalam sebuah waduk adalah operator waduk (Mateus, 2017). Pernyataan tersebut juga didukung oleh Zhang (2019), ia berpendapat bahwa meskipun pola operasi sudah ditentukan sebagai dasar acuan, mereka tetap mensyaratkan agar seorang operator waduk memiliki kualitas profesional yang kuat dan kaya pengalaman agar pola operasi tersebut dapat memenuhi tujuannya dengan optimal. Selain itu seorang operator waduk harus dapat beradaptasi dengan baik dengan sebuah pola operasi agar dapat mengatasi nonstasioneritas hidrologi dan ketidakpastian yang terjadi, khususnya yang disebabkan oleh perubahan iklim. Perubahan iklim tidak dapat dipungkiri terjadi dari waktu ke waktu, di Indonesia sendiri memiliki dua musim yaitu penghujan dan kemarau yang terjadi perubahan interval waktu tiap-tiap

musim yang berbeda-beda setiap tahunnya. Mateus (2017) dalam penelitiannya menyatakan bahwa perubahan iklim yang terjadi dapat menyebabkan kegagalan waduk untuk memenuhi tujuan operasionalnya. Sebagai contoh musim penghujan yang jatuh lebih awal dari waktu yang diperkirakan akan meningkatkan pasokan air yang kemudian hal tersebut dapat meningkatkan persaingan antara pelepasan produksi tenaga air di awal musim kemarau, hal tersebut tentu saja berpotensi meningkatkan risiko terjadinya banjir. Sebaliknya pada saat interval waktu musim kemarau lebih panjang dibanding dengan musim penghujan akan menyebabkan limpasan air dalam tampungan berkurang dengan signifikan, hal tersebut kemudian akan mempengaruhi keandalan dan waktu pengisian ulang tampungan waduk serta menurunnya jumlah pasokan air dalam tampungan. Tentu saja perubahan-perubahan yang terjadi seperti itu akan menyebabkan pola operasi yang sudah diterapkan dan dijalankan pada sebuah waduk sering kali tidak dapat memenuhi fungsinya sampai dengan umur waduk yang direncanakan. Untuk itu memodifikasi atau merevisi sebuah pola operasi pada waduk merupakan salah satu pilihan untuk mengurangi resiko-resiko kegagalan waduk dalam menjalankan fungsinya.

2.4. Evaluasi Kinerja Waduk

Usia waduk umumnya direncanakan untuk dapat beroperasi dalam jangka yang panjang yaitu dua puluh lima (25) tahun, lima puluh (50) tahun dan seterusnya. Setiap waduk sudah pasti memiliki sistem operasinya masing-masing, sistem operasi setiap waduk berbeda menyesuaikan dengan karakteristik, kebutuhan, dan tujuan pembangunan waduk itu sendiri. Namun sistem operasi tersebut sering kali tidak dapat digunakan sampai dengan usia rencana waduk dikarenakan berbagai

faktor yang terjadi seperti perubahan musim dan sedimentasi. Pendapat serupa juga dikemukakan (Ansar *et al.*, 2014; Zarfl *et al.*, 2014) yang menyatakan bahwa terlepas pentingnya tingkat perencanaan serta sumber daya yang diperlukan untuk membangun waduk, waduk biasanya tidak mencapai tujuan yang diharapkan sesuai dengan rencana, baik dalam hal keuntungan ekonomi maupun mitigasi dampak negatif. Dikarenakan kejadian-kejadian yang terjadi tersebut perlu dilakukan sebuah evaluasi terhadap pola operasi sebuah waduk untuk mengetahui apakah pola operasi yang ditetapkan masih dapat digunakan atau perlu dilakukan modifikasi.

Saat ini pola operasi waduk umumnya didasarkan pada diagram operasi atau fungsi operasi (seperti fungsi linier, *neural network*, *fuzzy method*, dan lainnya). Keduanya diselesaikan berdasarkan analisis historis jangka panjang untuk mengurangi ketidakpastian *inflow* pada operasi waduk. Diagram operasi waduk telah banyak digunakan dikarenakan keunggulannya dalam kelembagaan dan terbilang praktis, namun metode ini seringkali hanya dapat memperkirakan nilai *outflow* dan tidak dapat menghasilkan nilai *outflow* yang pasti (Zhang, 2019). Sebaliknya, fungsi operasi dapat merumuskan skema operasi yang relatif fleksibel sesuai dengan faktor yang dipilih (faktor kunci yang mempengaruhi operasi sebuah waduk seperti *inflow*, ketinggian air waduk, dan sebagainya) untuk meningkatkan manfaat sebuah waduk, namun kekurangan dari metode ini adalah tidak dapat melihat keterkaitan antara faktor-faktor yang mempengaruhi waduk dikarenakan hanya dapat memilih salah satu faktor kunci untuk diteliti (Zhang, 2019).

Di Indonesia sendiri dalam menentukan sebuah pola operasi cenderung menggunakan sistem optimasi. Optimasi operasi waduk bertujuan untuk

menentukan keputusan pelepasan dan transfer yang memaksimalkan agement air seperti memastikan pasokan air yang andal, produksi tenaga air, mitigasi banjir hilir, dan sebagainya (Dobson *et al*, 2019). Dengan menggunakan optimasi dapat dilihat apakah pola operasi yang diterapkan pada sebuah waduk sudah dapat bekerja secara optimal dalam pemenuhan kebutuhannya dan apakah sudah dapat memaksimalkan penggunaan pasokan airnya. Optimasi pola operasi waduk adalah area yang matang dan sangat aktif jika ditinjau dari penelitian metode optimasi yang dilakukan dari waktu ke waktu (Ahmad *et al*, 2014). Dalam penelitian (Dobson *et al*, 2019) menegaskan bahwa optimasi pola operasi waduk lebih relevan dibandingkan dengan sebelumnya, baik sebagai pelengkap desain waduk yang baru maupun untuk merevisi operasi di waduk yang sudah ada sebelumnya. Kekurangan dari pendekatan metode ini adalah adanya kesulitan untuk menerapkannya pada sistem yang melampaui waduk tunggal dan kasus tujuan tunggal (Maass *et al*, 1962).

Dalam beberapa tahun terakhir perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi telah meningkatkan kemampuan akuisisi data, termasuk pengumpulan data operasi waduk. Data historis operasi waduk memberikan informasi keputusan operasi selama situasi *inflow* dan permintaan kebutuhan air dari waduk. Data – data tersebut menurut (Zhang, 2019) dapat digunakan dalam perhitungan simulasi, dimana dalam simulasi dilakukan perhitungan antara *inflow* dan *outflow* untuk mencari keandalan suatu waduk yang ditunjukkan dengan pola operasi waduk. Dengan menggunakan simulasi dapat mengetahui hubungan antar variabel dan dapat memecahkan masalah kompleks yang dipengaruhi oleh berbagai faktor,

selain itu simulasi dapat menyediakan skema operasi yang efektif untuk menangani berbagai scenario aliran yang berada di bawah periode yang berbeda (Zhang, 2019).

2.5. Posisi Penelitian

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dilakukan, diperoleh dua ide utama yang nantinya akan digunakan dalam pembentukan tujuan penelitian yang akan dilakukan. Kedua ide tersebut adalah bagaimana keefektifan pola operasi yang digunakan saat ini dan bagaimana perbaikan yang dapat dilakukan agar kebutuhan dapat terpenuhi.

Pada penelitian-penelitian terdahulu para peneliti hanya mencari nilai optimal dari suatu fungsi tujuan (*objective function*) dengan menggunakan model optimasi. Dalam kasus ini peneliti-peneliti terdahulu hanya mencari nilai optimal kapasitas waduk dalam memenuhi fungsi tujuan waduk. Namun Zhang (2019) dalam penelitiannya menyatakan kekurangan dari metode optimasi adalah tidak dapat melihat keterkaitan antara faktor-faktor yang mempengaruhi waduk dikarenakan hanya dapat meneliti salah satu faktor kunci, yaitu nilai optimal kapasitas waduk saja. Oleh sebab itu, dengan mempertimbangkan hal tersebut maka pada penelitian ini peneliti ingin melihat pengaruh pola operasi terhadap keandalan waduk sekaligus mengevaluasi pola operasi yang sudah ada dengan menggunakan metode simulasi. Alasan peneliti menggunakan metode simulasi adalah dengan metode simulasi setelah *running* peneliti dapat membandingkan beberapa parameter yang telah ditentukan sebelumnya. Parameter yang dimaksud disini adalah probabilitas debit andalan menggunakan 80%, 50%, dan 20% dari volume tampungan waduk. Kemudian akan dilihat pengaruh probabilitas – probabilitas

tersebut pada saat diterapkan pola operasi basah, pola operasi kering, dan pola operasi normal. Penggunaan Probabilitas tersebut sebelumnya sudah pernah digunakan dalam penelitian yang dilakukan oleh Zen (2019). Dimana dalam penelitiannya digunakan 50,75%, 75,34%, 97,30% dari debit andalan untuk melihat apakah Waduk Ngancar dapat memenuhi kebutuhan irigasi. Menurut Zhang (2019) kelebihan dari metode simulasi adalah dapat mengetahui hubungan antar variabel dan dapat memecahkan masalah kompleks yang dipengaruhi oleh berbagai faktor. Dalam penelitian ini dilakukan simulasi terhadap neraca air waduk, dikarenakan hal tersebut merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi sebuah waduk.

Penelitian mengenai evaluasi kinerja waduk menggunakan metode simulasi sudah pernah dilakukan oleh Tridadi (2020). Dalam penelitiannya digunakan simulasi neraca air waduk, namun simulasi tersebut hanya melihat nilai keandalan waduk. Sehingga peneliti ingin melakukan penelitian mengenai kinerja waduk sekaligus mencari solusi untuk mendapatkan pola operasi terbaik yang dapat digunakan.

Selain itu alasan lain yang mendorong peneliti melakukan penelitian ini dikarenakan belum banyak penelitian-penelitian sebelumnya yang melakukan penelitian ini. Posisi penelitian ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Rangkuman Penelitian Terdahulu

No	Tahun	Judul	Masalah	Tujuan	Metode	Hasil
1	2017	<i>Reliability, Sensitivity, and Vulnerability of Reservoir Operations under Climate Change.</i>	Perubahan iklim mempengaruhi kinerja dari sebuah waduk.	Memperkirakan keandalan waduk agar saat terjadi perubahan iklim dapat tetap beroperasi secara maksimal.	Analisa keandalan menggunakan GCM <i>Projection</i>	Iklim dapat menghambat pengisian waduk ulang namun tidak akan berpengaruh secara signifikan terhadap waduk.
2	2019	<i>Simulating Reservoir Operation Using a Recurrent Neural Network Algorithm.</i> MDPI <i>Water</i>	Pola operasi yang dibuat pada masa dahulu dianggap kurang akurat.	Menetapkan pola operasi dengan metode simulasi yang baru.	Simulasi menggunakan <i>Neural Network Algorithm : RNN</i>	Kemampuan RNN dalam menentukan pola operasi terbukti. Dapat memperkirakan ketika terjadi banjir secara tiba – tiba.
3	2019	Studi Perencanaan Pola	Pola operasi yang digunakan	Memperoleh pola operasi waduk yang baru.	Metode FPR-LPR	Berdasarkan debit andalan 50,68%, 75,34%, dan

		Operasi Waduk Ngancar Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah.	merupakan pola operasi sederhana.			97,30% waduk dapat memenuhi kebutuhan.
4	2020	Pengaruh Sedimen Terhadap Pola Operasi Waduk Gerokgak di Kabupaten Buleleng	Penurunan fungsi utama waduk akibat sedimentasi dan perubahan siklus hidrologi.	Mengembalikan fungsi utama Waduk Gerokgak	Simulasi neraca air waduk.	Kenadalan waduk masih ditoleransi, yaitu sebesar 80%
5	2020	Studi Perencanaan Pola Operasi Waduk Semantok Untuk Kebutuhan Air Irigasi dan Air	Mengevaluasi pola operasi yang digunakan pada Waduk Semantok, Jawa Timur.	Menguji keandalan Waduk Semantok dalam memenuhi fungsinya.	Metode F.J. Mock	Kebutuhan air baku terpenuhi 100% sepanjang tahun. irigasi pada saat kondisi cukup dan kering terpenuhi 100% namun saat

		Baku Kabupaten Nganjuk Jawa Timur				kondisi kering hanya dapat terpenuhi 26%.
6	2020	Evaluasi dan Simulasi Pola Operasi Waduk Sermo di Kabupaten Kulon Progo	Bagaimana Pola Operasi dari Waduk Sermo saat ini?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengetahui Pola operasi saat ini dapat memenuhi atau tidak kebutuhan air sepanjang tahun. 2. Mendapatkan perbaikan pola operasi agar dapat memenuhi kebutuhan 	Metode Simulasi Neraca Air Waduk	<ol style="list-style-type: none"> 1. pola operasi waduk yang digunakan saat ini tidak dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan. 2. Ditemukan pola operasi waduk yang baru dengan menggunakan basis data terbaru.