

Jurnal TEKNIK SUMBER DAYA AIR

- fAnalisis Perubahan Garis Pantai dengan Skematisasi Model Numerik 2D (Studi Kasus Penanganan Pantai Manggar Segarasari, Balikpapan)** 1-12
Irham Adrie Hakiki, Cahyo N. R. Nugroho, Rd. Indra A. Gemilang, M. Hendro Setiawan, Adi Prasetyo
- Validasi Akurasi Data Curah Hujan Per-Jam GSMaP menggunakan ARR Tersebar di Sulawesi Selatan** 13-24
Muhammad Rifaldi Mustamin, Farouk Maricar, Rita Tahir Lopa, Riswal Karamma
- Pengembangan Model Empiris Penentuan Kebutuhan Air Irigasi Penyiapan Lahan Padi Sawah Hemat Air** 25-34
Chusnul Arif, M.Y.J. Purwanto, Satyanto Krido Saptomo, Sutoyo, Arien Heryansyah, H.A. Sofiyuddin
- Pengaruh Metode Pemasangan Pipa Distribusi terhadap Aliran Hidraulika** 35-46
Ofik Taupik Purwadi, Fajriharish Nur Awan, Hendra Satria Nugroho, Tumijo
- Analisis Penerapan Reality Capture Berbasis Fotogrametri sebagai Alternatif Pemantauan Deformasi Bendungan** 47-58
Bhima Dhanardono, Didit Puji Riyanto, Suhardi, Wahyu Prasetyo, Wahyu Apriyoga
- Hubungan Luas Genangan dan Debit Banjir Rancangan pada DAS Way Kandis Lampung** 59-68
Aprizal, Try Octaredy
- Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) pada Bendungan Bulango Ulu Kabupaten Bone Bolango** 69-78
Chintya Ayu Permata Herdita, Ari Murdhianti, Donny Harisuseno, dan Ery Suhartanto
- Analisis Sebaran Banjir akibat Keruntuhan Bendungan Bulango Ulu Kabupaten Bone Bolango** 79-90
Fatmawati Abdul Razak, Aryati Alitu, Barry Y. Labdul
- Analisis Neraca Air Daerah Aliran Sungai Paguyaman** 91-102
Yusri Polimengo, Barry Yusuf Labdul, Rawiyah Husnan
- Analisis Debit Banjir dan Tinggi Muka Air Sungai Duwanga Kecamatan Dungaliyo Kabupaten Gorontalo** 103-114
Dwi Iriansyah Ramadan, Rawiyah Husnan, Barry Yusuf Labdul

Jurnal TEKNIK SUMBER DAYA AIR

Jurnal Teknik Sumber Daya Air (JTSDA) adalah jurnal berbahasa Indonesia yang memuat naskah ilmiah dalam bidang Teknik Sumber Daya Air (SDA) dengan proses review secara *double-blind peer-reviewed*. JTSDA terbit 2 (dua) kali dalam setahun, *open access*, menerima berbagai tipe naskah, baik naskah penelitian (*research articles*), naskah kasus teknik (*technical notes*), ataupun naskah ulasan (*review articles*). Ketiga tipe naskah JTSDA tersebut mencakup aspek konservasi SDA, pendayagunaan SDA, pengendalian daya rusak SDA, sistem informasi SDA, serta kelembagaan SDA. JTSDA diterbitkan oleh Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HATHI).

Penasehat : Ketua Umum HATHI

Pengarah : Ketua Bidang IV: Pertemuan Ilmiah, Seminar, dan Jurnal

Editor in Chief : Dr. Evi Anggraheni (Universitas Indonesia)
Hydrology, Water Resources Planning and Management, Water-related Disaster Management

Section Editors : Dr. Muhammad Ramdhan Olli (Universitas Gorontalo)
Erosion and Sedimentation Engineering, Water-related Disaster Management

Finna Fitriana, M.S. (Universitas Katolik Parahyangan)
Hydraulics, Hydrology, Water Quality

Dr. Mahendra Andiek Maulana (Institut Teknologi Sepuluh Nopember)
Hydrology, Erosion and Sedimentation Engineering, Water-related Disaster Management

Dr. Benazir (Universitas Gadjah Mada)
Coastal Engineering, Sea and Ocean Hazards, Tsunami Engineering

Dr. Roby Hambali (Universitas Bangka Belitung)
Hydrology, Erosion and Sedimentation Engineering, Water-related Disaster Management

Dr. Ani Hairani (Universitas Muhammadiyah Yogyakarta)
Hydraulics, Hydrology, Erosion and Sedimentation Engineering, Water-related Disaster Management

Stephen Sanjaya, M.Sc. (Universitas Katolik Parahyangan)
Hydrology, Water Resources Planning and Management, Water-related Disaster Management

Reviewers : Prof. Djoko Legono (UGM)	Dr.techn. Umboro Lasminto (ITS)
Prof. Suripin (UNDIP)	Dr. Albert Wicaksono (UNPAR)
Prof. Lily M. Limantara (UB)	Dr. Dhemi Harlan (ITB)
Prof. RadianaTriatmadja (UGM)	Dr.-Ing. Bobby Minola Ginting (UNPAR)
Prof. Denik Sri Krisnayanti (UNDANA)	Dr. Eng. Farouk Maricar (UNHAS)
Prof. Gusfan Halik (UNEJ)	Dr.Eng. M. Adhiraga Pratama (UI)
Dr. Doddi Yudianto (UNPAR)	Dr. Joko Nugroho (ITB)

Assistant Editors : Asep Harhar Muharam *Copy-Editor, Layout Editor*
Ahmad Rizki Rivai *Layout-Editor, Proofreader*
Muhammad Rizki Amin *Translator, Layout-Editor,*



Alamat Redaksi:

Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia

Gedung Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Lt. 8
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
Jl. Patimura No. 20 Kebayoran Baru, Jakarta Selatan 12100

Telepon & Fax. +6221-72792263

<http://jtsda.hathi.id> | jtsda@hathi.id

Jurnal TEKNIK SUMBER DAYA AIR

DAFTAR ISI

Daftar Isi	ii
Analisis Perubahan Garis Pantai dengan Skematisasi Model Numerik 2D (Studi Kasus Penanganan Pantai Manggar Segarasari, Balikpapan)	1-12
<i>Irham Adrie Hakiki, Cahyo Nur Rahmat Nugroho, Rd. Indra Anggun Gemilang, M. Hendro Setiawan, Adi Prasetyo</i>	
Validasi Akurasi Data Curah Hujan Per-Jam GSMap Menggunakan ARR Tersebar di Sulawesi Selatan	13-24
<i>Muhammad Rifaldi Mustamin, Farouk Maricar, Rita Tahir Lopa, Riswal Karamma</i>	
Pengembangan Model Empiris Penentuan Kebutuhan Air Irigasi Penyiapan Lahan Padi Sawah Hemat Air	25-34
<i>Chusnul Arif, Moh Yanuar J. Purwanto, Satyanto Krido Saptomo, Sutoyo, Arien Heryansyah, Hanhan A Sofiyuddin</i>	
Pengaruh Metode Pemasangan Pipa Distribusi Terhadap Aliran Hidraulika	35-46
<i>Ofik Taupik Purwadi, Fajriharish Nur Awan, Hendra Satria Nugroho, Tumijo</i>	
Analisis Penerapan Reality Capture Berbasis Fotogrametri sebagai Alternatif Pemantauan Deformasi Bendungan	47-58
<i>Bhima Dhanardono, Didit Puji Riyanto, Suhardi, Wahyu Prasetyo, Wahyu Apriyoga</i>	
Hubungan Luas Genangan dan Debit Banjir Rancangan pada DAS Way Kandis Lampung	59-68
<i>Apriza, Try Octaredy</i>	
Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) pada Bendungan Bulango Ulu Kabupaten Bone Bolango	69-78
<i>Chintya Ayu Permata Herdita, Ari Murdhianti, Donny Harisuseno, dan Ery Suhartanto</i>	
Analisis Sebaran Banjir akibat Keruntuhan Bendungan Bulango Ulu Kabupaten Bone Bolango	79-90
<i>Fatmawati Abdul Razak, Aryati Alitu, dan Barry Y. Labdul</i>	
Analisis Neraca Air Daerah Aliran Sungai Paguyaman	91-102
<i>Yusri Polimengo, Barry Yusuf Labdul, Rawiyah Husnan</i>	
Analisis Debit Banjir dan Tinggi Muka Air Sungai Duwanga Kecamatan Dungaliyo Kabupaten Gorontalo	103-114
<i>Dwi Iriansyah Ramadan, Rawiyah Husnan, dan Barry Yusuf Labdul</i>	

ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI DENGAN SKEMATISASI MODEL NUMERIK 2D (STUDI KASUS PENANGANAN PANTAI MANGGAR SEGARASARI, BALIKPAPAN)

Irham Adrie Hakiki*, Cahyo Nur Rahmat Nugroho, Rd. Indra Anggun Gemilang,
M. Hendro Setiawan, Adi Prasetyo

Balai Teknik Pantai, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

*adriehakiki@pu.go.id

Pemasukan: 10 September 2023 Perbaikan: 9 Nopember 2023 Diterima: 14 Nopember 2023

Intisari

Kemunduran garis pantai adalah permasalahan yang mendominasi kerusakan pantai di Indonesia. Penanganannya memerlukan analisis yang tepat, sehingga solusi terpilih mampu menjawab permasalahan yang ada. Untuk kemunduran garis pantai akibat erosi, model numerik merupakan alat yang sesuai karena dapat digunakan untuk memprediksi kejadian dalam jangka waktu panjang serta mencakup wilayah yang luas. Model 1D merupakan yang sering digunakan karena penggunaannya yang relatif mudah dan perilakunya mudah diprediksi. Namun, model ini memiliki keterbatasan dalam meninjau dampak dari adanya bangunan pantai, terutama yang melibatkan proses morfologi di area *downdrift* bangunan pantai atau *bypassing* sedimen. Oleh karena itu, penggunaan model 2D menjadi alternatif dalam proses analisis perubahan garis pantai akibat melibatkan proses fisik yang lebih detil dalam simulasinya. Namun, penggunaan model 2D terkendala oleh lebih banyaknya sumber daya komputasi yang diperlukan. Pada penelitian ini, kinerja hasil simulasi dengan penggunaan skematisasi pada model 2D dikaji untuk mengetahui dampak penyederhanaan pengaturan model dalam analisis perubahan garis pantai akibat penanganan dengan bangunan pantai dengan kasus pada Pantai Manggar Segarasari menjadi daerah percontohan. Penyederhanaan ini mencakup metode *forcing* dan interaksi dari tiap kejadian fisik yang mengatur perubahan morfologi. Hasil dari simulasi dengan beberapa kombinasi bangunan menunjukkan bahwa model cukup sensitif terhadap konfigurasi bangunan yang disimulasikan. Tiap skenario menghasilkan respon yang cukup berbeda untuk dapat diambil sebuah kesimpulan. Namun, teramati juga hasil yang tidak realistis akibat efek dari tidak adanya umpan balik dari perubahan morfologi terhadap respon hidrodinamika, sehingga metode ini lebih disarankan untuk analisis kualitatif, namun tetap perlu diiringi dengan suatu kuantifikasi untuk mempermudah perbandingan kinerja.

Kata Kunci: Bangunan pantai, Erosi, Simulasi *offline*, Angkutan sedimen, Model 2D

Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki garis pantai terpanjang di dunia dengan panjang mencapai 108.000 km (Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi, 2020). Menurut Kementerian Pekerjaan Umum (PU),

20 persen dari keseluruhan garis pantai di Indonesia mengalami kerusakan akibat berbagai masalah. Salah satu masalah utamanya adalah kemunduran garis pantai yang umumnya disebabkan oleh kejadian erosi, baik yang disebabkan faktor alam maupun faktor manusia (Van Rijn, 2011; Kementerian PUPR, 2021). Sebagai contoh, berdasarkan informasi dari Balai Wilayah Sungai Bali Penida, pada tahun 2011 erosi garis pantai di Pulau Bali mencapai 210 km dari total panjang garis pantai Pulau Bali 633 km (Sulaiman dkk., 2011).

Perlindungan pantai akibat erosi dapat melalui 2 metode yaitu alami dan buatan (Triatmodjo, 2012). Perlindungan pantai secara alami dapat berupa mangrove, *dunes* maupun karang laut ataupun lamun yang tumbuh secara alami. Perlindungan pantai buatan dapat berupa struktur bangunan pengaman pantai. Dalam penerapannya, metode yang dipilih menyesuaikan dengan kondisi dan karakteristik pantai yang akan dilindungi. Ketidaksesuaian metode penanganan pantai dengan kondisi dan karakteristik pantai yang akan dilindungi dapat menyebabkan kegagalan struktur pengaman pantai atau memperparah kejadian erosi atau sedimentasi (Azhar dkk., 2018). Kegagalan ini dapat berupa umur bangunan pantai pendek ataupun struktur bangunan pantai tidak optimal berfungsi (Do dkk., 2021).

Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis terhadap suatu wilayah fenomena yang aktualnya terjadi sehingga dapat diperoleh metode penanganan yang tepat atau diketahui efektivitas kinerja bangunan yang dipilih sebagai metode penanganannya. Umumnya, analisis perubahan garis pantai dengan membandingkan dua garis pantai dengan waktu yang berbeda dilakukan untuk mengidentifikasi kejadian erosi (Arjasakusuma dkk., 2021; Yan dkk., 2021). Pemetaan garis pantai dapat dilakukan dari citra satelit atau foto udara. Selain itu, model numerik juga umum digunakan untuk memprediksi perubahan garis pantai, terutama untuk memeriksa dampak dari konstruksi bangunan pantai.

Model numerik yang sering digunakan oleh praktisi di Indonesia adalah model 1D, yang merupakan model yang meninjau perubahan garis pantai berdasarkan perubahan laju angkutan sedimen pada bidang penampang (Hanson, 1989; Sutikno dkk., 2016). Model ini banyak digunakan karena pengaturannya yang mudah, perilakunya dapat diprediksi, serta dapat menganalisis kejadian jangka panjang dalam waktu relatif singkat. Namun, model 1D kurang dapat menangkap secara akurat beberapa proses yang terjadi di sekitar struktur, contohnya kejadian erosi di area *downdrift* yang tidak memperhitungkan efek *bypassing* sedimen (Van Koningsveld dkk., 2006; Leach dkk., 2021)

Kelemahan tersebut dapat dieliminasi dengan menggunakan model 2D karena melibatkan proses fisik yang lebih banyak dan spasial yang lebih luas. Akan tetapi, penggunaan model 2D masih memiliki kelemahan yang cukup fatal, yaitu tingkat kesulitan dalam proses simulasi dan kalibrasinya serta waktu simulasinya yang cukup lama (Triatmadja, 2016). Untuk mengatasi hal tersebut, Roelvink dkk. (2004) mengusulkan untuk menyederhanakan pemodelan pada model kompleks dengan cara melakukan pengaturan skema numerik dan kondisi batas pada model. Berdasarkan hal tersebut, skematisasi asumsi serta langkah pemodelan digunakan untuk mengevaluasi kinerja pendekatan ini dalam analisis perubahan garis pantai

sehingga dapat diperoleh teknik penyederhanaan terbaik bila menggunakan model 2D. Pemodelan ini dilakukan pada studi kasus penanganan erosi Pantai Manggar Segarasari (selanjutnya disebut Pantai Manggar) di Kota Balikpapan.

Pantai Manggar merupakan pantai wisata yang terletak di Kota Balikpapan, Provinsi Kalimantan Timur. Menurut data unit pelaksanaan Teknis Dinas (UPTD) Dinas Pariwisata Pantai Manggar tercatat jumlah kunjungan rata – rata 3.000 hingga 5.000 orang tiap pekan (DPMPT Pemkot Balikpapan, 2023). Lokasi Pantai Manggar yang terletak di Jalur Selat Makasar menyebabkan garis pantai terpapar gelombang dan arus laut yang cukup besar secara terus menerus dan membawa volume sedimen yang signifikan searah sejajar pantai. Kondisi ini menyebabkan terjadinya erosi di Pantai Manggar yang semakin parah dan mengancam keberadaan wilayah pantai apabila tidak dilakukan penanganan. Meninjau fungsi Pantai Manggar sebagai tempat wisata, maka penanganan yang dilakukan harus menunjang keberlanjutan wilayah tersebut. Oleh karena itu, kombinasi struktur revetmen dan groin dikaji untuk metode penanganannya (Van Rijn, 2012).

Metodologi Studi

Kemunduran garis pantai di Pantai Manggar telah mencapai titik kritisnya karena telah berdampak pada wilayah infrastruktur. Oleh karena itu, revetmen merupakan bentuk pengamanan yang harus dipilih dalam melindungi Pantai Manggar karena menjadi garis pertahanan terakhir. Penggunaan revetmen ini menjadi skenario dasar dalam peninjauan kinerja dan menjadi *benchmark* untuk skenario uji lainnya.

Skenario uji lainnya dimaksudkan untuk mencari manfaat tambahan terbaik yang dapat diperoleh dengan rekayasa lain di luar revetmen. Pada kasus ini groin merupakan opsi bangunan yang digunakan karena merupakan satu – satunya bangunan yang memungkinkan untuk dibangun terkait batasan yang ada. Groin dengan bentuk T diketahui lebih efektif untuk diterapkan di Pantai Manggar karena dapat menangkap sedimen yang lebih banyak dan juga dapat memitigasi efek rip current yang terbentuk (Van Rijn, 2013; Zhang dkk., 2022).

Kinerja bangunan dianalisis dengan menggunakan model morfologi 2D dari paket perangkat lunak MIKE21. Modul yang digunakan adalah modul *Spectral Wave* (SW) untuk memperoleh *radiation stress* yang membangkitkan arus akibat gelombang, modul *Hydrodynamic* (HD) untuk mensimulasikan *flow field* akibat efek gelombang, dan *Sand Transport* (ST) untuk mensimulasikan angkutan sedimen non-kohefif. Skematisasi dilakukan untuk mempercepat proses simulasi meskipun menggunakan model 2D. Secara umum, skematisasi ini melibatkan penentuan area model, gaya pembangkit, dan proses pemodelan.

Area model disederhanakan dengan melakukan tinjauan di wilayah Pantai Manggar saja sehubungan dengan *coastal cell* cenderung pendek, hanya terbentang dari muara Sungai Manggar sampai perbatasan Pantai Lamaru akibat pengaruh adanya sungai dan groin eksisting.

Kemudian gaya pembangkit dipilih pada suatu kejadian yang bersifat representatif sehingga gaya dapat diberlakukan secara konstan namun masih dapat memperoleh respon yang dinamik. Gaya pembangkit yang digunakan berupa pasang surut pada

saat kondisi *spring tide* dan gelombang dari arah datang 138° dengan tinggi gelombang, $H_s = 1$ m dan periode gelombang, $T_p = 5$ s. Gelombang tersebut merupakan gelombang yang datang pada musim timur. Analisis kinerja ditinjau pada kondisi musim timur dengan pertimbangan bahwa gelombang musim timur merupakan gelombang yang lebih dominan sehingga respon morfologi Pantai Manggar lebih dipengaruhi oleh gelombang tersebut.

Selanjutnya, simulasi dilakukan secara *offline* (terpisah) antara gelombang dan hidrodinamika serta angkutan sedimennya. Hal ini dapat mempercepat waktu simulasi secara eksponensial, namun dengan konsekuensi tidak adanya umpan balik dari kejadian di tiap model. Oleh karenanya, metode ini lebih sesuai untuk analisis secara kualitatif untuk meninjau trend yang terjadi.

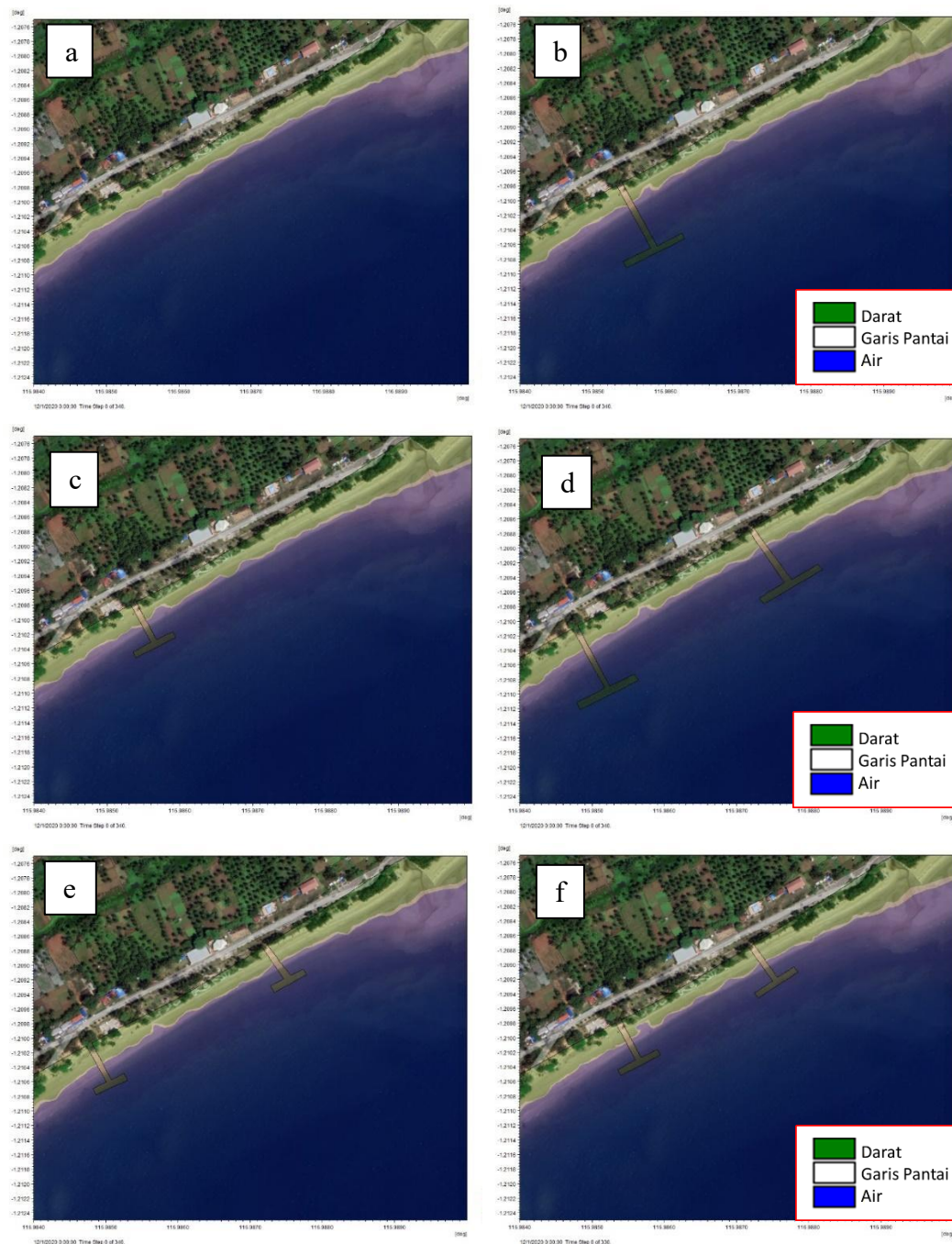
Seluruh skenario ditinjau dengan melihat respon morfologinya setelah dikenakan gaya penggerak selama 15 hari. Namun, untuk melihat dampak yang signifikan, perubahan morfologi dipercepat dengan 3 kali *speed-up factor*.

Kinerja bangunan dinilai dengan membandingkan perubahan garis pantai pada kondisi awal dengan kondisi akhir setelah menerima gaya penggerak. Pada analisis ini, garis pantai didefinisikan sebagai garis kontur pada kedalaman $+0$ m MSL. Adapun skenario uji yang dibandingkan dirangkum pada Tabel 1, dengan layout untuk masing – masing skenario tersebut disajikan pada Gambar 1. Pada gambar tersebut, penyajian disederhanakan untuk memudahkan analisis dengan mendefinisikan nilai elevasi dasar yang lebih kecil dari 0 sebagai air (warna biru) dan nilai sebaliknya sebagai daratan (warna hijau).

Tabel 1. Rangkuman skenario uji kinerja bangunan

No	Nama Skenario	Jenis Bangunan					
		Revetmen	Groin (m)				Spasi
			Bentuk	Panjang Badan	Panjang Kepala	Jumlah	
1	SK0	Ya	-	-	-	-	-
2	SK1	Ya	T	100	100	1	-
3	SK2	Ya	T	50	50	1	-
4	SK3	Ya	T	100	100	2	260
5	SK4	Ya	T	50	50	2	260
6	SK5	Ya	T	50	50	2	150

Delineasi dilakukan pada hasil untuk mengetahui area yang mengalami perubahan luas. Luas dihitung dengan membuat poligon area pantai terhadap garis pantainya. Kemudian luas dengan garis pantai awal ini dibandingkan dengan luas dengan garis pantai akhir. Luas pantai yang berkurang ditandai dengan poligon berwarna merah dan diasosiasikan dengan erosi. Sedangkan, area yang bertambah ditandai oleh poligon hijau dan diasosiasikan sebagai sedimentasi. Perubahan luasan dikuantifikasi untuk area yang mengalami sedimentasi dan erosi. Selanjutnya dihitung juga perubahan luasan bersih (*nett*) yang terjadi untuk area Pantai Manggar. Proses ini dilakukan untuk mengkuantifikasi hasil simulasi agar lebih mudah untuk dilakukan perbandingan antar skenarionya.



Gambar 1. Skenario pengujian kinerja bangunan. a) SK0; b) SK1; c) SK2; d) SK3; e) SK4; f) SK5

Hasil Studi dan Pembahasan

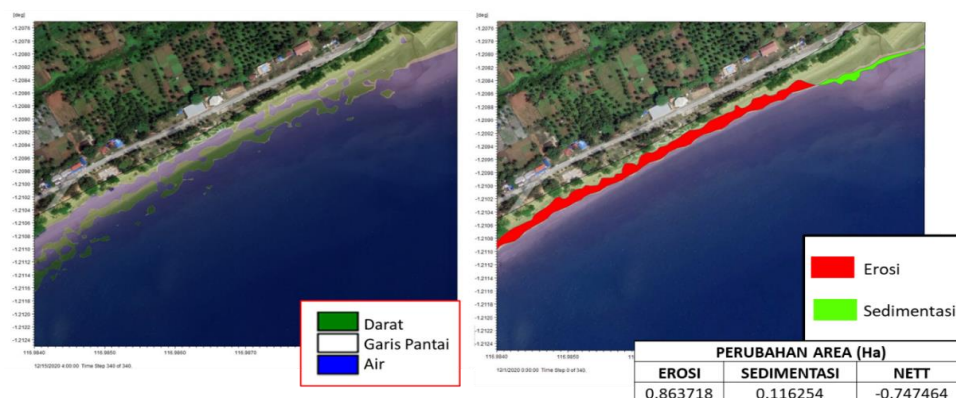
Hasil Simulasi

Kinerja untuk masing – masing skenario disajikan pada Gambar 2 – Gambar 7. Berdasarkan hasil tersebut, diketahui bahwa penggunaan revetmen saja sebagai pengaman hanya akan melindungi garis pantai sehingga tidak mundur. Sedimen

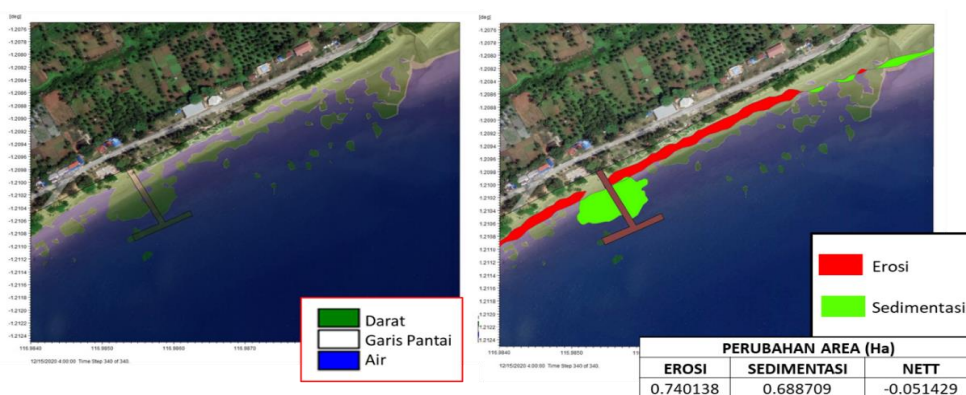
yang ada di bibir pantai tetap berpindah dan menyebabkan area pantai berkurang (Gambar 2). Revetmen ini menjadi garis terakhir perlindungan pantai yang menjaga keberadaan pantai. Hanya saja, revetmen tidak mencegah sedimen di depan pantai berpindah, sedimen akan terus terambil oleh gelombang dan lambat laut akan membuat profil pantai semakin landai dan membentuk berm pada sisi lautnya. Sedimen di bibir pantai yang terambil ini berpotensi untuk menghilangkan pantai pada kondisi pasang. Pada akhirnya, revetmen akan berbatasan langsung dengan air saat kondisi pasang dan aktivitas di pantai hanya bisa dilakukan saat kondisi surut.

Groin ditambahkan untuk mengurangi hilangnya wilayah pantai. Groin-T dipilih akibat kinerjanya yang lebih baik dalam menghadapi gelombang di sesuai dengan kajian yang ada sebelumnya (Van Rijn, 2013; Zhang dkk., 2022), sehingga pada studi ini analisis dilakukan untuk mengetahui konfigurasi groin terbaik.

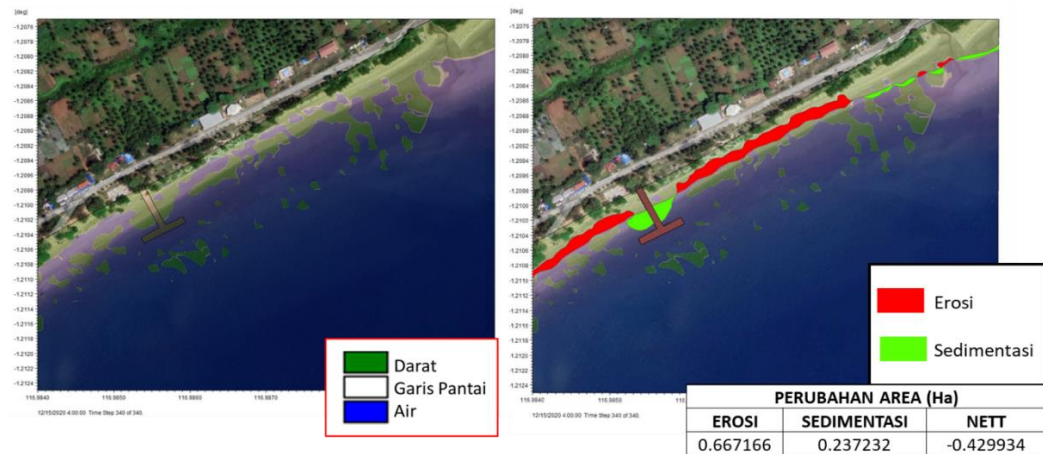
Untuk groin-T tunggal, groin dengan panjang 100 m (Gambar 3) dapat menampung sedimen yang lebih banyak daripada panjang 50 m (Gambar 4). Sedimen yang tertangkap cenderung berada di sekitar groin sedangkan pada sisi *updrift* dan *downdrift* nya masih berkurang. Perbedaannya dapat mencapai 10 kali lipat, namun keduanya masih mencatatkan *nett loss*. Hanya saja, untuk groin 100 m kondisinya cenderung lebih seimbang antara yang hilang dan yang terendapkan.



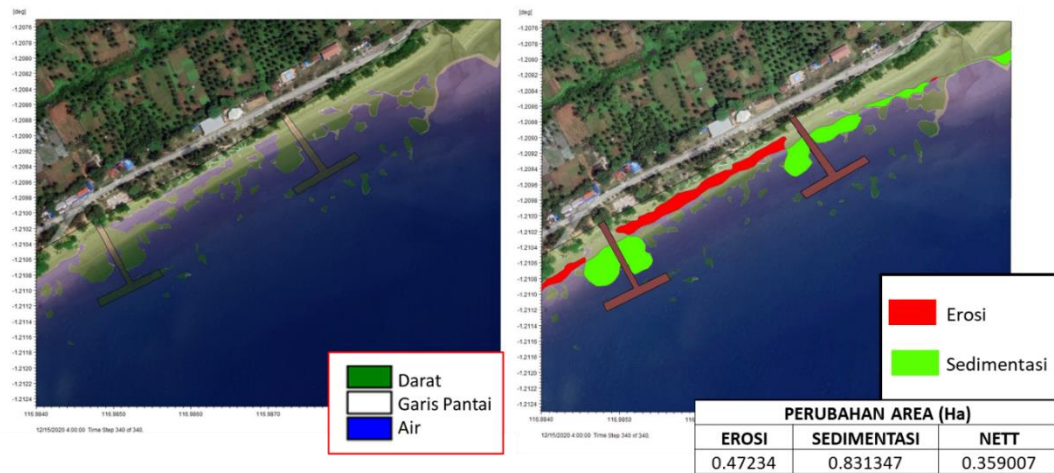
Gambar 2. Perubahan garis pantai skenario SK0 (kiri) dan delineasi area (kanan). Inset: Tabulasi perubahan area



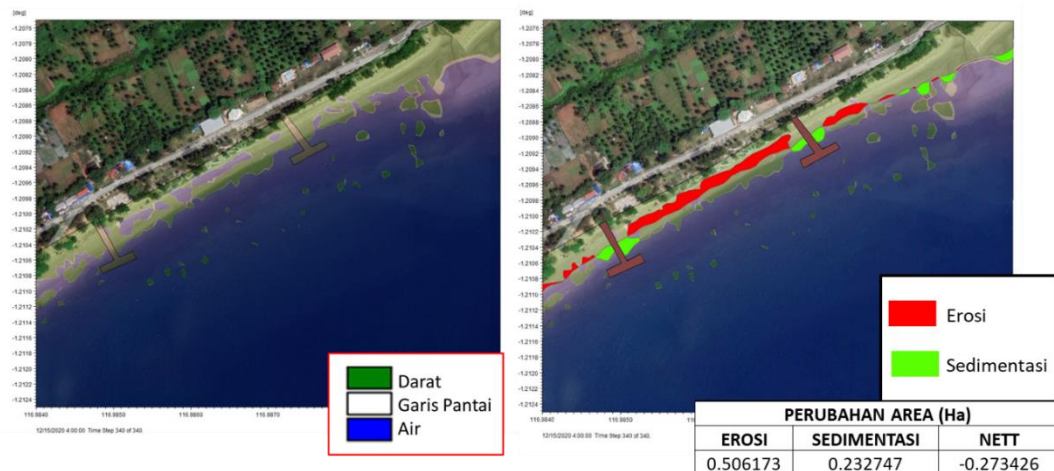
Gambar 3. Perubahan Garis Pantai skenario SK1 (kiri) dan Delineasi Area (kanan). Inset: Tabulasi Perubahan Area



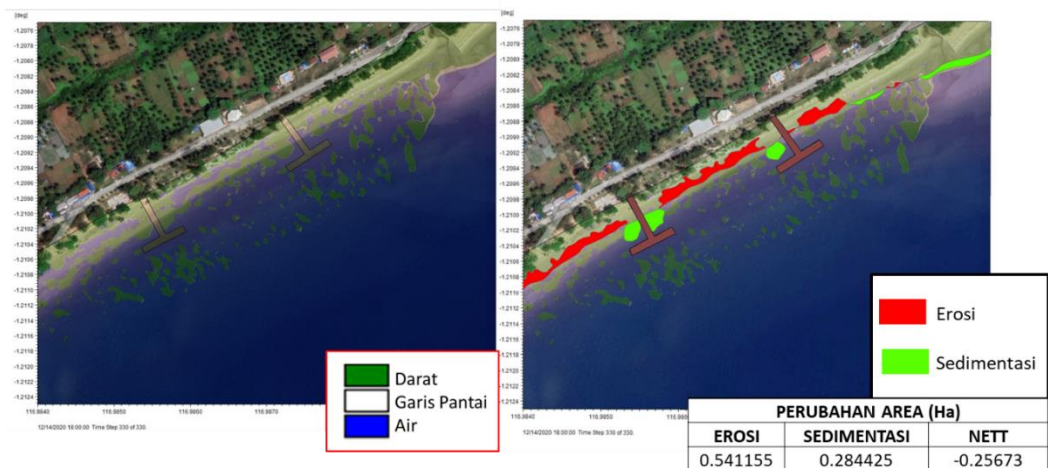
Gambar 4. Perubahan garis pantai skenario sk2 (kiri) dan delineasi area (kanan). Inset: tabulasi perubahan area



Gambar 5. Perubahan garis pantai skenario sk3 (kiri) dan delineasi area (kanan). Inset: tabulasi perubahan area



Gambar 6. Perubahan garis pantai skenario SK4 (kiri) dan delineasi area (kanan). Inset: tabulasi perubahan area



Gambar 7. Perubahan garis pantai skenario SK5 (kiri) dan delineasi area (kanan). Inset: tabulasi perubahan area

Performa lebih baik ditunjukkan untuk konfigurasi groin-T ganda. Secara umum, area yang terdeposisi cenderung sama yaitu di sekitar groin. Akan tetapi, groin T ganda dengan panjang 100 m (Gambar 5) lebih mampu untuk menangkap sedimen di sisi timur pantai. Kinerja groin timur ini lebih baik daripada groin barat yang menyebabkan luasan pantai dengan skenario ini cenderung bertambah. Sedangkan, untuk konfigurasi ganda dengan panjang 50 m (Gambar 6), kinerja kedua groin tersebut cenderung mirip. Hanya menangkap sedimen di sekitar groin saja.

Efek spasi antar groin ditinjau pada skenario selanjutnya (Gambar 7) dengan perbandingan pada groin ganda dengan panjang 50. Secara relatif, perbandingan tersebut merupakan perbandingan jarak pasang 3L (3 kali panjang groin) dan 5L (3 kali panjang groin). Dari hasil ini diketahui bahwa jarak 3L memberikan kinerja yang lebih baik tetapi perbedaannya tidak signifikan. Secara pola perubahan morfologi, keduanya memberikan hasil yang mirip.

Tabel 2. Kinerja relatif bangunan pantai terhadap kondisi awal

Skenario	Keterangan	Luasan Garis Pantai (Ha)	Persentase Perubahan
-	Kondisi awal	2.997958	-
SK0	Revetmen	2.249559	-25.0
SK1	Revetmen + Groin-T 100 m	2.939636	-1.9
SK2	Revetmen + Groin-T 50 m	2.567089	-14.4
SK3	Revetmen + 2 Groin-T 100 m jarak pasang 260 m	3.356047	11.9
SK4	Revetmen + 2 Groin T-50 m jarak pasang 260 m	2.723597	-9.2
SK5	Revetmen + 2 Groin T-50 m jarak pasang 150 m	2.740292	-8.6

Untuk memudahkan perbandingan, hasil simulasi ini dirangkumkan dalam tabel yang menyatakan perbedaan luasan area pantai dibandingkan dengan kondisi awal (Tabel 2). Secara umum, penggunaan revetmen saja berpotensi mengurangi area pantai sampai 25%. Penggunaan groin mampu untuk mengurangi orde luasan yang berkurang dengan penggunaan groin T dengan panjang 100 m merupakan solusi yang lebih efektif. Groin tersebut mampu mengurangi luasan yang hilang sehingga tinggal 2% saja, kemudian dengan pemasangan 2 groin mampu menambah luasan pantai. Penggunaan panjang 50 m menunjukan kinerja yang jauh berbeda. Area pantai masih dapat berkurang di sekitar 8% – 15%. Selain itu efek jarak pemasangan berbeda hanya menghasilkan beda kinerja yang minor, tidak sampai 1%. Perlu dicatat bahwa sebagian besar penambahan luasan terjadi di sekitar groin, pada area pantainya sendiri, garis pantainya masih cenderung berkurang.

Diskusi

Pada dasarnya penggunaan model 2 dimensi dapat mensimulasikan transport pada arah x dan y sehingga perubahan yang terjadi bukan hanya di garis pantai saja. Secara umum, hasil dari model adalah perubahan kedalaman akibat adanya transport tersebut, sehingga hasil yang umumnya dikuantifikasi adalah nilai perubahan kedalaman. Garis pantai merupakan definisi yang diturunkan dari kondisi kontur kedalaman yang ada. Oleh karena itu, untuk dapat mengetahui garis pantai perlu ditentukan garis kontur yang menjadi definisi dari garis pantai tersebut. Pada kasus ini garis pantai didefinisikan pada kontur 0 m MSL, dan untuk membantu identifikasi tersebut legenda warna pada model disederhanakan sehingga terlihat jelas perbedaan blok darat dan blok air. Dari hasil identifikasi tersebut terlihat munculnya daerah - daerah hijau (daratan) di area *offshore* yang dapat diartikan sebagai munculnya *sand bar* di daerah *offshore*. Namun hal tersebut belum tentu merupakan fenomena yang akurat terjadi.

Simulasi secara konstan dan *offline* dari tiap model menghasilkan sebuah *force field* yang konstan untuk kejadian yang disimulasikan. Artinya kejadian di simulasikan pada kondisi awal dan untuk waktu selanjutnya tidak memperhitungkan perubahan yang terjadi di waktu sebelumnya. Gaya yang terjadi dianggap konstan dengan kondisi batas dan awal yang konstan pula serta tidak ada umpan balik yang terjadi. Akibatnya ada error numerik yang terbentuk dan akan semakin besar seiring berjalannya waktu bila umpan balik ini merupakan hal yang signifikan. Untuk hubungan gelombang dan pola arus hal tersebut tidak menjadi masalah karena simulasi diatur pada satu kejadian konstan. Pada akhirnya transformasi gelombang dan pola aliran akan mencapai kondisi steady dan error numerik yang ada tidak akan banyak mengubah kondisi ini. Namun, pada kasus angkutan yang memberikan respon morfologi, error akan terbentuk dengan cepat terutama dengan adanya *speed-up factor* yang bersifat multiplikatif linear.

Pada simulasi *online*, perubahan morfologi akan direspon dengan perubahan pola transformasi gelombang dan pola aliran. Sebagai contoh, dengan adanya pendangkalan, gelombang yang merambat cenderung mengecil yang menyebabkan arus pun mengecil. Dengan mengecilnya arus maka transport akan mengecil juga dan respon morfologi menjadi lambat. Hal tersebut terus terjadi sampai akhirnya

daerah menjadi kering dan tidak mampu dilalui aliran. Akan tetapi, pada simulasi *offline* hal tersebut tidak terjadi. Gelombang, arus, dan transport tidak berubah akibat perubahan morfologi, sehingga titik yang tersedimentasi atau tererosi akan terus mengalami kejadian tersebut dengan laju yang sama. Error seperti ini yang perlu diperhatikan dalam analisis hasil simulasi *offline*.

Berdasarkan hal tersebut, penilaian kuantitatif yang berasal langsung dari keluaran model seperti perubahan kedalaman, rentan terhadap nilai *error* yang besar. Sehingga jika tidak ada data pembanding untuk validasi model, nilai kuantitatif ini tidak dapat dipercaya begitu saja. Alternatifnya, evaluasi model dilakukan secara kualitatif dengan meninjau tendensi perubahan yang terjadi yang digabungkan dengan pemahaman yang baik untuk menentukan hal yang wajar terjadi.

Kemudian, dalam hal evaluasi kinerja untuk berbagai macam skenario, suatu kuantifikasi disarankan untuk tetap dilakukan meskipun menggunakan pendekatan kualitatif karena perbandingan antar skenario kualitatif akan sulit dilakukan jika perbedaan yang terjadi tidak kasat mata. Metode yang disarankan adalah dengan membandingkan skenario uji dengan skenario *benchmark* yang pada kasus ini adalah SK0. Parameter yang dikuantifikasi bersifat subjektif tergantung definisi oleh pemodel namun harus masih dapat terkontrol. *Engineering common sense* sangat diperlukan pada tahap ini sehingga parameter kontrol yang dipilih adalah hal yang wajar. Pada kasus ini, perbandingan dilakukan terhadap luas daratan di belakang garis pantai terhadap suatu garis bantu imajiner. Dengan pendekatan ini respon dari tiap skenario dapat lebih mudah dievaluasi.

Secara kualitatif, pola yang terbentuk di sekitar groin menunjukkan pola yang mirip dengan pola teoritis, sehingga metode skematisasi ini masih cukup baik untuk memperkirakan pola perubahan yang terjadi. Dengan melakukan kuantifikasi untuk tiap skenario kualitatif ini, perbandingan kinerja dari tiap skenario lebih mudah untuk diidentifikasi sehingga memudahkan dalam proses penarikan kesimpulan.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Simulasi dengan metode skematisasi ini mampu mempersingkat dan menghemat sumber daya simulasi dengan menyederhanakan proses fisik yang dihitung serta mengurangi interaksi antar model sehingga jumlah perhitungan yang dilakukan berkurang secara signifikan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa perubahan garis pantai pada metode ini menunjukkan pola yang mirip dengan pola teoritis. Model dapat memprediksi daerah berpotensi mengalami perubahan morfologi, baik itu tererosi atau tersedimentasi. Dengan melakukan simulasi bangunan pantai, teramati bahwa respon morfologi pada model cukup sensitif terhadap jenis bangunan yang digunakan. Pada penggunaan revetmen, sedimen yang ada di bibir pantai tetap berpindah terambil oleh arus dan membuat profil pantai semakin landai dan membentuk berm pada sisi lautnya akibat arah datang gelombang yang cenderung tegak lurus pantai. Kemudian, simulasi menggunakan groin T menunjukkan pola perubahan morfologi yang lebih kompleks dengan terbentuknya sedimentasi di sekitar groin yang bervariasi tergantung dimensi dan penempatan bangunan.

Berdasarkan hasil ini, pemodelan garis pantai dengan skematisasi 2D cukup baik untuk memperkirakan pola perubahan yang terjadi akibat keberadaan bangunan pantai. Namun, masih teramati hasil yang tidak realistis akibat efek dari tidak adanya umpan balik dari perubahan morfologi terhadap respon hidrodinamika sehingga nilai yang dikeluarkan dari model tidak dapat digunakan begitu saja. Oleh karena itu penggunaan pendekatan kualitatif lebih tepat untuk evaluasi kinerja skema ini. Namun, ketika terdapat skenario uji yang dibandingkan, penilaian kualitatif saja akan sulit untuk menjelaskan performa dari tiap skenario. Kuantifikasi relatif dari suatu parameter sebaiknya digunakan untuk mempermudah proses evaluasi. Pada kasus ini, perubahan luas di daerah darat menjadi parameter yang digunakan. Dengan terjadinya perubahan garis pantai, penggunaan revetmen saja dievaluasi menyebabkan area pantai berkurang sampai 25%. Penambahan groin-T menunjukkan bahwa pengurangan area dapat diminimalisir. Groin-T dengan panjang 50 m menyebabkan area pantai berkurang sebanyak 8% – 15% dan Groin-T dengan panjang 100 m lebih efektif dengan hanya sekitar 2% area pantai yang berkurang. Berdasarkan kriteria evaluasi tersebut, disimpulkan bahwa groin-T dengan panjang 100 m adalah bangunan yang sebaiknya digunakan.

Saran

Skematisasi pemodelan 2 dimensi ini menekankan pada simulasi secara *offline/uncoupled* sehingga tidak memperhitungkan umpan balik dari respon model terhadap proses fisik yang terjadi yang dapat menyebabkan munculnya respon morfologi yang tidak wajar. Pendekatan ini lebih baik digunakan untuk analisis kualitatif dan dilakukan oleh pemodel yang memiliki pemahaman yang baik untuk dapat menginterpretasikan hasil model dengan benar. Peningkatan akurasi dapat dilakukan dengan proses validasi.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada Balai Teknik Pantai dan Bappeda Litbang Kota Balikpapan yang telah membantu dalam penyediaan data dan pengukuran di lapangan sehingga kajian ini dapat diselesaikan. Semoga tulisan ini dapat digunakan sebagai rujukan dalam penanganan erosi di Pantai Manggar.

Daftar Referensi

- Arjasakusuma, S., Kusuma, S.S., Saringatin, S., Wicaksono, P., Mutaqin, B.W. and Rafif, R., (2021). Shoreline dynamics in East Java Province, Indonesia, from 2000 to 2019 using multi-sensor remote sensing data. *Land*, 10(2):1–17.
- Azhar, R. M., Suprpto, Gemilang, R. I. A., Prasetyo, A., (2018). Skematisasi Penanganan Erosi Pantai. *Prosiding PIT HATHI* 35.
- Do, J.D., Jin, J.-Y., Jeong, W.M., Lee, B., Choi, J.Y. and Chang, Y.S., (2021). Collapse of a coastal revetment due to the combined effect of anthropogenic and natural disturbances. *Sustainability*, 13(7):3712.
- DPMPT Pemkot Balikpapan, 2023. *Pantai Manggar*. <http://investasi.balikpapan.go.id/halaman/detail/pantai-manggar>. [diakses pada tanggal 10 Mei 2023].

- Hanson, H., (1989). GENESIS: a generalized shoreline change numerical model. *Journal of Coastal research*, pp:1–27.
- Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi, (2020). *Rencana Strategis Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi Tahun 2020 - 2024*. Jakarta.
- Kementerian PUPR, (2021). *SE Dirjen Sumber Daya Air Kementerian PUPR No 11/SE/D/2021 tentang Pedoman Kriteria Perencanaan Pengaman Pantai*. Jakarta.
- Van Koningsveld, M., Van Kessel, T. and Walstra, D.J.R., (2006). A hybrid modelling approach to coastal morphology. *Coastal Dynamics 2005 - Proceedings of the Fifth Coastal Dynamics International Conference*,:1–11.
- Leach, C., Coulthard, T., Barkwith, A., Parsons, D.R. and Manson, S., (2021). The Coastline Evolution Model 2D (CEM2D) V1.1. *Geoscientific Model Development*, 14(9):5507–5523.
- Van Rijn, L.C., (2011). Coastal erosion and control. *Ocean & Coastal Management*, 54(12):867–887.
- Van Rijn, L.C., (2012). *Coastal Erosion based on the concept of sediment cells*. <https://www.leovanrijn-sediment.com/papers/Coastalerosion2012.pdf> [diakses pada tanggal 1 Mei 2023].
- Van Rijn, L.C., (2013). *Design of hard coastal structures against erosion*. <https://www.leovanrijn-sediment.com/papers/Coastalstructures2013.pdf> [diakses pada tanggal 1 Mei 2023].
- Roelvink, D., Walstra, D.-J., Roelvink, J.A. and Walstra, D.-J., (2004). Keeping It Simple By Using Complex Models. *Advances in Hydro-Science and – Engineering*, VI(August):1–11.
- Sulaiman, D.M., Triweko, R.W. and Yudianto, D., (2011). Dampak peningkatan badai tropis terhadap erosi pantai di Pulau Bali. *Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) XXVIII. Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HATHI)*. 28-30 Oktober 2011, Ambon.
- Sutikno, S., Handoyo, D.P., Fauzi, M. and Murakami, K., (2016). Model Numerik Untuk Simulasi Alternatif Perlindungan Pantai Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Proceedings ACES (Annual Civil Engineering Seminar)*, 1(2004):227–234.
- Triatmadja, R., (2016). *Model Matematik Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmodjo, B., (2012). *Perencanaan Bangunan Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Yan, G., Ruoyu, T., Lijun, Y. and Tao, J., (2021). Long-term evolution analysis of coastal geomorphology in Jiangsu based on Google Earth Engine. *Journal of Physics: Conference Series*, 2006(1).
- Zhang, L., Xu, J., Zhang, F., Cai, A. and Song, Z., (2022). Numerical simulation of hydraulic characteristics of an upstream wing submerged T-shaped groyne. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 49(10):1655–1668.

VALIDASI AKURASI DATA CURAH HUJAN PER-JAM GSMAP MENGGUNAKAN ARR TERSEBAR DI SULAWESI SELATAN

Muhammad Rifaldi Mustamin^{1*}, Farouk Maricar²,
Rita Tahir Lopa², Riswal Karamma²

¹Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin

²Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin

*aldirifal09@gmail.com

Pemasukan: 10 September 2023 Perbaikan: 9 Nopember 2023 Diterima: 14 Nopember 2023

Intisari

Data hujan adalah kebutuhan yang sangat penting dalam berbagai kegiatan. Adanya keterbatasan sebaran titik stasiun hujan menyebabkan keterbatasan data hujan di suatu daerah. Salah satu alternatif untuk mengatasi keterbatasan tersebut adalah penggunaan data satelit seperti GSMaP. Untuk mendukung penggunaan data curah hujan satelit di suatu daerah, maka perlu dilakukan pengujian akurasi data untuk mengetahui karakteristik error yang dihasilkan. Tujuan dari penelitian ini untuk memvalidasi tingkat akurasi data curah hujan skala jam - jaman GSMaP dalam mengestimasi curah hujan di wilayah Indonesia khususnya di Provinsi Sulawesi Selatan berdasarkan data ARR. Metode validasi akurasi dalam penelitian ini menggunakan koefisien korelasi, *Root Mean Square Error* (RMSE), dan *Relative Bias* (RB) yang dilakukan berdasarkan klasifikasi kelas hujan, yaitu ringan, sedang, lebat, dan sangat lebat. Hasil dari validasi akurasi menunjukkan bahwa data curah hujan satelit GSMaP dan data curah hujan terukur pada skala jam-jaman memiliki hubungan yang kuat dibuktikan dengan nilai koefisien korelasi 0,6–0,9. Jika ditinjau dari nilai RB dan RMSE, maka data hujan GSMaP pada intensitas hujan ringan cenderung *over-estimated* dari data hujan terukur, kemudian cenderung *under-estimated* pada intensitas hujan sedang hingga sangat lebat. Secara umum, data curah hujan satelit GSMaP masih memiliki *error* terhadap data pengamatan meskipun kemampuan mendeteksi curah hujannya sudah baik. Hal ini menunjukkan data curah hujan GSMaP dapat diandalkan untuk estimasi curah hujan di wilayah yang tidak memiliki titik pengamatan, namun pada daerah yang memiliki data terukur tetapi panjang data terbatas sebaiknya data satelit tersebut dilakukan koreksi/kalibrasi terlebih dahulu karena masih terdapat *error*.

Kata Kunci: Akurasi, ARR, Curah hujan, GSMaP, Validasi

Latar Belakang

Indonesia adalah salah satu negara tropis yang memiliki intensitas curah hujan yang sangat rendah pada saat musim kemarau yang dapat menyebabkan kekeringan dan intensitas curah hujan yang sangat tinggi pada saat musim hujan yang dapat menyebabkan banjir (Karamma dan Pallu, 2018; Mustamin dkk., 2021).

Ketersediaan data curah hujan yang *real time* dan akurat sangat diperlukan sebagai dasar dalam prediksi cuaca ekstrim, simulasi hidrologi, monitoring banjir, kekeringan, klimatologi, dan agrikultur (Karamma dkk., 2022; Mustamin dkk., 2023; Suleman dkk., 2021).

Data curah hujan dapat diperoleh dari alat penakar curah hujan baik yang manual ataupun otomatis yang terdapat di pos stasiun hujan (Fadlin dkk., 2022). WMO (World Meteorological Organization) telah mengatur terkait ketentuan pendirian lokasi stasiun hujan, tetapi karena biaya pendirian dan operasional yang besar serta topografi yang sulit seperti daerah pegunungan mengakibatkan keterbatasan jumlah stasiun hujan. Hal tersebut terjadi di banyak daerah khususnya di Indonesia yang hingga saat ini masih kurang alat penakar hujan yang tersebar merata dan pada umumnya masih menggunakan pos penakar hujan manual yang rentan terhadap kesalahan pencatatan data (Marta dkk., 2023). Keterbatasan sebaran stasiun hujan menyebabkan analisis dan prediksi curah hujan yang sebenarnya jatuh di bumi sulit dilakukan (Partarini dkk., 2021).

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka diperlukan alternatif lain untuk dapat memperoleh data curah hujan. Saat ini, perkembangan teknologi dalam bidang meteorologi dan klimatologi sangat pesat yang memungkinkan satelit produk sudah dapat dilakukan pengukuran data curah hujan secara temporal dan spasial (Pratama dkk., 2022). Namun penggunaan data satelit masih perlu divalidasi terhadap data yang terukur di lapangan sehingga dapat dievaluasi akurasi (Natadireja dkk., 2018). Hal tersebut diperlukan karena adanya kondisi ketidakpastian data satelit pada saat menghasilkan data curah hujan disebabkan karena adanya *error* pada saat pengambilan sampel, *error* yang dihasilkan dari instrumen, dan *error* pada algoritma yang digunakan (Liu dkk., 2020).

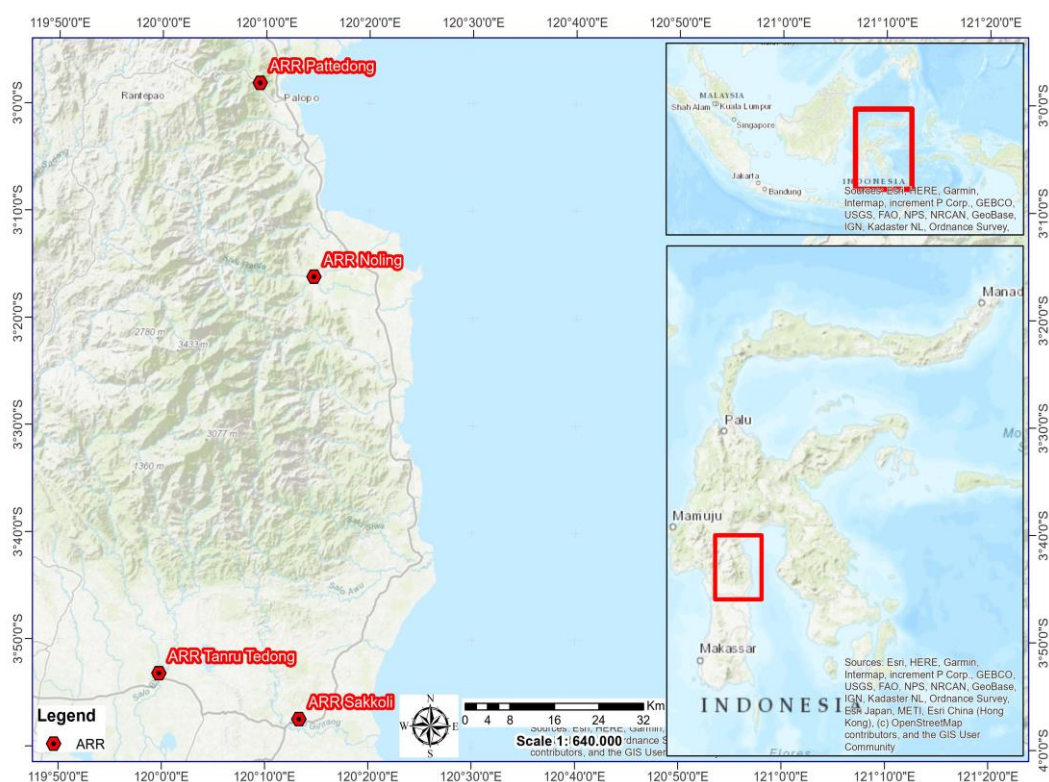
Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) merupakan salah satu satelit yang dapat dijadikan sumber data hujan di Indonesia. GSMaP merupakan sebuah proyek yang saat ini dikelola oleh Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). GSMaP mengkombinasikan beberapa data hasil pengamatan multi satelit (NOAA, DMSP, Aqua, dan TRMM) dan algoritma (McCollum dan Ferraro, 2003; Liu dkk., 2020). Kelebihan lain dari GSMaP adalah memiliki resolusi temporal 1 jam, memiliki resolusi spasial 0,1° atau 11,06 km dan data hujan dapat diperoleh di seluruh dunia mulai dari tahun 2000 hingga sekarang (Kubota dkk., 2007). Penggunaan data curah hujan GSMaP di Indonesia adalah suatu hal yang sangat menguntungkan, melihat Indonesia memiliki wilayah yang sangat luas, pola curah hujan yang bervariasi, dan kurangnya alat panakar hujan terukur tersebar di Indonesia. Namun, untuk mendapatkan tingkat akurasi yang tinggi untuk data satelit tetap memerlukan validasi dalam penggunaannya (Natadireja dkk., 2018).

Saat ini penelitian tentang data hujan satelit GSMaP sudah beberapa kali dilakukan tetapi kebanyakan pada tingkat akurasi data hujan harian dan bulanan (Pratama dkk., 2022). Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian lanjutan dengan resolusi temporal lebih tinggi yaitu data curah hujan per-jam sehingga dapat diketahui tingkat akurasi GSMaP saat hujan ringan hingga ekstrim. Tujuan dari penelitian ini untuk memvalidasi tingkat akurasi data curah hujan skala jam - jaman GSMaP

dalam mengestimasi curah hujan di wilayah Indonesia khususnya di Provinsi Sulawesi Selatan berdasarkan data *Automatic Rainfall Recorder* (ARR). Selanjutnya data curah hujan GSMap dapat dijadikan alternatif pilihan data curah hujan pada suatu perencanaan dan pengelolaan sumber daya air terutama pada daerah yang minim stasiun hujan atau wilayah terpencil.

Metodologi Studi

Penelitian ini dilakukan di Provinsi Sulawesi Selatan, Indonesia yang mempunyai data pengamatan terukur berupa ARR. Lokasi penelitian terdiri dari 4 titik yaitu ARR Tanru Tedong, ARR Noling, ARR Pattedong, dan ARR Sakkoli yang tersebar di Kabupaten Sidrap, Kabupaten Luwu, dan Kabupaten Wajo. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Data hujan stasiun ARR diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan Jeneberang, sedangkan data curah hujan satelit GSMap dapat diperoleh dengan cara mengakses <https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMap/>. Analisis awal yang perlu dilakukan yaitu uji kualitas data terhadap data curah hujan ARR. Uji tersebut bertujuan untuk mengetahui apakah data layak untuk digunakan untuk analisis selanjutnya. Salah satu pengujian yang digunakan untuk uji kualitas data, yaitu uji kepanggaan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). Setelah kualitas data ARR memenuhi, selanjutnya kedua data curah hujan tersebut disandingkan untuk menentukan tingkat akurasi data hujan per-jam dari GSMap. Penelitian dilakukan berdasarkan klasifikasi kelas hujan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan

Geofisika yaitu hujan ringan (5 – 20 mm/hari), hujan sedang (20 – 50 mm/hari), hujan lebat (50 – 100 mm/hari), dan hujan sangat lebat (100 - 150 mm/hari) (Rahman dan Indra, 2020). Atas dasar itu dapat diketahui keakuratan dari pengamatan curah hujan GSMap pada masing – masing kelas hujan.

Secara singkat penelitian ini dilaksanakan dengan 3 tahapan, yaitu tahap pengumpulan data, pengklasifikasian kelas hujan, dan validasi akurasi menggunakan koefisien korelasi (R), *Root Mean Square Error* (RMSE), dan *Relative Bias* (RB).

Koefisien Korelasi

Analisis korelasi adalah salah satu metode statistik yang bertujuan untuk mencari kekuatan hubungan antara 2 variabel dengan nilai berkisar 0 – 1 (Nomleni dkk., 2021). Interpretasi nilai koefisien korelasi 0 – 0,19 yaitu sangat rendah, 0,2 – 0,39 yaitu rendah, 0,4 – 0,59 yaitu sedang, 0,6 – 0,79 yaitu kuat, dan 0,8 – 1,0 yaitu sangat kuat.

$$R = \frac{N \sum_{i=1}^N P_i Q_i - \sum_{i=1}^N P_i \times \sum_{i=1}^N Q_i}{\sqrt{N \sum_{i=1}^N P_i^2 - (\sum_{i=1}^N P_i)^2} \sqrt{N \sum_{i=1}^N Q_i^2 - (\sum_{i=1}^N Q_i)^2}} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

Pi = data terukur (data stasiun ARR),

Qi = data perkiraan (data satelit),

N = banyaknya data.

Root Mean Square Error (RMSE)

Analisis RMSE bertujuan untuk mengetahui seberapa besar penyimpangan korelasi/kesalahan antara dua variabel yaitu data terukur dan data perkiraan. Apabila nilai RMSE semakain kecil (mendekati nol), maka nilai perkiraan semakin mendekati nilai terukur yang artinya tingkat kesalahan semakin kecil atau semakin akurat (Fadholi, 2013).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - Q_i)^2}{N}} \dots\dots\dots (2)$$

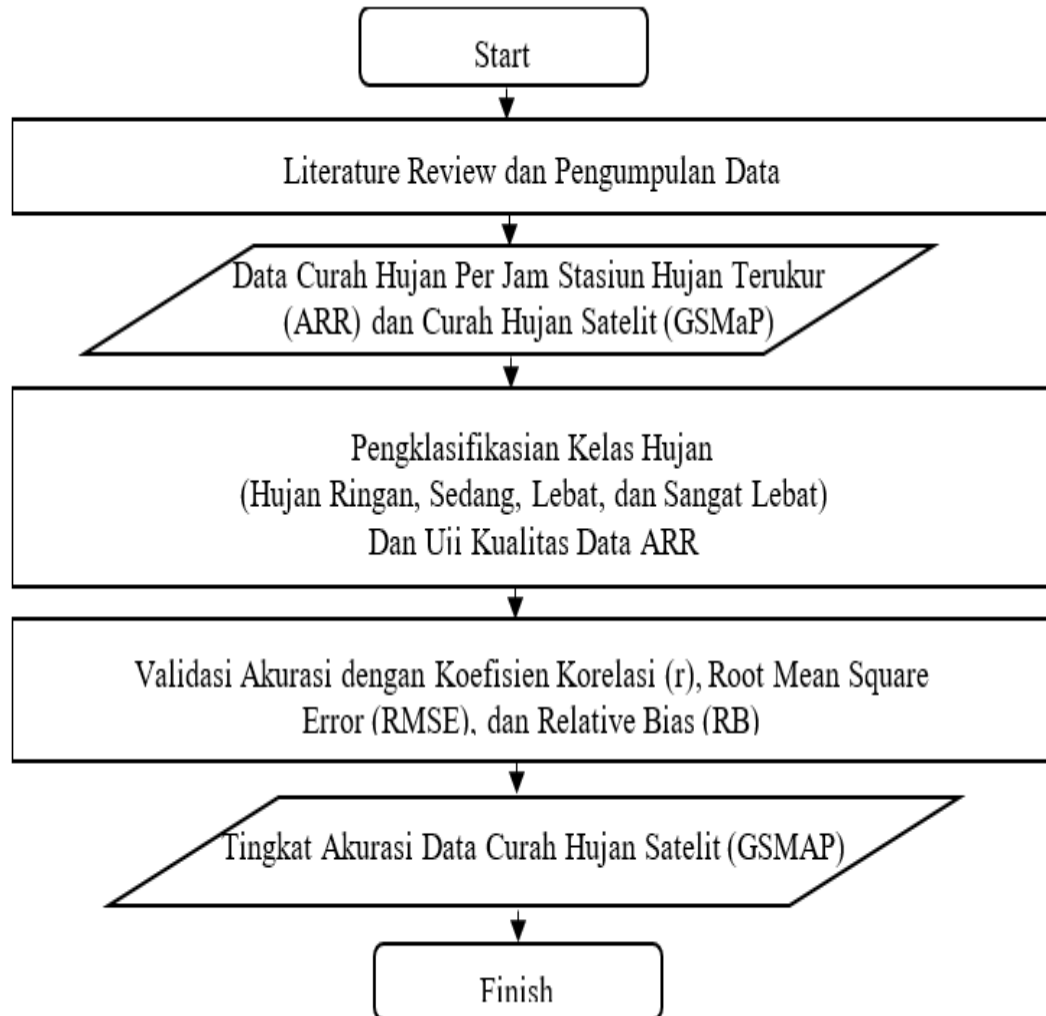
Relative Bias (RB)

RB merupakan nilai bias yang bertujuan untuk mengetahui perbandinga antara besarnya nilai dari variabel yang satu dengan variabel lainnya yang dianggap sebagai patokan variabel sebenarnya. Apabila RB bernilai positif maka data terukur memiliki nilai yang lebih besar bila dibandingkan dengan data perkiraan, begitupun sebaliknya apabila nilai RB bernilai negatif (Fadholi, 2013).

$$RB = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - Q_i)}{\sum_{i=1}^N P_i} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

Alur Penelitian

Secara umum alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur penelitian

Hasil Studi dan Pembahasan

Tahap pertama yang dilakukan adalah pengklasifikasian data curah hujan yang tersedia dari ARR berdasarkan kelas hujan. Rekapitulasi ketersediaan data curah hujan dari ke 4 titik ARR di Sulawesi Selatan yang telah diklasifikasikan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi data hujan ARR tersebar di Sulawesi Selatan

Stasiun	Tanggal	Jam (WITA)	Kelas Hujan
Stasiun Tanru Tedong	15 April 2018	21.00 - 23.00	Ringan
	16 April 2018	00.00 - 23.00	Ringan
	23 April 2018	19.00 - 23.00	Ringan
	24 April 2018	00.00 - 23.00	Ringan
	17 Mei 2018	00.00 - 23.00	Ringan
	26 Mei 2018	00.00 - 23.00	Sedang
	29 Juni 2018	20.00 - 23.00	Ringan
	30 Juni 2018	00.00 - 23.00	Ringan
	1 Juli 2018	00.00 - 23.00	Ringan
	3 Mei 2021	00.00 - 23.00	Sedang
	13 Juni 2021	00.00 - 23.00	Ringan
	29 Juni 2021	00.00 - 23.00	Sedang
	7 Juli 2021	22.00 - 23.00	Sangat Lebat
	8 Juli 2021	00.00 - 23.00	Sangat Lebat
	17 Juli 2021	00.00 - 23.00	Lebat
Stasiun Sakkoli	16 April 2018	00.00 - 23.00	Ringan
	12 Juni 2018	00.00 - 23.00	Ringan
Stasiun Noling	22 Januari 2021	00.00 - 23.00	Sedang
	13 Februari 2021	00.00 - 23.00	Ringan
	16 Maret 2021	23.00	Sedang
	17 Maret 2021	00.00 - 23.00	Sedang
	18 Maret 2021	00.00 - 23.00	Ringan
	25 Juni 2021	00.00 - 23.00	Ringan
	26 Juni 2021	00.00 - 23.00	Ringan
	7 Juli 2021	00.00 - 23.00	Ringan
	14 Juli 2021	00.00 - 23.00	Sedang
Stasiun Pattedong	22 Februari 2021	00.00 - 23.00	Ringan
	4 Maret 2021	00.00 - 23.00	Ringan
	18 Maret 2021	00.00 - 23.00	Ringan

Tabel 1 menunjukkan bahwa dari keempat stasiun ARR terdapat 19 hari data hujan kelas ringan, 7 hari data hujan kelas sedang, 1 hari data hujan kelas lebat dan 2 hari data hujan kelas sangat lebat. Data yang telah diklasifikasikan selanjutnya dilakukan uji kepenggahan dengan metode RAPS dengan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 2.

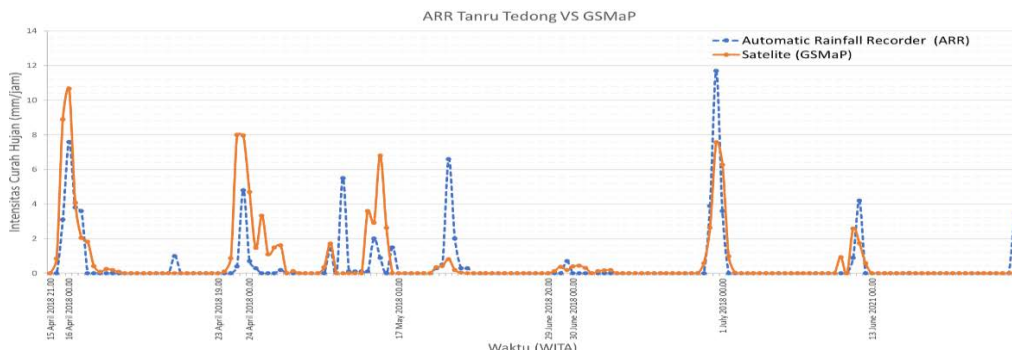
Tabel 2. Uji Kepenggahan Metode RAPS

Nilai hitung	Nilai kritis	Keterangan
$Q/(n0,5) = 4,19$	$Q/(n0,5) = 6,67$	Memenuhi
$R/(n0,5) = 6,73$	$R/(n0,5) = 7,73$	Memenuhi

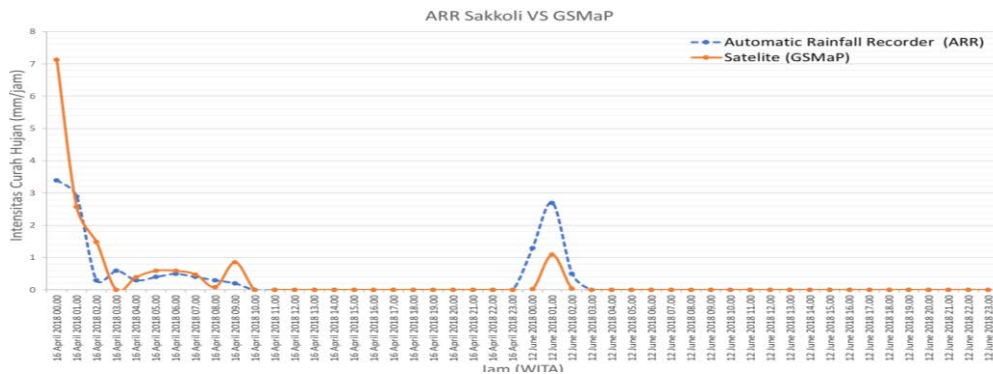
Tabel 2 menunjukkan hasil analisis kepenggahan yang diperoleh bahwa nilai $Q/(n0,5)$ hitung dan $R/(n0,5)$ hitung lebih kecil dari nilai $Q/(n0,5)$ kritis dan $R/(n0,5)$ kritis dengan derajat kepercayaan 95%, berarti data memenuhi syarat dan dapat digunakan.

Validasi Akurasi Data Curah Hujan

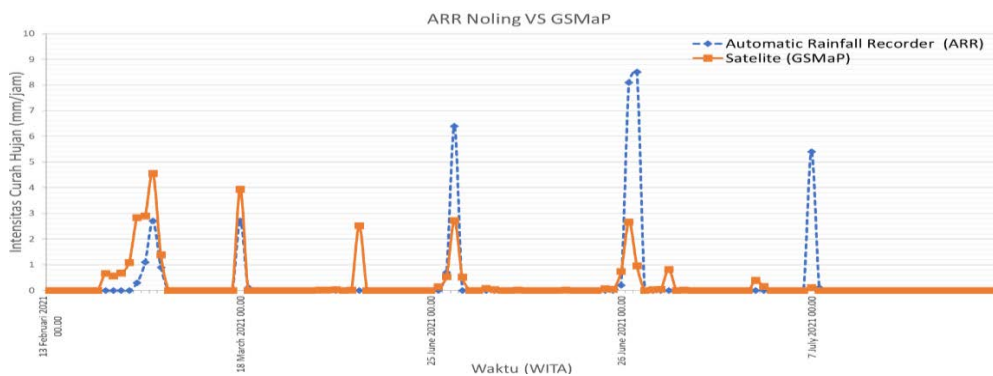
Data curah hujan terukur (ARR) dan data curah hujan satelit GSMaP divisualisasi dalam grafik dan dihitung tingkat akurasi dengan uji statistik. Grafik data curah hujan ARR dan hujan satelit GSMaP dapat dilihat pada Gambar 3, 4, 5, dan 6.



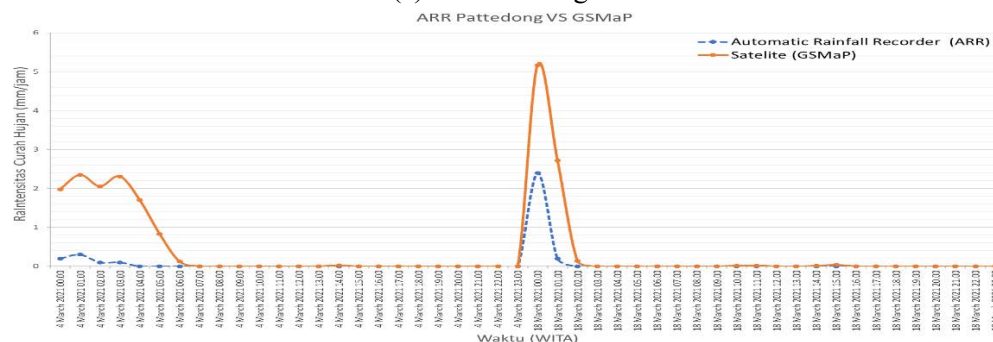
(a) ARR Tanru Tedong VS GSMaP



(b) ARR Sakkoli VS GSMaP

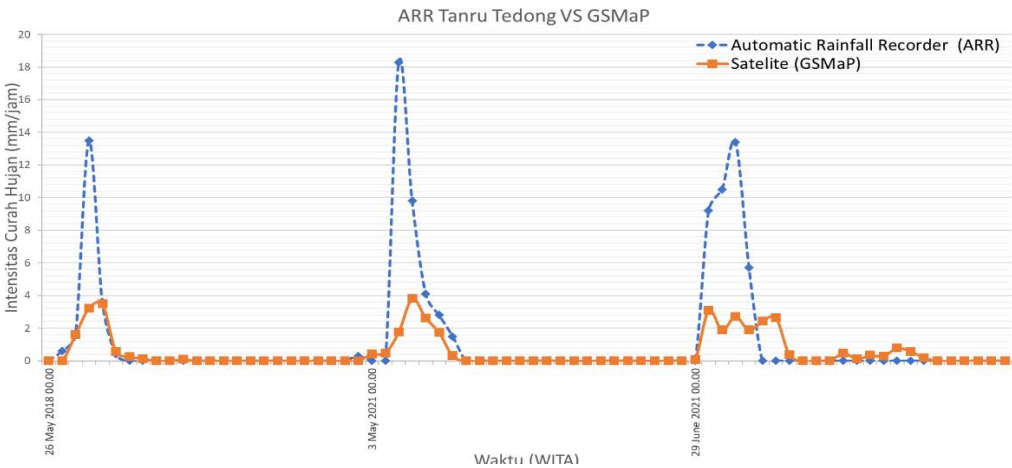


(c) ARR Noling VS GSMaP

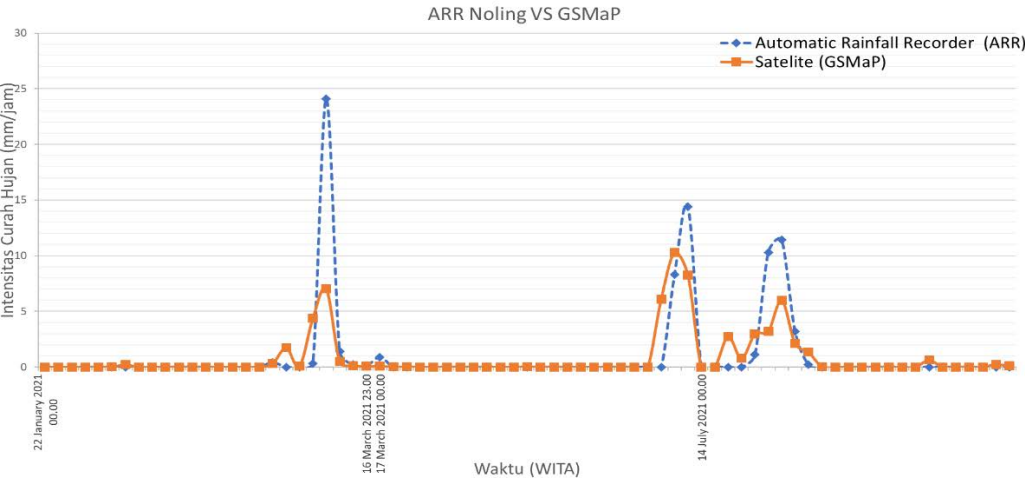


(d) ARR Pattedong VS GSMaP

Gambar 3. Grafik curah hujan jam-jam pada intensitas hujan kelas ringan

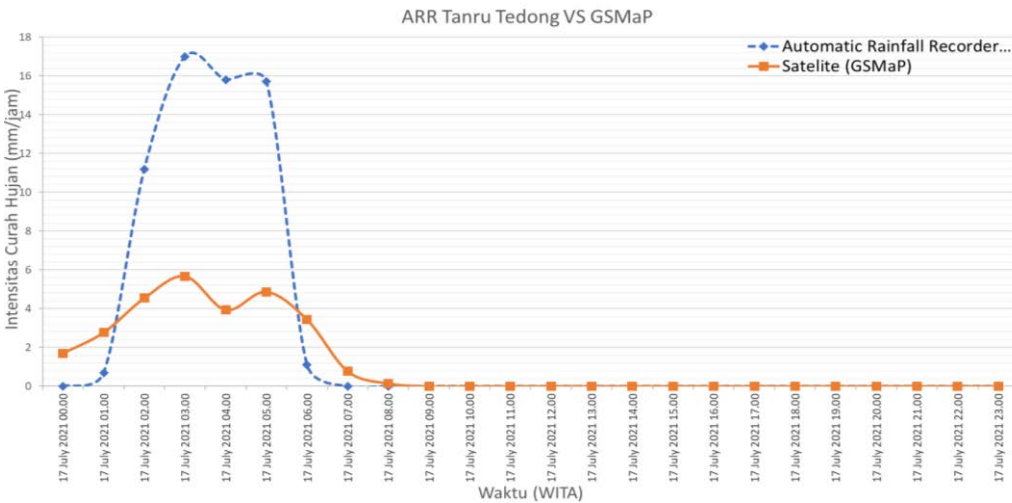


(a) ARR Tanru Tedong VS GSMaP

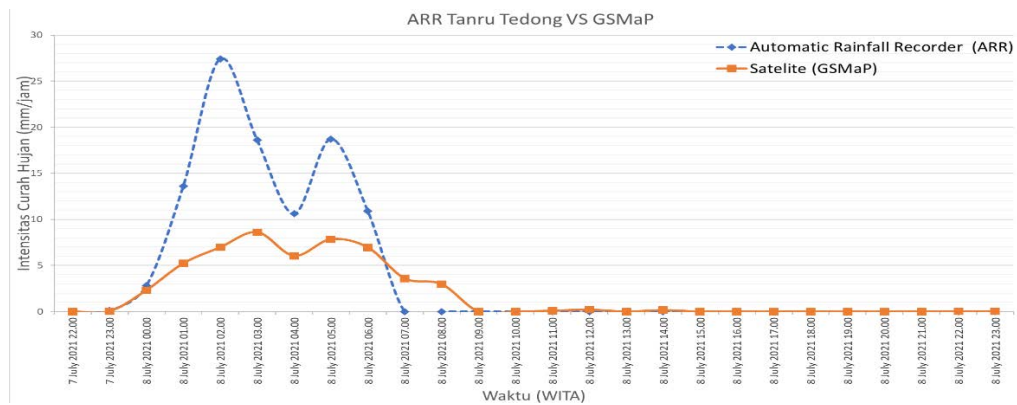


(b) ARR Noling VS GSMaP

Gambar 4. Grafik curah hujan jam-jaman pada intensitas hujan kelas sedang

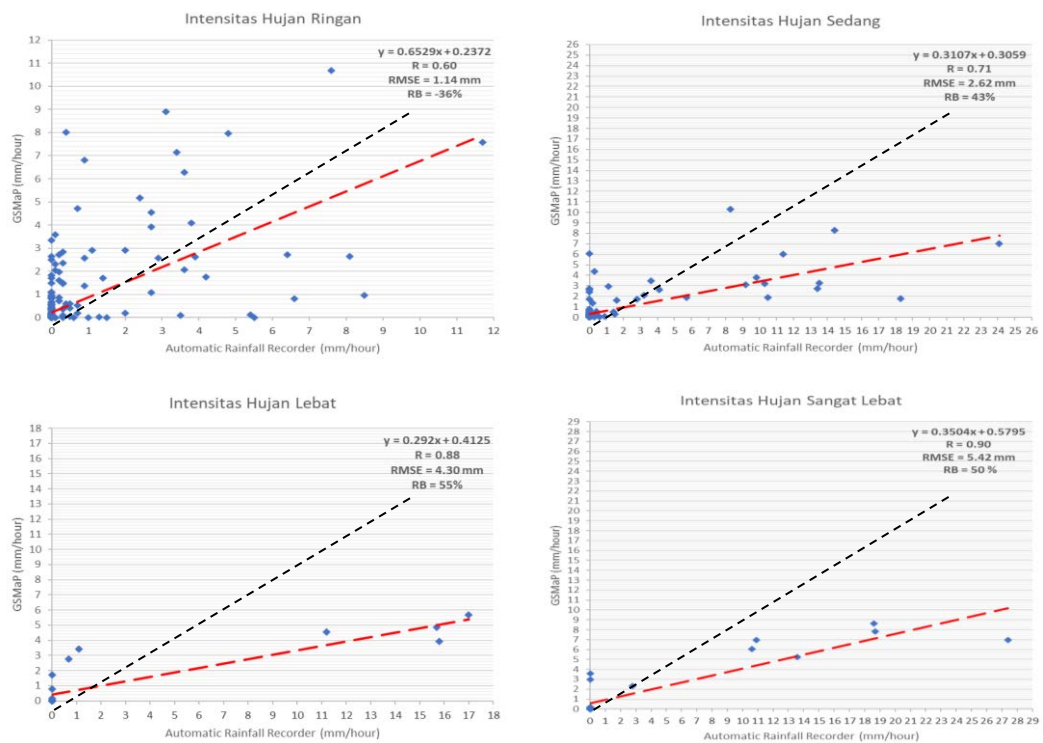


Gambar 5. Grafik curah hujan jam-jaman pada intensitas hujan kelas lebat



Gambar 6. Grafik curah hujan jam-jaman pada intensitas hujan kelas sangat lebat

Gambar 3,4,5 dan 6 menunjukkan bahwa adanya perbedaan data curah hujan terukur dan satelit. Beberapa penelitian mengungkapkan bahwa perbedaan ini terjadi karena adanya kesalahan sensor dan algoritma pengambilan dari satelit (Sadeghi dkk., 2019; Tang dkk., 2015). Data curah hujan jam-jaman satelit GSMap cenderung *under-estimated* terhadap curah hujan terukur (ARR) pada intensitas sedang, lebat dan sangat lebat, serta memiliki pola naik turun yang relatif sama. Selanjutnya untuk melihat tingkat akurasi maka dilakukan pengujian koefisien korelasi (r), RMSE, dan (RB). Hasil uji akurasi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Uji statistik akurasi data curah hujan gsmap berdasarkan intensitas hujan

Gambar 7 menunjukkan bahwa semakin tinggi intensitas hujan maka semakin tinggi nilai korelasi data GSMap terhadap data terukur. Nilai korelasi pada

intensitas hujan ringan sebesar 0,60 (kuat), intensitas hujan sedang sebesar 0,71 (kuat), intensitas hujan lebat sebesar 0,88 (sangat kuat), dan intensitas hujan sangat lebat 0,90 (sangat kuat).

Jika ditinjau dari nilai RB dan RMSE maka data hujan GSMaP pada intensitas hujan ringan cenderung *over-estimated* dari data hujan terukur sebesar 36 % dengan *error* tertinggi sebesar 1,14 mm/jam, kemudian cenderung *under-estimated* pada intensitas hujan sedang hingga sangat lebat sebesar 43% - 55% dengan *error* berkisar 2,62 mm/jam – 5,42 mm/jam.

Hasil penelitian ini menyerupai penelitian sebelumnya yang menguji akurasi data curah hujan GSMaP skala harian (Natadireja dkk., 2018; Pratama dkk., 2022; Rahman dan Indra, 2020). Hasil penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa data curah hujan GSMaP memiliki korelasi yang kuat hingga sangat kuat dengan data curah hujan terukur, sehingga data curah hujan GSMaP dapat diandalkan untuk estimasi curah hujan di wilayah yang tidak memiliki titik pengamatan, tetapi alangkah lebih baiknya data tersebut dilakukan koreksi terlebih dahulu karena terdapat *error* dalam keadaan tertentu akibat adanya kesalahan sensor dan algoritma pengambilan satelit.

Selain itu, data curah hujan GSMaP dapat digunakan untuk mengetahui distribusi hujan jam-jaman yang turun karena memiliki pola naik turun yang relatif sama dengan data hujan terukur, sehingga apabila data curah hujan harian terukur tersedia maka dapat dilakukan koreksi bias untuk memperoleh data hujan jam-jaman terkoreksi.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Hasil dari validasi akurasi menunjukkan bahwa data curah hujan satelit GSMaP dan data curah hujan terukur pada skala jam-jaman memiliki hubungan yang kuat dibuktikan dengan nilai koefisien korelasi 0,6 – 0,9, semakin tinggi intensitas hujan maka semakin tinggi nilai korelasi data GSMaP terhadap data terukur. Jika ditinjau dari nilai RB dan RMSE, maka data hujan GSMaP pada intensitas hujan ringan cenderung *over-estimated* dari data hujan terukur sebesar 36 % dengan *error* tertinggi sebesar 1,14 mm/jam, kemudian cenderung *under-estimated* pada intensitas hujan sedang hingga sangat lebat sebesar 43% - 55% dengan *error* berkisar 2,62 mm/jam – 5,42 mm/jam. Beberapa penelitian mengungkapkan bahwa perbedaan ini terjadi karena adanya kesalahan sensor dan algoritma pengambilan dari satelit.

Hal ini menunjukkan data curah hujan GSMaP dapat diandalkan untuk estimasi curah hujan di wilayah yang tidak memiliki titik pengamatan, namun pada daerah yang memiliki data terukur tetapi panjang data terbatas sebaiknya data satelit tersebut dilakukan koreksi/kalibrasi terlebih dahulu karena masih terdapat *error*. Selain itu GSMaP juga dapat digunakan untuk mengetahui distribusi hujan jam-jaman yang turun karena memiliki pola naik turun yang relatif sama dengan data hujan terukur.

Saran

Saat ini penelitian hanya menyandingkan data curah hujan ARR dan satelit (GSMAP), sehingga harapan kedepannya ada penelitian lanjutan dengan membuat persamaan kalibrasi terkhusus untuk data hujan GSMAP di wilayah Sulawesi Selatan agar data hujan tersebut dapat langsung digunakan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Laboratorium Riset Sungai Universitas Hasanuddin, Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan Jeneberang (BBWS-PJ), Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) yang telah memberikan dukungan berupa masukan data penelitian dan para reviewer atas saran yang membangun.

Daftar Referensi

- Fadholi, A. (2013). Persamaan Regresi Prediksi Curah Hujan Bulanan Menggunakan Data Suhu dan Kelembapan Udara di Ternate. *Statistika*, 13(1): 7–16. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.29313/jstat.v13i1.1068>
- Fadlin, F., Thaha, M.A., Maricar, F., Hatta, M.P. (2022). Spatial Modelling for the Calculation of River Capacity: Case Study Downstream Area of Wanggu River Kendari. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1117(1): 012072. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1117/1/012072>
- Karamma, R., Badaruddin, S., Mustamin, M.R., Saing, Z. (2022). Flood Modelling due to Dam Failure Using HEC-RAS 2D with GIS Overlay: Case Study of Karalloe Dam in South Sulawesi Province Indonesia. *Civil Engineering and Architecture*, 10(7): 2833–2846. <https://doi.org/10.13189/cea.2022.100704>
- Karamma, R., dan Pallu, M.S. (2018). Comparison of Model Hidrograf Synthetic Unit (HSS) With the Model of Hydrograf Observation on DAS Jeneberang Gowa Regency, Indonesia. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 3(2): 617–623.
- Kubota, T., Shige, S., Hashizume, H., Aonashi, K., Takahashi, N., Seto, S., Hirose, M., Takayabu, Y.N., Ushio, T., Nakagawa, K., Iwanami, K., Kachi, M., Okamoto, K. (2007). Global Precipitation Map Using Satellite-Borne Microwave Radiometers by the GSMaP Project: Production and Validation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(7): 2259–2275. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.895337>
- Liu, C.-Y., Aryastana, P., Liu, G.-R., Huang, W.-R. (2020). Assessment of Satellite Precipitation Product Estimates Over Bali Island. *Atmospheric Research*, 244: 105032. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105032>
- Marta, S.D., Suhartanto, E., Fidari, J.S. (2023). Validasi Data Curah Hujan Satelit dengan Data Stasiun Hujan di DAS Ngasinan Hulu, Kabupaten Trenggalek, Jawa Timur. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 3(1): 35–45. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2023.003.01.04>
- McCollum, J.R., dan Ferraro, R.R. (2003). Next Generation of NOAA/NESDIS TMI, SSM/I, and AMSR-E Microwave Land Rainfall Algorithms. *Journal of*

- Geophysical Research*, 108(D8): 8382.
<https://doi.org/10.1029/2001JD001512>
- Mustamin, M.R., Maricar, F., Karamma, R. (2021). Hydrological Analysis In Selecting Flood Discharge Method In Watershed Of Kelara River. *INTEK: Jurnal Penelitian*, 8(2): 141–150. <https://doi.org/10.31963/intek.v8i2.2874>
- Mustamin, M.R., Maricar, F., Karamma, R. (2023). Modeling of Flood Prone Areas In The Kelara Watershed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1134(1): 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1134/1/012006>
- Natadireja, S., Sukarasa, I.K., Sutapa, G.N. (2018). Validation of Daily Rainfall Based on Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMAP) Data of Bali and Nusa Tenggara Region. *Buletin Fisika FMIPA UNAUD*, 19(1): 12–15.
- Nomleni, A., Suhartanto, E., Harisuseno, D. (2021). Estimation of Flow Discharge Model at Temef Watershed - East Nusa Tenggara Using TRMM Satellite Data. *Civil and Environmental Science*, 004(02): 115–126. <https://doi.org/10.21776/ub.civense.2021.00402.2>
- Partarini, N.M.C., Sujono, J., Pratiwi, E.P.A. (2021). Koreksi dan Validasi Data Curah Hujan Satelit GPM-IMERG Dan Chrips di DAS Selorejo, Kabupaten Malang. *Inovasi Teknologi Dan Material Terbaru Menuju Infrastruktur Yang Aman Terhadap Bencana Dan Ramah Lingkungan*, 149–156.
- Pratama, A., Agiel, H. M., Oktaviana, A.A. (2022). Evaluasi Satellite Precipitation Product (GSMaP, CHIRPS, dan IMERG) di Kabupaten Lampung Selatan. *Journal of Science and Applicative Technology*, 6(1), 32–40. <https://doi.org/10.35472/jsat.v6i1.702>
- Rahman, R.N., & Indra. (2020). Validasi Performa Satelit Presipitasi GSMaP Dalam Mengestimasi Curah Hujan di Jabodetabek. *Jurnal Widya Climago*, 2(2): 77–85.
- Sadeghi, M., Asanjan, A.A., Faridzad, M., Nguyen, P., Hsu, K., Sorooshian, S., Braithwaite, D. (2019). PERSIANN-CNN: Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks–Convolutional Neural Networks. *Journal of Hydrometeorology*, 20(12): 2273–2289. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-19-0110.1>
- Suleman, A.R., Djufri, H., Mustamin, M.R., Palembang, M.L. (2021). Structural Mitigation of Bila River, Sidrap Regency. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 12(6): 3573–3577.
- Tang, L., Tian, Y., Yan, F., Habib, E. (2015). An improved Procedure for the Validation of Satellite-Based Precipitation Estimates. *Atmospheric Research*, 163: 61–73. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.12.016>

PENGEMBANGAN MODEL EMPIRIS PENENTUAN KEBUTUHAN AIR IRIGASI PENYIAPAN LAHAN PADI SAWAH HEMAT AIR

Chusnul Arif^{1*}, Moh Yanuar J Purwanto¹, Satyanto Krido Saptomo¹, Sutoyo¹,
Arien Heryansyah², Hanhan A Sofiyuddin³

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, IPB University

²Departemen Teknik Sipil, Universitas Ibnu Khaldun

³Balai Teknik Irigasi, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian PUPR

*chusnul_arif@apps.ipb.ac.id

Pemasukan: 10 September 2023 Perbaikan: 9 Nopember 2023 Diterima: 14 Nopember 2023

Intisari

Saat ini, dalam KP-01 penentuan kebutuhan air irigasi untuk penyiapan lahan (KA IPL) sawah masih didasarkan pada persamaan *Van de Goor & Zijlstra* (VGZ) dengan asumsi debit konstan. Metode ini praktis dalam perencanaan tetapi cenderung boros dalam implementasinya. Oleh sebab itu, tujuan makalah ini mengembangkan model empiris penentuan KA IPL yang lebih hemat air dengan penerapan irigasi berselang (*intermittent*). Model dikembangkan dari penerapan genangan pada periode dan ketinggian air tertentu untuk tiga tekstur tanah yang berbeda. Model empiris dikembangkan dari persamaan VGZ dengan menambahkan konstanta sebagai faktor irigasi berselang dan tekstur tanah (disebut model MVGZ). Kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran di lapangan selama 2 musim tanam di DI Cihea, Jawa Barat. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai konstanta untuk model MVGZ dengan tekstur tanah berat, sedang dan ringan berturut-turut 0,79, 0,76, dan 0,73. Dengan konstanta tersebut didapatkan akurasi dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,99. Hasil validasi lapangan menunjukkan bahwa model MVGZ tersebut mendekati hasil pengukuran dengan penghematan air sebesar 28-34% dibandingkan dengan model VGZ. Oleh sebab itu, model MVGZ ini dapat diterapkan untuk penentuan KA IPL yang lebih hemat air.

Kata Kunci: Irigasi berselang, Hemat air, Padi sawah, Perubahan iklim, DI Cihea

Latar Belakang

Perubahan iklim telah berdampak pada berbagai bidang termasuk kegiatan pertanian. Hal ini ditandai dengan kenaikan suhu yang belum pernah terjadi sebelumnya telah mengakibatkan peningkatan kejadian kekeringan, banjir, pola curah hujan yang tidak teratur, gelombang panas, dan kejadian ekstrim lainnya di seluruh dunia (Arora, 2019). Dengan meningkatnya kejadian kekeringan, penggunaan air irigasi terus meningkat, tetapi tidak dibarengi dengan kenaikan produksi (Lu dkk., 2019). Dengan fenomena ini, usaha adaptasi dan mitigasi menjadi penting khususnya untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan.

Oleh sebab itu, dalam konteks pengelolaan air irigasi, perlu dikembangkan teknologi atau metode pengelolaan yang lebih efektif dan efisien.

Menurut FAO dan beberapa riset lainnya, pertanian merupakan bidang yang menggunakan air paling besar dibandingkan bidang lain khususnya industri dan perkotaan (FAO, 2002; Gordon dkk., 2010; Scanlon dkk., 2007). Penggunaan terbesar air irigasi dalam pertanian adalah untuk budidaya padi sawah (Gheewala dkk., 2014). Hal ini wajar karena umumnya padi sawah menggunakan sistem genangan secara terus menerus, termasuk dalam penentuan kebutuhan air irigasi penyiapan lahan (KA IPL).

Menurut Kriteria Perencanaan (KP-01) tentang Perencanaan Jaringan Irigasi tahun 2013, KA IPL ditentukan dengan persamaan *Van de Goor & Zijlstra* (VGZ) dengan asumsi laju air irigasi konstan selama 30 ataupun 45 hari. Dalam KP-01 tersebut nilai kebutuhan air untuk penjemuran sebesar 250 mm dan 300 mm untuk tanah berstruktur berat tanpa retak-retak maupun yang retak-retak. Apabila dibandingkan dengan KA IPL beberapa negara seperti China, Jepang, Korea dan Philipina, nilai tersebut cenderung lebih besar (Kung dan Atthyodhin, 1968). Hasil studi perbandingan dengan model Cropwat 8.0, metode tersebut juga masih lebih besar (Anggraeni dan Kalsim, 2013). Selain itu, dalam KP-01 juga belum memperhatikan jenis tekstur tanah di Indonesia yang beragam.

Dengan perkembangan teknologi usaha tani pada pengolahan tanah melalui mekanisasi dapat mempercepat waktu penyiapan lahan. Teknologi pemberian air irigasi yang lebih hemat juga terus berkembang, salah satunya dengan irigasi berselang (*intermittent*). Metode ini mampu menghemat air berkisar antara 22 – 76% (de Avila dkk., 2015). Metode ini juga sudah mulai diterapkan di Indonesia dengan penghematan sebesar 26% (Arif dkk., 2012) sampai 40% (Sato dkk., 2011). Dalam mengakomodasi faktor jenis tanah dan irigasi berselang dengan waktu penyiapan lahan yang lebih pendek, maka perlu pengembangan model penentuan KA IPL yang dimodifikasi dari model sebelumnya. Oleh sebab itu, tujuan dari penelitian ini adalah a) Mengembangkan model empiris penentuan KA IPL berdasarkan faktor jenis tanah dan irigasi berselang, b) Membandingkan hasil perhitungan model dengan pengukuran lapangan.

Metodologi Studi

a. Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan dalam dua tahap, tahap pengembangan model dan pengukuran lapangan. Pengukuran lapangan dilakukan di lahan padi petani di DI Cihea, Kab. Cianjur, Jawa Barat dengan jenis tanah berat selama 2 musim tanam, yaitu 7-29 Juli 2022 (23 hari) dan 3-29 November 2022 (27 hari).

b. Pengembangan Model Empiris

Penentuan KA IPL didasarkan pada irigasi *intermittent* 5 harian yang lebih hemat air, dengan periode pengolahan tanah lebih singkat melalui mekanisasi. Untuk ketinggian air selama periode penyiapan lahan dikondisikan antara 3-5 cm di atas permukaan air tanah (Tabel 1).

Tabel 1. Skenario tinggi genangan pada periode KAIPL

Periode	Tinggi genangan	Unit	Hari ke-
Genangan awal	5	cm	1-2
		cm	3-4
Pembajakan	3	cm	5-7
			8-9
Penggaruan	3	cm	10-12
			13-14
Perataan	3	cm	15
Genangan Tanam	3	cm	15-45*

* setiap 5 hari dikondisikan tinggi genangan 3 cm

Dari skenario di atas, kebutuhan air irigasi dihitung dengan persamaan keseimbangan air berikut ini:

$$IR = \Delta WL + S_f - Re - (E_o + P) \quad (1)$$

Dengan Keterangan:

IR : Kebutuhan air irigasi di tingkat persawahan, mm/hari

E_o : Evaporasi air terbuka yang diambil 1,1, E_T selama penyiapan lahan, mm/hari

P : Perkolasi (mm/hari)

Re : Hujan efektif (mm/hari)

S_f : Kebutuhan air untuk penjemuran (didasarkan pada kondisi awal kelembaban tanah) dan penggenangan, mm/hari

ΔWL : Perubahan tinggi muka air (selisih tinggi muka air yang dikehendaki dengan tinggi muka air awal), mm/hari

Nilai S_f didasarkan pada tekstur tanah dan dua kondisi awal tanah (bera dan tidak bera) dengan kriteria berikut ini:

- Jenis tanah berat: porositas 0.60
- Jenis tanah sedang: porositas 0.45
- Jenis tanah ringan: porositas 0.30
- Kondisi bera: 75% pengisian untuk penjemuran
- Kondisi tidak bera: 25% pengisian untuk penjemuran
- Kedalaman solum: 30 cm
- Tinggi genangan awal: 50 mm

Adapun nilai E_o dan P disesuaikan dengan interval pada KP-01 yang berkisar antara 5 – 11 mm/hari dengan waktu penyiapan lahan 20 – 45 hari. Dengan berbagai kondisi tersebut didapatkan 468 kombinasi nilai IR. Dari kombinasi tersebut akan diplotkan pada persamaan empiris dari modifikasi persamaan VGZ berikut ini:

$$IR = \frac{Me^{ak_f}}{(e^{ak_f} - 1)} \quad (2)$$

Dengan Keterangan:

IR : Kebutuhan air irigasi persiapan lahan (mm)

M : Akumulasi Nilai Evaporasi (E) dan Perkolasi (P), dengan E sebesar 1.1 ET (evapotranspirasi)

Kf : MT/Sf

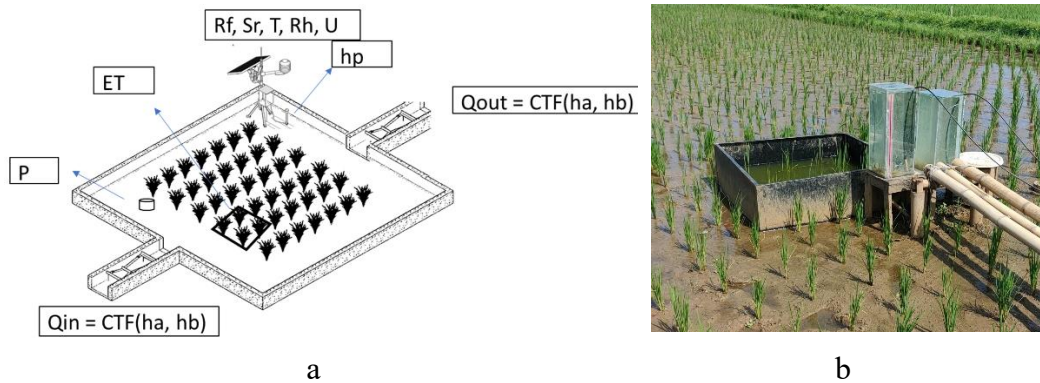
T : jangka waktu penyiapan lahan, (hari)

A : Faktor irigasi berselang dan tekstur tanah

Nilai “a” ini akan ditentukan dengan optimasi parameter dengan model linear programming. Metode ini pernah digunakan untuk pendugaan komponen keseimbangan air pada lahan padi sawah sebelumnya (Arif dan Setiawan, 2019). Nilai “a” tersebut ditentukan dengan indikator nilai R^2 (koefisien determinasi) tertinggi antara persamaan 1 dan 2 pada masing-masing tekstur tanah.

c. Pengukuran Lapangan dan Perbandingan Model

Beberapa peralatan digunakan untuk mengukur beberapa parameter, diantaranya sensor tinggi muka yang dipasang pada *inlet*, *outlet*, lahan (lysimeter), dan perkolasi sesuai skema pada Gambar 1.



Gambar 1. a) Skema pengukuran lapangan b) Dokumentasi pengukuran dengan lysimeter

Untuk penentuan evapotranspirasi, parameter yang diukur meliputi beberapa parameter cuaca diantaranya suhu udara, kelembaban udara, radiasi matahari, kecepatan angin menggunakan *automatic weather station* (AWS). Data-data tersebut kemudian digunakan untuk menentukan evapotranspirasi potensial dengan model standard FAO berikut ini (Allen dkk., 1998):

$$ET_p = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{mean} + 273} u(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u)} \quad (4)$$

Dengan Keterangan:

ETp : evapotranspirasi potensial (mm/hari)

Δ : kurva kemiringan tekanan uap (kPa/°C)

G : flux panas tanah (MJ/m² hari),

e_s : tekanan uap jenuh (kPa)

u : kecepatan angin (m/s)

R_n : radiasi netto ekuivalen evaporasi (mm/hari)

T_{mean} : suhu rata-rata harian (°C)

γ : konstanta psychometrik (mb/°C)

Nilai evaporasi (E) ditentukan sebesar 1,1 E_{TP} sebagaimana ketentuan di KP-01. Kemudian, total irigasi pada model empiris, VGZ dan pengukuran lapangan dibandingkan.

Hasil Studi dan Pembahasan

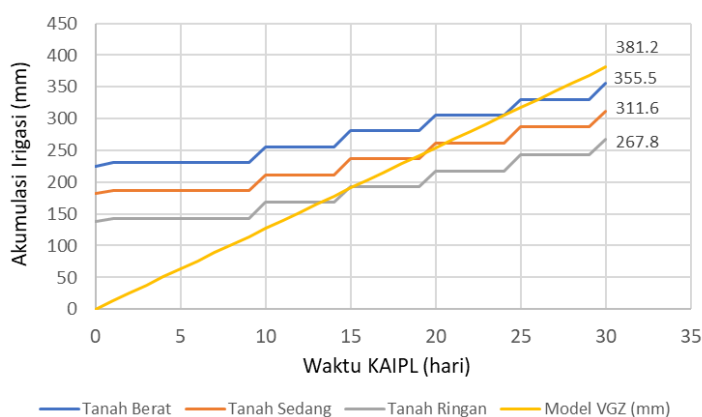
a. Perbandingan KAIPL model VGZ dan neraca air

Tabel 2 menunjukkan kebutuhan air irigasi untuk KAIPL antara model yang dikembangkan dengan model VGZ (KP-01) untuk periode 30 hari untuk jenis tanah berat. Dari Tabel 1 tersebut nilai kebutuhan air irigasi berkisar antara 0,92 – 1,80 l/det (setara 7,95 – 15,52 mm/hari) dengan kombinasi nilai evaporasi dan perkolasi dari 5 – 11 mm/hari. Sedangkan model VGZ kebutuhan air irigasi berkisar 1,28 – 1,92 l/det (setara dengan 11,08 – 16,49 mm/hari). Hal ini menunjukkan model yang dikembangkan lebih kecil daripada model VGZ yang selama ini digunakan dalam KP-01. Nilai penghematan air yang diperoleh berkisar 6 – 28% tergantung dari kondisi awal tanahnya. Kondisi tanah tidak bera dapat menghemat air lebih banyak daripada kondisi tanah awal bera (tanah retak).

Tabel 2. Perbandingan IR Model yang dikembangkan dan VGZ untuk waktu KAIPL 30 hari

M Eo + P (mm/hari)	Model yang dikembangkan				Model VGZ			
	S _f = 226 mm		S _f = 109 mm		S _f = 300 mm		S _f = 250 mm	
	(mm)	(l/det)	(mm)	(l/det)	(mm)	(l/det)	(mm)	(l/det)
5,0	11,85	1,37	7,95	0,92	12,71	1,47	11,08	1,28
5,5	12,35	1,43	8,45	0,98	13,00	1,50	11,38	1,32
6,0	12,85	1,49	8,95	1,04	13,30	1,54	11,69	1,35
6,5	13,35	1,55	9,45	1,09	13,60	1,57	12,00	1,39
7,0	13,85	1,60	9,95	1,15	13,91	1,61	12,32	1,43
7,5	14,35	1,66	10,45	1,21	14,21	1,65	12,64	1,46
8,0	14,52	1,68	10,62	1,23	14,53	1,68	12,96	1,50
8,5	14,68	1,70	10,78	1,25	14,84	1,72	13,29	1,54
9,0	14,85	1,72	10,95	1,27	15,17	1,76	13,63	1,58
9,5	15,02	1,74	11,12	1,29	15,49	1,79	13,97	1,62
10,0	15,18	1,76	11,28	1,31	15,82	1,83	14,31	1,66
10,5	15,35	1,78	11,45	1,33	16,15	1,87	14,66	1,70
11,0	15,52	1,80	11,62	1,34	16,49	1,91	15,01	1,74

Tingginya nilai kebutuhan air irigasi model VGZ disebabkan tingginya nilai kebutuhan air untuk penjenahan awal dan penggenangan (nilai S_f). Nilai S_f (di dalam KP-01 disebut nilai “S”) belum memperhatikan jenis tanah secara detail. Di dalam KP-01 nilai S_f hanya ditentukan sebesar 250 mm untuk tekstur tanah tanpa retak dan 300 mm untuk tekstur tanah retak. Apabila dibandingkan dengan negara lain seperti Philipina, nilai tersebut lebih besar (Cabangon dan Tuong, 2000).

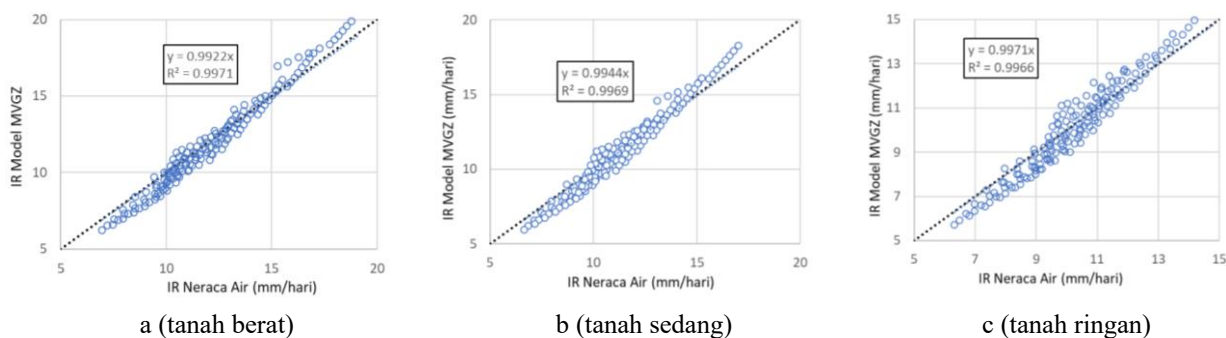


Gambar 2, Perbandingan irigasi akumulatif antara model VGZ dan yang dikembangkan untuk jenis tanah berat, sedang dan ringan,

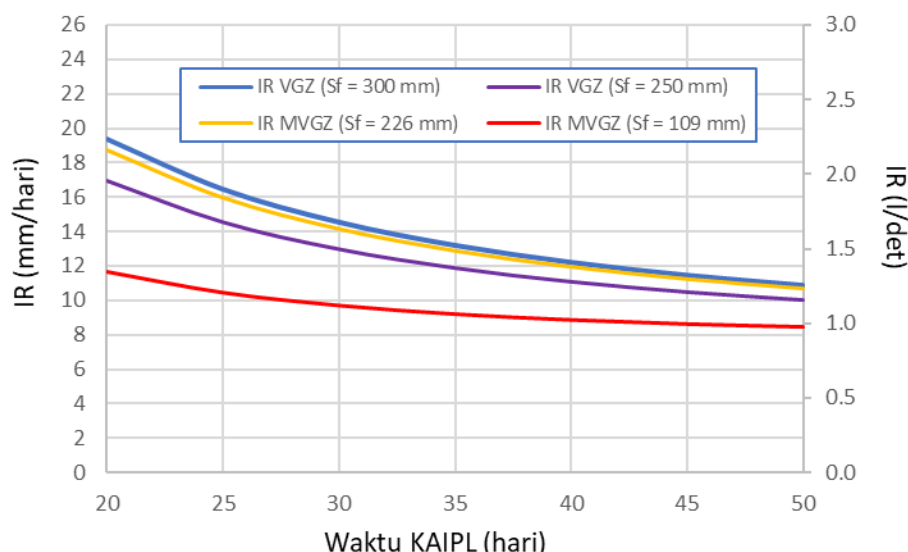
Dalam KP-01, nilai KAIPL untuk padi sawah hanya mengenal satu kondisi jenis tanah, sehingga nilainya sama untuk semua jenis tanah. Sedangkan realitasnya, jenis tanah padi sawah di Indonesia sangat beragam. Gambar 2 menunjukkan perbandingan akumulasi irigasi pada persiapan lahan antara model VGZ dengan model yang dikembangkan dengan berbagai jenis tanah. Hasilnya menunjukkan bahwa model yang dikembangkan dapat menghemat air 6,7 – 29,7%, dengan tanah ringan membutuhkan irigasi yang paling kecil dibandingkan kedua jenis tanah yang lain. Akumulasi model VGZ bertambahnya terus dengan debit yang konstan dan melebihi nilai evaporasi dan perkolasi. Kelebihan air ini akan terakumulasi dan berpotensi menjadi limpasan, sehingga perlu dikurangi agar penggunaan air irigasi lebih efisien (Ebrahimian dkk., 2020).

b. Penentuan koefisien model VGZ modifikasi (model MVGZ)

Gambar 3 menunjukkan perbandingan hasil penentuan IR dengan persamaan 1 dan 2 untuk menentukan koefisien “a” pada persamaan 2. Dengan metode *linear programming* diperoleh nilai “a” sebesar 0,79, 0,76, dan 0,73 untuk jenis tekstur tanah berat, sedang dan ringan. Dengan nilai tersebut diperoleh nilai R^2 mendekati 1 (0,99) yang berarti bahwa persamaan model VGZ modifikasi, yang selanjutnya disebut model MVGZ, dapat digunakan untuk penentuan kebutuhan air irigasi persiapan lahan. Dalam hidrologi, nilai R^2 minimal yang dapat diterima umumnya di atas 0,6 (Gaviria dan Carvajal-Serna, 2022; Kim dkk., 2009).



Gambar 3. Hasil validasi penentuan koefisien model modifikasi VGZ (MVGZ) dengan model neraca air

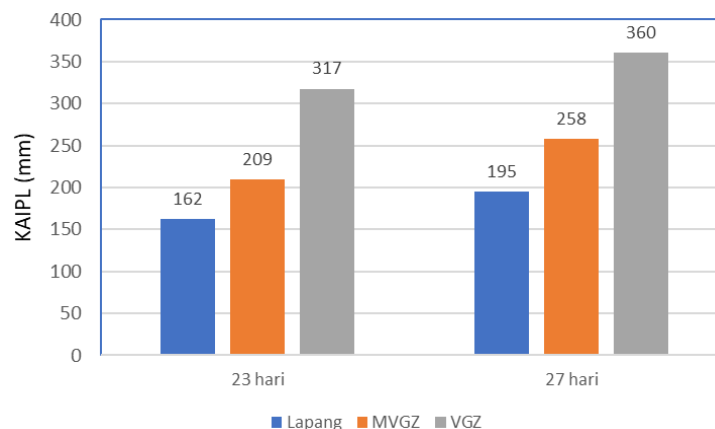


Gambar 4. Perbandingan tren model VGZ dan MVGZ untuk tanah berat dengan nilai Evaporasi dan Perkolasi 8 mm/hari

Berdasarkan koefisien yang didapatkan perbandingan trend antara model VGZ dan MVGZ yang disajikan pada Gambar 4. Nilai S_f sebesar 300 mm dan 226 mm digunakan model VGZ dan MVGZ untuk tanah dengan kondisi awal retak-retak, sedangkan nilai S_f sebesar 250 mm dan 109 mm untuk tanah tidak retak. Keempat kondisi memiliki trend yang sama, semakin lama periode penyiapan lahan, kebutuhan irigasi rata-rata harian lebih kecil. Meskipun demikian, secara akumulatif akan membutuhkan air irigasi yang lebih banyak. Dari trend ini juga didapatkan hasil bahwa nilai penjumlahan dan pengurangan awal menjadi kunci penting dalam penentuan KAIPL termasuk skenario penghematannya. Pengurangan terus menerus dapat meningkatkan air yang hilang (*water loss*) melalui rembesan (*seepage*) dan limpasan (*runoff*) (Sudhir-Yadav dkk., 2011). Dari trend ini juga didapatkan hasil bahwa model MVGZ dengan nilai S_f yang lebih kecil menjadi lebih hemat daripada model VGZ.

c. Perbandingan data pengukuran lapangan

Hasil observasi lapangan menunjukkan bahwa model MVGZ lebih mendekati hasil irigasi dari pengukuran lapangan sesuai yang ditunjukkan Gambar 5. Pada periode 23 hari penyiapan lahan, irigasi yang terukur sebanyak 162 mm, sedangkan model MVGZ sebesar 209 mm. Nilai ini lebih mendekati dibandingkan model VGZ dan 28% lebih rendah. Hal yang sama juga terjadi pada periodel penyiapan lahan 27 hari. Model MVGZ 34% lebih hemat air dibandingkan model VGZ dan mendekati hasil pengukuran lapangan. Pada observasi lapangan nilai irigasi lebih rendah karena kekurangannya masih dapat dikompensasi oleh hujan. Sedangkan pada pengembangan model hujan belum dipertimbangkan.



Gambar 5. Perbandingan hasil pengukuran lapangan dengan model MVGZ dan VGZ

Tabel 3. Komponen keseimbangan air hasil observasi lapangan

Komponen	Musim I	Musim II	Satuan
Durasi KAIPL	23	27	hari
Inflow			
- Irigasi	162,4	195,4	mm
- Hujan	11,1	40,4	mm
Total inflow	173,5	235,8	mm
Outflow			
- Runoff	0,0	29,6	mm
- ET	78,5	104,1	mm
- Perkolasi	46,0	54,0	mm
Total Outflow	124,5	187,7	mm
Kehilangan Air	48,9	48,1	mm
Prosentase Kehilangan air	30%	25%	%

Tabel 3 menunjukkan komponen keseimbangan air hasil observasi lapangan. Dari hasil pengamatan lapangan menunjukkan bahwa potensi kehilangan air di lapangan berkisar 25-30%. Nilai kehilangan air ini masih lebih kecil dibandingkan hasil penelitian sebelumnya (Cabangon dan Tuong, 2000). Persentase kehilangan air ini dapat dijadikan acuan dalam penentuan kebutuhan air penjemuran dan penggenangan awal.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Model empiris (Model MVGZ) penentuan Kebutuhan Air Irigasi Penyiapan Lahan (KAIPL) yang lebih hemat air telah dikembangkan berdasarkan irigasi berselang dan 3 jenis tekstur tanah berbeda. Nilai konstanta model MVGZ, nilai “a” sebesar 0,79; 0,76 dan 0,73 untuk tekstur tanah berat, sedang dan ringan. Hasil validasi lapangan menunjukkan model MVGZ dengan tipe tanah berat tersebut mendekati hasil pengukuran dengan penghematan air sebesar 28-34% dibandingkan dengan model VGZ.

Saran

Uji lapangan terhadap tekstur tanah sedang dan ringan perlu dilakukan untuk menguji model yang dikembangkan.

Ucapan Terima Kasih

Tim penulis mengucapkan terima kasih kepada reviewer yang memberikan komentar untuk perbaikan makalah ini. Selain itu, ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Kemendikbud-Dikti yang mendanai riset dasar tahun 2023 dengan judul “*Integrated Model of Artificial Intelligence – Based Water and Environment Management for Sustainable Rice Farming (IMAIWEM-SRF)*” dan ADB dalam rangkaian kegiatan “*NPIC Consulting Services for Guideline Improvement IPDMIP*” tahun 2021-2023.

Daftar Referensi

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., Smith, M., 1998. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements)*, Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome.
- Anggraeni, I.D.S., Kalsim, D.K., 2013. Perbandingan Perhitungan Kebutuhan Irigasi Padi Metoda KP-01 dengan Cropwat-8.0, *Jurnal Irigasi*, 8, 15–23.
- Arif, C., Setiawan, B.I., 2019. Pendugaan komponen keseimbangan air di lahan sawah dengan linear programming, *Jurnal Irigasi* 14, 79–88. <https://doi.org/10.31028/ji.v14.i2.79-88>
- Arif, C., Setiawan, B.I., Sofiyuddin, H.A., Martief, L.M., Mizoguchi, M., Doi, R., 2012. Estimating Crop Coefficient in Intermittent Irrigation Paddy Fields Using Excel Solver, *Rice Science*, 19, 143–152. [https://doi.org/10.1016/S1672-6308\(12\)60033-X](https://doi.org/10.1016/S1672-6308(12)60033-X)
- Arora, N.K., 2019. Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions, *Environmental Sustainability*, 2, 95–96. <https://doi.org/10.1007/s42398-019-00078-w>
- Cabangon, R.J., Tuong, T.P., 2000. Management of cracked soils for water saving during land preparation for rice cultivation, *Soil and Tillage Research*, 56, 105–116. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00125-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00125-2)
- de Avila, L.A., Martini, L.F.D., Mezzomo, R.F., Refatti, J.P., Campos, R., Cezimbra, D.M., Machado, S.L.O., Massey, J.H., Carlesso, R., Marchesan, E., 2015. Rice water use efficiency and yield under continuous and intermittent irrigation, *Agronomy Journal*, 107, 442–448.
- Ebrahimian, H., Dialameh, B., Hosseini-Moghari, S.-M., Ebrahimian, A., 2020. Optimal conjunctive use of aqua-agriculture reservoir and irrigation canal for paddy fields (case study: Tajan irrigation network, Iran), *Paddy Water Environ.*, 18, 499–514. <https://doi.org/10.1007/s10333-020-00797-5>
- FAO, 2002. *Crops and Drops; Making the best use of water for agriculture*, FAO.

- Gaviria, C., Carvajal-Serna, F., 2022. Regionalization of flow duration curves in Colombia, *Hydrology Research*, 53, 1075–1089. <https://doi.org/10.2166/nh.2022.022>
- Gheewala, S.H., Silalertruksa, T., Nilsalab, P., Mungkung, R., Perret, S.R., Chaiyawannakarn, N., 2014. Water Footprint and Impact of Water Consumption for Food, Feed, Fuel Crops Production in Thailand, *Water*, 6, 1698–1718. <https://doi.org/10.3390/w6061698>
- Gordon, L.J., Finlayson, C.M., Falkenmark, M., 2010. Managing water in agriculture for food production and other ecosystem services, *Agricultural Water Management, Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*, 97, 512–519. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.017>
- Kim, H.K., Jang, T.I., Im, S.J., Park, S.W., 2009. Estimation of irrigation return flow from paddy fields considering the soil moisture, *Agricultural Water Management*, 96, 875–882. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.11.009>
- Kung, P., Atthyodhin, C., 1968. Water requirements in rice production, in: Committee for Coordination of Investigations of the Lower Mekong Basin. Presented at the *Fourth Seminar on Economic and Social Studies (Rice Production)*, Los Banos, Philippines, pp. 94–112.
- Lu, S., Bai, X., Li, W., Wang, N., 2019. Impacts of climate change on water resources and grain production, *Technological Forecasting and Social Change*, 143, 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.01.015>
- Sato, S., Yamaji, E., Kuroda, T., 2011. Strategies and engineering adaptations to disseminate SRI methods in large-scale irrigation systems in Eastern Indonesia, *Paddy Water Environ.*, 9, 79–88. <https://doi.org/10.1007/s10333-010-0242-2>
- Scanlon, B.R., Jolly, I., Sophocleous, M., Zhang, L., 2007. Global impacts of conversions from natural to agricultural ecosystems on water resources: Quantity versus quality, *Water Resources Research*, 43. <https://doi.org/10.1029/2006WR005486>
- Sudhir-Yadav, Humphreys, E., Kukal, S.S., Gill, G., Rangarajan, R., 2011. Effect of water management on dry seeded and puddled transplanted rice: Part 2: Water balance and water productivity, *Field Crops Research*, 120, 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.09.003>

PENGARUH METODE PEMASANGAN PIPA DISTRIBUSI TERHADAP ALIRAN HIDRAULIKA

Ofik Taupik Purwadi¹, Fajriharish Nur Awan², Hendra Satria Nugroho², Tumijo³

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung

²Jurusan Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera

³Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung, Lampung

*ofik.t.p@gmail.com

Pemasukan: 6 September 2023 Perbaikan: 9 Nopember 2023 Diterima: 14 Nopember 2023

Intisari

Jumlah debit kebutuhan air bersih yang harus dipenuhi di Kota Bandar Lampung mencapai 1.237,2 liter/detik, namun tingkat pemenuhan kebutuhan debit air bersih yang ada hanya 525 liter/detik. Jaringan perpipaan PDAM di Kota Bandar Lampung belum terbangun di semua wilayah kota. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis aliran hidraulika pada pemasangan pipa menggunakan metode *Horizontal Directional Drilling* (HDD) dan metode konvensional. Penelitian dilakukan pada 3 lokasi pemasangan pipa. Metode yang digunakan adalah pendekatan deskriptif kuantitatif. Data yang dianalisa berupa data aliran hidraulika yang dibantu dengan *software* EPANET 2.2. Hasil yang diperoleh adalah kecepatan aliran pada lokasi 1 dan 2 memiliki nilai 0,94 m/s di jam rata rata dan 1,41 m/s pada jam puncak, pada pemasangan di lokasi 3 memiliki nilai 0,99 m/s di jam rata rata dan 1,49 m/s di jam puncak. *Headloss* di lokasi 1 memiliki nilai antara 0,00 m sampai dengan 0,4447 m, di lokasi 2 memiliki nilai antara 0,00 m sampai dengan 0,4673 m dan di lokasi 3 memiliki nilai antara 0,00 sampai dengan 0,7142 m. Tekanan pipa di lokasi 1 memiliki nilai antara 0,546 atm sampai 0,925 atm. Di lokasi 2 memiliki nilai antara 2,050 atm sampai 2,534 atm dan di lokasi 3 memiliki nilai antara 2,108 atm sampai 2,619 atm.

Kata Kunci: Air bersih, HDD, Kehilangan energi, *Open cut*, Aliran hidraulika

Latar Belakang

Air bersih merupakan kebutuhan penting pada kehidupan manusia. Wajar jika sektor air bersih mendapatkan prioritas penanganan utama di Kota Bandar Lampung dengan PDAM Way Rilau sebagai lembaga yang berperan dalam penyediaan air bersih bagi masyarakat (Nurjanah, 2021). Kota Bandar Lampung sendiri terdapat 20 kecamatan dan 126 kelurahan yang jumlah penduduknya mencapai 1.068.982 penduduk pada tahun 2021 (BPS, 2020). Jumlah penduduk tersebut menyebabkan kebutuhan akan air bersih di Kota Bandar Lampung cukup tinggi yaitu mencapai 1.237,2 liter/detik. Namun tingkat pemenuhan kebutuhan akan air bersih oleh PDAM Way Rilau hanya 525 liter/detik dan jaringan perpipaan PDAM di Kota Bandar Lampung belum terbangun di seluruh wilayah (Wicaksono, 2020). Sesuai Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 13/PRT/M/2013, tujuan

pemerintah adalah mencapai 100% penyediaan air minum yang aman pada tahun 2025 (Pekerjaan Umum, 2013).

Oleh karena itu, pemerintah telah mengembangkan sistem perencanaan pengembangan penyediaan air minum, khususnya bagi masyarakat berpenghasilan rendah. Namun, saat ini untuk memperoleh air minum yang memenuhi kapasitas dan kualitasnya sebagai air baku air minum masih menjadi persoalan pendistribusian karena membutuhkan dana besar serta pengelolaan yang profesional (Pekerjaan Umum, 2013).

Tingginya permintaan air bersih di Bandar Lampung membuat pemerintah berupaya untuk memberi pelayanan air bersih ke beberapa kecamatan yang belum terjangkau air bersih. Oleh karena itu, dinas PUPR melakukan proyek SPAM dengan penambahan jaringan perpipaan air bersih di kawasan ini khususnya di 8 kecamatan, yaitu Rajabasa, Way Halim, Tanjung Seneng, Sukabumi, Labuhan Ratu, Kedaton, Sukarame, dan Kedamaian. Proyek ini direncanakan untuk melakukan penambahan kebutuhan air bersih sebesar 750 liter/detik yang diolah oleh PT. Adhya Tirta Lampung, sehingga dapat memenuhi seluruh kebutuhan air bersih di kota ini.

Semakin berkembangnya zaman serta ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini, untuk meminimalisir penggalan secara manual (*open cut*) terdapat suatu metode yang bisa digunakan untuk pemasangan jaringan utilitas di bawah tanah. Salah satu metode ini adalah *Horizontal Directional Drilling* (HDD) (Deffian S dkk., 2019). HDD yaitu suatu cara untuk pemasangan pipa dibawah tanah melalui metode *trenchless* menggunakan mesin *drilling directional* dan *attachment* di mana pipa akan dipasang di kedalaman 5-8 meter dibawah permukaan tanah (Ompusunggu dkk., 2019). HDD memiliki 3 tahapan dalam melakukan pengeboran, yaitu *pilot hole*, *pre-reaming*, dan *pipe pullback*. Pengeboran HDD merupakan teknik pengeboran yang lebih efektif dibandingkan dengan metode *open cut* (Deffian dkk., 2019).

Selain metode HDD, pada proyek ini pemasangan pipa menggunakan metode lain seperti *open cut*. Penggunaan metode dikarenakan salah satu keunggulannya bisa digunakan untuk jarak yang pendek dan cepat. Penggunaan HDD pada proyek ini juga disebabkan kondisi eksisting yang kurang sesuai atau sulit untuk metode *open cut*. Karena banyak utilitas seperti pipa gas dan kabel yang berada di bawah jalan raya. Jaringan distribusi ini direncanakan menggunakan metode gravitasi dan pompa. Oleh karena itu, penelitian ini perlu dilakukan untuk membahas berbagai aspek dan permasalahan yang diakibatkan dari metode-metode pemasangan pipa. Sehingga proses distribusi air minum dapat berjalan dengan lancar.

Metodologi Studi

a) Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Proyek Strategis Nasional SPAM Kota Bandar Lampung tahun 2020-2022 pada 3 titik. Lokasi 1 pada Jl. A. Kadir, Lokasi 2 pada Jl. Perwira, dan Lokasi 3 pada Jl. Soekarno Hatta. Penelitian dilakukan pada bulan November hingga bulan Desember 2022.

b) Alat dan *Softwarer*

Adapun alat dan *software* yang digunakan dalam penelitian ini antara lain seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Alat dan *software*

No	Alat dan <i>software</i>	Spesifikasi	Fungsi
1	Laptop	-	Membuat laporan penelitian
2	GPS	-	Menitikan titik koordinat lokasi
3	ArcGIS	versi 10.3	Membuat peta
4	Microsoft Excel	Tahun 2016	Membantu perhitungan
5	Microsoft Word	Tahun 2016	Membantu membuat laporan
6	EPANET	versi 2.2	Mensimulasikan aliran dalam pipa

c) Jenis dan Sumber Data

Jenis dan sumber data yang dibutuhkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2. Data kemudian akan dilakukan analisis dengan metode penelitian berupa pendekatan deskriptif kuantitatif yang digunakan dalam menganalisis kehilangan energi dan sisa tekan pada pipa di Proyek SPAM Integritas Nasional.

Tabel 2 Jenis dan sumber data

No.	Jenis Data	Sumber Data
1	Data Primer: a. Kondisi eksisting lokasi penelitian	Observasi Langsung
2	Data Sekunder: a. Kehilangan energi pipa b. HDD Profile Design	Studi literatur Instansi Terkait

Hasil Studi dan Pembahasan

1. Perbandingan Metode HDD dan *open cut* pada Pemasangan Pipa Proyek SPAM

Pada dasarnya setiap metode pemasangan pipa memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Tergantung pada tingkat kesulitan dan urgensi dari lokasinya. Berikut ini adalah perbandingan metode HDD dan *open cut* (konvensional).

Perbandingan antara metode HDD dan konvensional terdiri dari

- Metode HDD sendiri memerlukan biaya yang lebih mahal dikarenakan menggunakan mesin yang cukup canggih, perawatan yang baik, alat pendukungnya serta perlu tenaga ahli di bidangnya. Pada metode konvensional memerlukan biaya lebih murah karena alat yang digunakan adalah alat konvensional tetapi apabila ada kasus khusus seperti di dalam permukaan tanah ada lapisan batuan yang cukup keras, maka perlu bantuan dari alat berat sehingga proses tidak terhenti.
- Waktu yang dibutuhkan lebih lama dikarenakan pekerjaan dapat dilakukan cukup banyak seperti pengeboran awal, *reamer*, *cleaning hole*, dan *pullback*.

Perlu diperhatikan bahwa waktu bisa lebih cepat apabila tidak ada kendala teknis seperti kerusakan pada mesin HDD, bila itu terjadi proses pemasangan pipa menjadi terhambat. Pada metode konvensional memerlukan waktu yang lebih cepat karena mekanisme kerja yang mudah. Pekerjaan yang dilakukan seperti menggali, menyambung pipa, dan menimbun kembali.

- c. Metode HDD merupakan metode yang aman karena memerlukan pekerja yang sedikit dan tidak ada pekerja yang turun ke dalam lubang. Pada metode konvensional kurang aman karena pekerja turun ke dalam lubang galian. Lokasi penggalian biasanya dipinggir jalan sehingga resiko kecelakaan bisa terjadi dan banyaknya utilitas di bawah permukaan jalan seperti pipa gas, dan kabel-kabel beresiko kepada pekerja serta longsor juga bisa terjadi.
- d. Resiko kerusakan lingkungan pada metode HDD bisa diminimalisir karena pemasangan pipa dilakukan pada kedalaman 8,5 meter sehingga tidak banyak akar-akar tumbuhan yang ada pada kedalaman itu (Burhanuddin, 2019). Untuk metode konvensional resiko kerusakan lingkungan lebih terlihat mulai dari penumpukan material di pinggir jalan, pemotongan akar-akar tumbuhan hingga pencabutan tanaman.
- e. Pada metode HDD pekerja yang diperlukan tidak terlalu banyak, dalam 1 tim terdiri dari 10-15 orang, yang terdiri dari tenaga ahli, operator, dan pekerja lainnya. Perlu tenaga profesional untuk menggunakan mesin HDD ini. Pada metode konvensional pekerja yang diperlukan cukup banyak dalam 1 tim terdiri dari 10-20 orang yang dipimpin oleh mandor pekerja.
- f. Pada metode HDD alat yang digunakan banyak sekali seperti *transmitter*, mata bor berbagai ukuran, bahan kimia, air, mesin HDD. Perawatan terhadap alat juga perlu dilakukan agar tidak mengganggu proses pengeboran. Pada metode konvensional alat yang digunakan lebih sedikit seperti *excavator* dan *jack hammer*.
- g. Permasalahan lalu lintas tidak perlu dikhawatirkan karena metode ini tidak menimbulkan kemacetan. Metode HDD tidak memerlukan area kerja yang besar dan luas. Pada metode konvensional ini memerlukan area kerja yang lebih besar dan luas. Galian di sepanjang jalur pipa dan penumpukan material di pinggir jalan menjadi perhatian khusus karena mengakibatkan penyempitan jalan raya sehingga terjadi gangguan arus lalu lintas.
- h. Metode HDD memiliki fleksibilitas yang sangat tinggi mulai arah, kedalaman, bahkan bisa melengkung (Willoughby, 2005). Pada metode konvensional arah dan kedalaman bisa disesuaikan. Pemasangan pipa menggunakan metode *open cut* kedalaman pipa tidak bisa melebihi kedalaman dari metode HDD karena sangat beresiko bagi pekerja.

2. Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran dipengaruhi oleh debit air karena semakin banyak debit maka kecepatan aliran juga semakin meningkat. Tetapi semakin meningkatnya kecepatan mengakibatkan penurunan tekanan pada aliran tersebut. Hal ini merupakan penyederhanaan dari Hukum *Bernoulli* (Armansyah, 2021).

Pada penelitian ini pada saat running EPANET data yang digunakan adalah data kebutuhan air rata rata dan jam puncak. Sehingga data yang didapat pada aplikasi EPANET terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Kecepatan aliran air

No	Kecepatan (m/s)			
	Jam puncak		Jam rata rata	
	Konvensional	HDD	Konvensional	HDD
1	1.41	1.41	0.94	0.94
2	1.41	1.41	0.94	0.94
3	1.49	1.49	0.99	0.99

3. Headloss

Headloss merupakan kehilangan energi *fluida* yang terjadi di dalam pipa. *Headloss* dibagi menjadi 2 bagian, yaitu *headloss minor* dan *headloss mayor*. *Headloss* pipa dapat dicari dengan beberapa rumus antara lain *Hazen William*, *Darcy Weisbach*, dan *Chezy Manning*. Pada penelitian ini semua perhitungan *headloss* menggunakan rumus *Hazen William*.

- a. *Headloss mayor* adalah kehilangan tekanan yang terjadi akibat gesekan pipa. Gesekan yang terjadi sepanjang pipa. Berdasarkan hasil Pemodelan EPANET didapatkan nilai *headloss mayor* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Nilai *headloss mayor*

No	Headloss (m)			
	Jam puncak		Jam rata rata	
	Konvensional	HDD	Konvensional	HDD
1	0.4310	0.4345	0.2033	0.2050
2	0.4539	0.4572	0.2141	0.2157
3	0.6993	0.7029	0.3299	0.3316

- b. *Headloss minor* adalah kehilangan tekanan yang terjadi akibat dari aksesoris pipa. Setiap aksesoris pipa memiliki nilai koefisien yang berbeda tergantung dengan jenis aksesorisnya. Pada metode HDD diperlukan aksesoris pipa yaitu 2 *bend* 11, 25° yang terletak pada *entry* dan *exit* HDD. Dari hasil perhitungan terdapat penambahan *headloss minor* pada metode HDD dan konvensional ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 *Headloss minor* pada jam rata rata metode HDD

No	Lokasi	Aksesoris pipa	Jam rata rata				
			Koefisien (k)	HI minor	Banyaknya	total HI minor	
1	Res ke Robinson	Bend 11.25	0.05	0.00225	2	0.00450	HDD
2	Perwira 1	Bend 11.25	0.05	0.00225	2	0.00450	
3	Jl. Lintas Sumatera	Bend 11.25	0.05	0.00250	2	0.00500	

Tabel 6 Headloss minor pada jam puncak metode HDD

No	Lokasi	Aksesoris pipa	Jam puncak				total Hl minor	HDD
			Koefisien (k)	Hl minor	Banyaknya			
1	Res ke Robinson	Bend 11.25	0.05	0.00507	2		0.01013	
2	Perwira 1	Bend 11.25	0.05	0.00507	2		0.01013	
3	Jl. Lintas Sumatera	Bend 11.25	0.05	0.00566	2		0.01132	

- c. *Headloss* total merupakan *headloss* gabungan antara *headloss* mayor dan *headloss* minor. Jumlah *headloss* kemudian dibandingkan dengan peraturan terbaru Permen PU No 27 tahun 2016, yaitu di bawah 10 m/km (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2016).

Berdasarkan Tabel 7, metode HDD memiliki nilai *headloss* yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan adanya penambahan aksesoris yang terpasang pada metode tersebut. Akibatnya nilainya menjadi lebih besar daripada metode konvensional.

Tabel 7 Total headloss

Headloss Total (m)				
No	Jam puncak		jam rata rata	
	Konvensional	HDD	Konvensional	HDD
1	0.6993	0.7142	0.3299	0.3366
2	0.4310	0.4447	0.2033	0.2140
3	0.4539	0.4673	0.2202	0.2141

4. Tekanan

Sisa tekan adalah energi sisa dari *headloss* yang mengurangi energi statis yang harusnya tiba di suatu titik. Umumnya sisa tekan untuk jaringan perpipaan adalah 0,5 atm. Baiknya untuk sisa tekan di sambungan rumah (SR) sebesar 1 atm untuk mengurangi resiko air tidak mengalir. Dari hasil analisis EPANET didapatkan nilai tekanan seperti Tabel 8 sampai Tabel 10.

Tabel 8 Pressure pada metode konvensional dengan jam rata rata

No	Lokasi	Elevasi awal	Panjang (m)	Elevasi akhir	Diameter mm (ID)	Pressure (atm)	Kedalaman (m)	KONVENSIONAL
1	Ciplaz	129	225	125	850	0.546 dan 0.925	1.5	
2	Perwira	112	238	108	850	2.156 dan 2.534	1.5	
3	Soekarno Hatta	107	273	105	793	2.448 dan 2.619	1.5	

Tabel 9 *Pressure* pada metode HDD dengan jam rata rata

No	Lokasi	Elevasi awal	Panjang (m)	Elevasi akhir	Diameter mm (ID)	Pressure (atm)	Kedalaman (m)	No	HDD
1	Ciplaz	129	228	125	850	0.546 dan 0.925	1.441 dan 12.30	8.5	
2	Perwira	112	240	108	850	2.156 dan 2.534	2.85 dan 2.84	8.5	
3	Soekarno Hatta	107	275	105	793	2.448 dan 2.619	3.141 dan 3.126	8.5	

Tabel 10 *Pressure* pada metode konvensional dengan jam puncak

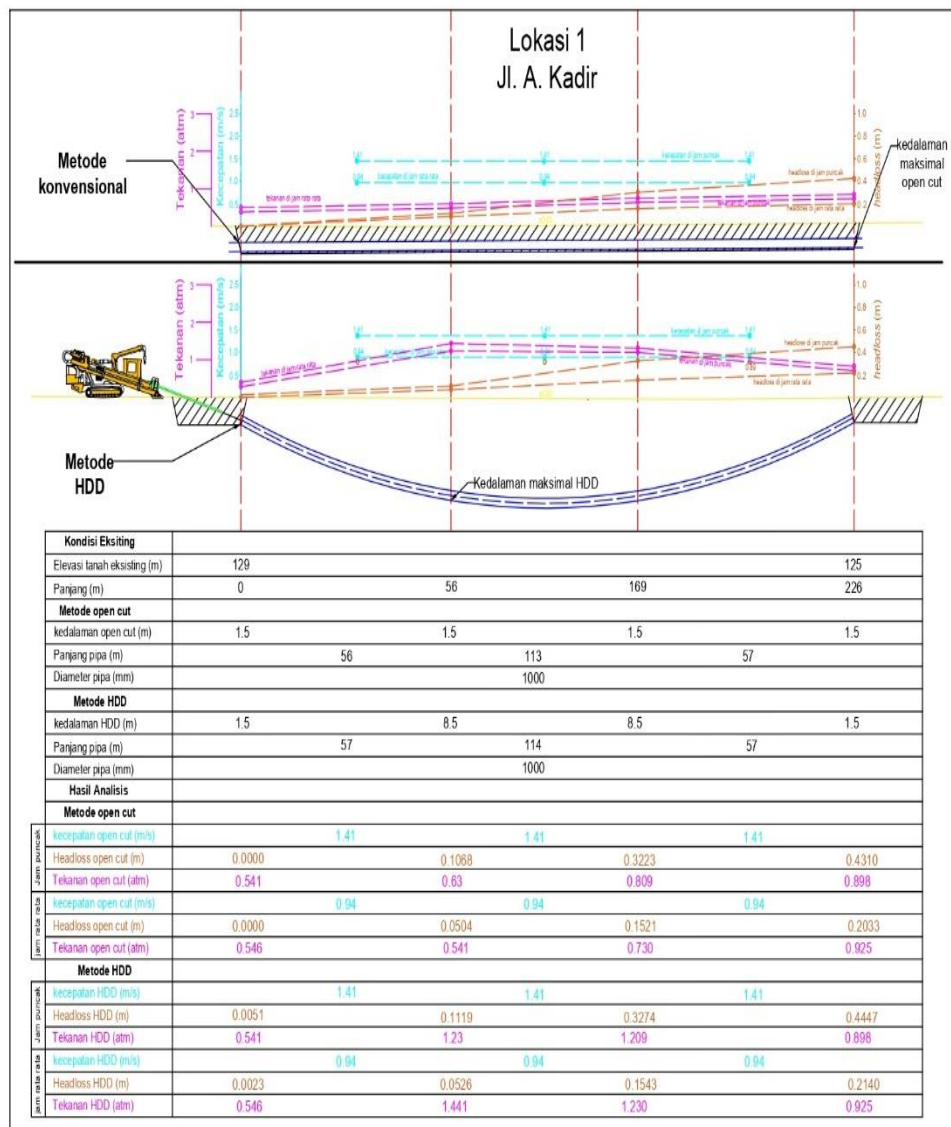
No	Lokasi	Elevasi awal	Panjang (m)	Elevasi akhir	Diameter mm (ID)	Pressure (atm)	Kedalaman (m)	KONVENSIONAL
1	Ciplaz	129	225	125	850	0.541 dan 0.898	1.5	
2	Perwira	112	238	108	850	2.050 dan 2.405	1.5	
3	Soekarno Hatta	107	273	105	793	2.108 dan 2.246	1.5	

Tabel 11 *Pressure* pada metode HDD dengan jam puncak

No	Lokasi	Elevasi awal	Panjang (m)	Elevasi akhir	Diameter mm (ID)	Pressure (atm)	Pressure kedalaman max	Kedalaman (m)	HDD
1	Ciplaz	129	228	125	850	0.541 dan 0.898	1.23 dan 1.209	8.5	
2	Perwira	112	240	108	850	2.050 dan 2.405	2.793 dan 2.716	8.5	
3	Soekarno Hatta	107	275	105	793	2.108 dan 2.246	2.793 dan 2.762	8.5	

Pada penelitian ini didapatkan hasil hidraulika yang ditunjukkan pada Gambar 1-3 yang merupakan hidraulika di 3 lokasi penelitian.

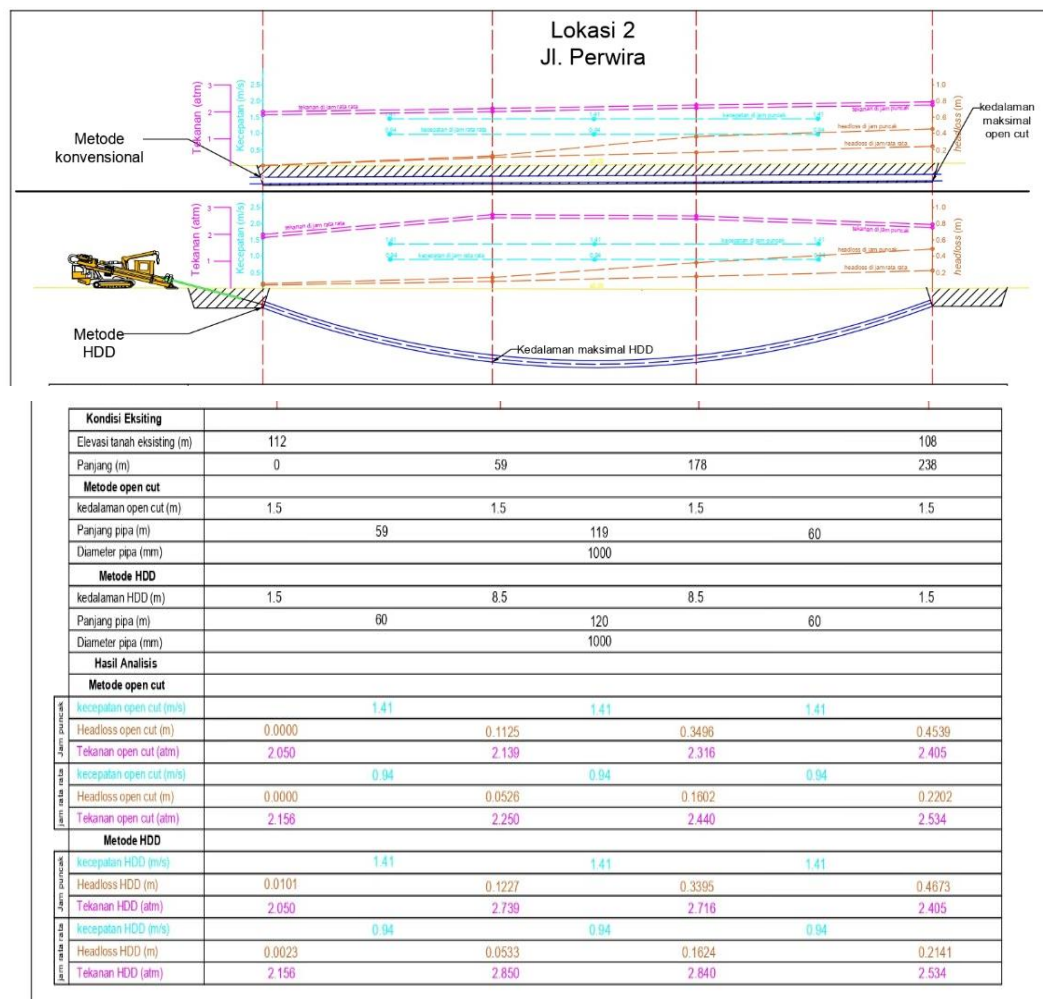
Hidraulika di lokasi 1 di Jl. A. Kadir, pada kecepatan aliran air antara kedua metode tersebut memiliki nilai yang sama. Untuk kecepatan memiliki nilai antara 0,94 m/s sampai 1,41 m/s. Pada *Headloss* memiliki nilai antara 0,0000 m sampai 0,4447 m. *Headloss* pada lokasi ini memiliki nilai yang baik. Tekanan di lokasi ini masih memiliki nilai cukup baik, pada metode *open cut* dengan nilai tekanan berkisar antara 0,5 sampai 0,8 atm (Sayoga dan Nuarsa, 2012).



*Gambar tanpa skala

Gambar 1 Hidraulika pada lokasi 1 (Jl. A. Kadir)

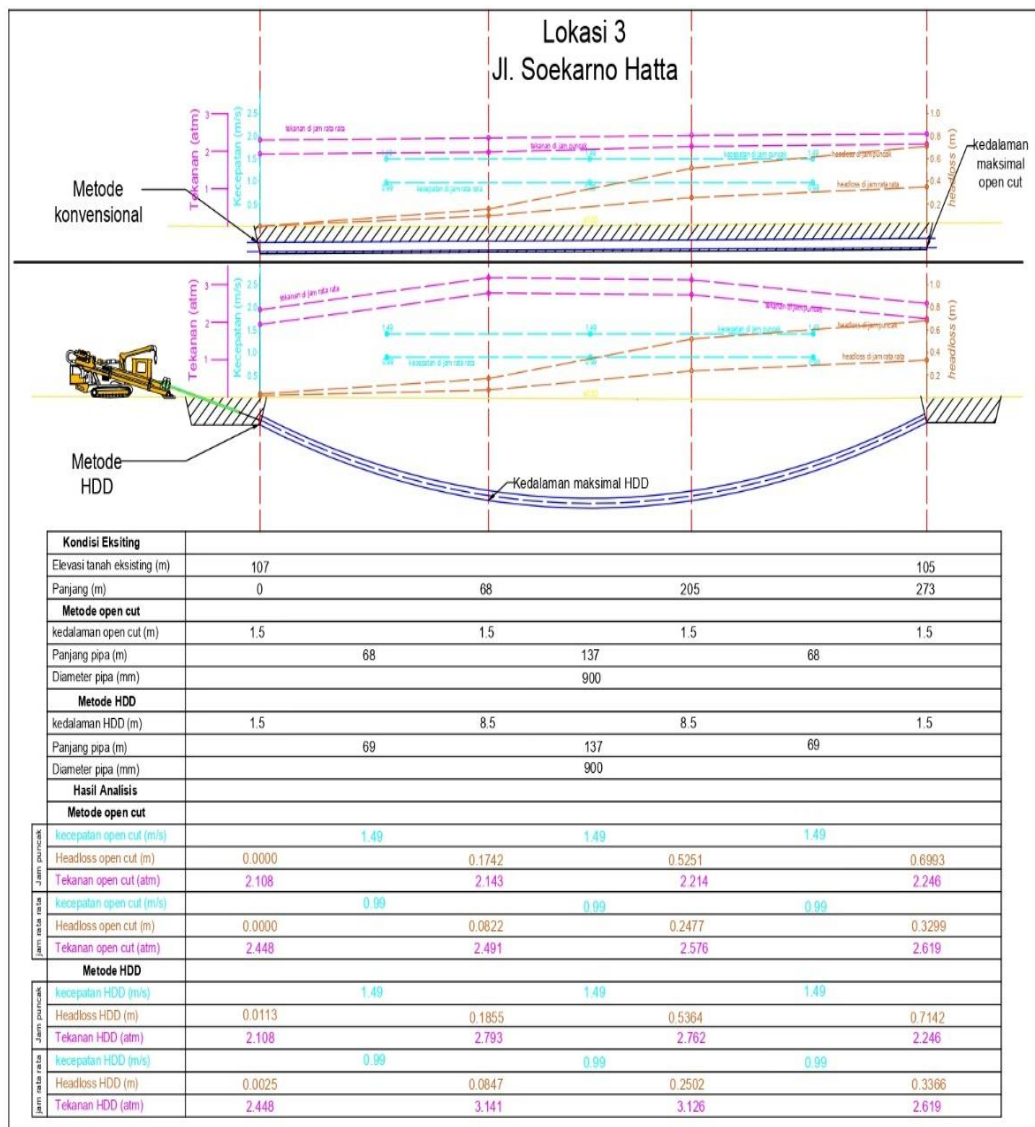
Hidraulika pada lokasi 2 di Jl. Perwira menyerupai lokasi 1, untuk kecepatan aliran dan *headloss* memiliki nilai yang sama. Untuk kecepatan memiliki nilai antara 0,94 m/s sampai 1,41 m/s. Pada *Headloss* memiliki nilai antara 0,0000 m sampai 0,4673 m. Untuk nilai tekanan berkisar antara 2 atm hingga 2,8 atm, pada lokasi ini semua tekanan memiliki nilai yang cukup untuk pendistribusian air bersih.



*Gambar tanpa skala

Gambar 2 Hidraulika pada lokasi 2 (Jl. Perwira)

Hidraulika pada lokasi 3 di Jl. Soekarno Hatta memiliki perbedaan diameter pipa daripada 2 lokasi sebelumnya. Akibatnya untuk nilai kecepatan aliran dan *headloss* memiliki nilai yang lebih tinggi dari 2 lokasi sebelumnya. Begitu juga untuk nilai *headloss* dan tekanan memiliki nilai yang lebih tinggi daripada lokasi lainnya dan memiliki nilai yang relatif aman. Untuk kecepatan berada diantara 0,99 m/s sampai 1,49 m/s. Pada nilai *headloss* berkisar antara 0,0000 m sampai 0,7142 m. Serta pada tekanan berkisar 2,108 atm sampai 3,141 atm. Nilai tersebut untuk di jam rata rata dan jam puncak.



*Gambar tanpa skala

Gambar 3 Hidraulika pada lokasi 3 (Jl. Soekarno Hatta)

Dari Gambar 3, baik metode HDD maupun konvensional pada aliran hidraulika memiliki nilai yang sama untuk kecepatan. Kecepatan yang sama disini adalah kecepatan pada metode HDD dan konvensional di jam rata rata, serta kecepatan yang sama juga pada jam puncak. Untuk nilai headloss memiliki nilai yang berbeda karena pengaruh dari aksesoris dan panjang yang digunakan. Pada tekanan, karena memiliki elevasi yang berbeda sehingga mengakibatkan tekanan menjadi berbeda juga.

Metode HDD bisa digunakan pada saat ada kondisi tertentu seperti *crossing* jalan, sungai, bahkan rel kereta api. Pada saat metode *open cut* tidak bisa dilakukan, karena apabila semua menggunakan metode HDD mengakibatkan jumlah pengeluaran akan jauh lebih besar dan pekerjaan menjadi lebih lama, karena apabila

kondisi alat bermasalah diperlukan waktu untuk memperbaikinya. Pada metode *open cut* bisa digunakan pada kondisi eksisting yang tidak terlalu mendesak seperti pada pinggir jalan besar, dengan tujuan pengeluaran menjadi tidak besar dan pekerjaan menjadi lebih cepat.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Kedua metode memiliki kelebihan dan kekurangannya masing masing. Kecepatan pengerjaan, pada metode HDD membutuhkan waktu yang lebih lama daripada metode *open cut*. Pemilihan kedua metode perlu diperhatikan karena setiap lokasi pekerjaan memiliki tingkat kesulitan dan urgensi yang berbeda.

Aliran hidraulika pada kedua metode memiliki nilai yang sama seperti pada kecepatan aliran. Nilai *headloss mayor* memiliki nilai yang berbeda sangat sedikit karena dipengaruhi oleh panjang pipa, yang berarti antara kedua metode tidak saling mempengaruhi. Tetapi pada tekanan memiliki nilai yang berbeda beda karena pada setiap titik mempunyai elevasi yang berbeda.

Saran

Untuk memilih metode mana yang paling tepat antara metode HDD dan *open cut*, bisa menggunakan metode TOPSIS untuk mendapatkan alternatif terbaik dan solusi idealnya. Pada analisis hidraulika bisa menggunakan aplikasi lain yang menyerupai EPANET 2.2 seperti *waterCAD*, *waterGEMS* dan tambahan *software* 3D misalnya *solidworks* untuk melihat bagaimana kondisi hidraulika di dalam pipa

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu serta memberikan data dalam proses pelaksanaan penulisan paper ini.

Daftar Referensi

- Armansyah, B. (2021). 'Analisis Pressure Drop Akibat Terjadinya Friction Dengan Persamaan Bernoulli Padaaliran Pipa Sumur Gas Lapangan Pnn', *Jurnal Teknik Perminyakan*, 1(1), Pp. 1–38.
- BPS. (2020). *Provinsi Lampung Dalam Angka 2020*. <https://lampung.bps.go.id/publication/2020/04/27/8875e8b18ee22402d6a3f782/provinsi-lampung-dalam-angka-2020.html> [diakses pada tanggal 10 Agustus 2022]
- Burhanuddin, S. (2019). 'Konstruksi Indonesia 2018', *Media Informasi Dan Komunikasi Kemen PUPR*, Pp. 1–32.
- Deffian S, V. dkk. (2019). 'Aturan dan Undang-Undang Penggunaan Tata Ruang Bawah Tanah untuk Pemasangan Utilitas Dengan Metode Horizontal Directional Drilling (HDD)', (4), Pp. 1–11.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2016). *Permen Pu No. 27 Tentang Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum*. Indonesia.

- Mieslenna, C. F. (2018). 'Teknik Pemsangan Pipa JDU (Jaringan Distribusi Utama) Air Minum Kabupaten Purwakarta Dengan Metode Topsis'.
- Nurjanah, S. (2021). 'Sistem Pengolahan Air Bersih Di Perusahaan Daerah Air Minum Way Rilau Kota Bandar Lampung'.
- Ompusunggu, D. C. T., Witjonarko, R. D. E., dan Gofur, A. (2019). 'Analisis Kelayakan Horizontal Directional Drilling (HDD) Melewati Taxi Way 2 pada Project PT . Wijaya Karya', *Proceedings of National Conference on Piping Engineering and Its Application*, Pp. 106–112.
- Pekerjaan Umum (:Public Works) (2013). *Kebijakan dan Strategi Nasional Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum*. Indonesia.
- Sayoga, I. M. A. And Nuarsa, I. M. (2012) '60228-Id-Analisa-Pengaruh-Variasi-Sudut-Sambungan', 2(2), Pp. 75–83.
- Wicaksono, M. G. A. (2020). 'Identifikasi Permasalahan Spam Bukan Jaringan Perpipaan (BJP) di Kota Bandar Lampung'.
- Willoughby, D. A. (2005). *Horizontal Directional Drilling*. Edited By L. S. Hager. New York: The Mcgraw-Hill Companies, Inc.

ANALISIS PENERAPAN *REALITY CAPTURE* BERBASIS FOTOGRAMETRI SEBAGAI ALTERNATIF PEMANTAUAN DEFORMASI BENDUNGAN

Bhima Dhanardono^{1*}, Didit Puji Riyanto², Suhardi²,
Wahyu Prasetyo², Wahyu Apriyoga³

¹Program Studi Teknologi Konstruksi Jalan dan Jembatan, Politeknik PU

²Program Studi Teknologi Konstruksi Bangunan Air, Politeknik PU

³Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana

*bhimadesign@pu.go.id

Pemasukan: 7 September 2023 Perbaikan: 9 Nopember 2023 Diterima: 14 Nopember 2023

Intisari

Penerapan *Reality Capture* untuk pemantauan deformasi dapat dilakukan dengan menggunakan *laser scanner* atau fotogrametri. Kelebihan metode fotogrametri adalah jauh lebih murah dalam aspek biaya investasi alat dan lebih cepat dalam pengambilan data terutama jika menggunakan wahana udara. Tetapi dalam pemantauan deformasi tentu mempertimbangkan tingkat akurasi pengukuran. Seberapa akurat hasil pengukuran deformasi menggunakan fotogrametri akan menjadi salah satu aspek yang menentukan layak tidaknya fotogrametri sebagai alternatif pengganti *laser scanner* untuk pemantauan deformasi. Penelitian ini akan menilai akurasi hasil pengukuran deformasi menggunakan metode fotogrametri menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* dibandingkan dengan pengukuran terestris yang dilakukan dengan menggunakan *Robotic Total Station*. Studi kasus penelitian ini adalah bendungan Randugunting di Kabupaten Blora, Jawa Tengah. Pemantauan deformasi bendungan difokuskan pada sebelas patok geser di lereng sisi hilir bendungan. Pengukuran deformasi dari fotogrametri dilakukan pada posisi patok geser yang didapat dari penampang bendungan hasil rekonstruksi *point cloud*. Hasil pengujian akurasi dengan menggunakan *Root Mean Squared Error* (RMSE) sebesar 0.238, menunjukkan bahwa pengukuran deformasi dengan metode fotogrametri akurasinya tinggi. Meskipun terdapat selisih nilai deformasi terhadap pengukuran terestris, tetapi secara umum terdapat kecenderungan laju deformasi yang serupa. Akurasi pengukuran fotogrametri dapat ditingkatkan salah satunya dengan *updating* nilai koordinat titik referensi yang digunakan setiap siklus pemantauan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa *Reality Capture* berbasis fotogrametri dapat diterapkan sebagai alternatif pemantauan deformasi bendungan.

Kata Kunci: Fotogrametri, Deformasi, Bendungan, Randugunting,

Latar Belakang

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan *Reality Capture* berbasis fotogrametri sebagai alternatif dalam usaha pemantauan deformasi konstruksi bendungan. *Reality Capture* adalah metode pengumpulan data yang terbaik dan

paling akurat tentang kondisi nyata sesungguhnya secara detail tiga dimensi (Almukhtar, Saeed, Abanda, & Tah, 2021). *Reality Capture* adalah metode yang meningkatkan efisiensi, akurasi dan keselamatan untuk mendapatkan data tiga dimensi (salah satunya berupa *point cloud*) dari obyek konstruksi menggunakan *laser scanner* atau fotogrametri, baik dengan instrumen yang dipasang pada *hand held*, tripod maupun *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) (Fobiri, Musonda, & Muleya, 2022). Pemanfaatan fotogrametri untuk *Reality Capture* telah dilakukan oleh (Tolle et al., 2022) dengan studi kasus pada Candi Badut di Malang. Pada penelitian menunjukkan bahwa fotogrametri dapat digunakan untuk pembuatan model 3D bangunan secara efisien. Penelitian yang serupa telah dilakukan menggunakan teknologi *laser scanner* dan *digital imagery* untuk monitoring bendungan timbunan tanah yang menghasilkan akurasi sampai dengan level sentimeter termasuk memodelkan tekstur permukaan bendungan yang menjadi aset berharga dalam interpretasi fenomena penilaian keamanan (Berberan, Marcelino, Boavida, & Oliveira, 2007).

Seperti halnya pemindaian menggunakan *laser scanner*, fotogrametri juga memungkinkan rekonstruksi posisi, orientasi, bentuk dan ukuran obyek eksisting tetapi berdasarkan multi citra yang menghasilkan antara lain koordinat titik-titik tiga dimensi dan model geometri digital (Kraus, 2000). Salah satu kelebihan metode fotogrametri menggunakan UAV dibanding dengan pengukuran terestrial yaitu dapat diaplikasikan untuk pengukuran deformasi pada obyek atau kondisi lingkungan terutama pada kasus dimana waktu yang tersedia tidak memungkinkan dilakukannya pengukuran secara geodetik (Luhmann, Robson, Kyle, & Harley, 2011). Penerapan fotogrametri untuk keperluan pengukuran yang teliti perlu menggunakan titik kontrol tanah atau *Ground Control Point* (GCP) yaitu obyek titik nyata di lapangan yang tampil di citra dan memiliki nilai koordinat tiga dimensi akurat sebagai koreksi koordinat pada citra berjumlah setidaknya 3 titik yang tersebar posisinya membentuk konfigurasi segitiga (Linder, 2016). Meskipun *laser scanner* dan fotogrametri tersebut sama-sama menghasilkan *point cloud* yang bisa dimanfaatkan untuk pemantauan deformasi, tetapi karena teknologi yang diusung sangat berbeda, maka harga alat *laser scanner* jauh lebih mahal mencapai 100 kali lipat harga UAV untuk fotogrametri. Seberapa akurat potensi fotogrametri sebagai alternatif pengganti *laser scanner* untuk pemantauan deformasi adalah permasalahan yang akan diangkat oleh penulis dalam penelitian ini. Lingkup penelitian ini yaitu analisis akurasi antara pengukuran deformasi metode fotogrametri menggunakan UAV terhadap pengukuran deformasi secara terestris menggunakan alat *Robotic Total Station* (RTS) pada periode bulan Maret sampai dengan bulan November 2022. Studi kasus penelitian ini dilaksanakan pada bendungan Randugunting di Kabupaten Blora, Provinsi Jawa Tengah dengan tipe zonal inti tegak, panjang 363,35 meter yang telah dilakukan penggenangan pada bulan Desember 2021.

Salah satu metode pengujian akurasi suatu pengukuran adalah dengan menghitung *Root Mean Squared Error* (RMSE) dari akar hasil pengurangan nilai prediksi terhadap nilai observasi yang dikuadratkan dan dibagi terhadap jumlah data (Riyanto & Putera, 2022). Nilai RMSE yang semakin rendah menunjukkan bahwa

nilai prediksi mendekati nilai observasi, artinya nilai prediksi tersebut akurasinya tinggi.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$\hat{y}$ = nilai hasil prediksi

y = nilai hasil observasi

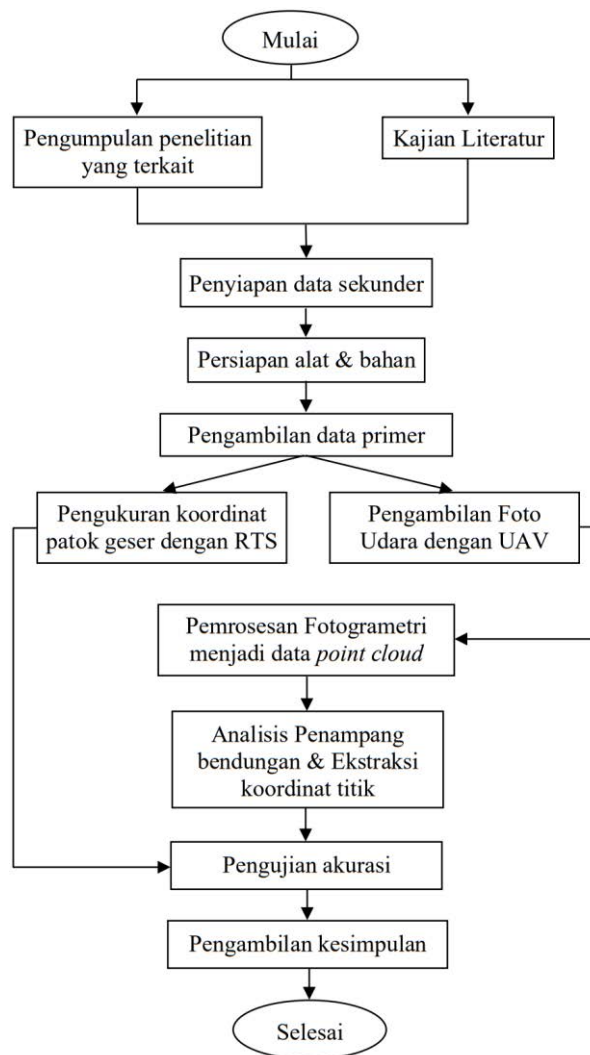
n = jumlah data

Metodologi Studi

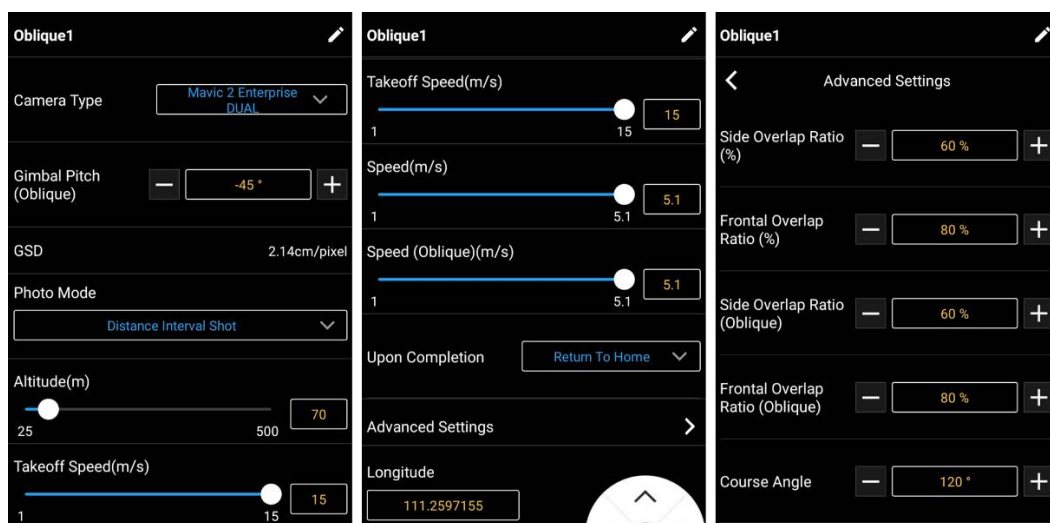
Dalam penelitian ini peralatan utama yang digunakan yaitu *Robotic Total Station* Sokkia iX1000 dan mini prisma *reflector* untuk pengambilan data koordinat patok geser, UAV DJI Mavic 2 *Pro Enterprise Dual Thermal* untuk pengambilan data foto udara dan komputer untuk pengolahan data. Perangkat lunak untuk pembuatan jalur terbang pengambilan foto udara UAV yaitu DJI Pilot. Agisoft *Metashape Professional* digunakan untuk pemrosesan data foto udara menjadi data *point cloud*. *Maptek Point Studio* digunakan untuk analisis penampang bendungan dan ekstraksi data koordinat titik pemantauan berdasarkan data *point cloud*. Bahan utama yang digunakan yaitu lembaran untuk penanda (*marking*) titik kontrol tanah. Metode dan teknis pelaksanaan penelitian seperti tergambar pada diagram alir Gambar 1.

Proses *reality capture* bertujuan untuk mendapatkan kondisi eksisting pada bendungan yang dalam penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan metode fotogrametri. Konsep fotogrametri dalam rangka untuk mendapatkan kondisi eksisting yaitu dengan cara mengambil citra suatu obyek dalam bentuk foto dari berbagai arah. Dalam penelitian ini pengambilan foto menggunakan UAV sehingga memungkinkan pemotretan dari udara yang didukung dengan aplikasi pembuatan jalur penerbangan (*flight mission*).

Jika fotogrametri untuk keperluan pembuatan peta, dimana hanya diperlukan pengambilan citra yang tegak lurus (*ortho*) terhadap permukaan bumi maka pemotretan untuk keperluan pemantauan deformasi suatu konstruksi dilakukan secara tiga dimensi yaitu dari berbagai arah dengan sudut pandang kamera tidak hanya tegak lurus saja. Untuk itu pembuatan jalur penerbangan menggunakan aplikasi DJI Pilot mode *oblique* agar memungkinkan pemotretan dari berbagai arah dan sudut pandang tetapi konsisten, teratur dan terpola pada ketinggian penerbangan, interval jarak pemotretan dan sudut pandang kameranya. Pengaturan jalur penerbangan ini perlu disimpan untuk digunakan kembali pada periode pemantauan berikutnya untuk menjaga konsistensi. Jalur penerbangan UAV diatur seperti terlihat pada Gambar 2.

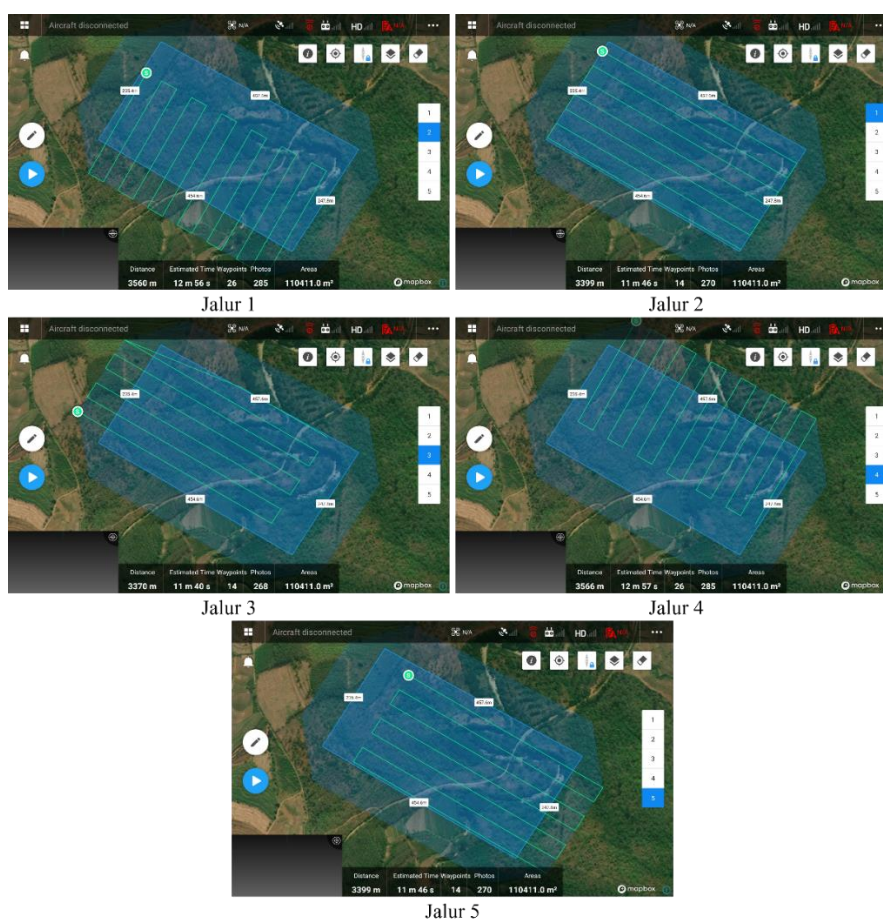


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



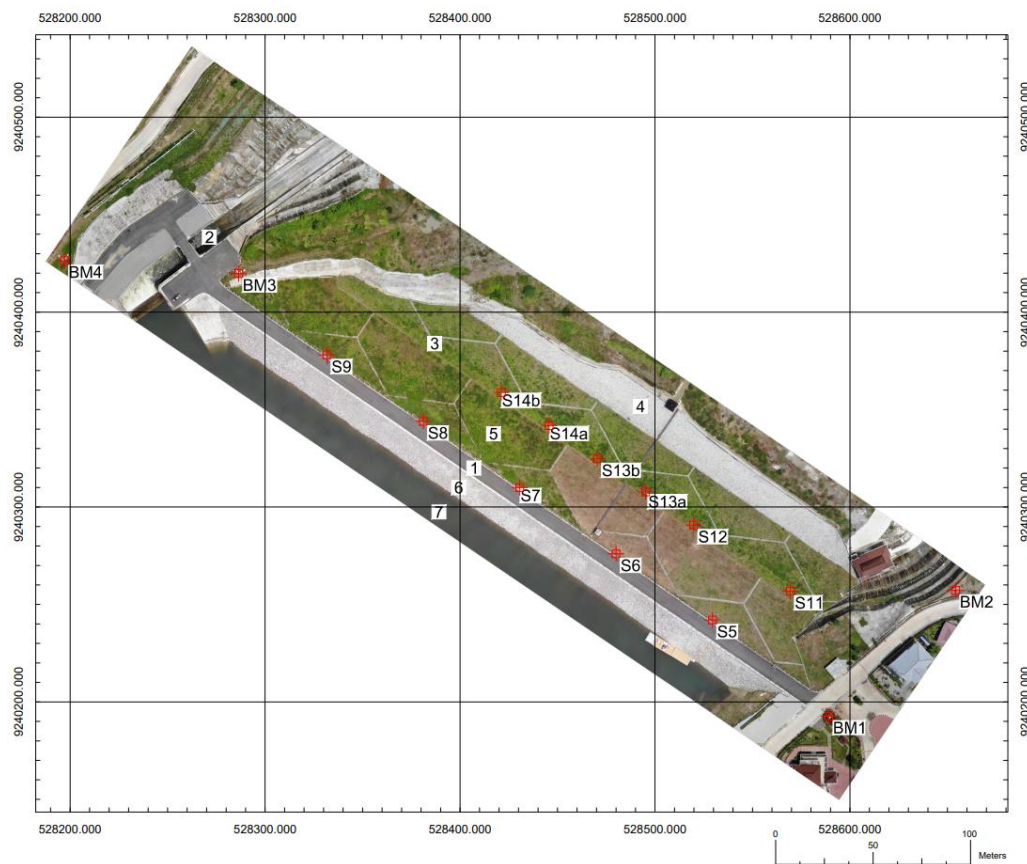
Gambar 2. Pengaturan Jalur Terbang UAV

Pembuatan jalur penerbangan mode *oblique* pada aplikasi DJI Pilot menghasilkan 5 jalur penerbangan yang masing-masing berbeda baik pada jalur maupun sudut arah kamera yang dapat dilihat pada Gambar 3. Kelima jalur penerbangan tersebut seperti terlihat pada Gambar 3, sudah didesain untuk dapat mengambil foto yang mencakup keseluruhan bagian utama dari bendungan termasuk semua titik kontrol tanah yang digunakan. Pengambilan data foto udara untuk keperluan *reality capture* dilaksanakan pada tanggal 18 Maret 2022, 27 Agustus 2022 dan 12 November 2022. Pada waktu yang bersamaan dilakukan juga pemantauan deformasi pada prisma reflektor yang dipasang pada sebelas patok geser di lereng hilir dengan menggunakan RTS.



Gambar 3. Jalur Penerbangan UAV Mode *Oblique*

Sebagai titik kontrol tanah, digunakan empat BM eksisting di sekitar bendungan yang sudah memiliki nilai koordinat dan tersebar pada pojok-pojok bendungan sebagai *area of interest* (AOI). Keempat *benchmark* (BM) tersebut adalah BM1, BM2, BM3 dan BM4 (lihat Gambar 4). Pada keempat BM tersebut dipasang marking agar lebih mudah terlihat pada saat pemrosesan foto. Adapun posisi BM tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.



Keterangan:

- 1 : Mercu bendungan
- 2 : *Spillway*
- 3 : *Berm*
- 4 : *Toe Drain*
- 5 : Lereng hilir
- 6 : Lereng hulu
- 7 : Area genangan
- BM1-BM4: *Benchmark GCP*
- S5 - S14b : patok geser yang dipantau

Gambar 4. Posisi BM dan Patok Geser Bendungan yang Dipantau

Dari hasil pemotretan udara setiap periode pemantauan didapatkan rata-rata sekitar 1300 foto. Dengan menggunakan aplikasi Agisoft Metashape Professional, selanjutnya foto-foto tersebut diolah dengan urutan *Align Photos*, koreksi koordinat foto menggunakan GCP dan pembuatan *point cloud*. Jumlah *point cloud* yang dihasilkan dari pemrosesan ini rata-rata mencapai 53 juta titik pada tiap sesi pemantauan.

Hasil Studi dan Pembahasan

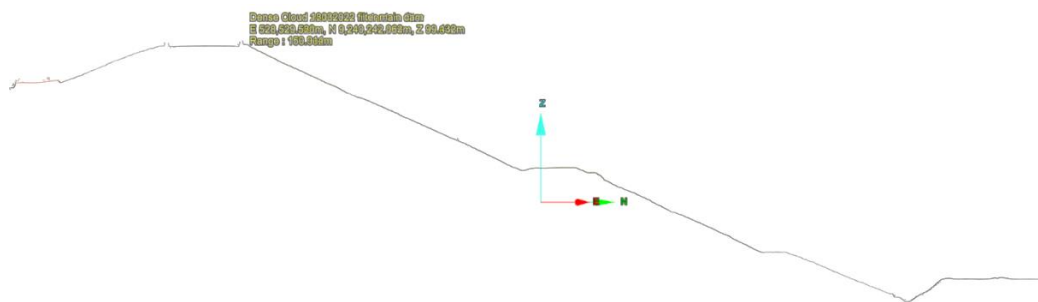
Hasil Studi

Dari foto udara menggunakan UAV yang sudah diproses dengan metode fotogrametri menggunakan perangkat lunak Agisoft Metashape Professional menghasilkan *point cloud* yang meliputi keseluruhan sisi hulu dan hilir bendungan seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



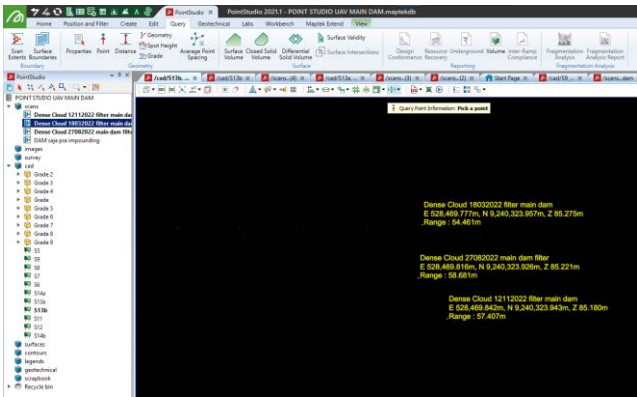
Gambar 5. *Point cloud* Hasil Pemrosesan Fotogrametri

Selanjutnya dengan aplikasi Maptek Point Studio, data *point cloud* tersebut digunakan untuk menampilkan penampang bendungan dari setiap tanggal pengambilan data. Irisan penampang bendungan dibuat tepat pada posisi yang sama dengan patok geser yang dipantau oleh RTS. Gambar 6 menampilkan contoh hasil penampang bendungan.



Gambar 6. Penampang Bendungan dari *Point Cloud*

Dari penampang bendungan yang didapatkan, kemudian dengan menggunakan fungsi *Query* → *Point* dilakukan ekstraksi data koordinat elevasi pada lokasi patok geser sehingga didapatkan nilai seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Ekstrak Data Koordinat

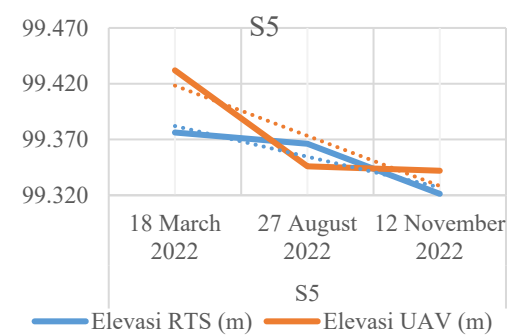
Data elevasi yang dihasilkan dari *point cloud* tersebut kemudian dibandingkan dengan data elevasi pemantauan patok geser menggunakan RTS sebagai nilai yang dianggap benar pada waktu yang sama seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan koordinat elevasi patok geser dari RTS dan fotogrametri

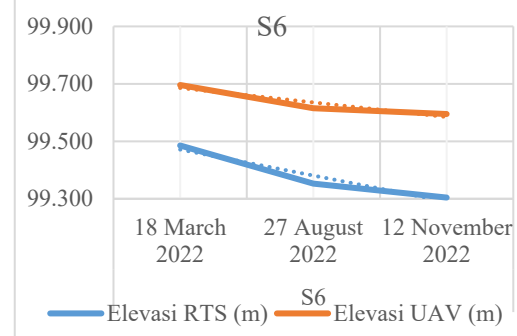
Titik	Tanggal Pemantauan	Elevasi RTS (m)	Elevasi fotogrametri (m)	Selisih (m)
S5	18 March 2022	99.376	99.432	0.056
	27 August 2022	99.366	99.346	0.020
	12 November 2022	99.321	99.342	0.021
S6	18 March 2022	99.486	99.696	0.210
	27 August 2022	99.353	99.615	0.262
	12 November 2022	99.304	99.595	0.291
S7	27 August 2022	99.679	99.927	0.248
	12 November 2022	99.631	99.939	0.308
S8	18 March 2022	99.546	99.837	0.291
	27 August 2022	99.487	99.799	0.312
	12 November 2022	99.442	99.771	0.329
S9	18 March 2022	99.221	99.508	0.287
	27 August 2022	99.162	99.501	0.339
	12 November 2022	99.121	99.489	0.368
S12	27 August 2022	85.115	85.290	0.175
	12 November 2022	85.078	85.277	0.199
S13a	27 August 2022	85.012	85.187	0.175
	12 November 2022	84.976	85.140	0.164
S13b	27 August 2022	85.003	85.221	0.218
	12 November 2022	84.967	85.180	0.213
S14b	27 August 2022	85.077	85.238	0.161
	12 November 2022	85.043	85.187	0.144
Rata-rata				0.143

Dari data pada Tabel 1, dengan nilai pengukuran yang menggunakan satuan meter didapatkan nilai RMSE sebesar 0,238. Jika nilai pengukuran menggunakan satuan desimeter maka nilai RMSE menjadi 2,382.

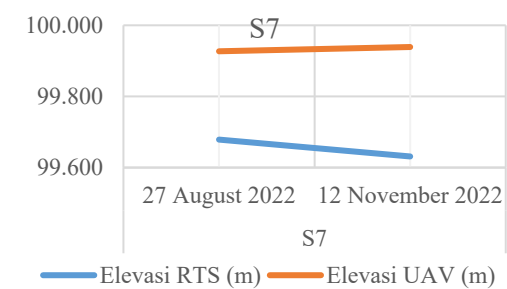
Berdasarkan Tabel 1 selanjutnya dibuat menjadi grafik untuk mengetahui gambaran *trendline* dari masing-masing data pemantauan seperti terlihat pada Gambar 8 sampai dengan Gambar 16.



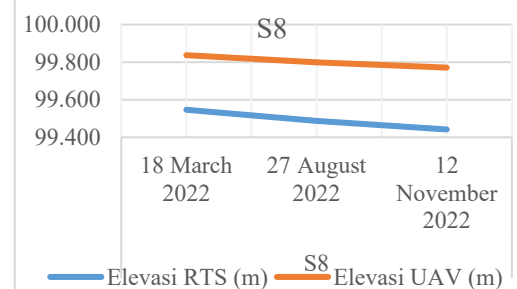
Gambar 8. Laju Deformasi Patok S5



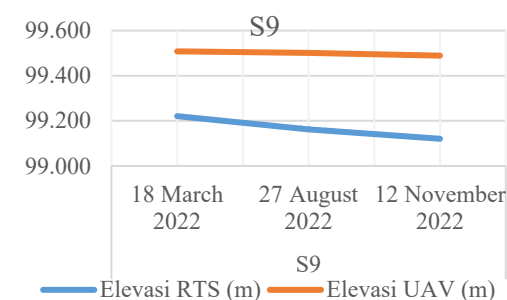
Gambar 9. Laju Deformasi Patok S6



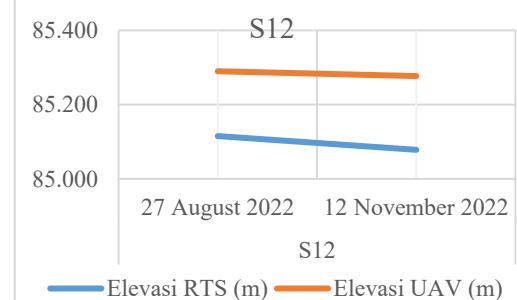
Gambar 10. Patok S7



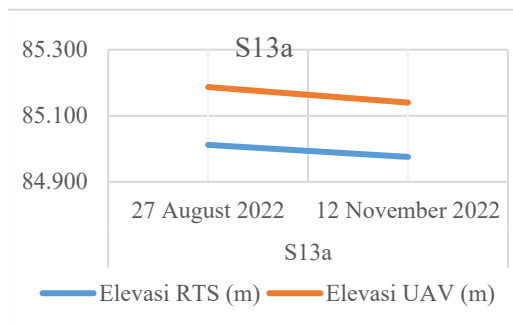
Gambar 11. Patok S8



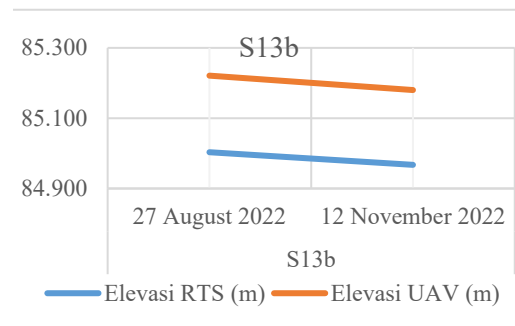
Gambar 12. Patok S9



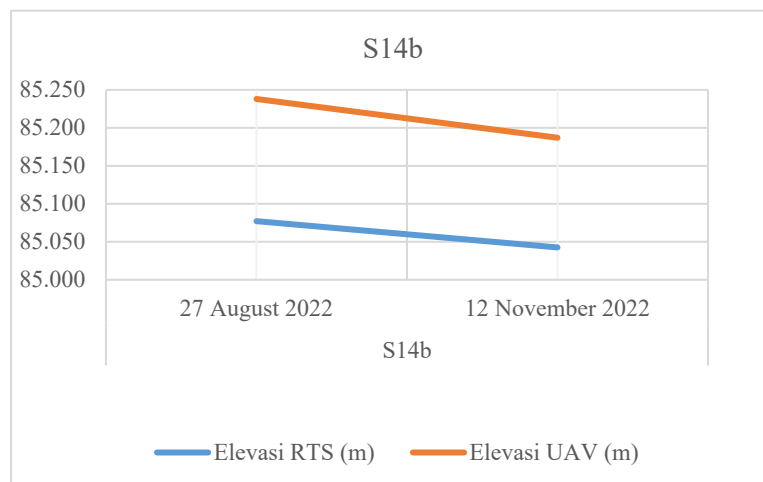
Gambar 13. Patok S12



Gambar 14. Patok S13a



Gambar 15. Patok S12



Gambar 16. Patok S14b

Pembahasan

Hasil perhitungan nilai RMSE dengan data yang menggunakan satuan meter dan desimeter menghasilkan angka yang rendah, hal ini menunjukkan bahwa pengukuran deformasi berbasis metode fotogrametri ini akurasi cukup tinggi pada tingkat satuan meter dan desimeter. Berdasarkan grafik linimasa deformasi pada sembilan titik pemantauan, semuanya menunjukkan kecenderungan *trendline* deformasi yang serupa antara pengukuran RTS dan fotogrametri, kecuali hanya pada patok S7. Artinya secara umum antara pemantauan deformasi menggunakan RTS dan fotogrametri menunjukkan laju deformasi dengan kecenderungan yang serupa. Selisih elevasi hasil pemantauan antara RTS dengan fotogrametri kemungkinan dipengaruhi oleh perbedaan titik referensi yang digunakan oleh masing-masing alat.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

1. Reality *Capture* berbasis fotogrametri dapat diterapkan sebagai metode alternatif dalam pemantauan deformasi bendungan.
2. Pengambilan citra obyek dalam fotogrametri bendungan dilakukan dengan metode *oblique*, yaitu pemotretan obyek dari segala arah secara konsisten, teratur dan terpola.
3. Nilai RMSE hasil pengukuran deformasi dengan fotogrametri sebesar 0.238, ini menunjukkan bahwa fotogrametri memiliki akurasi yang cukup tinggi.
4. Laju eformasi patok geser bendungan yang diukur menggunakan RTS dan fotogrametri, menunjukkan pola yang serupa.
5. Selisih nilai pemantauan deformasi antara RTS dengan fotogrametri bisa disebabkan karena perbedaan titik referensi yang digunakan dalam pemantauan.

Saran

1. Untuk meningkatkan akurasi pengukuran, sebaiknya perlu dilakukan *update* koordinat titik BM dan CP yang ada di area bendungan yang digunakan sebagai referensi pemantauan deformasi, karena ada kemungkinan titik BM dan CP mengalami perubahan posisi selama proses pelaksanaan konstruksi. *Update* yang dimaksud berupa pengukuran ulang koordinat BM dan CP terhadap referensi global setiap periode pemantauan
2. Pemantauan deformasi yang menggunakan beberapa alat yang berbeda disarankan agar menggunakan titik referensi yang sama

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Politeknik Pekerjaan Umum atas pembiayaan dana dan dukungan peralatan penelitian
2. BBWS Pemali Juana yang telah mengizinkan pelaksanaan penelitian di Bendungan Randugunting
3. Mahasiswa Politeknik Pekerjaan Umum Prodi Teknologi Konstruksi Bangunan Air dan Teknologi Konstruksi Jalan dan Jembatan Angkatan 2019 dan 2020 yang tergabung dalam Tim Penelitian atas bantuan pengambilan dan pengolahan data penelitian ini.

Daftar Referensi

- Almukhtar, A., Saeed, Z. O., Abanda, H., & Tah, H. M. (2021). Reality Capture of Buildings Using 3D Laser Scanners. *CivilEng*.
- Berberan, A., Marcelino, J., Boavida, J., & Oliveira, A. (2007). Deformation monitoring of earth dams using laser scanners and digital imagery.
- Fobiri, G., Musonda, I., & Muleya, F. (2022). Reality Capture in Construction Project Management: A Review of Opportunities and Challenges. *Buildings*.

- Kraus, K. (2000). Photogrammetry. Vienna: Walter de Gruyter.
- Linder, W. (2016). Digital Photogrammetry. Berlin: Springer.
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Harley, I. (2011). Close Range Photogrammetry. Scotland: Whittles Publishing.
- Riyanto, S., & Putera, A. R. (2022). Metode Riset Penelitian Kesehatan & Sains. Yogyakarta: Deepublish.
- Tolle, H., Dewi, R. K., Brata, K. C., & Perdamean, B. (2022). Framework for Development of 3D Temple Objects based on Photogrammetry Method. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(5), 564–571. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2022.0130566>

HUBUNGAN LUAS GENANGAN DAN DEBIT BANJIR RANCANGAN PADA DAS WAY KANDIS LAMPUNG

Aprizal*, Try Octaredy

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bandar Lampung

*aprizal@ubl.ac.id

Pemasukan: 2 Juli 2023 Perbaikan: 18 Mei 2024 Diterima: 24 Juni 2024

Intisari

Mitigasi banjir menjadi perhatian pemerintah Indonesia baik pusat maupun daerah. Sebagai upaya untuk dapat memitigasi adalah kemampuan memperkirakan seberapa luas genangan banjir yang akan terjadi. Disadari bahwa luas genangan banjir dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain kondisi daerah aliran sungai dan tinggi hujan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hubungan antara luas genangan banjir dan debit banjir sebagai akibat dari perubahan fungsi lahan (*land use*) suatu DAS dan tinggi hujan. Lokasi penelitian adalah DAS Way Kandis Lampung dengan pertimbangan pada DAS ini terjadi alih fungsi lahan (*land use*) hingga menimbulkan banjir setiap tahun. Penelitian ini dimulai dengan menganalisis hidrograf banjir DAS Way Kandis menggunakan Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu dengan 2 *time series* hujan yaitu tahun 1996-2007 dan tahun 2004-2015, lalu diintegrasikan dengan beberapa *software* yaitu HEC-RAS Versi 5.0.7, ArcGIS Versi 10.3, dan Global Mapper Versi 20.0 untuk mendapatkan luas genangan. Tahap selanjutnya memvalidasi hasil simulasi banjir dengan kejadian banjir yang pernah terjadi dan membuat kurva hubungan debit banjir dengan luas genangan banjir hasil simulasi. Dari hasil penelitian diperoleh kurva hubungan antara luas banjir dengan debit banjir rancangan (Lvs Q) berupa persamaan polynomial orde 3 dan koefisien determinasi (R^2). Untuk Time Series 1 persamaannya: $Y = -1E^{-08}X^3 + 3E^{-05}X^2 - 0.018X + 27,98$, $R^2 = 0.9996$ dan untuk Time Series 2 persamaannya: $Y = -6E^{-09}X^3 + 1E^{-05}X^2 + 0.0122X + 24,778$, $R^2 = 0.9991$. Persamaan kurva di atas menunjukkan bahwa terjadi peningkatan luas genangan banjir sebagai akibat meningkatnya perubahan fungsi lahan dan tinggi hujan yang dapat digunakan dalam upaya mitigasi banjir.

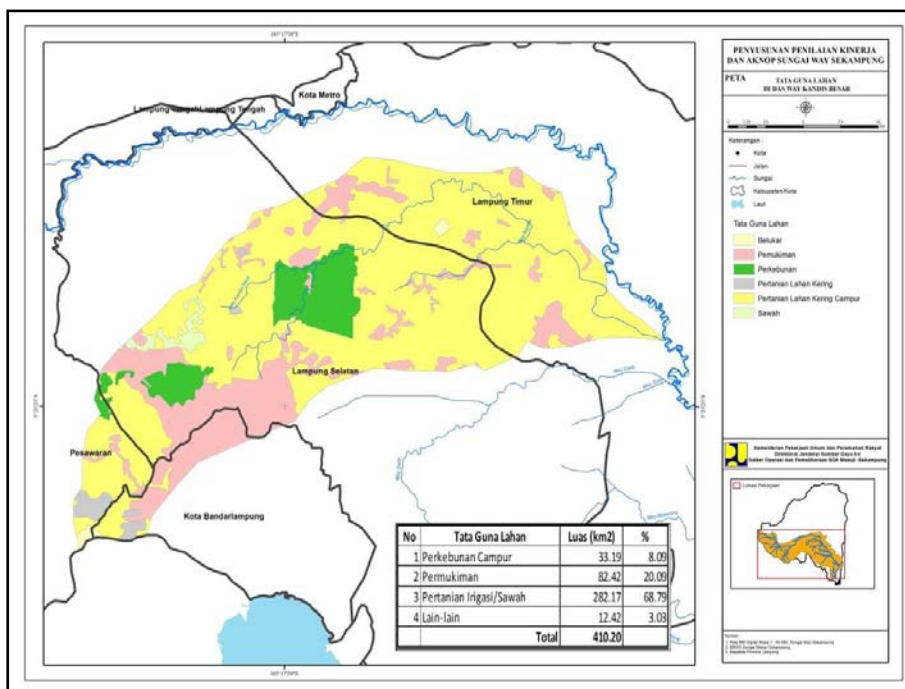
Kata Kunci: Mitigasi, DAS, Luas genangan banjir, *Land use*, Way Kandis.

Latar Belakang

Permasalahan banjir merupakan salah satu masalah klasik yang kerap melanda beberapa daerah di Indonesia. Penyebab utamanya antara lain adalah akibat perubahan fungsi lahan (*land use*) dan tingginya curah hujan. Perubahan alih fungsi lahan (*land use*) lebih merupakan domainnya manusia untuk direkayasa, namun tingginya curah hujan justru sebaliknya.

Tingginya debit air di sungai yang terjadi akibat perubahan fungsi lahan (*land use*) pada suatu kawasan mengakibatkan genangan banjir di kawasan sekitar sungai

atau dengan kata lain ketidakmampuan sungai untuk menampung air sungai yang berlebih karena hujan yang turun terus menerus. Daerah Aliran Sungai Way Kandis merupakan salah satu DAS yang mengalami fenomena alih fungsi lahan (*land use change*), sehingga setiap tahun selalu terjadi banjir di beberapa lokasi sepanjang aliran Sungai Way Kandis. Sungai Way Kandis adalah sungai yang melintasi Kabupaten Lampung Selatan dan merupakan sungai orde 2 yang bermuara di Sungai Way Sekampung. Sungai Way Kandis memiliki panjang 70,1km dengan luas DAS sebesar 410,20 km² (lihat gambar 1).



Gambar 1. Peta DAS Way Kandis

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hubungan antara luas genangan banjir dan debit banjir sebagai akibat dari perubahan fungsi lahan (*land use*) suatu DAS dan tinggi hujan. Lokasi penelitian adalah DAS Way Kandis Lampung dengan pertimbangan pada DAS ini telah terjadi alih fungsi lahan (*land use*). Berdasarkan peta RTRW pada DAS Way Kandis, diketahui luas penggunaan lahan pada tahun 2007 sebagaimana ditampilkan dalam tabel 1 dan luas penggunaan lahan pada tahun 2015 sebagaimana ditampilkan dalam tabel 2 di bawah ini.

Tabel 1. Penggunaan Lahan DAS Way Kandis Tahun 2007

No.	Jenis Tutupan Lahan	Luas (km ²)
1.	Hutan	10,30
2.	Pemukiman	25,72
3.	Pertanian/Sawah	197,91
4.	Perkebunan Campur	168,22
5.	Lain-lain	8,05
Luas Total DAS Way Kandis		410,20

Sumber: Bappeda Kabupaten Lampung Selatan, Tahun 2007

Tabel 2. Penggunaan Lahan DAS Way Kandis Tahun 2015

No.	Jenis Tutupan Lahan	Luas (km ²)
1.	Hutan	7,63
2.	Pemukiman	82,42
3.	Pertanian/Sawah	282,17
4.	Perkebunan Campur	33,19
5.	Lain-lain	4,79
Luas Total DAS Way Kandis		410,20

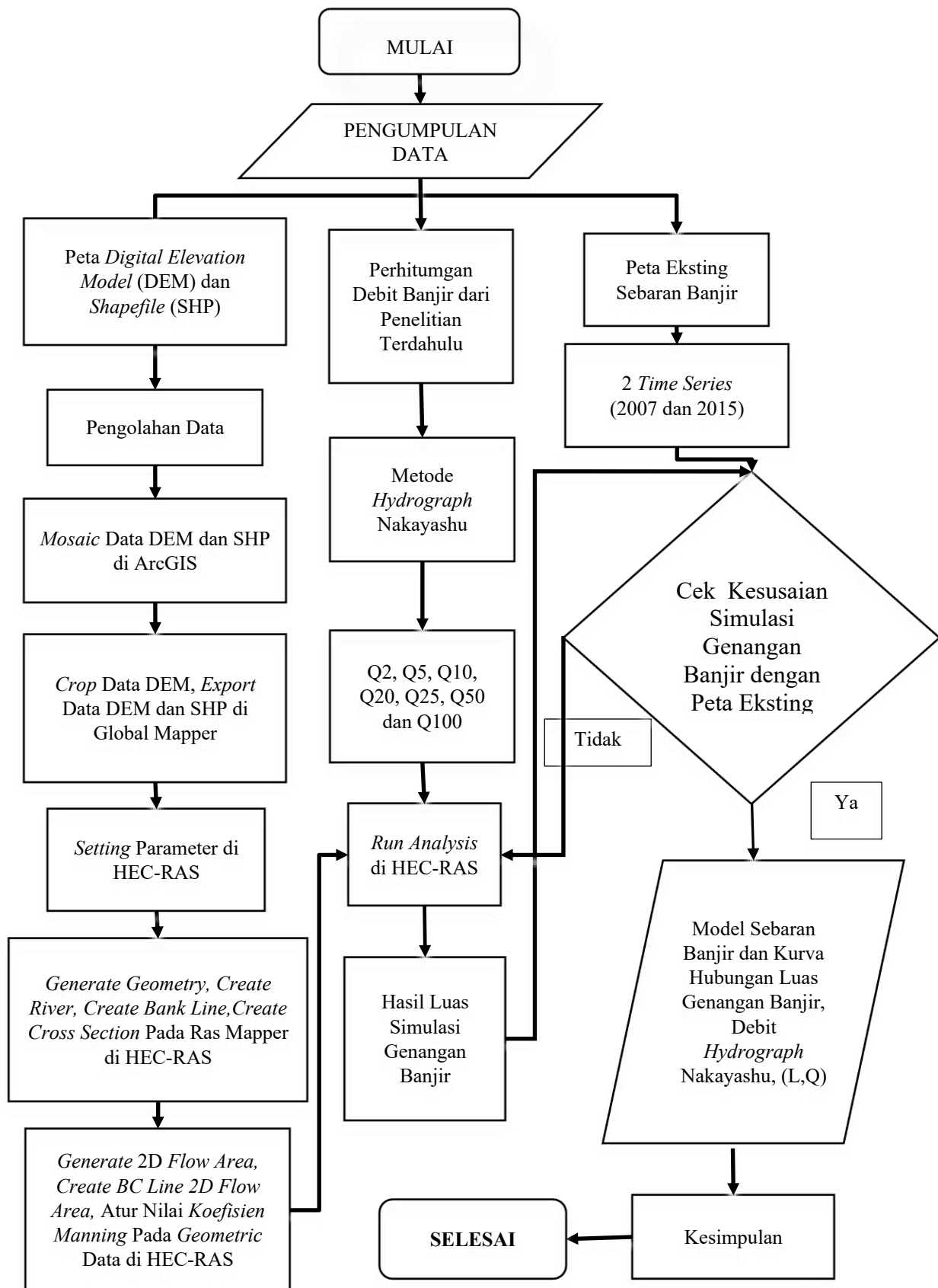
Sumber: Bappeda Kabupaten Lampung Selatan, Tahun 2007

Diharapkan dengan penelitian ini persamaan yang diperoleh bermanfaat menjadi instrumen dalam memprediksi luas genangan yang ditimbulkan oleh perubahan debit banjir pada DAS Way Kandis Lampung.

Metodologi Studi

Berikut metodologi dalam Penelitian ini:

- Melaksanakan pengumpulan data berupa:
 - Digital *Elevation Model* (DEM) yang didapatkan dari *download* di situs resmi Digital Elevation Model National (DEMNAS) Indonesia.
 - Shapefile (SHP) yang didapatkan dari *download* di Resmi *Shapefile* (SHP) Indonesia Info Geospasial.
 - Data perhitungan debit *hydrograph* Nakayashu di DAS Way Kandis sebanyak 2 *time series* yaitu data tahun 1996-2007 dan tahun 2004-2015, yang didapatkan dari penelitian terdahulu (Aprizal, Eko J, 2019).
 - Peta Kejadian Genangan.
- Mengolah data Digital *Elevation Model* (DEM) DAS Way Kandis menggunakan pemodelan geometri di aplikasi ArcGIS 10.3 dan *Global Mapper* versi 20.0 untuk digunakan pada pemodelan HEC-RAS versi 5.0.7.
- Menganalisa dan memodelan sebaran banjir 2D di DAS Way Kandis (tanpa adanya bangunan air) berdasarkan data *geometry* sungai hasil *generate geometry* pada *Ras Mapper* dengan parameter debit *hydrograph* Nakayashu Tahun 2007 dan Tahun 2015.
 - Setelah proses pembentukan data yang dilakukan oleh ArcGIS versi 10.3 dan *Global Mapper* versi 20.0 selesai, langkah selanjutnya data tersebut di masukkan ke aplikasi HEC-RAS versi 5.0.7 untuk dilakukan perbaikan *geometry* yang tidak sempurna karena lemahnya tingkat ketelitian DEM dengan menjadikan model dua dimensi.
 - Setelah *geometry* data diperbaiki dan DEM baru terbentuk menjadi dua dimensi, kemudian dapat memasukkan data aliran tak permanen atau *unsteady flow* yang artinya kedalaman air dapat berubah terhadap waktu.
 - Pada tahap *unsteady flow* data masukannya adalah data debit hasil perhitungan *hydrograph* Nakayashu.



Gambar 2. Diagram alir Penelitian

- d. Setelah semua data geometry dan data aliran telah dimasukan, maka dapat dilakukan analisa dan pemodelan sebaran banjir dengan cara klik menu Run Unsteady flow.
- e. Kemudian di compute maka perhitungan profil muka air telah selesai dilakukan. Langkah terakhir dalam melakukan pemodelan sebaran banjir adalah menampilkan hasil simulasi genangan banjir.
4. Memetakan luas genangan banjir dan menghitung luas genangan yang terjadi. Dalam membuat *flood inundation map* digunakan bantuan fitur *RAS Mapper* pada program HEC-RAS 5.0.7 dengan langkah sebagai berikut:
 - a. Setelah hasil komputasi hidrolika dengan masukan debit kala ulang selesai, maka dapat dilihat hasilnya di fitur RAS Mapper dengan mengaktifkan map layer dari google satelit atau yang lainnya.
 - b. Kemudian dilakukan komputasi inundation boundary atau batas genangan yang hasilnya nilai luas simulasi genangan banjir.
 - c. Setelah itu dapat disimpulkan dan dilakukan penyusunan akhir *flood inundation map* dari DAS Way Kandis.
5. Melakukan validasi luas genangan banjir yang pernah terjadi dengan luas hasil simulasi.
6. Membuat kurva hubungan antara luas genangan banjir dengan debit (L dan Q).
7. Menyusun kesimpulan dan saran dari hasil penelitian ini

Hasil dan Analisis

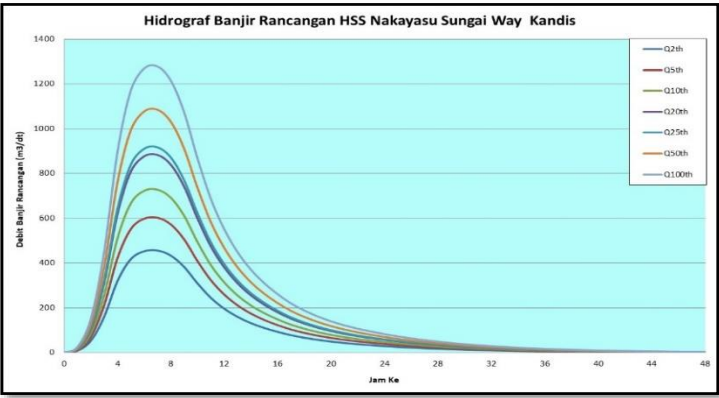
Debit yang digunakan pada penelitian ini menggunakan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan pada DAS Way Kandis, (Aprizal, Julianto E., 2019) menggunakan 2 *time series* untuk analisis hidrologi berdasarkan data *land use* pada tahun 2007 dan tahun 2015. Debit yang dihasilkan dalam *time series* hujan tahun 1996-2007 (table 3 dan gambar 2) lebih kecil dibandingkan dengan *time series* hujan tahun 2004-2015 (table 4 dan gambar 3) karena nilai C (koefisien pengaliran) rata-rata tahun 2007 adalah 0,357 lebih kecil dari nilai C (koefisien pengaliran) rata-rata tahun 2015 adalah 0,438.

Time Series tahun 1996-2007

Tabel 3. Rekapitulasi Debit Banjir Maksimal Rancangan Nakayashu Tahun 1996-2007

	Q2th	Q5th	Q10th	Q20th	Q25th	Q50th	Q100th
Q(m ³ /det)	455,14	602,99	727,20	882,28	917,07	1085,17	1278,37

(Sumber: Aprizal, Julianto E., 2019)



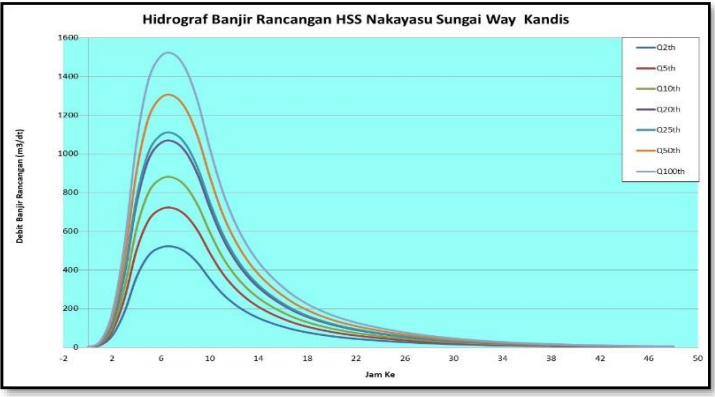
Gambar 3 Kurva *Hydrograph* Banjir Rancangan Nakayashu di DAS Way Kandis Tahun 1996-2007

Time Series tahun 2004-2015

Tabel 4 Rekapitulasi Debit Banjir Maksimal Rancangan Nakayashu Tahun 2004-2015

	Q2th	Q5th	Q10th	Q20th	Q25th	Q50th	Q100th
Q(m3/det)	521,38	720,42	876,82	1064,75	1106,92	1299,60	1515,98

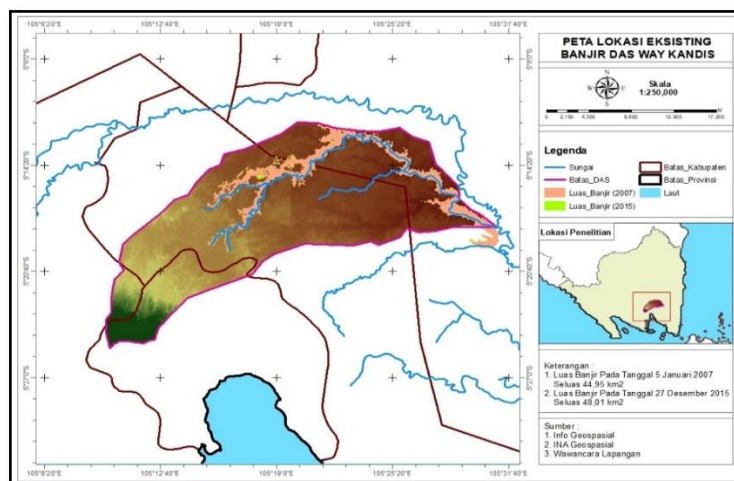
(Sumber: Aprizal, Julianto E., 2019)



Gambar 4 Kurva *Hidrograf* Banjir Rancangan Nakayashu di DAS Way Kandis Tahun 2004-2015

Peta Kejadian Banjir

Hasil investigasi instansi terkait luas genangan banjir yang terjadi pada rentang tahun 1996-2007 dan tahun 2004-2015 ditampilkan dalam gambar 4 berikut:



Gambar 5. Peta Lokasi Eksisting Banjir DAS Way Kandis

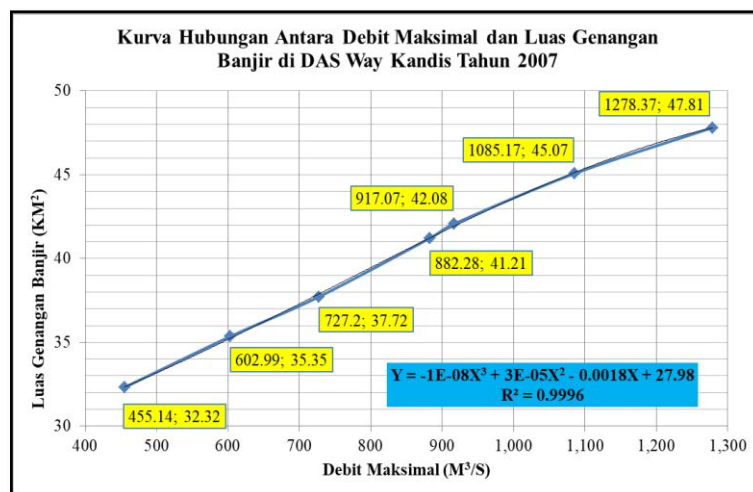
Kurva Hubungan Antara Debit dan Luas Genangan Banjir

Setelah dilakukan simulasi HEC RAS maka diperoleh luas genangan yang ditabelkan pada table berikut, dan diperoleh persamaan hubungan antara Q dan Luas genangan pada tabel 3 dan gambar 6 untuk time series 1996-2007 dan pada tabel 4 dan gambar 7 untuk time series 2004-2015

1. Time Series 1996-2007

Tabel 5. Hubungan Antara Debit dan Luas Genangan Banjir Tahun 1996-2007

	Q2th	Q5th	Q10th	Q20th	Q25th	Q50th	Q100th
Q	455.14	602.99	727.20	882.28	917.07	1085.17	1278.37
L	32.32	35.35	37.72	41.21	42.08	45.07	47.81

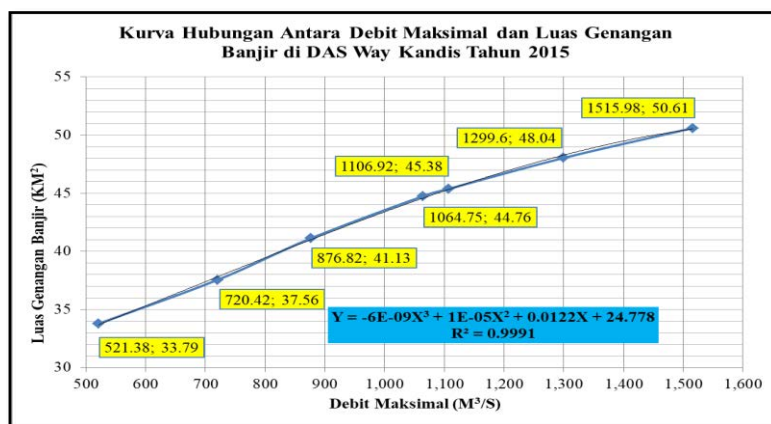


Gambar 6. Kurva Hubungan Debit Maksimal dan Luas Genangan banjir di DAS Way Kandis Tahun 1996-2007

2. Time Series 2015

Tabel 6. Hubungan Antara Debit dan Luas Genangan Banjir tahun 2004-2015

	Q2th	Q5th	Q10th	Q20th	Q25th	Q50th	Q100th
Q	521.38	720.42	876.82	1064.75	1106.92	1299.60	1515.98
L	33.79	37.56	41.13	44.76	45.38	48.04	50.61



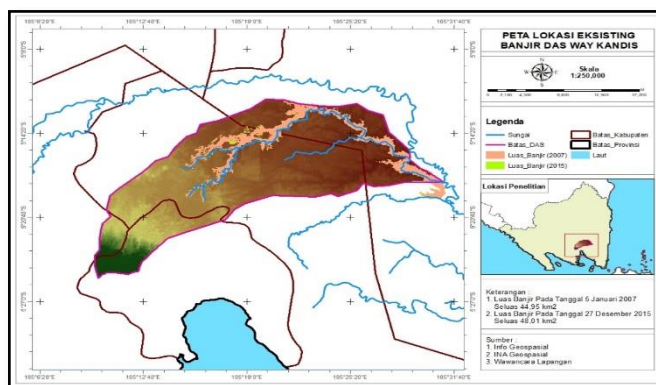
Gambar 7. Kurva Hubungan Debit Maksimal dan Luas Genangan banjir di DAS Way Kandis tahun 2004-2015

Validasi Hasil

Memvalidasi hasil simulasi luas genangan banjir dengan peta eksisting kejadian banjir yang pernah terjadi di DAS Way Kandis pada tahun 2007 dan 2015. Dengan cara mencocokkan data luas banjir dari peta eksisting banjir yang pernah terjadi dengan data hasil simulasi genangan banjir di HEC-RAS.

Data yang didapatkan dari peta eksisting banjir pada tanggal 5 januari 2007 adalah seluas 44,95 km² mendekati hasil simulasi genangan banjir dengan debit rancangan 50 tahun dan debit maksimum 1299,6 m³/s didapatkan luas genangan banjir seluas 45,07 km² sehingga didapatkan selisihnya sebesar 0,12 km² atau 0,26%.

Pada tanggal 27 desember 2015 adalah seluas 48,01 km² mendekati hasil simulasi genangan banjir dengan debit rancangan 50 tahun dan debit maksimum 1299,6 m³/s didapatkan luas genangan banjir seluas 48,04 km² sehingga didapatkan selisihnya sebesar 0,03 km² atau 0,06%.



Gambar 8. Peta Lokasi Eksisting Banjir DAS Way Kandis

Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian ini, sebagai berikut:

1. Kurva hubungan antara luas banjir dan debit maksimal (L,Q), persamaan *polynomial* order 3 dan nilai uji korelasi (R^2), adalah *Time Series* 1 persamaannya: $Y = -1E^{-08}X^3 + 3E^{-05}X^2 - 0.018X + 27,98$, $R^2 = 0.9996$ dan untuk *Time Series* 2 persamaannya: $Y = -6E^{-09}X^3 + 1E^{-05}X^2 + 0.0122X + 24,778$, $R^2 = 0.9991$.
2. Perbedaan luas genangan banjir dari peta eksisting banjir dengan 2 *time series* yaitu 2007 dengan luas 44,95 km² dan 2015 dengan luas 48,01 km² terlihat kenaikan luas genangan banjir dengan selisih yaitu seluas 3.06 km².
3. Dari validasi data hasil simulasi genangan banjir didapatkan luas kejadian banjir yang pernah terjadi pada tahun 2007 seluas 44,95 km² mendekati hasil simulasi genangan banjir *time series* 1 dengan debit rancangan 50 tahun seluas 45,07 km² sehingga didapatkan selisihnya sebesar 0,12 km² atau 0,26%. Begitu pula pada kejadian banjir pada tahun 2015 adalah seluas 48,01 km² mendekati hasil simulasi genangan banjir *time series* 2 dengan debit rancangan 50 tahun seluas 48,04 km² sehingga didapatkan selisihnya sebesar 0,03 km² atau 0,06%.

Saran

1. Simulasi 2 Dimensi cukup akurat bila digunakan untuk mencari luas dan model sebaran banjir menggunakan data DEM hasil *download* dan mungkin akan lebih akurat lagi jika menggunakan data hasil pengukuran di lapangan.
2. Perbaikan data DEM penampang sungai dengan pengukuran di lapangan menggunakan alat ukur tanah akan membuat data penampang sungai menjadi lebih akurat dan dapat mempermudah proses pembuatan simulasi genangan banjir di HEC-RAS Versi 5.0.7.

Daftar Pustaka

- Aprizal, Julianto, E. (2019). Analisis Dampak Alih Fungsi Lahan Terhadap Peningkatan Debit Banjir Sungai Way Kandis, ITP Open Conference Systems, *Seminar Nasional: Strategi Pengembangan Infrastruktur (SPI)*, Padang,
- Aronoff, Stan. (1989). *Geographic Information System: A Management Perspective*. WDL, Publicant, Ottawa, Kanada. <https://doi.org/10.1080/10106048909354237>
- Bedient, P.B., dan Huber, W.C. (1992). *Hydrology and Flooplain Analysis*. Addison-Wesley Publishing Co.: USA.
- Berry, Joseph K. (2007) Beyond Mapping III: "Compilation of Beyond Mapping columns appearing in GeoWorld magazine 1996 to 2009". Basis Press, Innovative GIS Solution Inc. <http://www.innovativegis.com/basis/mapanalysis/Default.htm> [diakses pada tanggal 10 September 2023]
- Brunner, Gary W. (2016). *HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual*. Davis: U.S. Army Corps of Engineers.
- Montarcih, L. (2010). *Hidrologi Praktis*. Lubuk Agung, Bandung
- Smith, Gary., dan Friedman, Joshua, (2004). 3D GIS: A Technology Whose Time Has Come. ESRI Earth Observation Magazine, www.esri.com/earthobservation/magazine. [diakses pada tanggal 10 September 2023]
- Soemarto, CD. (1999). *Hidrologi Teknik*. Tri Star Printing: Jakarta.
- Subramanya, K. (2009). *Engineering Hydrology*, McGraw-Hill Education (Asia): Singapore.
- Ridwan, M. (2012). "Pemodelan Wilayah Banjir di Kota Jambi", *Skripsi*, FMIPA-Departemen Geografi UI, Jakarta
- Triatmodjo, B. (2013). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset: Yogyakarta

STUDI POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR (PLTA) PADA BENDUNGAN BULANGO ULU KABUPATEN BONE BOLANGO

Dinar Fauziah Utiahman*, Barry Y Labdul, Aryati Alitu

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Negeri Gorontalo

*dinarutiarahman@gmail.com

Pemasukan: 9 Januari 2024 Perbaikan: 19 Mei 2024 Diterima: 24 Juni 2024

Intisari

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah pembangkit yang berbasis tenaga potensial dan kinetik air untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit listrik tenaga air memanfaatkan tenaga air sebagai sumber energi untuk menggerakkan turbin kemudian menghasilkan energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi debit dan potensi daya dan energi yang dihasilkan pada lokasi studi. Lokasi penelitian berada di Bendungan Bulango Ulu pada Sungai Mongiilo. Data yang digunakan yaitu data sekunder berupa data curah hujan, data klimatologi, data DAS, data lengkung kapasitas, dan layout pembangkit listrik tenaga air. Metode yang digunakan dalam analisis hidrologi menggunakan metode Penman modifikasi untuk menentukan besarnya evapotranspirasi, dalam menentukan ketersediaan debit sungai menggunakan metode NRECA kemudian dilakukan perhitungan penentuan debit pembangkit PLTA, selanjutnya dilakukan simulasi energi tiap tahun. Debit pembangkit dengan keandalan 70% sebesar $2 \times 8,22 \text{ m}^3/\text{det}$ menggunakan turbin tipe Francis dengan tinggi jatuh efektif 26,36 meter daya yang dihasilkan sebesar 3.939,73 kW dengan energi 25,93 GWh dalam satu tahun dengan efisiensi turbin dan generator masing-masing sebesar 0,97 dan 0,93.

Kata Kunci: PLTA, Hidrologi, Tinggi jatuh, Daya, Energi.

Latar Belakang

Bendungan atau *dam* merupakan konstruksi bangunan air yang berfungsi menampung dan menahan air untuk keperluan irigasi, persediaan air baku untuk air minum, industri dan perkotaan, perikanan, tempat wisata, serta pembangkit listrik. Bendungan dapat mengurangi dampak *global warming* karena merupakan salah satu sumber energi alternatif dalam hal ini sebagai pembangkit tenaga listrik.

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah pembangkit yang berbasis tenaga potensial dan kinetik air untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit listrik tenaga air memanfaatkan tenaga air sebagai sumber energi untuk menggerakkan turbin kemudian menghasilkan energi listrik.

Pembangunan pembangkit listrik dapat dilakukan dengan memanfaatkan aliran air sungai. Salah satu sungai yang cukup berpotensi untuk dilakukannya pembangunan PLTA adalah Sungai Mongiilo, Sungai yang memiliki panjang 27,59 km dan

merupakan sungai perenial yang debit airnya ada sepanjang tahun, akan tetapi mengalami fluktuasi debit pada saat musim hujan dan musim kemarau. Diperkirakan debit sungai dasar berkisar $14 \text{ m}^3/\text{dt}$ pada kondisi musim hujan dan sekitar $9 \text{ m}^3/\text{dt}$ pada kondisi musim kemarau. Lebar Sungai Mongiilo di lokasi rencana bendungan berkisar 25 m, ketinggian relatif dari dasar sungai sampai puncak sandaran sekitar 100-110 m (BWS Sulawesi II, 2022), dengan memanfaatkan Bendungan Bulango Ulu dengan sistem pengelolaan yang baik, selain digunakan sebagai pengendalian permasalahan banjir, irigasi, penyediaan pasokan air baku bagi masyarakat, pengembangan perikanan darat dan pariwisata Kabupaten Bone Bolango, Bendungan Bulango Ulu juga berpotensi sebagai penambah suplai energi listrik.

Metodologi Studi

Lokasi penelitian ini yaitu Bendungan Bulango Ulu yang berlokasi di tiga desa yaitu Desa Owata, Desa Tuloa, dan Desa Mongiilo, Kabupaten Bone Bolango. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Sumber: (Google Earth, 2022)
Gambar 1 Lokasi Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan merupakan tahap untuk melakukan studi literatur, yaitu dengan cara mengumpulkan data dan mempelajari literatur buku, jurnal, catatan kuliah maupun internet yang berkaitan dengan penelitian ini.
2. Tahap Pengumpulan Data bertujuan untuk mengumpulkan data yang diperlukan dalam penelitian ini. Dalam hal ini data yang diperlukan meliputi data curah hujan, data klimatologi, data DAS, data lengkung kapasitas Bendungan dan *layout* pembangkit listrik tenaga air.
3. Tahap Analisis bertujuan untuk mengolah data-data yang dikumpulkan selama penelitian, yaitu analisis hidrologi, analisis evapotranspirasi, analisis debit, analisis tinggi jatuh, analisis pembangkitan energi, analisis pemilihan turbin, serta analisis daya dan energi.

4. Tahap akhir merupakan tahap akhir di mana tahap ini menyusun data-data dari tahap awal hingga akhir serta kesimpulan dan saran.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: data curah hujan Stasiun Hujan Dulamayo dengan pencatatan data selama 15 tahun. (2007 - 2021), data klimatologi berupa temperatur, kecepatan angin, kecerahan matahari, kelembaban relatif, data Daerah Aliran Sungai (DAS), data lengkung kapasitas tampungan Bendungan Bulango Ulu, *Layout* Pembangkit Listrik Tenaga Air Bulango Ulu.

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Analisis Hidrologi dalam penelitian ini berkaitan dengan data curah hujan, iklim dan cuaca.,
2. Analisis Evapotranspirasi digunakan Metode *Penman* Modifikasi (*FAO*),
3. Analisis Simulasi Debit Metode NRECA menggunakan data hujan dari Stasiun Hujan Dulamayo selama 15 tahun (2007-2021) data luas DAS, dan data kondisi tanah kemudian menghasilkan debit simulasi (Qsim 2007-2021). Dengan Probabilitas metode *Weibull* menghasilkan grafik *Flow Duration Curve*,
4. Analisis Tinggi Jatuh Efektif menggunakan data tinggi jatuh kotor dan kehilangan tinggi tekan,
5. Analisis Pembangkitan Energi dilakukan simulasi energi dari tahun 2007- 2021 sesuai dari data debit dengan menggunakan debit pembangkitan dengan keandalan 70%,
6. Analisis Pemilihan Turbin berdasarkan grafik dan spesifikasi turbin dengan metode ESHA,
7. Analisis Daya dan Energi menganalisis penentuan daya dan energi yang dapat dihasilkan.

Hasil Studi dan Pembahasan

Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Sungai yang mengalir pada lokasi studi adalah Sungai Mongiilo yang terletak di DAS Bulango Ulu yang mempunyai luas DAS 243.190 km². Sungai ini merupakan sungai perenial yang debit airnya ada sepanjang tahun, akan tetapi mengalami fluktuasi debit pada saat musim hujan dan musim kemarau. Diperkirakan debit sungai dasar berkisar 14,0 m³/dt pada kondisi musim hujan dan sekitar 9,0 m³/dt pada kondisi musim kemarau.

Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dalam penelitian ini berkaitan dengan curah hujan, iklim dan cuaca. Hasil analisis evapotranspirasi tertinggi sebesar 4,60 mm/hari, sedangkan yang terendah sebesar 3,78 mm/hari.

Analisis Debit Metode NRECA

Perhitungan simulasi debit menggunakan metode NRECA merupakan perhitungan pembangkitan data curah hujan menjadi debit dengan mempertimbangkan evapotranspirasi sebagai pendekatan nilai debit yang tersedia pada lokasi studi. Kemudian dilakukan Rekaptulasi simulasi debit bulanan selama 15 tahun (2007-2015)

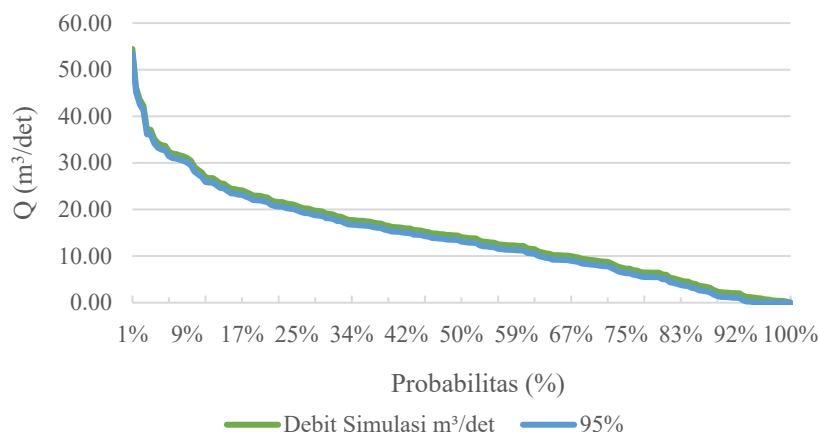
Tabel 1 Rekaptulasi simulasi debit NRECA 2007 - 2021

No.	Tahun	Bulan											
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
		Debit (m3/det)											
1	2007	22,70	6,44	2,04	16,25	15,91	37,11	23,44	10,80	7,50	2,20	6,45	46,15
2	2008	21,30	14,44	54,44	24,13	11,65	21,08	19,12	13,30	15,57	24,37	33,82	26,74
3	2009	26,87	12,19	16,19	35,16	17,57	4,04	5,23	1,08	0,39	12,19	15,55	6,98
4	2010	14,41	8,06	2,14	33,65	32,42	37,10	42,23	29,14	43,59	31,41	21,59	24,97
5	2011	19,57	30,46	25,54	22,91	17,07	9,84	3,53	0,97	0,35	17,73	14,69	16,18
6	2012	16,04	23,77	22,95	19,05	18,92	7,67	34,22	6,48	4,60	12,46	23,00	26,75
7	2013	12,87	12,38	14,86	19,96	31,99	15,48	22,56	17,48	3,64	1,23	13,04	24,15
8	2014	14,53	4,15	6,45	9,97	19,74	11,56	2,40	8,44	1,52	0,52	17,55	15,92
9	2015	12,30	10,12	2,00	8,79	20,80	18,11	3,40	1,19	0,43	9,02	20,23	6,01
10	2016	9,38	2,24	0,71	10,12	24,44	28,51	15,14	6,01	19,67	31,03	10,18	12,31
11	2017	14,50	20,46	15,23	17,40	16,65	21,60	14,72	9,12	6,57	14,08	13,97	5,35
12	2018	17,00	10,62	17,79	17,67	27,95	16,50	11,49	2,71	0,93	9,20	13,81	20,20
13	2019	10,21	3,19	4,77	9,31	8,89	9,71	2,04	0,66	0,24	4,52	5,01	18,46
14	2020	13,10	8,83	10,50	10,18	14,85	18,50	31,63	13,83	21,96	13,86	12,92	11,02
15	2021	12,24	7,30	6,88	7,31	21,69	17,16	12,54	26,21	25,62	21,16	31,89	6,48
Rerata		15,80	11,65	13,50	17,46	20,03	18,26	16,24	9,83	10,17	13,66	16,91	17,84

Hasil analisis simulasi debit menggunakan metode NRECA debit tertinggi untuk tahun berada pada tahun 2008 bulan Maret sebesar 54,44 m³/dt, sedangkan untuk debit terendah berada pada tahun 2019 bulan September sebesar 0,24 m³/dt.

Perhitungan *Flow Duration Curve* (FDC)

Flow Duration Curve (FDC) atau kurva durasi aliran merupakan perhitungan yang menunjukkan kumulatif debit dalam probabilitas kejadian 0 – 100 %. Sesuai dengan (PP 38, 2011) tentang sungai yaitu mengendalikan ketersediaan debit andalan 95%, untuk pemeliharaan dan perlindungan sungai, maka hasil dari FDC harus dikurangi debit pada saat 95% yaitu sebesar 0,97 m³/dt. Grafik FDC ditunjukkan pada Gambar 3.



Sumber: (Hasil Perhitungan, 2022)

Gambar 2 *Flow Duration Curve* setelah *Maintenance Flow*

Analisis Tinggi Jatuh

Analisis Tinggi Jatuh Kotor

Tinggi jatuh kotor adalah perbedaan elevasi muka air normal dan *tail water level*. Elevasi muka air normal +95 dan elevasi *tail water level* +66 diperoleh dari lengkung kapasitas Bendungan Bulango Ulu yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Sumber: (Hasil Perhitungan, 2022)

Gambar 3 Lengkung kapasitas Bendungan Bulango Ulu

Analisis Tinggi Jatuh Efektif

Tinggi jatuh efektif merupakan tinggi jatuh kotor dikurangi kehilangan tinggi jatuh. Maka tinggi jatuh efektif, $H_{\text{eff}} = 29 - 2,637 = 26,36$ m. Perhitungan tinggi jatuh efektif ditunjukkan pada Tabel 2

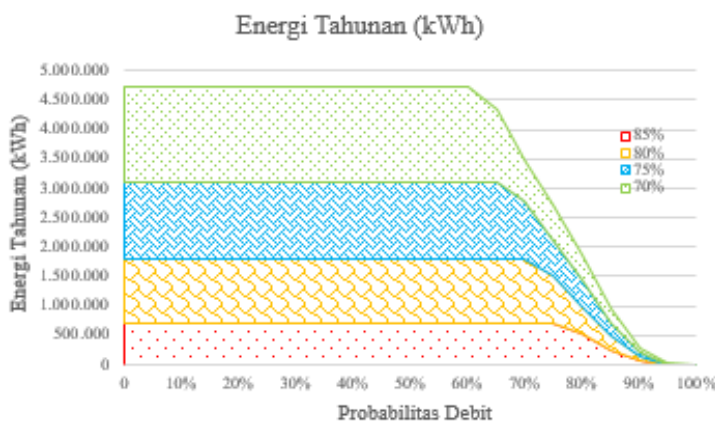
Tabel 2 Asumsi kehilangan tinggi jatuh efektif

Asumsi Kehilangan Tinggi Jatuh:		
Gesekan Saluran	=	1,2 m
Kekasaran Pipa Pesat	=	0,85 m
Saringan Pipa Pesat	=	0,018 m
Katup	=	0,25 m
Percabangan	=	0,3 m
Penyempitan	=	0,019 m
Total		2,637 m

Berdasarkan tabel asumsi kehilangan tinggi jatuh diperoleh total kehilangan sebesar 2,637 m, Maka tinggi jatuh efektif, $Heff = 29 - 2,637 = 26,36$ m.

Analisis Debit Berdasarkan Energi Produksi Tahunan

Dalam perhitungan penentuan debit pembangkit PLTA Bendungan Bulango Ulu dihitung dengan probabilitas 70% - 85% menggunakan 2 turbin. Diperoleh grafik energi tahunan yang ditunjukkan pada Gambar 4.



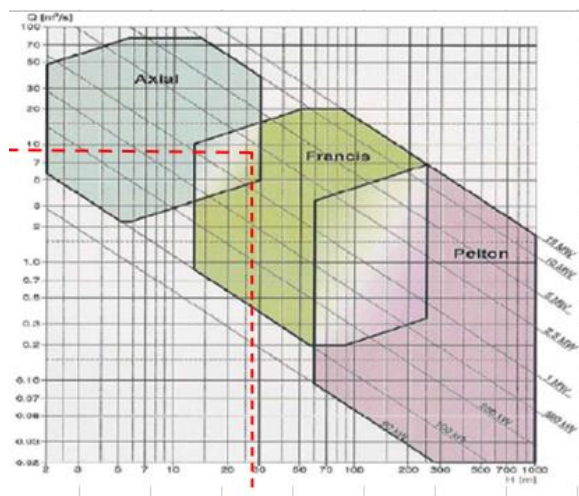
Sumber: (Hasil Perhitungan, 2022)

Gambar 4 Grafik Energi Tahunan

Hasil perhitungan penentuan debit pembangkit berdasarkan energi produksi tahunan disimpulkan bahwa berdasarkan (Permen ESDM Nomor 12, 2017) tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk penyediaan listrik minimal nilai *Capacity Factor* sebesar 65%. Maka penentuan berdasarkan energi produksi tahunan dapat ditentukan yang paling efektif adalah debit pembangkit dengan keandalan 70% dengan debit $2 \times 8,22$ yaitu $16,44 \text{ m}^3/\text{dt}$.

Analisis Pemilihan Turbin

Menentukan jenis turbin menggunakan grafik penentuan tipe turbin berdasarkan tinggi jatuh dan debit dalam 1 turbin ditunjukkan pada Gambar 5.



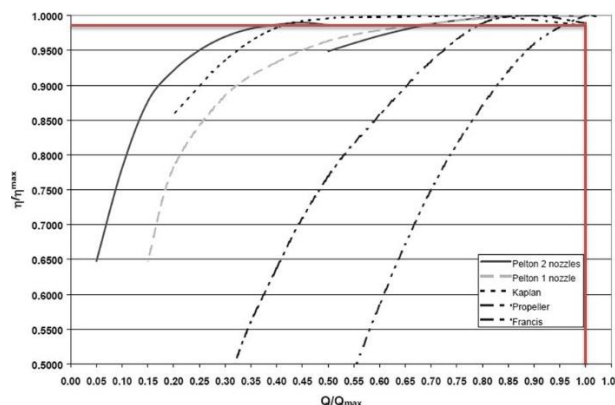
Sumber: (Hasil Perhitungan, 2022)
Gambar 5 Grafik Pemilihan Turbin

Dari Gambar 5 dapat diketahui jika PLTA Bendungan Bulango Ulu memakai turbin *Francis*.

Daya dan Energi

Perhitungan daya dan energi PLTA Bendungan Bulango Ulu dilakukan dengan kalkulasi energi bersih yang dihasilkan selama 1 tahun operasi PLTA. Diperoleh perhitungan daya dan energi total menunjukkan bahwa besarnya debit pembangkit dengan keandalan debit 0 - 100% dengan debit operasi tiap satu turbin adalah 8,22 m³/dt dapat menghasilkan daya sebesar 3,939.73 kW dengan daya tiap satu turbin sebesar 1,969.86 kW dengan energi tahunan yang dapat dihasilkan sebesar 862,800.70 kWh. Apabila debit pembangkit lebih dari debit yang diperlukan turbin maka semua dapat teraliri, adapun debit terbuang jika secara keandalan debitnya dapat mencukupi kemampuan debit minimal untuk turbin.

Menentukan nilai efisiensi turbin max didapatkan dari grafik kisaran nilai efisiensi untuk tiap jenis turbin dengan nilai $Q/Q_{\max}$ dianggap 1, maka nilai efisiensi turbin max adalah 0,97 yang ditunjukkan pada Gambar 6



Sumber: (Penche, 2004)
Gambar 6 Kisaran nilai efisiensi untuk tiap jenis turbin

Dengan demikian besaran daya yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

1. Daya yang dihasilkan 1 turbin (P) = $Q \times \mu_t \times \mu_g \times g \times h_e$

$$= 8,22 \times 0,97 \times 0,96 \times 9,81 \times 26,36$$

$$= 1,969.86 \text{ kW}$$
2. Energi (E)

$$= \sum_{n=1}^{20} \left(\frac{P5(n-1) + P5n}{2} \right) \left(\frac{5}{100} \right) 8760$$

$$= \left(\frac{1,969.86 + 1,969.86}{2} \right) \left(\frac{5}{100} \right) 8760$$

$$= 862,800.70 \text{ kWh}$$
3. Debit minimal operasi (*Francis*) = $Q \cdot 0,4$

$$= 8,22 \cdot 0,4$$

$$= 3,289 \text{ m}^3/\text{det}$$

Capacity factor berdasarkan perhitungan daya dan energi total adalah sebesar 75,14% dengan total energi tahunan adalah 25,93 GWh, berdasarkan perhitungan daya dan energi total adalah sebesar 75,14% dengan total energi tahunan adalah 25,93 GWh, maka dapat diklasifikasikan berdasarkan kapasitas PLTA Bendungan Bulango Ulu ini termasuk PLTA dengan kapasitas tinggi (1001 - 10000 kW). Berdasarkan keadaan hidraulik termasuk pembangkit listrik dengan waduk (tampungan) dengan ketinggian tekanan air kelas menengah (15 – 70 m).

Klasifikasi turbin PLTA Bendungan Bulango Ulu ini menggunakan turbin hidraulik reaksi tipe *Francis* dengan aliran diagonal (*diagonal flow*) berdasarkan nilai tinggi jatuh 26,36 m dengan debit $2 \times 8,22 \text{ m}^3/\text{det}$ dan keluaran daya sebesar 3.939,73 kW dimana turbin reaksi beroperasi didalam air oleh energi dalam bentuk tekanan dan kinetik. Turbin aliran diagonal adalah turbin dimana air melewati *rotor* dengan arah diagonal menuju poros.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan dengan memperhatikan rumusan masalah, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Debit yang tersedia pada Bendungan Bulango Ulu untuk PLTA diperoleh sebesar $2 \times 8,22 \text{ m}^3/\text{dt}$ dengan tinggi jatuh efektif 26,36 meter menggunakan 2 turbin berjenis *Francis* dengan efisiensi turbin dan generator masing-masing sebesar 0,97 dan 0,96.
2. Hasil perhitungan daya dan energi diperoleh daya sebesar 3.939,73 Kw dan energi sebesar 25,93 GWh dalam satu tahun.

Saran

Agar PLTA Bendungan Bulango Ulu ini dapat direalisasikan dengan baik dan memberikan manfaat yang optimal, berikut ini adalah hal-hal yang perlu diperhatikan:

1. Pengukuran debit secara berkelanjutan. Data debit yang digunakan lebih baik menggunakan data debit di lapangan (pengukuran AWLR), dikarenakan debit observasi lebih mendekati kenyataan daripada debit hasil simulasi teori.
2. Pembangunan PLTA Bendungan Bulango Ulu diharapkan agar masyarakat Desa Tuloa dan sekitarnya dapat menikmati energi alternatif terbarukan khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) sebagai salah satu upaya untuk meningkatkan kesejahteraan sosial dan ekonomi masyarakat melalui ketersediaan energi yang dihasilkan dari sumber energi setempat.
3. Usaha pemeliharaan lingkungan dari semua pihak agar kelestarian lingkungan sekitar PLTA tetap terjaga sehingga debit yang tersedia di lokasi sungai juga tetap terjaga.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Balai Wilayah Sungai Sulawesi II dan Direksi Proyek Pembangunan Bendungan Bulango Ulu yang telah membantu dalam pengambilan data dalam penelitian ini.

Daftar Referensi

- Arismunandar, A. & Kuwahara, S., 2004. *Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- BSN, 2015. *SNI 6738 Perhitungan Debit Andalan Sungai*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- BWS Sulawesi II, 2022. *Analisis Hidrologi*. Gorontalo.
- Dandekar, M. M. & Sharma, K. N., 1991. *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Cet. 1 ed. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2013. *Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Perencanaan Jaringan Irigasi KP-01*. Jakarta: s.n.
- ESHA, 2004. *European Small Hydropower Association*.
- FAO: Crop Water Requirements, 1977. *Irrigation And Drainage Paper 24*. Rome: s.n.
- JICA, 2011. *Guideline and Manual for Hydropower Development Vol. 1 Conventional Hydropower and Pumped Storage Hydropower*. s.l.:JP Design Co., Ltd.
- Kebutuhan Air Tanaman, 1997. *Departemen Pertanian*.
- KP 01, 2013. *Perencanaan Jaringan Irigasi*. Jakarta: Kementrian PU.
- Limantara, L. M., 2010. *Rekayasa Hidrologi*.

- Limantara, L. M., 2018. *Rekayasa Hidrologi*. Revisi ed. Yogyakarta: CV Andi Offset.
- Lingga, I. F. S., 2020. *Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Pada Bendungan Lau Simeme Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara*: Universitas Sumatera Utara.
- Muhammad, d., 2018. *Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) pada Bendungan Lubuk Ambacang Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau*, Malang: Universitas Brawijaya.
- Novak, P., 2007. *Hydraulic Structures*. London: Taylor & Francis.
- Patty, O. F., 1995. *Tenaga Air*. Surabaya: Erlangga.
- Penche, C., 2004. *Guide To Small Hydro*.
- Permen ESDM Nomor 12, 2017. *Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik*, Jakarta.
- PP 38, 2011. *Pemeliharaan Sungai*, Jakarta.
- Priambodo, B. M., 2018. *Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di Sungai Kualu Kabupaten Toba Samosir Provinsi Sumatera Utara*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Ramos, H., 2000. *Guidelines For Design Small Hydropower Plants*. Irlandia: WREAN (Western Regional Energy Agency & Network) and DED (Department of Economic Development)..
- Retscreen International, 2004. *Small Hydro Project Analysis*. Canada: Minister Of Natural Resources Canada.
- Sari, M. I., 2020. *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di Bendungan Leuwikeris Tasikmalaya*, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Soemarto, C. D., 1993. *Hidrologi Teknik*. 2nd ed. Jakarta: Erlangga.
- Sosrodarsono, S. & Takeda, K., 2003. *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Triatmodjo, 2009. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Tyas, E. C., 2014. *Studi Perencanaan PLTA di Bendungan Pandanduri Swangi Lombok Timur Nusa Tenggara Barat*, Malang: Universitas Brawijaya.
- Yuniar, N., 2020. *Analisis Potensi Hidrologi PLTA Bendungan Batutegei Kecamatan Air Naningan Kabupaten Tanggamus Provinsi Lampung*, Jakarta: Sekolah Tinggi Teknik - PLN.

ANALISIS SEBARAN BANJIR AKIBAT KERUNTUHAN BENDUNGAN BULANGO ULU KABUPATEN BONE BOLANGO

Fatmawati Abdul Razak*, Aryati Alitu, dan Barry Y. Labdul

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Gorontalo

*fatmarazak116@gmail.com

Pemasukan: 11 Januari 2024 Perbaikan: 21 Mei 2024 Diterima: 24 Juni 2024

Intisari

Bendungan merupakan salah satu bangunan infrastruktur bidang sumber daya air yang penting dan memberikan manfaat bagi masyarakat setempat. Selain banyaknya manfaat, bendungan juga dapat menimbulkan risiko yang besar pula. Di dalam Permen PU No. 27 Tahun 2015 tentang bendungan mendefinisikan kegagalan bendungan adalah keruntuhan sebagian atau seluruh bendungan atau bangunan pelengkapanya dan/atau kerusakan yang mengakibatkan tidak berfungsinya bendungan. Keruntuhan bendungan dapat menimbulkan banjir besar di daerah bagian hilir bendungan. Bencana dahsyat tersebut tidak hanya terjadi pada lokasi sekitar bangunan, tetapi mencakup area yang luas pada bagian hilir bendungan dan juga dapat menyebabkan kerugian yang sangat besar yang dapat mengancam kehidupan manusia dengan kerugian materi serta jiwa manusia. Pemodelan genangan banjir akibat keruntuhan bendungan dilakukan dengan HEC-RAS v6.0 dengan bantuan ArcGIS v10.3 dengan penyebab keruntuhan bendungan adalah akibat *overtopping* dan *piping* dengan studi kasus Bendungan Bolango Ulu yang berlokasi di Kabupaten Bone Bolango. Pada skenario *overtopping*, didapatkan bahwa genangan banjir di Kota Gorontalo mencapai 43% dari luas area 7959 ha, dengan kedalaman rerata maksimum banjir 3,81 m, kecepatan rerata maksimum 1,83 m/detik dan waktu tiba banjir rerata adalah 2,50 jam. Pada skenario *piping*, didapatkan bahwa genangan banjir di Kota Gorontalo mencapai 42% dari luas area 7959 ha, dengan kedalaman rerata maksimum banjir 3,33 m, kecepatan rerata maksimum 1,51 m/detik dan waktu tiba banjir rerata adalah 2,66 jam.

Kata Kunci: Bendungan, Keruntuhan, Overtopping, Piping, HEC-RAS.

Latar Belakang

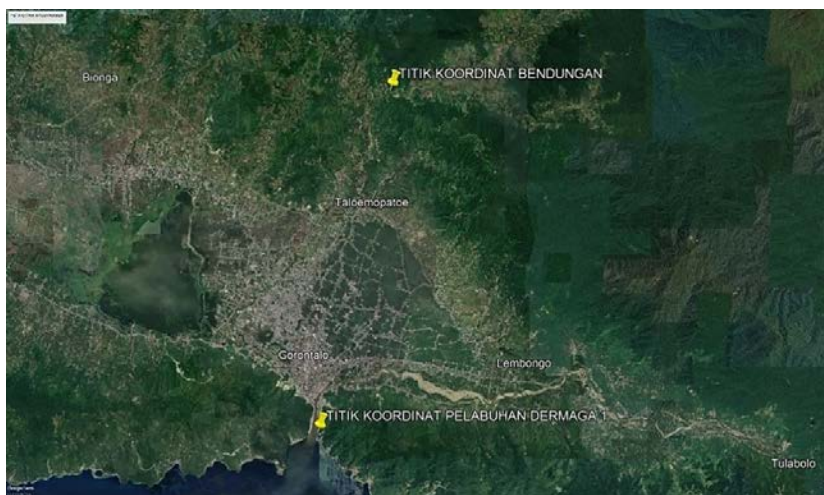
Pasokan air tidak akan berkurang saat musim penghujan tiba, namun sebaliknya pasokan air akan berkurang saat musim kemarau. Untuk itu, dibutuhkan waduk yang berfungsi menampung air pada musim penghujan dan menyimpan air di musim kemarau di waktu air sungai mengalir dalam debit yang kecil. Pembangunan bendungan dimaksudkan untuk memperoleh manfaat dari bendungan itu sendiri, seperti sebagai penyimpan cadangan air, mencegah banjir, menyediakan air untuk irigasi, menjadi tempat wisata, menyediakan energi untuk pembangkit listrik tenaga air (PLTA), dan sebagainya.

Bendungan merupakan salah satu bangunan infrastruktur bidang sumber daya air yang penting dan memberikan manfaat bagi masyarakat setempat. Selain banyaknya manfaat, bendungan juga dapat menimbulkan risiko yang besar pula (Aniskurlillah, et al., 2014). Di dalam Permen PU No. 27 Tahun 2015 tentang bendungan mendefinisikan kegagalan bendungan adalah keruntuhan sebagian atau seluruh bendungan atau bangunan pelengkapanya dan/atau kerusakan yang mengakibatkan tidak berfungsinya bendungan. Keruntuhan bendungan dapat menimbulkan banjir besar di daerah bagian hilir bendungan. Bencana dahsyat tersebut tidak hanya terjadi pada lokasi sekitar bangunan, tetapi mencakup area yang luas pada bagian hilir bendungan dan juga dapat menyebabkan kerugian yang sangat besar yang dapat mengancam kehidupan manusia dengan kerugian materi serta jiwa manusia. Keruntuhan bendungan dapat terjadi akibat *overtopping* maupun *piping*.

Bendungan Bolango Ulu yang mencakup Desa Tuloa, Desa Owata, dan Desa Mongi'ilo terletak di Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo bertipe *Zonal* dengan timbunan batu dengan tinggi bendungan 75 m dan volume tampungan total 26,26 juta m³. Dengan tinggi dan volume tersebut, maka perlu dilakukan analisis sebaran banjir akibat keruntuhan Bendungan Bolango Ulu agar dapat diketahui risiko bahaya bendungan serta bencana pada wilayah-wilayah yang terkena dampak bencana.

Metodologi Studi

Lokasi pembangunan Bendungan Bolango Ulu secara astronomis terletak di antara 0°39'38.93" Lintang Utara dan 123° 5'42.70" Bujur Timur tepatnya di ruas Sungai Mongi'ilo (Gambar 1). Bendungan Bolango Ulu berlokasi di tiga Desa yaitu Desa Owata, Desa Tuloa, dan Desa Mongi'ilo yang berada di Kecamatan Bolango Utara, Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo. Lokasi penelitian mencakup daerah hulu Bendungan Bolango Ulu hingga ke hilir, yaitu di daerah sekitar Pelabuhan Gorontalo. Daerah genangan meliputi 3 kabupaten/kota yaitu, Kabupaten Gorontalo, Kota Gorontalo, dan Kabupaten Bone Bolango.



(Sumber: Google Earth)

Gambar 1. Lokasi penelitian

Metode analisis akibat keruntuhan bendungan akan dilakukan seperti diagram pada Gambar 1. Metode yang dilakukan dimulai dari pengumpulan data, kemudian dilanjutkan dengan menghitung parameter keruntuhan bendungan kemudian melakukan pemodelan keruntuhan bendungan menggunakan Software HEC-RAS v6.0 pada keadaan *overtopping* dan *piping* menggunakan aliran tak tetap (*unsteady flow*), dilanjutkan dengan pemetaan yang dibantu dengan Software ArcGIS v10.3. Output dari penelitian ini adalah peta genangan banjir khususnya daerah Kota Gorontalo. Analisis hasil simulasi keruntuhan bendungan mengenai luas genangan, kedalaman, kecepatan banjir, dan waktu tiba banjir.

Hasil Studi dan Pembahasan

Parameter Keruntuhan Bendungan

Karakteristik banjir yang terjadi akibat keruntuhan bendungan memiliki puncak banjir yang sangat tinggi serta waktu terjadinya banjir sangat singkat antara awal hingga ke puncak banjir. Keruntuhan bendungan diawali dengan rekahan (*breach*) yang berbeda bentuknya pada skenario keruntuhan akibat *overtopping* dan akibat *piping*. Bentuk rekahan akibat *overtopping* umumnya disimulasikan berbentuk persegi, segitiga, ataupun trapesium dengan trapesium merupakan pendekatan bentuk yang paling umum digunakan. Bentuk rekahan akibat *piping* umumnya disimulasikan berbentuk persegi. Slope rekahan merupakan kemiringan rekahan berdasarkan bentuk rekahan yang akan terjadi sebagai akibat dari pendekatan bentuk rekahan.

1. Bentuk rekahan dan *slope* rekahan akibat dua skenario keruntuhan bendungan adalah sebagai berikut:
 - a. Akibat *Overtopping*

Bentuk rekahan	= trapesium (bentuk umum)
Kemiringan (Z)	= 1,00
 - b. Akibat *Piping*

Bentuk rekahan	= persegi (bentuk umum)
Kemiringan (Z)	= 0,00
2. Kedalaman, Lebar, dan Waktu Terbentuknya Rekahan
 - a. Tinggi air (H_b)

$$H_b = \text{Elevasi Muka Air Normal} - \text{Elevasi Dasar Sungai}$$

$$H_b = 95 - 48 = 47 \text{ m} = 154,199 \text{ ft}$$
 - b. Lebar rekahan (B_{avg})

Lebar rekahan merupakan lebar rekahan rata-rata ketika rekahan mulai terjadi hingga terjadinya keruntuhan bendungan.

$$B_{avg} = 8,239 K_0 V_w^{0,32} H_b^{0,04}$$

Akibat *overtopping*

$$B_{avg} = 8,239 \times 1,3 \times 68181,05^{0,32} \times 154,199^{0,04}$$

$$= 461,438 \text{ ft} = 140,646 \text{ m}$$

Akibat *piping*

$$B_{avg} = 8,239 \times 1 \times 68181,05^{0,32} 154,199^{0,04} \\ = 354,952 \text{ ft} = 108,190 \text{ m}$$

c. Waktu terbentuknya rekahan (Tf)

$$Tf = 3,664 \sqrt{\frac{V_w}{g H_b^2}} = 3,664 \sqrt{\frac{68181,05}{32,2 \times 154,199^2}} = 1,09 \text{ jam}$$

3. Waktu Keruntuhan

Waktu keruntuhan (t) = 0,5 jam

Diasumsikan pemicu keruntuhan terjadi akibat gempa bumi, dan dipilih waktu tercepat keruntuhan pada rentan diatas untuk alasan keamanan pada skenario keruntuhan terburuk. Berikut rekapitulasi parameter input yang akan digunakan dalam pemodelan keruntuhan pada aplikasi untuk skenario *overtopping* dan *piping* ditunjukkan pada Tabel 1.

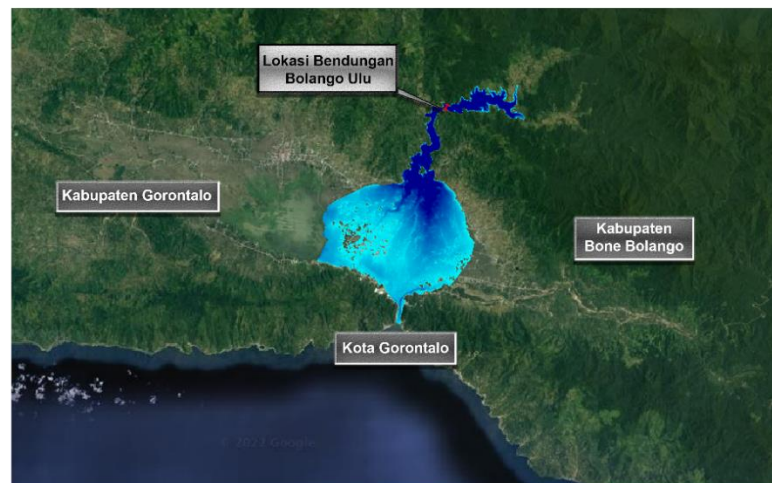
Tabel 1 Rekapitulasi Paramater Input

Parameter	Skenario		Keterangan
	<i>Overtopping</i>	<i>Piping</i>	
Bentuk Rekahan	Trapesium	Persegi	
Kemiringan (Z)	1	0	
Koefisien Bentuk Rekahan	1,3	1	
<i>Piping Coefficient</i>	-	0,6	bendungan urugan
<i>Piping Elevation</i>	-	64	
Lebar Rekahan (<i>Bavg</i>)	461,438	354,952	ft
	140,646	108,190	m
Waktu Terbentuknya Rekahan	1,09	1,09	jam
Tinggi Air (Hb)	47	47	m
	154,199	154,199	ft
Volume Waduk	84100000	84100000	m ³
	68181,05	68181,05	acre-ft
Waktu Keruntuhan	0,5 s./d 4		jam

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2022)

Hasil Simulasi dan Pembahasan

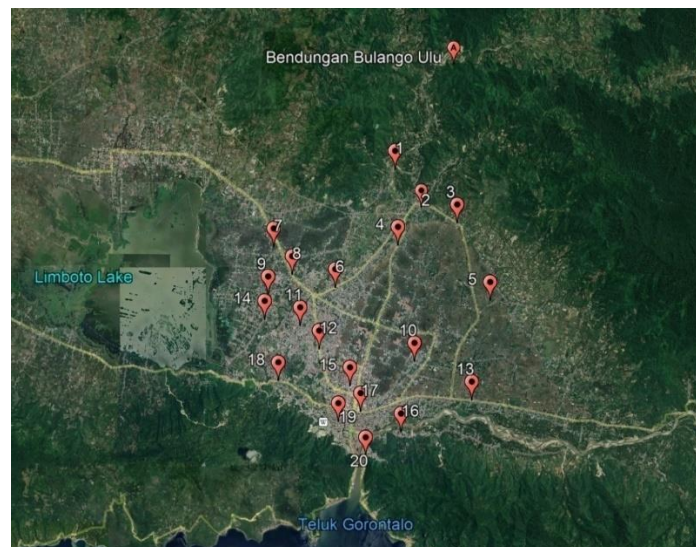
Output pemodelan dari HEC-RAS v6.0 untuk kedalaman banjir (*depth*), kecepatan banjir (*velocity*), dan waktu kedatangan banjir (*arrival time*) berupa peta dengan format *raster*. Untuk luas genangan banjir berupa peta dalam format *polygon*. *Polygon* tersebut dapat ditentukan luasnya untuk menentukan luas total genangan banjir dan kemudian *overlay* dengan *polygon* batas administrasi Kabupaten Gorontalo, Kota Gorontalo, dan Bone Bolango untuk ditentukan luas genangan yang terjadi pada masing-masing yang terdampak. Berikut adalah daerah genangan hasil pemodelan akibat keruntuhan ditunjukkan pada Gambar 2.



(Sumber : HEC-RAS v6.0)

Gambar 2. Peta genangan dalam kondisi max profile depth

Berdasarkan peta daerah tergenang akibat keruntuhan bendungan di atas maka didapatkan lokasi terpilih di wilayah hilir waduk yang terdampak dikarenakan keruntuhan bendungan. Lokasi terpilih di hilir waduk akan digunakan untuk mengetahui parameter-parameter banjir di lokasi terdampak dapat ditunjukkan pada Gambar 3.

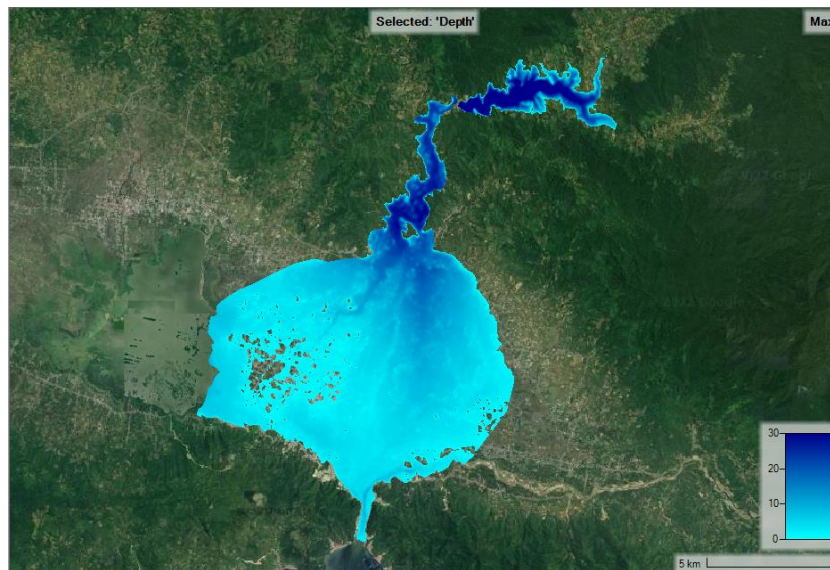


(Sumber : HEC-RAS v6.0)

Gambar 3. Peta lokasi terpilih wilayah tergenang banjir akibat keruntuhan Bendungan Bulango Ulu

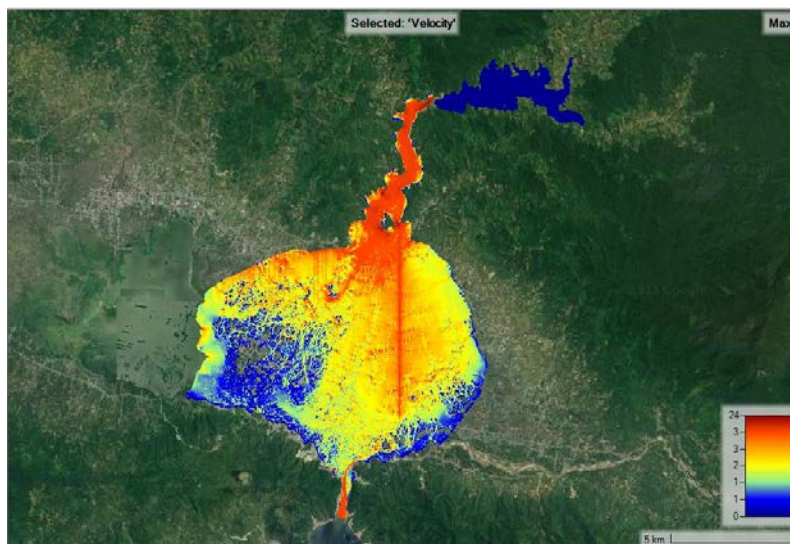
Karakteristik Banjir Akibat Keruntuhan Overtopping

Berdasarkan Gambar 4 hasil simulasi genangan banjir keruntuhan *overtopping* didapatkan rata-rata di bagian hulu (radius 0-9 km) 18 m, di bagian tengah (radius 9-13 km) 3 m, dan di bagian hilir (radius >13 km) 4 m.



(Sumber : HEC-RAS v6.0)

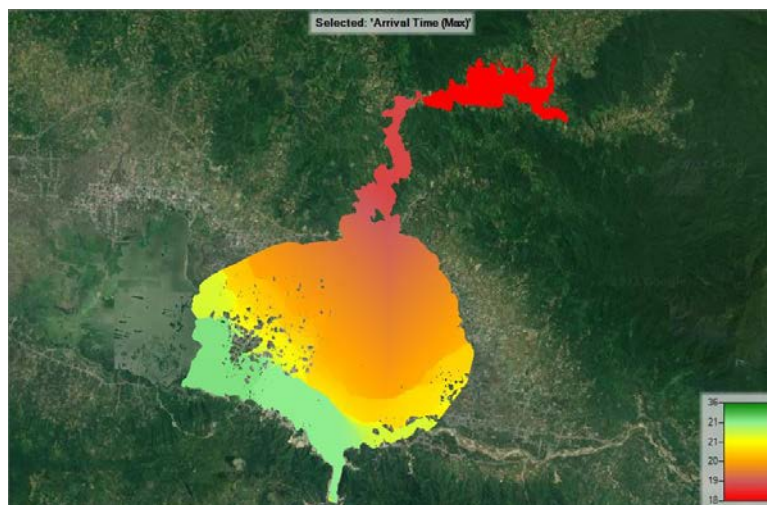
Gambar 4. Hasil simulasi genangan banjir akibat keruntuhan Bendungan Bulango Ulu skenario overtopping (profil – max depth)



(Sumber : HEC-RAS v6.0)

Gambar 5. Hasil simulasi genangan banjir akibat keruntuhan Bendungan Bulango Ulu skenario overtopping (profil – max velocity)

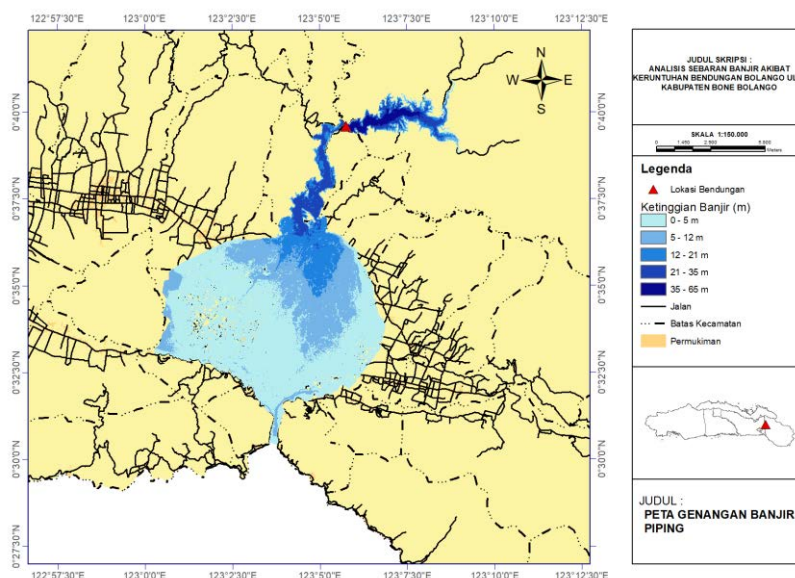
Dari Gambar 5 didapatkan kecepatan aliran maksimum yang dihasilkan akibat keruntuhan Bendungan Bulango Ulu untuk skenario overtopping cenderung besar di bagian hulu, yaitu di daerah bagian Bulango Utara sebesar 7,04 m/detik hingga Tapa sebesar 3,45 m/det dan berkurang setelah mencapai hilir di daerah Dumbo Raya sebesar 1,57 m/detik dan Hulonthalangi sebesar 1,14 m/det.



(Sumber : HEC-RAS v6.0)

Gambar 6. Hasil simulasi genangan banjir akibat keruntuhan Bendungan Bulango Ulu skenario overtopping (profil – max time arrival)

Berdasarkan Gambar 6 didapatkan waktu kedatangan banjir rata-rata di bagian dekat bendungan < 1 jam, rentang jarak 5 - 10 km dengan waktu 1-2 jam, rentang jarak 10 – 15 km dengan waktu 2 - 3 jam, lebih dari 15 km dengan waktu > 3 jam.



(Sumber : ArcGIS v10.3)

Gambar 7 Peta genangan banjir akibat keruntuhan Bendungan Bulango Ulu (overtopping)

Setelah mendapatkan lokasi terpilih di hilir waduk akibat keruntuhan, maka dapat dilihat karakteristik banjir di lokasi terpilih yang paling parah adalah Kecamatan Bulango Utara pada jarak 4850 m dengan kedalaman banjir 27,51 m, kecepatan aliran banjir 7,04 m/detik, dan waktu tiba banjir 0,78 jam dengan luas genangan sebesar 573,37 ha dari total genangan 8444,96 ha. Dapat disimpulkan bahwa 20 kecamatan yang berada di 3 kabupaten/kota, yaitu Kota Gorontalo, Kabupaten Gorontalo, dan Kabupaten Bone Bolango akan tergenang banjir yang diakibatkan

oleh keruntuhan bendungan. Hasil Analisis karakteristik banjir akibat keruntuhan bendungan yang terdapat dimasing-masing lokasi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis *overtopping* karakteristik banjir.

No	Kecamatan	Kota/Kabupaten	Jarak dari Bendungan (m)	Kedalaman Banjir Max (m)	Kecepatan Max (m/det)	Elevasi (m)	Waktu Tiba (jam)	Luas Genangan (ha)	Luas Kecamatan (ha)	Persentase Terge-nang
1	Bulango Utara	Kabupaten Bone Bolango	4850	27,51	7,04	54,01	0,78	573,37	5366	11%
2	Tapa	Kabupaten Bone Bolango	5489	20,07	3,45	49,18	0,82	222,68	1344	17%
3	Bulango Timur	Kabupaten Bone Bolango	6846	11,72	1,93	33,36	1,11	352,76	1191	30%
4	Bulango Selatan	Kabupaten Bone Bolango	7292	13,58	3,43	34,33	1,1	562,29	981	57%
5	Tilongkabila	Kabupaten Bone Bolango	9721	3,60	2,45	17,88	1,55	590,89	3942	15%
6	Sipatana	Kota Gorontalo	9988	3,84	2,21	19,58	1,55	452,28	639	71%
7	Telaga Biru	Kabupaten Gorontalo	10121	4,01	2,22	16,22	1,61	245,77	10884	2%
8	Telaga	Kabupaten Gorontalo	10462	3,94	2,42	16,96	1,83	858,80	2816	30%
9	Telaga Jaya	Kabupaten Gorontalo	11643	2,42	1,38	14,18	2,15	466,63	641	73%
10	Kota Utara	Kota Gorontalo	11767	6,18	3,54	15,58	1,52	836,57	1015	82%
11	Dungingi	Kota Gorontalo	11922	4,15	1,33	13,87	2,3	380,38	591	64%
12	Kota Tengah	Kota Gorontalo	12368	2,70	1,87	12,13	2,3	437,51	609	72%
13	Kabila	Kabupaten Bone Bolango	12453	3,55	1,66	12,75	2,08	663,06	1263	52%
14	Tilango	Kabupaten Gorontalo	12469	1,42	0,82	12,59	2,9	472,10	604	78%
15	Kota Selatan	Kota Gorontalo	13239	3,03	2,57	10,21	3,11	278,90	356	78%
16	Botupinge	Kabupaten Bone Bolango	14031	4,54	1,03	10,42	2,62	43,55	3120	1%
17	Kota Timur	Kota Gorontalo	14066	4,50	1,58	10,07	3,09	499,85	673	74%
18	Kota Barat	Kota Gorontalo	14167	2,95	0,63	10,19	2,67	285,74	2541	11%
19	Hulonthalangi	Kota Gorontalo	14678	3,34	1,14	9,96	3,15	101,09	1801	6%
20	Dumbo Raya	Kota Gorontalo	15658	3,57	1,57	9,05	2,77	120,73	1404	9%

Karakteristik Banjir Akibat Keruntuhan Piping

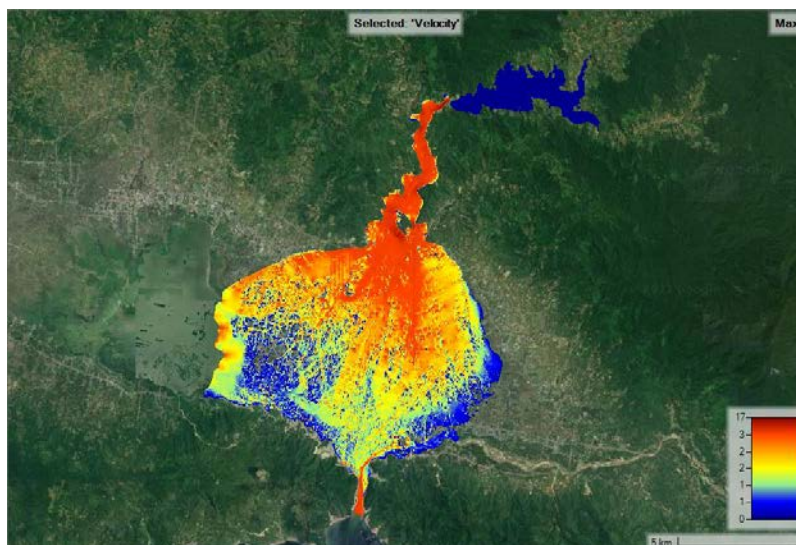
Berikut adalah *Output* pemodelan dari HEC-RAS v6.0 dalam bentuk raster dan polygon.



(Sumber : HEC-RAS v6.0)

Gambar 9. Hasil simulasi genangan banjir akibat keruntuhan Bendungan Bulango Ulu skenario piping (profil – max depth)

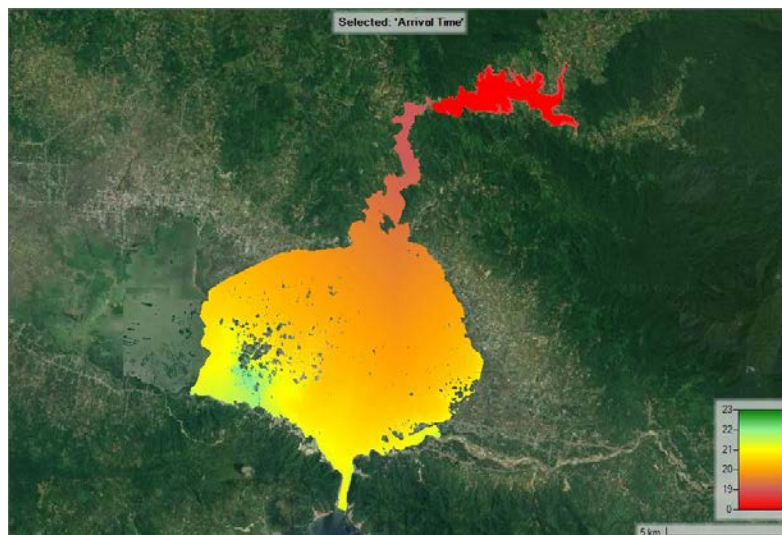
Berdasarkan Gambar 9 hasil simulasi genangan banjir keruntuhan *piping* didapatkan rata-rata di bagian hulu (radius 0-9 km) 10 m, di bagian tengah (radius 9-13 km) 3 m, dan di bagian hilir (radius >13 km) 3 m.



(Sumber : HEC-RAS v6.0)

Gambar 10. Hasil simulasi genangan banjir akibat Keruntuhan Bendungan Bulango Ulu skenario *piping* (profil – *max velocity*)

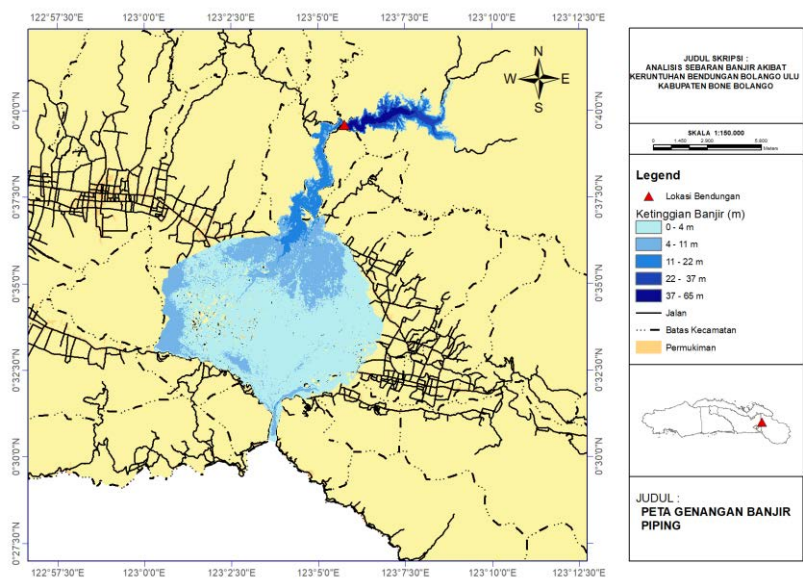
Dari Gambar 10 didapatkan kecepatan aliran maksimum yang dihasilkan akibat keruntuhan Bendungan Bulango Ulu untuk skenario *piping* cenderung besar di bagian hulu, yaitu di daerah bagian Bulango Utara sebesar 6,84 m/detik hingga Tapa sebesar 3,67 m/det dan berkurang setelah mencapai hilir di daerah Dumbo Raya sebesar 1,44 m/detik dan Hulonthalangi sebesar 1,12 m/det.



(Sumber : HEC-RAS v6.0)

Gambar 11. Hasil simulasi genangan banjir akibat keruntuhan Bendungan kuningan skenario *piping* (profil – *max time arrival*)

Berdasarkan Gambar 11 didapatkan waktu kedatangan banjir rata-rata di bagian dekat bendungan > 1 jam, rentang jarak 5 - 10 km dengan waktu 1-2 jam, rentang jarak 10 – 15 km dengan waktu 2 - 3 jam, lebih dari 15 km dengan waktu > 3 jam.



(Sumber : ArcGIS v10.3)
Gambar 12 Peta genangan banjir akibat keruntuhan Bendungan Bulango Ulu (piping)

Tabel 2. Hasil analisis *piping* karakteristik banjir.

No	Kecamatan	Kota/Kabupaten	Jarak dari Bendungan (m)	Kedalaman Banjir Max (m)	Kecepatan Max (m/det)	Elevasi (m)	Waktu Tiba (jam)	Luas Genangan (ha)	Luas Kecamatan (ha)	Persentase Tergenang
1	Bulango Utara	Kabupaten Bone Bolango	4850	17,29	6,84	43,79	1,31	529,57	5366	10%
2	Tapa	Kabupaten Bone Bolango	5489	8,82	3,67	37,93	1,38	204,04	1344	15%
3	Bulango Timur	Kabupaten Bone Bolango	6846	4,81	1,79	26,46	1,66	302,48	1191	25%
4	Bulango Selatan	Kabupaten Bone Bolango	7292	7,92	4,72	28,66	1,63	558,47	981	57%
5	Tilongkabila	Kabupaten Bone Bolango	9721	1,76	1,40	16,03	2,15	523,89	3942	13%
6	Sipatana	Kota Gorontalo	9988	3,65	2,17	19,39	2,08	444,85	639	70%
7	Telaga Biru	Kabupaten Gorontalo	10121	3,97	2,18	16,18	2,16	243,35	10884	2%
8	Telaga	Kabupaten Gorontalo	10462	4,09	2,28	17,12	2,20	851,84	2816	30%
9	Telaga Jaya	Kabupaten Gorontalo	11643	2,69	1,55	14,44	2,46	476,39	641	74%
10	Kota Utara	Kota Gorontalo	11767	2,76	2,23	12,17	2,10	813,83	1015	80%
11	Dungingi	Kota Gorontalo	11922	4,36	1,53	14,07	2,55	392,76	591	66%
12	Kota Tengah	Kota Gorontalo	12368	2,92	2,04	12,29	2,63	438,95	609	72%
13	Kabila	Kabupaten Bone Bolango	12453	2,67	0,78	11,87	2,48	594,12	1263	47%
14	Tilango	Kabupaten Gorontalo	12469	1,62	1,09	12,79	2,98	491,33	604	81%
15	Kota Selatan	Kota Gorontalo	13239	2,78	1,37	9,96	2,55	278,37	356	78%
16	Botupinge	Kabupaten Bone Bolango	14031	3,82	0,77	9,71	2,93	41,04	3120	1%
17	Kota Timur	Kota Gorontalo	14066	4,16	1,16	9,74	2,66	494,67	673	74%
18	Kota Barat	Kota Gorontalo	14167	3,33	0,53	10,36	3,23	291,36	2541	11%
19	Hulonthalangi	Kota Gorontalo	14678	2,90	1,12	9,65	2,91	98,93	1801	5%
20	Dumbo Raya	Kota Gorontalo	15658	3,15	1,44	8,64	3,20	117,99	1404	8%

(Sumber: Hasil Perhitungan,2022)

Setelah mendapatkan lokasi terpilih di hilir waduk akibat keruntuhan, maka dapat dilihat karakteristik banjir di lokasi terpilih yang paling parah adalah Kecamatan Bulango Utara pada jarak 4850 m dengan kedalaman banjir 17,29 m, kecepatan aliran banjir 6,84 m/detik, dan waktu tiba banjir 1,31 jam dengan luas genangan sebesar 529,57 ha dari total genangan 8188,26 ha. Berdasarkan Tabel 4 dapat disimpulkan bahwa 20 kecamatan yang berada di 3 kabupaten/kota yaitu Kota Gorontalo, Kabupaten Gorontalo, dan Kabupaten Bone Bolango diperkirakan akan tergenang banjir yang diakibatkan oleh keruntuhan bendungan.

Tabel 3. Perbandingan hasil analisis karakteristik banjir di lokasi terpilih
(*overtopping* dan *piping*)

Kecamatan	Kota/Kabupaten	<i>Overtopping</i>		<i>Piping</i>	
		Kedalaman Banjir Max (m)	Kecepatan Max (m/det)	Kedalaman Banjir Max (m)	Kecepatan Max (m/det)
Bulango Utara	Kabupaten Bone Bolango	27,51	7,04	17,29	6,84
Tapa	Kabupaten Bone Bolango	20,07	3,45	8,82	3,67
Bulango Timur	Kabupaten Bone Bolango	11,72	1,93	4,81	1,79
Bulango Selatan	Kabupaten Bone Bolango	13,58	3,43	7,92	4,72
Tilongkabila	Kabupaten Bone Bolango	3,60	2,45	1,76	1,40
Sipatana	Kota Gorontalo	3,84	2,21	3,65	2,17
Telaga Biru	Kabupaten Gorontalo	4,01	2,22	3,97	2,18
Telaga	Kabupaten Gorontalo	3,94	2,42	4,09	2,28
Telaga Jaya	Kabupaten Gorontalo	2,42	1,38	2,69	1,55
Kota Utara	Kota Gorontalo	6,18	3,54	2,76	2,23
Dungingi	Kota Gorontalo	4,15	1,33	4,36	1,53
Kota Tengah	Kota Gorontalo	2,70	1,87	2,92	2,04
Kabila	Kabupaten Bone Bolango	3,55	1,66	2,67	0,78
Tilango	Kabupaten Gorontalo	1,42	0,82	1,62	1,09
Kota Selatan	Kota Gorontalo	3,03	2,57	2,78	1,37
Botupingge	Kabupaten Bone Bolango	4,54	1,03	3,82	0,77
Kota Timur	Kota Gorontalo	4,50	1,58	4,16	1,16
Kota Barat	Kota Gorontalo	2,95	0,63	3,33	0,53
Hulonthalangi	Kota Gorontalo	3,34	1,14	2,90	1,12
Dumbo Raya	Kota Gorontalo	3,57	1,57	3,15	1,44

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2022)

Berdasarkan hasil analisis dengan HEC-RAS v6.0, diperoleh Tabel 4 berupa perbandingan nilai kedalaman maksimum dan kecepatan maksimum yang berbeda. Dapat dilihat pada kecamatan yang dekat dengan bendungan, diperoleh bahwa pada kondisi *overtopping* lebih tinggi 10 m dari pada *piping*. Untuk kecepatan maximum banjir, dapat dilihat bahwa kecepatan akibat *overtopping* lebih cepat daripada *piping*. Hal ini dikarenakan keruntuhan bendungan akibat *overtopping* terjadi secara serentak sedangkan keruntuhan akibat *piping* lebih perlahan.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Hasil pemodelan dan analisis terhadap simulasi keruntuhan Bendungan Bulango Ulu, dapat disimpulkan hal-hal berikut di bawah ini:

1. Sebaran banjir yang terjadi akibat keruntuhan Bendungan Bulango Ulu dengan skenario *overtopping* memiliki dampak yang lebih besar daripada skenario *piping*. Hal ini karena keruntuhan bendungan akibat *overtopping* secara serentak sedangkan keruntuhan akibat *piping* lebih perlahan. Pada skenario *overtopping*, genangan banjir di Kota Gorontalo mencapai 43% dari luas area 7959 ha, dengan kedalaman rerata maksimum banjir 3,81 m, kecepatan rerata maksimum 1,83 m/detik dan waktu tiba banjir rerata adalah 2,50 jam.
2. Pada skenario *piping*, didapatkan bahwa genangan banjir di Kota Gorontalo mencapai 42% dari luas area 7959 ha, dengan kedalaman rerata maksimum banjir 3,33 m, kecepatan rerata maksimum 1,51 m/detik dan waktu tiba banjir rerata adalah 2,66 jam.

Saran

Beberapa saran dari penelitian ini adalah:

1. Pemodelan aliran akibat keruntuhan sebaiknya menggunakan *terrain* yang berasal dari kontur lebih rapat atau DEM yang lebih akurat.
2. Sebaiknya dilakukan kajian zonasi bahaya pada hasil peta genangan, berikut dengan analisis kerugian ekonomi daerah hilir bendungan.
3. Rekomendasi dari hasil studi ini dapat digunakan dalam penyusunan dokumen rencana tindak darurat (RTD) Bendungan Bulango Ulu dan peta indeks resiko.
4. Untuk meminimalisir dampak yang ditimbulkan perlu adanya sistem peringatan dini (*early warning system*) untuk memberitahu akan timbulnya banjir bandang akibat keruntuhan bendungan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Balai Wilayah Sungai Sulawesi II dan Direksi Proyek Pembangunan Bendungan Bulango Ulu yang telah membantu dalam pengambilan data dalam penelitian ini.

Daftar Referensi

- Aniskurlillah, S. G., Juwono, P. T. & Asmaranto, R., 2014. Aplikasi Zhong Xing HY21 Untuk Analisa Keruntuhan Bendungan Muka Kuning, Batam. *Jurnal Teknik Pengairan*, 5(1), pp. 110-118.
- Arifin, M. & Budiyanto, M. A., 2021. Analisis Keruntuhan Bendungan (DAM Break Analysis) Dalam Upaya Mitigasi Bencana (Studi Kasus di Waduk/Bendungan Tempuran). *CivETech*, 3(1).
- Froehlich, D. C., 1988. *Analysis of On-site Measurement of Scours at Piers*. Hydraulics Engineering – Proceedings of 1988 National Conference, American Society of Civil Engineering, pp. 534-539.
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2022. *Percepat Pembangunan Bendungan Bolango Ulu di Gorontalo, Kementerian PUPR Jamin Suplai Air Baku dan Irigasi Saat Kemarau*. [Online] Available at: <https://pu.go.id/berita/percepat-pembangunan-bendungan-bolango-ulu-di-gorontalo-kementerian-pupr-jamin-suplai-air-baku-dan-irigasi-saat-kemarau#> [Accessed 24 Juni 2022].
- Riyanto, B. A., 2017. Teori Keruntuhan Bendungan (DAM-BREACH). *Fakultas Teknik Sipil, Universitas Parahyangan, Bandung*.
- Silvia, C. S. & Azwanda, 2020. Analisis Gerusan Lokal dengan Metode Colorado State University (CSU) Dan Metode Froehlich. *Jurnal Teknik Sipil*, 6 (2), pp. 20-29.
- Soedibyo, 2003. Teknik Bendungan. In: Jakarta: PT. Pradnya Paramita, p. 3.
- Taruna, D. A., Adityawan, M. B., Nugroho, J. & Harlan, D., 2020. Analisis Penelusuran Banjir Akibat Keruntuhan Bendungan Kuningan.
- US Army Corps of Engineers - Hydrologic Engineering Center, 2014. Using HEC-RAS for Dam Break Studies. pp. 7-12.

ANALISIS NERACA AIR DAERAH ALIRAN SUNGAI PAGUYAMAN

Yusri Polimengo, Barry Yusus Labdul, Rawiyah Husnan

Program Studi S1 Teknik Sipil, Universitas Negeri Gorontalo

yusri_s1sipil2016@mahasiswa.ung.ac.id, barry.labdul@ung.ac.id,
rawiyah@ung.ac.id

Pemasukan: 11 Januari 2024 Perbaikan: 21 Mei 2024 Diterima: 24 Juni 2024

Intisari

Kerusakan sistem hidrologi DAS merupakan salah satu aspek kekritisn daerah aliran sungai. Salah satu kerusakan sistem hidrologi DAS adalah terjadinya kekurangan air di musim kering dan meluapnya air pada musim penghujan. DAS Paguyaman menjadi penyedia air baku untuk berbagai kebutuhan seperti PDAM, irigasi, industri, pemukiman, dan kebutuhan lainnya. Penelitian ini bertujuan menganalisis neraca air di DAS Paguyaman. Metode analisis neraca air menggunakan Metode Neraca Air Umum di mana jumlah kebutuhan air irigasi ditambah dengan jumlah kebutuhan air bersih (rumah tangga dan industri) dikurangi dengan ketersediaan air yang ada di DAS Paguyaman hingga tahun 2020. Hasil analisis menunjukkan bahwa neraca air dengan probabilitas 80% mengakibatkan adanya *defisit* air pada bulan September periode pertama sebesar 4,82 m³/det dan periode kedua sebesar 1,90 m³/det. Untuk analisis neraca air dengan probabilitas 90% menunjukkan adanya *defisit* air pula pada September periode pertama sebesar 8,06 m³/det dan periode kedua sebesar 5,14 m³/det. *Surplus* air terjadi pada Oktober sampai seterusnya hingga Agustus dengan *surplus* air maksimum terjadi pada Mei periode pertama sebesar 69,99 m³/det untuk neraca air probabilitas 80%, dan 50,22 m³/det untuk neraca air probabilitas 90%.

Kata Kunci: Neraca air, DAS Paguyaman, hidrologi, air baku, irigasi.

Latar Belakang

Air merupakan sumber daya esensial yang sangat dibutuhkan oleh manusia dan makhluk hidup lainnya. Dengan air maka bumi menjadi planet di tata surya yang memiliki kehidupan dan bertransformasi melalui daur hidrologi. Analisis hidrologi adalah suatu analisis yang bertujuan untuk menghitung potensi air yang ada pada daerah tertentu, untuk bisa dimanfaatkan, dikembangkan serta mengendalikan potensi air untuk kepentingan masyarakat di sekitar daerah tersebut.

Sebagian besar masalah yang selama ini dijumpai dalam analisis hidrologi yakni banyaknya cara pendekatan, model dan hasil penelitian dalam hidrologi yang satu sama lain menggunakan pendekatan yang berbeda dan hasil yang lebih sering berbeda. Sementara itu degradasi dan kerusakan sistem hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan salah satu aspek kekritisn daerah aliran sungai. Salah

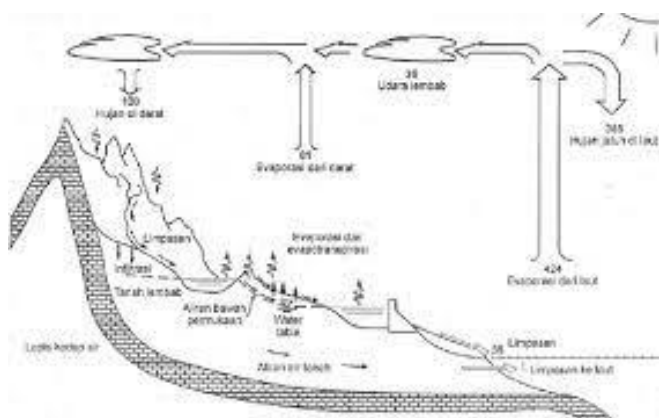
satu kerusakan sistem hidrologi DAS adalah terjadinya kekurangan air dimusim kering dan meluapnya air pada musim penghujan. Penyebabnya dapat berupa penyimpangan musim, tipe iklim pada suatu daerah, kemampuan daerah aliran sungai dalam menyimpan air, adanya sedimentasi di bendung, danau maupun rawa serta adanya peningkatan kebutuhan air untuk berbagai keperluan akibat perkembangan jumlah penduduk dan kegiatan ekonomi yang sangat pesat di segala bidang, baik kebutuhan air domestik, non domestik maupun untuk irigasi semuanya secara langsung akan berpengaruh pada keseimbangan air.

Wilayah DAS dibagi ke dalam tiga bagian yaitu hulu, tengah, dan hilir, sehingga dalam satu DAS bisa terdiri dari beberapa kabupaten/kota bahkan provinsi. DAS Paguyaman terletak di tiga kabupaten, yaitu Kabupaten Gorontalo, Kabupaten Boalemo, dan Kabupaten Pahuato. DAS Paguyaman mempunyai luas 240.356 Ha yang merupakan DAS terbesar kedua di Provinsi Gorontalo. DAS ini memiliki peran yang vital dalam menyangga kehidupan di tiga kabupaten tersebut. DAS Paguyaman juga menjadi penyedia air baku untuk berbagai kebutuhan seperti PDAM, irigasi, industri, pemukiman, dan kebutuhan lainnya.

Saat ini DAS Paguyaman termasuk dalam DAS kritis yang harus segera dipulihkan. Kondisi ini disebabkan adanya peningkatan kebutuhan air akibat perkembangan jumlah penduduk. Berdasarkan uraian dari latar belakang di atas maka dilakukan kajian tentang neraca air pada Daerah Aliran Sungai Paguyaman.

Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan proses kontinyu, di mana keadaan air bergerak dari bumi ke atmosfer dan kemudian kembali ke bumi lagi seperti pada Gambar 1. Neraca air tahunan diberikan dalam nilai relatif terhadap hujan yang jatuh di daratan (100%). Air di permukaan tanah, sungai, danau, dan laut menguap ke udara. Uap air tersebut bergerak dan naik ke atmosfer, yang kemudian mengalami kondensasi dan berubah menjadi titik-titik air yang berbentuk awan. Selanjutnya titik-titik air tersebut jatuh sebagai hujan ke permukaan laut dan daratan. Hujan yang jatuh sebagian tertahan oleh tumbuh-tumbuhan (*intersepsi*) dan selebihnya sampai ke permukaan tanah.



Gambar 1. Siklus Hidrologi

Air atmosfer yang merupakan sumbu air permukaan hanya berjumlah 12.900 km³ atau kurang dari 1/100.000 dari seluruh air di bumi. Dari jumlah air tawar sebesar 35 juta km³, dua pertiganya adalah dalam bentuk es di kutub dan sisanya sebagian besar berupa air tanah pada kedalaman 200 sampai 600 m, hanya 0,006% berupa air tawar di sungai. Jumlah air yang ada di bumi dan yang berada dalam berbagai proses dalam siklus hidrologi di atas ditunjukkan pada Tabel 2.1 dalam Triatmodjo (2008).

Hujan Kawasan Metode Rata-Rata Aljabar

Metode ini adalah yang paling sederhana untuk menghitung hujan rerata pada suatu daerah. Pengukuran yang dilakukan di beberapa stasiun dalam waktu yang bersamaan dijumlahkan dan kemudian dibagi dengan jumlah stasiun. Stasiun hujan yang digunakan dalam hitungan biasanya adalah yang berada di dalam DAS, tetapi stasiun di luar DAS yang masih berdekatan juga bisa diperhitungkan (Triatmodjo, 2008).

Metode rerata aljabar memberikan hasil yang baik apabila:

1. Stasiun hujan tersebar secara merata di DAS,
2. Distribusi hujan relative merata seluruh DAS.

Metode aljabar curah hujan di dalam dan di sekitar daerah yang bersangkutan, dihitung dengan rumus adalah sebagai berikut:

$$\bar{R} = \frac{1}{n}(R_1 + R_2 + \dots R_n) \quad (1)$$

dengan:

$\bar{R}$: hujan rerata kawasan (mm),
 n : jumlah stasiun,
 $(R_1, R_2, \dots R_n)$: hujan di stasiun 1,2,..., n .

Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah evaporasi dari permukaan lahan yang ditumbuhi tanaman. Berkaitan dengan tanaman, evapotranspirasi adalah sama dengan kebutuhan air konsumtif yang didefinisikan sebagai penguapan total dari lahan dan air yang diperlukan oleh tanaman (Triatmodjo, 2008). Besarnya evapotranspirasi air bebas ET_o dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$ET_o = C (W \cdot R_n + (1 - W)(ea - ed) \cdot f(u)) \quad (2)$$

dengan:

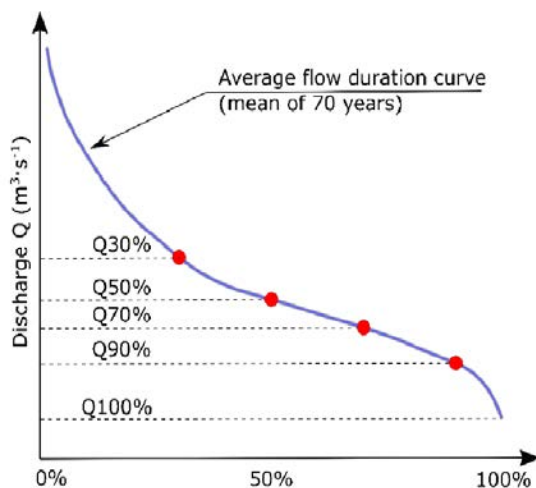
ET_o : evapotranspirasi potensial (mm/hari),
 C : faktor penyesuaian (perubahan siang dan malam),
 $1 - W$: faktor temperatur dan ketinggian,
 R_n : radiasi netto (mm/hari),
 $f(u)$: faktor kecepatan angin,
 ea : tekanan uap aktual (mbar),
 ed : tekanan uap jenuh (mbar),
 W : faktor penimbang berdasarkan suhu udara rata-rata.

Debit Andalan

Debit andalan (*dependable flow*) adalah debit minimum sungai untuk kemungkinan terpenuhi yang sudah ditentukan yang dapat dipakai untuk irigasi. Kemungkinan terpenuhi ditetapkan 80% (kemungkinan bahwa debit sungai lebih rendah dari debit andalan adalah 20%). Debit minimum sungai dianalisis atas dasar data debit harian sungai. Agar analisisnya cukup tepat dan andal, catatan data yang diperlukan harus meliputi jangka waktu paling sedikit 20 tahun (KP-01, 2013).

Flow duration curve dilakukan dengan cara data debit pencatatan pos duga muka air debit untuk jangka waktu tertentu disusun dari angka yang paling besar hingga yang paling kecil dan tiap debit diberikan probabilitas yang dihitung dengan Persamaan Weibull (Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2009).

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100 \quad (3)$$



Gambar 2. Contoh Flow Duration Curve

dengan :

- P : probabilitas terlampaui (%),
- i : nomor urut debit,
- n : jumlah data debit.

Kalibrasi dan Verifikasi Model

Kalibrasi model merupakan suatu proses pengoptimalan atau secara sistematis menyesuaikan nilai parameter model untuk mendapatkan suatu parameter yang memberikan estimasi terbaik dari debit sungai yang diamati. Tahapan kalibrasi model hidrologi dengan cara coba dan ralat (*trial error*) untuk mendapatkan parameter optimum dengan menghitung nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Parameter optimum telah didapat ketika nilai MAPE menghasilkan nilai minimum dan koefisien korelasi $> 0,75$. Parameter yang akan dikalibrasi adalah parameter k dan i , dengan parameter *Groundwater Recession Constant* (k) merupakan parameter paling sensitif, pergeseran sedikit dapat mengubah hasil debit dengan cukup besar.

Verifikasi model merupakan usaha untuk menyimpulkan suatu model sistem apakah merupakan perwakilan yang benar dari realitas yang dikaji sehingga dihasilkan kesimpulan yang tepat dan meyakinkan.

Metode FJ Mock

Metode FJ Mock memperhitungkan data curah hujan, evapotranspirasi, dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran sungai. Hasil dari permodelan ini dapat dipercaya jika ada debit pengamatan sebagai pembanding. Oleh karena keterbatasan data di daerah studi maka proses pembandingan akan dilakukan terhadap catatan debit di stasiun pengamat muka air (KP-01, 2013).

Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air untuk irigasi sangat diperlukan untuk menyalurkan serta membagi air ke bidang-bidang tanah pertanian secara teratur, serta membuang air kelebihan yang tidak diperlukan lagi. Pola tanam akan memberikan gambaran tentang jenis dan luas tanaman yang akan diusahakan dalam satu tahun. Pola tata tanam yang direncanakan untuk suatu daerah irigasi merupakan jadual tanam yang disesuaikan dengan ketersediaan airnya. Berbagai jenis tanaman mempunyai kebutuhan air yang bervariasi, bergantung pada jenis dan tahap pertumbuhan tanaman. Berbagai jenis tanaman untuk pertumbuhannya memerlukan kebutuhan air yang berbeda.

Kebutuhan Air Rumah Tangga (Domestik)

Kebutuhan air bersih rumah tangga adalah air yang diperlukan untuk rumah tangga yang diperoleh secara individu dari sumber air yang dibuat oleh masing-masing rumah tangga seperti sumur dangkal, perpipaan atau hidran umum atau dapat diperoleh dari layanan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) PDAM.

Tabel 1. Kriteria Penentuan Kebutuhan Air Domestik

No.	Kategori Kota	Jumlah penduduk	Domestik (l/kapita/hari)	Non Domestik (l/kapita/hari)	Kehilangan Air (l/kapita/hari)
1	Semi urban (ibu kota kecamatan/desa)	3.000 - 20.000	60 - 90	10 - 20	24 - 30
2	Kota kecil	20.000 - 100.000	90 - 100	20 - 30	30 - 40
3	Kota sedang	100.000 - 500.000	100 - 125	30 - 40	40 - 45
4	Kota besar	500.000 - 1.000.000	120 - 150	40 - 60	45 - 50
5	Metropolitan	>1.000.000	150 - 200	60 - 90	50 - 60

Sumber: (Badan Standardisasi Nasional, 2015)

Ketersediaan Air

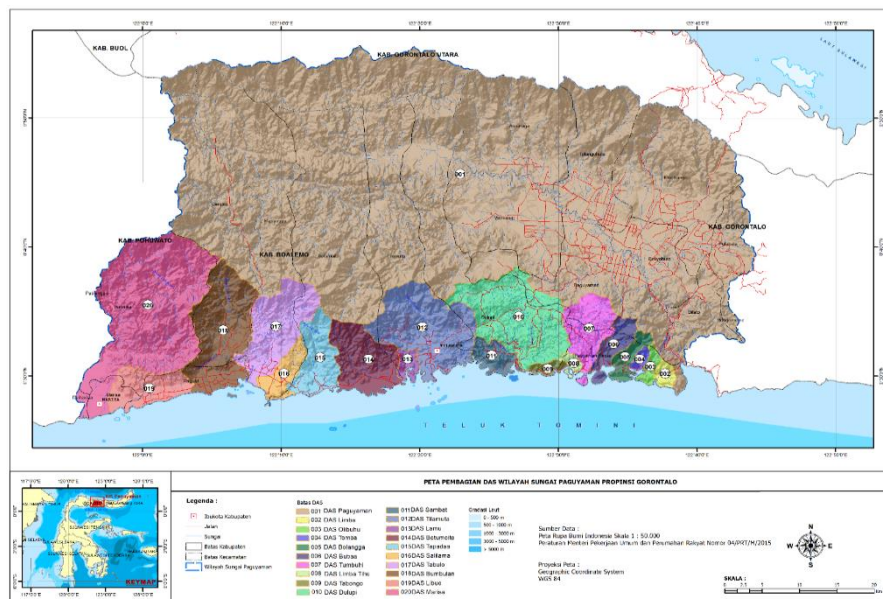
Ketersediaan air adalah jumlah air yang diperkirakan terus menerus ada di suatu lokasi (bending atau bangunan lainnya) di sungai dengan jumlah tertentu dan dalam jangka waktu (periode) tertentu. Ketersediaan air sangat penting untuk mengetahui potensi air, khususnya untuk keperluan irigasi maupun keperluan yang lainnya seperti keperluan industri dan rumah tangga. Nilai ketersediaan air diambil dari hasil perhitungan debit andalan pada tiap titik pengambilan/pemanfaatan air.

Neraca Air

Neraca air (water balance) merupakan neraca masukan dan keluaran air disuatu tempat pada periode tertentu, sehingga dapat digunakan untuk mengetahui jumlah air tersebut kelebihan (surplus) ataupun kekurangan (defisit).

Metodologi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada DAS Paguyaman. DAS ini merupakan DAS terbesar di Wilayah Sungai Paguyaman dengan luas 2.388,28 km² dengan sungai utamanya yaitu Sungai Paguyaman dengan panjang 136 km. Peta Wilayah Sungai Paguyaman dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta DAS Paguyaman

Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Langkah-langkah dalam pengumpulan data adalah sebagai berikut:

- Pengumpulan data hidrologi dan klimatologi yang meliputi curah hujan, debit dan suhu dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Balai Wilayah Sungai Sulawesi II – Gorontalo.
- Pengumpulan data penduduk yang ada di DAS Paguyaman dari BPS Kabupaten Gorontalo, Kabupaten Boalemo, dan Kabupaten Pohuato.

Langkah Perhitungan

- Analisis curah hujan

Hujan yang jatuh di suatu wilayah tidak seragam baik intensitas, tebal maupun lamanya hujan. Cara yang dipakai dalam menghitung hujan rata-rata, yaitu metode Rerata Aljabar.

2. Perhitungan Debit Aliran

Perhitungan debit aliran dihitung menggunakan metode Mock dengan data dan asumsi sebagai berikut:

- a. Data curah hujan
- b. Evapotranspirasi terbatas (E_t) dengan menggunakan persamaan
- c. Faktor karakteristik hidrologi
- d. Luas daerah pengaliran
- e. Kapasitas kelembaban tanah (SMC) dengan menggunakan persamaan
- f. Keseimbangan air permukaan tanah yang dipengaruhi oleh faktor air hujan dengan persamaan dan faktor kandungan air tanah
- g. Aliran dan pemnyimpanan air tanah
- h. Koefisien infiltrasi
- i. Faktor resesi aliran tanah
- j. Initial storage (IS)
- k. Penyimpanan air tanah (*Ground Water Storage*) dengan menggunakan persamaan.

3. Debit Andalan

Debit minimum sungai untuk kemungkinan terpenuhi yang sudah ditentukan yang dapat dipakai untuk irigasi. Kemungkinan terpenuhi ditetapkan 80% (kemungkinan bahwa debit sungai lebih rendah dari debit andalan adalah 20%). Perhitungan debit andalan menggunakan persamaan.

4. Analisis Kebutuhan Air

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan hitungan jumlah kebutuhan air bersih dan kebutuhan air irigasi.

5. Analisis Neraca Air

Model neraca air yang dipakai dalam penelitian ini adalah model neraca air umum dengan memperhitungkan jumlah ketersediaan air dikurangi dengan jumlah kebutuhan air bersih dan air irigasi.

Hasil dan Pembahasan

Analisis neraca air menggunakan Metode Neraca Air Umum di mana jumlah kebutuhan air irigasi ditambah dengan jumlah kebutuhan air bersih (rumah tangga dan industri) dikurangi dengan ketersediaan air yang ada di DAS Paguyaman hingga tahun 2020. Nilai ketersediaan air yang digunakan adalah debit aliran yang dianalisis menggunakan Metode FJ Mock dengan keandalan 80% (untuk irigasi) dan 90% (untuk rumah tangga dan industri) yang dihitung menggunakan persamaan Weibull.

Adapun perhitungan neraca air dilakukan pada tiap titik pengambilan/pemanfaatan air di dalam wilayah DAS Paguyaman diantaranya Bendung Paguyaman, Bendung Tombiu, Bendung Bongo, Bendung Bulia, Bendung Bumela, Intake PDAM

Paguyaman, Intake PDAM Wonosari, Intake PDAM Bulia, dan Intake Pabrik Gula. Contoh perhitungan neraca air DAS Paguyaman pada periode pertama bulan Januari adalah sebagai berikut.

1. Kebutuhan air

Bendung Paguyaman	= 12,55 m ³ /det
Bendung Tombui	= 0,59 m ³ /det
Bendung Bongo	= 0,78 m ³ /det
Bendung Bulia	= 0,60 m ³ /det
Bendung Bumela	= 0,70 m ³ /det
PDAM Paguyaman	= 0,01 m ³ /det
PDAM Wonosari	= 0,01 m ³ /det
PDAM Bulia	= 0,005 m ³ /det
Pabrik Gula	= 0,0025 m ³ /det
Total kebutuhan air	= 14,81 m³/det
2. Ketersediaan air

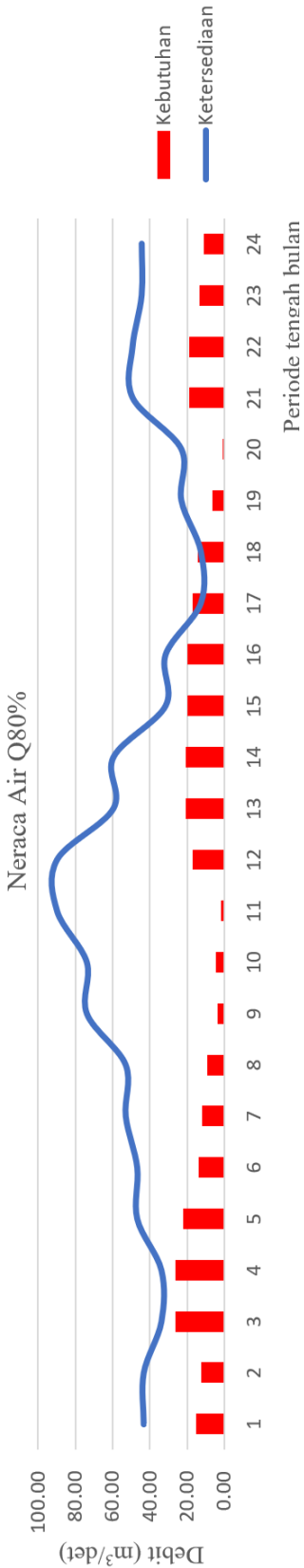
Bendung Paguyaman	= 13,36 m ³ /det
Bendung Tombui	= 0,77 m ³ /det
Bendung Bongo	= 0,74 m ³ /det
Bendung Bulia	= 0,78 m ³ /det
Bendung Bumela	= 0,75 m ³ /det
PDAM Paguyaman	= 21,98 m ³ /det
PDAM Wonosari	= 1,33 m ³ /det
PDAM Bulia	= 0,83 m ³ /det
Pabrik Gula	= 0,69 m ³ /det
Total ketersediaan air	= 41,24 m³/det
3. Neraca air

Total Kebutuhan air	= 15,21 m ³ /det
Total Ketersediaan air	= 43,20 m ³ /det
Neraca air	= 43,20 – 15,21
	= 26,43 m ³ /det
Status (NA)	= S (<i>surplus</i>)

Dengan langkah perhitungan yang sama, untuk Februari sampai Desember disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Neraca Air DAS Paguyaman (Prob. 80%)

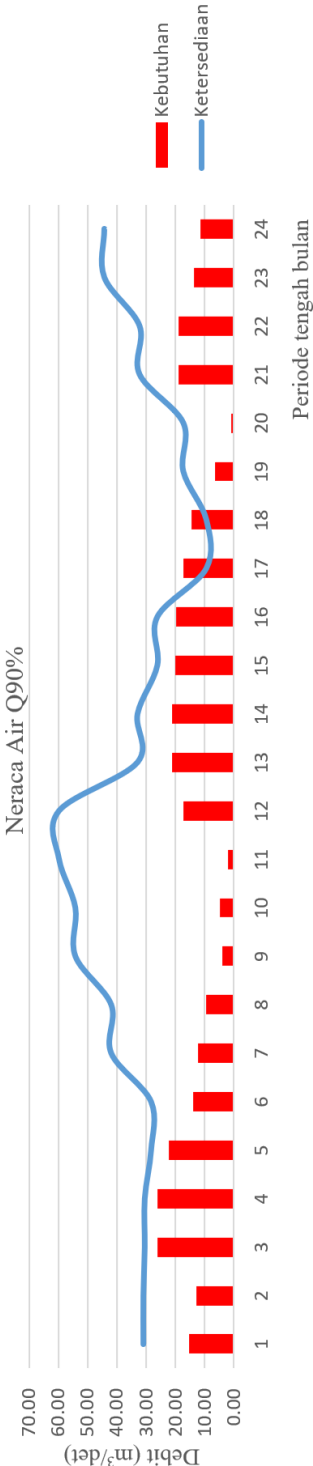
No.	Nama DAS	Bulan (m3/det)																								Rata-rata			
		jan		feb		mar		apr		mei		jun		jul		ags		sep		okt		nov		des					
1	Kebutuhan Air DAS Paguyaman																												
	Bendung Paguyaman		12,39	10,26	21,80	21,81	18,32	11,35	9,83	7,63	2,84	3,66	1,19	14,22	17,05	17,48	16,36	16,24	14,11	11,74	4,87	0,42	15,56	15,74	11,10	9,18	11,88		
	Bendung Tonbiu		0,53	0,44	0,89	0,89	0,75	0,48	0,42	0,32	0,12	0,15	0,05	0,55	0,69	0,69	0,70	0,70	0,61	0,50	0,21	0,01	0,61	0,61	0,41	0,38	0,49		
	Bendung Bongo		0,72	0,59	1,32	1,32	1,11	0,72	0,61	0,47	0,17	0,21	0,07	0,82	1,03	1,03	1,05	1,05	0,91	0,75	0,31	0,02	0,85	0,85	0,57	0,52	0,71		
	Bendung Bulin		0,54	0,45	0,91	0,91	0,77	0,49	0,43	0,33	0,12	0,15	0,05	0,57	0,71	0,71	0,72	0,72	0,62	0,51	0,21	0,01	0,62	0,62	0,42	0,38	0,50		
	Bendung Burek		0,64	0,53	0,92	0,92	0,77	0,50	0,44	0,34	0,13	0,16	0,06	0,58	0,72	0,72	0,72	0,72	0,63	0,52	0,22	0,02	0,74	0,74	0,51	0,47	0,53		
	PDAM Paguyaman		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01		
	PDAM Wonsuri		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01		
	PDAM Bulin		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005		
	Pabrak Cuh		0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025		
	Total		14,81	12,26	25,84	25,85	21,72	13,54	11,73	9,10	3,38	4,33	1,42	16,74	20,21	20,63	19,56	19,41	16,88	14,03	5,82	0,48	18,38	18,56	13,02	10,93			
2	Ketersediaan Air DAS Paguyaman Q80%																												
	Bendung Paguyaman		13,36	15,32	13,51	13,73	11,51	16,01	18,11	19,23	21,21	24,56	23,84	27,97	11,45	20,02	9,19	9,39	3,26	4,84	6,04	8,37	11,43	14,99	14,36	16,28	14,50		
	Bendung Tonbiu		0,77	0,77	0,46	0,46	0,44	0,44	0,71	0,71	0,88	0,88	0,92	0,92	0,55	0,55	0,29	0,29	0,09	0,09	0,24	0,24	0,60	0,60	0,55	0,51	0,54		
	Bendung Bongo		0,74	0,74	0,69	0,69	0,78	0,78	0,80	0,80	1,15	1,15	1,32	1,32	1,00	1,00	0,67	0,67	0,28	0,28	0,42	0,42	0,89	0,89	0,76	0,76	0,79		
	Bendung Bulin		0,78	0,78	0,49	0,49	0,54	0,54	0,73	0,73	0,87	0,87	1,08	1,08	0,67	0,67	0,35	0,35	0,12	0,12	0,23	0,23	0,61	0,61	0,49	0,49	0,58		
	Bendung Burek		0,75	0,75	0,59	0,59	0,67	0,67	0,91	0,91	1,04	1,04	1,26	1,26	0,81	0,81	0,36	0,36	0,17	0,17	0,33	0,33	0,61	0,61	0,69	0,69	0,68		
	PDAM Paguyaman		21,98	21,98	15,17	15,17	24,82	24,82	26,58	26,58	40,08	40,08	50,56	50,56	31,37	31,37	17,65	17,65	5,73	5,73	11,46	11,46	27,48	27,48	21,97	21,97	24,57		
	PDAM Wonsuri		1,33	1,33	1,07	1,07	1,48	1,48	1,58	1,58	2,23	2,23	3,01	3,01	1,87	1,87	1,05	1,05	0,34	0,34	0,68	0,68	1,63	1,63	1,43	1,43	1,48		
	PDAM Bulin		0,83	0,83	0,88	0,88	1,20	1,20	1,51	1,51	1,87	1,87	2,18	2,18	2,23	2,23	1,07	1,07	0,65	0,65	0,86	0,86	1,54	1,54	1,40	1,40	1,35		
	Pabrak Cuh		0,69	0,69	0,56	0,56	0,77	0,77	0,82	0,82	1,16	1,16	1,56	1,56	0,97	0,97	0,55	0,55	0,18	0,18	0,35	0,35	0,85	0,85	0,74	0,74	0,77		
	Total		41,24	43,20	33,42	33,65	42,21	46,70	51,76	52,88	70,48	73,84	85,73	89,87	50,92	59,48	31,18	31,37	10,82	12,40	20,61	22,94	45,65	49,21	42,41	44,28			
3	Neraca Air DAS Paguyaman Q80%																												
	Neraca Air (NA)		26,43	30,94	7,58	7,80	20,48	33,16	40,02	43,79	67,10	69,50	84,31	73,13	30,71	38,85	11,62	11,96	-6,05	-1,63	14,78	22,47	27,27	30,65	29,39	33,35	31,15		
	Status(NA)		S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	D	D	S	S	S	S	S	S	S		



Gambar 4. Grafik Neraca Air DAS Paguyaman (Prob.80%)

Tabel 2. Neraca Air DAS Paguyaman (Prob. 80%)

No.	Nama DAS	Bulan (m ³ /det)																								Rate-rata			
		jan		feb		mar		apr		mei		jun		jul		ags		sep		okt		nov		des					
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
1	Kebutuhan Air DAS Paguyaman																												
	Bendung Paguyaman		12,39	10,26	21,80	21,81	18,32	11,35	9,83	7,63	2,84	3,66	1,19	14,22	17,05	17,48	16,36	16,24	14,11	11,74	4,87	0,42	15,56	15,74	11,10	9,18	11,88		
	Bendung Tonbitu		0,53	0,44	0,89	0,89	0,75	0,48	0,42	0,32	0,12	0,15	0,05	0,55	0,69	0,69	0,70	0,70	0,61	0,50	0,21	0,01	0,61	0,61	0,41	0,38	0,49		
	Bendung Bongo		0,72	0,59	1,32	1,32	1,11	0,72	0,61	0,47	0,17	0,21	0,07	0,82	1,03	1,03	1,05	1,05	0,91	0,75	0,31	0,02	0,85	0,85	0,57	0,52	0,71		
	Bendung Bulia		0,54	0,45	0,91	0,91	0,77	0,49	0,43	0,33	0,12	0,15	0,05	0,57	0,71	0,71	0,72	0,72	0,62	0,51	0,21	0,01	0,62	0,62	0,42	0,38	0,50		
	Bendung Bureha		0,64	0,53	0,92	0,92	0,77	0,50	0,44	0,34	0,13	0,16	0,06	0,58	0,72	0,72	0,72	0,72	0,63	0,52	0,22	0,02	0,74	0,74	0,51	0,47	0,53		
	PDAM Paguyaman		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01		
	PDAM Wonosari		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01		
	PDAM Bulin		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005		
	Pabrik Gula		0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025		
Total		14,84	12,28	25,87	25,88	21,75	13,56	11,76	9,12	3,41	4,36	1,45	16,77	20,23	20,66	19,59	19,44	16,90	14,06	5,85	0,51	18,41	18,59	13,05	10,96				
2	Ketersediaan Air DAS Paguyaman Q90%																												
	Bendung Paguyaman		11,26	13,17	12,86	13,45	8,41	11,23	15,49	17,87	15,62	20,70	20,66	23,55	10,19	11,34	8,13	9,10	1,59	3,11	1,20	5,60	5,44	10,89	10,21	13,99	11,46		
	Bendung Tonbitu		0,35	0,35	0,31	0,31	0,29	0,29	0,49	0,49	0,66	0,66	0,98	0,98	0,54	0,54	0,34	0,34	0,11	0,11	0,20	0,20	0,26	0,26	0,44	0,44	0,42		
	Bendung Bongo		0,49	0,49	0,43	0,43	0,41	0,41	0,68	0,68	0,92	0,92	1,36	1,36	0,75	0,75	0,47	0,47	0,15	0,15	0,27	0,27	0,37	0,37	0,61	0,61	0,58		
	Bendung Bulia		0,36	0,36	0,32	0,32	0,30	0,30	0,50	0,50	0,68	0,68	1,00	1,00	0,56	0,56	0,35	0,35	0,11	0,11	0,20	0,20	0,27	0,27	0,45	0,45	0,43		
	Bendung Bureha		0,43	0,43	0,39	0,39	0,36	0,36	0,60	0,60	0,82	0,82	1,21	1,21	0,67	0,67	0,42	0,42	0,13	0,13	0,24	0,24	0,33	0,33	0,54	0,54	0,51		
	PDAM Paguyaman		13,52	13,52	12,64	12,64	13,10	13,10	17,99	17,99	25,79	25,79	26,43	26,43	14,45	14,45	12,56	12,56	4,32	4,32	8,64	8,64	17,53	17,53	24,85	24,85	15,98		
	PDAM Wonosari		0,86	0,86	1,15	1,15	1,05	1,05	1,63	1,63	1,93	1,93	2,21	2,21	1,94	1,94	1,17	1,17	0,62	0,62	0,96	0,96	1,28	1,28	1,51	1,51	1,36		
	PDAM Bulin		1,01	1,01	1,08	1,08	0,92	0,92	1,36	1,36	1,64	1,64	1,98	1,98	1,69	1,69	1,01	1,01	0,48	0,48	0,74	0,74	0,87	0,87	1,17	1,17	1,16		
	Pabrik Gula		0,68	0,68	0,63	0,63	0,56	0,56	0,77	0,77	1,04	1,04	1,05	1,05	0,93	0,93	0,65	0,65	0,24	0,24	0,34	0,34	0,39	0,39	0,68	0,68	0,66		
Total		28,96	30,87	29,81	30,40	25,40	28,22	39,51	41,89	49,10	54,18	56,89	59,77	31,71	32,86	25,11	26,07	7,76	9,27	12,80	17,20	26,73	32,18	40,48	44,26				
3	Neraca Air DAS Paguyaman Q90%																												
	Neraca Air (NA)		14,12	18,58	3,94	4,52	3,65	14,66	27,75	32,76	45,69	49,82	55,44	43,00	11,48	12,20	5,52	6,64	-9,14	-4,78	6,95	16,69	8,33	13,60	27,43	33,30	18,42		
Status(NA)		S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	D	D	S	S	S	S	S	S	S			



Gambar 5. Grafik Neraca Air DAS Paguyaman (Prob.90%)

Tabel 2. menunjukkan nilai neraca air DAS Paguyaman dengan probabilitas 80% di mana terjadi *defisit* air pada bulan September periode pertama sebesar 6,05 m³/det dan periode kedua sebesar 1,63 m³/det. Adapun *surplus* air terjadi pada Januari, Februari, Maret, April, Mei, Juni, Juli, Agustus, Oktober, November, dan Desember dengan *surplus* air maksimum terjadi pada Bulan Juni periode pertama sebesar 84,31 m³/det.

Sedangkan pada Tabel 3 menunjukkan nilai neraca air DAS Paguyaman dengan probabilitas 90% dimana terjadi *defisit* air pada bulan September periode pertama sebesar 9,14 m³/det dan periode kedua sebesar 4,78 m³/det. *Surplus* air terjadi pada bulan Januari, Februari, Maret, April, Mei, Juni, Juli, Agustus, Oktober, November, dan Desember dengan *surplus* air maksimum terjadi pada Bulan Juni periode pertama sebesar 55,44 m³/det.

Gambar 4 menunjukkan grafik neraca air DAS Paguyaman probabilitas 80% dan Gambar 5 menunjukkan grafik neraca air DAS Paguyaman probabilitas 90%. Grafik tersebut bertujuan untuk memudahkan dalam menentukan *defisit* dan *surplus* air dengan melihat adanya singgungan antara grafik ketersediaan air dan grafik kebutuhan air.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan analisis neraca air dengan probabilitas 80% menunjukkan adanya *defisit* air pada September periode pertama sebesar 4,82 m³/det dan periode kedua sebesar 1,90 m³/det. Adapun analisis neraca air dengan probabilitas 90% menunjukkan adanya *defisit* air pula pada September periode pertama sebesar 8,06 m³/det dan periode kedua sebesar 5,14 m³/det. Sedangkan *surplus* air terjadi pada Januari, Februari, Maret, April, Mei, Juni, Juli, Agustus, Oktober, November, dan Desember dengan *surplus* air maksimum terjadi pada Mei periode pertama sebesar 69,99 m³/det untuk neraca air probabilitas 80% dan 50,22 m³/det untuk neraca air probabilitas 90%.

Saran

Dengan adanya *defisit* air pada DAS Paguyaman maka perlu diadakan penelitian selanjutnya untuk dapat menganalisis secara detail tentang kebutuhan air irigasi. Untuk mendapatkan kebutuhan air yang optimal dapat dilakukan dengan cara mengganti pola tanam yang direncanakan menjadi padi-palawija dan lama waktu penyiapan lahan menjadi 1 bulan (30 hari).

Dengan adanya ketersediaan air yang berlebih (*surplus*) terhadap kebutuhan air bersih maka DAS Paguyaman perlu dilindungi dan dijaga kualitasnya dengan cara antara lain mengadakan program penghijauan, pelarangan penebangan pohon serta mengontrol kegiatan penambangan untuk memperkecil gangguan terhadap sungai seperti erosi, longsor, dan peningkatan sedimentasi.

Daftar Pustaka

- Badan Standardisasi Nasional. (2015). SNI 6728.1:2015 Penyusunan Neraca Spasial Sumber Daya Alam Bagian 1: Sumber Daya Air. Bogor: Badan Standardisasi Nasional.
- Bokings, S. F. (2019). Analisis Neraca Air Daerah Aliran Sungai Biyonga. *juRnal perADaban saIns, rekayAsa dan teknoLogi*, 28.
- BPS Kabupaten Boalemo. (2019). *Kabupaten Boalemo Dalam Angka*. Boalemo: BPS-Statistics of Boalemo Regency.
- BPS Kabupaten Boalemo. (2020). *Kabupaten Boalemo Dalam Angka*. Boalemo: BPS-Statistics of Boalemo Regency.
- BPS Kabupaten Boalemo. (2021). *Kabupaten Boalemo Dalam Angka*. Boalemo: BPS-Statistics of Boalemo Regency.
- Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. (2009). *Pedoman Studi Kelayakan Hidrologi Buku 2A*. Jakarta.
- Doorenbos, J., & Pruitt, W. (1977). Crop Water Requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper 24*, 12.
- Kansil, G. R., Sumarauw, J. S., & Tanudjaja, L. (2015, July). Analisis Neraca Air Sungai Akembula di Kota Tahuna Kabupaten Sangihe. *Jurnal Sipil Statistk*, 3, 503.
- KP-01, P. J. (2013). Standar Perencanaan Irigasi. *Kriteria Perencanaan Jaringan Irigasi*, 78-79.
- Labdul, B. (1998). *Potensi Air dan Debit Maksimum Sungai Bolango Untuk perhitungan kebutuhan Air Daerah Irigasi Lomaya-Pilohayanga*. Gorontalo.
- Mokoginta, R., Sumarauw, J. S., & Tanudjaja, L. (2017, April). Analisis Neraca Air Sungai Moayat di Titik Bendung Moayat. *TEKNO*, XV, 87.
- Mopangga, S. (2019, December 2). Analisis Neraca Air Daerah Aliran Sungai Bolango. *RADIAL - juRnal perADaban saIns, rekayAsa dan teknoLogi*, VII, 163-164.
- Purnama, S., & Trijuni, S. (2012). *Analisis Neraca Air di DAS Kupang dan Sengkarang*. Yogyakarta: RedCarpet Studio.
- Salilama, A. (2019). Analisis Kebutuhan Air Bersih (Pdam) Di Wilayah Kota Gorontalo. *Radial - juRnal perADaban sains, rekayAsa dan teknoLogi Sekolah Tinggi Teknik (STITEK) Bina Taruna Gorontalo*, 6 No.2, 102-114.
- Staddal, I. (2017). Analisis Potensi Sumber Daya Air di DAS Paguyaman. *JTech*, 11-17.
- Triatmodjo, B. (2008). *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta.

ANALISIS DEBIT BANJIR DAN TINGGI MUKA AIR SUNGAI DUWANGA KECAMATAN DUNGALIYO KABUPATEN GORONTALO

Dwi Iriansyah Ramadan*, Rawiyah Husnan, dan Barry Yusuf Labdul

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Negeri Gorontalo

*dwirmdhan78@gmail.com

Pemasukan: 22 Januari 2024 Perbaikan: 24 Mei 2024 Diterima: 24 Juni 2024

Intisari

Sungai Duwanga merupakan sungai yang berada di Kecamatan Dungaliyo, Kabupaten Gorontalo, Provinsi Gorontalo. Pada tahun 2020 Sungai Duwanga meluap dan menyebabkan banjir hingga tanggul Sungai Duwanga jebol yang mengakibatkan rumah-rumah terutama rumah yang berada disekitar Sungai Duwanga terendam dan mengalami kerusakan. Maka dari itu diperlukan analisis debit banjir dan tinggi muka air dari Sungai Duwanga. Titik tinjau untuk penelitian ini terletak di Jembatan Duwanga. Data yang diaplikasikan berupa data primer dan sekunder yaitu data penampang sungai sebagai data primer, kemudian data curah hujan harian maksimum, data debit tahunan, luas DAS, peta topografi, dan data penutup lahan untuk data sekunder. Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis hidrologi dengan menggunakan model HEC-HMS untuk mendapatkan besaran debit banjir rencana dan Model Hidrolika HEC-RAS untuk analisis tinggi muka air menggunakan program serta simulasi tinggi muka air banjir. Hasil analisis hidrologi yang didapat debit banjir yang dihitung dengan metode HSS SCS pada program HEC-HMS yaitu kala ulang 5 tahun sebesar 35,6 m³/detik, kala ulang 10 tahun sebesar 42,1 m³/detik, kala ulang 25 tahun sebesar 47,5 m³/detik, kala ulang 50 tahun sebesar 52,8 m³/detik, dan kala ulang 100 tahun sebesar 56,2 m³/detik. Hasil analisis hidrolika dengan memasukkan hasil data debit banjir dan data penampang sungai pada program HEC-RAS memperlihatkan pada sta 0+50 dan sta 0+100 kala ulang 5 tahun tidak terjadi luapan, sedangkan pada kala ulang 10 tahun luapan banjir terjadi hanya pada bantaran kanan sungai. Sungai Duwanga tidak mampu membendung debit banjir pada sta 0+150, sta 0+200, sta 0+250 untuk kala ulang 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun.

Kata Kunci: Debit Banjir, Tinggi Muka Air Banjir, HEC-HMS, HEC-RAS

Latar Belakang

Sungai didefinisikan sebagai aliran terbuka dengan ukuran geometri (tampak lintang, profil memanjang dan kemiringan lembah) berubah seiring waktu, tergantung pada debit, material dasar dan tebing, serta jumlah dan jenis sedimen yang terangkut oleh air (Putra dkk., 2014). Pada tahun 2020 permasalahan yang terjadi dari meluapnya air sungai akibat curah hujan yang tinggi di Sungai Duwanga

telah mengakibatkan rumah-rumah terutama rumah yang berada di sekitar Sungai Duwanga terendam dan mengalami kerusakan.

Curah hujan tahunan, curah hujan maksimum, debit banjir tahunan maksimum, dan parameter hidrologi lainnya sering dianggap sebagai besaran stokastik, dan fungsi kerapatan probabilitas seperti distribusi normal, distribusi log-normal, distribusi gumbel, dan distribusi log pearson III (Breda et al., 2023). Analisis frekuensi hujan dilakukan untuk menentukan besarnya hujan yang terjadi pada periode ulang tertentu sehingga analisa frekuensi memperkirakan apakah debit aliran sungai tersebut akan melampaui atau menyamai suatu harga tertentu, misalnya untuk 10 tahun, 20 tahun dan seterusnya yang akan datang, jadi bukan untuk menentukan besarnya debit aliran sungai pada suatu saat (Limantara, 2018). Uji *outlier* dilakukan untuk mengoreksi data sehingga baik untuk digunakan pada analisis selanjutnya agar menghindari data yang menyimpang terlalu tinggi ataupun terlalu rendah dari sekumpulan data (Talumepa dkk., 2017). Dalam analisis data hidrologi diperlukan ukuran-ukuran numerik yang menjadi ciri data tersebut. Parameter yang digunakan dalam analisis susunan data dari suatu variabel disebut dengan parameter statistik. Parameter statistik yang digunakan dalam analisis data hidrologi yaitu: rata-rata hitung (*mean*), simpangan baku (standar deviasi), koefisien variasi, kemencengan (*koefisien skewness*) dan *koefisien kurtosis* (Rapar dkk., 2014). Debit banjir rencana merupakan debit maksimum pada suatu sungai dengan periode ulang tertentu. Pada studi ini data yang dibutuhkan untuk menentukan debit banjir rencana antara lain data curah hujan, luas *catchment area* dan data penutup lahan (Makahinsade dkk., 2020). Dalam analisis hidrolika, dihitung profil muka air dengan menggunakan beberapa data dari analisis hidrologi untuk mendapatkan profil muka air. Di dalam analisis ini juga digunakan program/software HEC-RAS. Data-data yang harus dimasukkan kedalam program HEC-RAS berupa data penampang sungai, data debit rencana, dan koefisien angka *Manning/Kekasaran* (Sebayang dkk., 2018).

Ruas Sungai Duwanga yang terletak di tepi jalan utama antara Kecamatan Batudaa dan Kecamatan Bongomeme sering menyebabkan gangguan lalu lintas saat meluap. Selain itu, meluapnya air di Sungai Duwanga mengakibatkan rusaknya areal pertanian dan perkebunan sehingga masyarakat sekitar mengalami gagal panen. Padahal telah kita ketahui bersama bahwa pertanian dan juga perkebunan merupakan urat nadi perekonomian masyarakat Desa Duwanga. Berdasarkan latar belakang, penelitian ini bertujuan untuk menghitung besaran debit banjir dan tinggi muka air dari Sungai Duwanga jika terjadi hujan dengan periode ulang tertentu dan dampaknya terhadap perubahan muka air sungai. Pada tahun 2015 penelitian ini juga pernah dilakukan oleh Tia Anandhita dkk di Sungai Rangkui yang menghasilkan analisis banjir rencana Sungai Rangkui periode 2 tahun sebesar 46,08 m³/detik, periode 5 tahun sebesar 57,68 m³/detik, periode 10 tahun sebesar 64,88 m³/detik, dan periode 25 tahun sebesar 72,79 m³/detik. Kemudian tinggi muka air berkisar 0,15 - 1,4 m untuk kondisi tanpa pasang surut dan 0,6 – 1,9 m untuk kondisi pengaruh pasang surut sehingga kedua kondisi tersebut dapat menyebabkan luapan banjir pada sungai Rangkui (Anandhita dkk., 2015)

Metodologi Studi

Sungai Duwanga terletak di Kecamatan Dungaliyo, Kabupaten Gorontalo, Provinsi Gorontalo. Titik tinjau yang diambil untuk penelitian ini terletak di Jembatan Duwanga. Lokasi penelitian berada di 0°36'10"N 122°53'37"E. Survei lokasi dilakukan untuk mengetahui kondisi umum Sungai Duwanga. Survei ini bertujuan untuk mendapatkan data sekunder yang diperlukan sebagai data pendukung yaitu berupa data curah hujan, data debit tahunan, data penutup lahan, peta topografi, dan luas DAS. Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi: pengumpulan data curah hujan maksimum dan data debit tahunan dari instansi terkait, pengambilan data penampang sungai dilapangan, dan penentuan nilai koefisien *Manning* saluran berdasarkan pengamatan langsung dilapangan. Analisis pada penelitian ini terdiri dari analisis hidrologi dan analisis hidraulika. Analisis hidrologi dilakukan untuk mendapatkan debit rencana dengan menggunakan aplikasi *software* HEC-HMS. Dengan data hujan harian dan luas DAS sebagai input data dan data debit sebagai output data. Lalu dilanjutkan dengan Analisis terhadap elevasi tinggi muka air sungai menggunakan aplikasi *software* HEC-RAS. Dengan data debit, data penampang sungai, dan koefisien angka *Manning* sebagai input data dan profil penampang dan tinggi muka air sebagai output data.

Hasil Studi dan Pembahasan

Analisis Daerah Aliran Sungai

Analisis daerah aliran sungai (DAS) dilakukan untuk mengetahui luas Sub DAS Pilolalenga. dengan menggunakan data yang bersumber dari Balai Pemantapan Kawan Hutan Wilayah XV. Diperoleh luas Sub DAS Pilolalenga dari titik tinjau sebesar 33,2 Km².

Analisis Curah Hujan Rencana

Analisis curah hujan di Sub DAS Pilolalenga dilakukan dengan menggunakan data curah hujan harian maksimum. Data yang digunakan bersumber dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi II dengan periode pencatatan tahun 2011 sampai dengan tahun 2020. Pos hujan yang digunakan sebanyak 2 pos hujan, yaitu pos hujan MRG (Manual Rain Gauge) DAS Limboto Pilolenga dan pos hujan MRG (Manual Rain Gauge) DAS Limboto Tabongo Timur. Analisis curah hujan rerata dilakukan untuk mendapat rata-rata dari hasil pengukuran hujan di dua pos yang ada. Dengan mengetahui luas pengaruh dari tiap pos hujan yang ada. Maka curah hujan rerata dari setiap pos hujan dapat dihitung dengan cara Poligon Thiessen berdasarkan persamaan 2.1. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 1.

Analisis Data Outlier

Analisis data *outlier* dilakukan untuk menentukan berapa banyak data yang menyimpang terlalu tinggi dan terlalu rendah. Hasil analisis *outlier* memperoleh bahwa data-data curah hujan dari kedua pos hujan tidak ada yang menyimpang.

Tabel 1. Data Curah Hujan Harian Maksimum

No	Tahun	Tanggal	MRG Limboto Pilolalenga	MRG Limboto Tabongo Timur	Rata-rata Poligon Thiessen	Hujan Maks
			0,7913	0,2089		
1	2011	09-Feb	101,9	11	82,936	82,936
		13-Jun	32,5	78	42,012	
2	2012	03-Nov	100,3	50	89,816	89,816
		14-Des	3,5	76	18,646	
3	2013	05-Des	77,6	11	63,706	63,706
		14-Jul	25,5	55	31,668	
4	2014	29-Des	95,3	0	75,415	75,415
		24-Apr	0	54	11,280	
5	2015	05-Mei	53,4	0	42,258	42,258
		12-Jun	0	63	13,160	
6	2016	25-Okt	73,5	0	58,164	58,164
		26-Okt	0	95	19,845	
7	2017	21-Jun	46,3	3,5	37,370	37,370
		04-Nov	0	56	11,698	
8	2018	21-Feb	75	0	59,351	59,351
		31-Mar	0	55,5	11,594	
9	2019	29-Apr	64,7	53	62,271	62,271
		29-Apr	64,7	53	62,271	
10	2020	15-Okt	69	8	56,274	56,274
		07-Sep	18,4	90,8	33,528	

Penentuan Distribusi Hujan

Jenis sebaran hujan bergantung pada nilai parameter statistik yaitu rata – rata hitung atau *mean* ($\bar{X}$), simpangan baku (S), koefisien kemencengan (Cs), koefisien variasi (Cv), dan koefisien kurtosis (Ck).

Tabel 2. Penentuan Jenis Sebaran Data

Tipe Sebaran	Syarat Parameter Statistik	Parameter Statistik Data Pengamatan	Keterangan
Normal	Cs = 0	0,1455	Memenuhi
	Ck = 3	3,34	Memenuhi
Log Normal	Cs = Cv ³ + 3 . Cv	0,1455	Tidak
	= 0.75541		Memenuhi
	Ck = Cv ⁸ + 6Cv ⁶ + 15Cv ⁴ + 16Cv ² + 3	3,34	Tidak
	= 4.03524		Memenuhi
Gumbel	Cs = 1,14	0,1455	Tidak
			Memenuhi
	Ck = 5,40	3,34	Tidak
Log Pearson III			Memenuhi
	Bila tidak ada parameter statistik yang sesuai dengan ketentuan distribusi sebelumnya	-	Memenuhi

Analisis Curah Hujan Rencana

Analisis curah hujan rencana dengan tipe sebaran Log Pearson tipe III. Perhitungan dilakukan dengan menghitung parameter statistik terlebih dahulu.

Rata-rata hitung:

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log X_i = \frac{1}{10} \times 18,59698 = 1,85969$$

Simpangan Baku:

$$S_{\log X} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,0861}{10-1}} = 0,09781$$

Koefisien *Skewness* (Kemencengan):

$$C_{S_{\log X}} = \frac{n}{(n-1)(n-2) \cdot (S_{\log X})^3} \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^3$$

$$= \frac{10}{(10-1)(10-2) \cdot 0,09781^3} \times -0,00302$$

$$= -0,44825 \text{ (Kemencengan Negatif)}$$

Tabel 3. Curah Hujan Rencana

Kala Ulang (TR)	Log X_{TR}	X_{TR}
5 tahun	1,89	76,86
10 tahun	1,90	83,74
25 tahun	1,96	90,52
50 tahun	1,98	94,56
100 tahun	1,99	97,94

Pola Distribusi Hujan Jam-Jaman

Dalam penelitian ini digunakan pola hujan daerah terdekat yaitu pola hujan daerah Bolaang Mongondow dikarenakan untuk daerah Gorontalo belum tersedia pola hujan jam – jaman.

Tabel 4. Pola Distribusi Hujan Bolaang Mongondow

Jam ke -	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% Distribusi Hujan	21	28	16	13	8	7	2	2	2	1

Sumber: “Kairupan Reynaldo C, 2017”

Perhitungan Nilai SCS Curve Number

Tabel 5. Perhitungan Nilai CN Rata – Rata Sub DAS Pilolalenga

Penutupan Lahan	Luas (Km ²)	Persentase (%)	CN Tutup Lahan	CN
Hutan Lahan Kering Sekunder	0,87	2,61	66	1,72485
Pemukiman	0,77	2,33	68	1,58417
Pertanian Lahan Kering	28,24	85,07	81	68,9055
Pertanian Lahan Kering Campur Semak	3,32	9,99	81	8,09061
Total	33,20	100,00		80,30513

Analisis Debit Banjir Rencana

Simulasi hujan aliran pada program komputer HEC-HMS akan menggunakan metode HSS *Soil Conservation Services*, dan untuk kehilangan air dengan SCS *Curve Number (CN)*. Untuk *baseflo* menggunakan metode recession.

Kalibrasi Parameter HSS SCS

Kalibrasi merupakan suatu proses dimana nilai hasil perhitungan dibandingkan dengan nilai hasil observasi lapangan. Kalibrasi Parameter HSS SCS perlu dilakukan untuk mencari nilai parameter HSS SCS teroptimasi dengan membandingkan hasil simulasi HEC – HMS dengan data debit terukur. Kalibrasi dilakukan pada DAS Lokasi penelitian dengan data debit terukur hasil perhitungan. Dikarenakan Sungai Duwanga tidak memiliki data debit terukur, maka perlu dilakukan perhitungan dengan metode analisis regional sehingga data debit Sungai Duwanga dapat diketahui.

Data 2 pos curah hujan dan data debit yang digunakan diinput ke komponen *Time Series Data*. Data curah hujan yang dipakai data tahun 2011 dan data debit Sungai Alopohu Limehu tahun 2014.

Time-Series Results for Subbasin "Jembatan Duwanga"

Project: analisis debit banjir sungai Optimization Trial: coba
Subbasin: Jembatan Duwanga

Start of Trial: 01Jan2014, 00:00 Basin Model: DAS Pilalenga
End of Trial: 31Dec2014, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 22May2023, 21:58:22

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)	Obs Flow (M3/S)
01Jan2014	00:00				0.0	0.9	0.9	0.6
02Jan2014	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.9	0.9	0.6
03Jan2014	00:00	1.25	1.25	0.00	0.0	0.9	0.9	1.2
04Jan2014	00:00	1.04	1.04	0.00	0.0	0.9	0.9	1.4
05Jan2014	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.9	0.9	2.0
06Jan2014	00:00	0.84	0.84	0.00	0.0	0.9	0.9	1.6
07Jan2014	00:00	15.92	15.92	0.00	0.0	0.9	0.9	1.9
08Jan2014	00:00	3.24	3.24	0.00	0.0	0.9	0.9	3.3
09Jan2014	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.9	0.9	1.2
10Jan2014	00:00	17.80	17.80	0.00	0.0	0.9	0.9	2.0
11Jan2014	00:00	0.63	0.63	0.00	0.0	0.9	0.9	2.8
12Jan2014	00:00	7.22	7.22	0.00	0.0	0.9	0.9	2.2
13Jan2014	00:00	2.92	2.92	0.00	0.0	0.9	0.9	0.5
14Jan2014	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.9	0.9	0.4
15Jan2014	00:00	10.44	10.44	0.00	0.0	0.9	0.9	0.5
16Jan2014	00:00	3.97	3.97	0.00	0.0	0.9	0.9	0.6
17Jan2014	00:00	6.65	6.65	0.00	0.0	0.9	0.9	0.4
18Jan2014	00:00	6.17	6.17	0.00	0.0	0.9	0.9	1.2
19Jan2014	00:00	3.34	3.34	0.00	0.0	0.9	0.9	0.5
20Jan2014	00:00	0.63	0.63	0.00	0.0	0.9	0.9	0.3
21Jan2014	00:00	13.07	13.05	0.02	0.0	0.9	0.9	1.0
22Jan2014	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.9	0.9	0.5
23Jan2014	00:00	6.17	6.01	0.16	0.0	0.9	1.0	0.6
24Jan2014	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.9	0.9	0.4

Gambar 1. Hasil Debit Sungai Duwanga

Debit debit terukur Sungai Duwanga dan debit hasil perhitungan akan diuji koefisien determinasi (r^2) untuk menilai tingkat kemiripan model hidrologi antara hasil debit hitungan dan debit terukur. Uji koefisien determinasi (r^2) dilakukan dengan membandingkan debit terukur Sungai Duwanga dan debit hasil hitungan yang diperoleh dari parameter yang sudah terkalibrasi.

Tabel 6. Parameter hasil kalibrasi

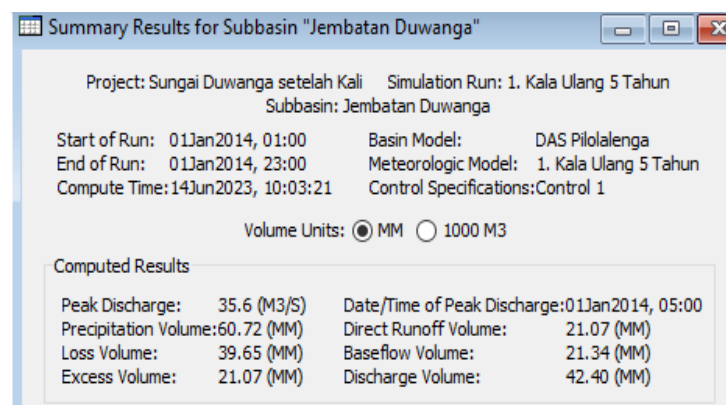
Initial Discharge	0,9 m3/detik
Ratio to Peak	0,44
Recession Constant	1
CN	80,3051
Lag time	90 menit



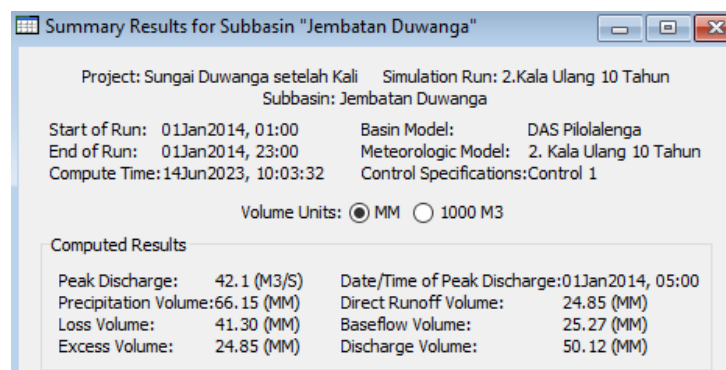
Gambar 2. Grafik Debit Hasil Perhitungan dan Debit Terukur

Simulasi Debit Banjir dengan Program Komputer HEC-HMS

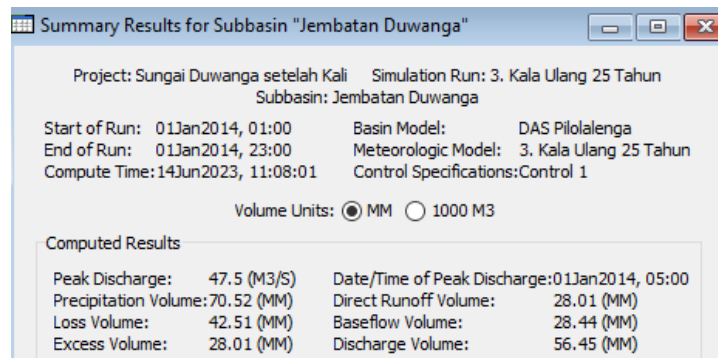
Setelah kalibrasi, semua parameter terkalibrasi dan data hujan jam-jaman yang sudah dihitung digunakan sebagai parameter pada komponen sub-DAS untuk perhitungan debit banjir.



Gambar 3. Summary Result Kala Ulang 5 Tahun



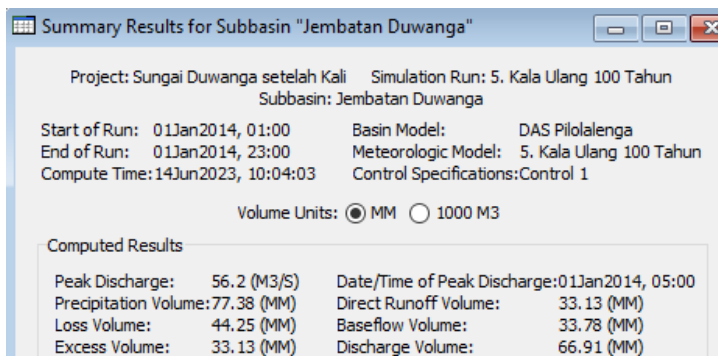
Gambar 4. Summary Result Kala Ulang 10 Tahun



Gambar 5. Summary Result Kala Ulang 25 Tahun



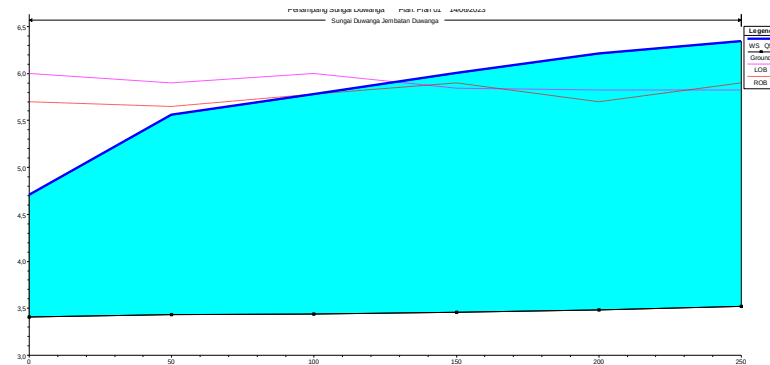
Gambar 6. Summary Result Kala Ulang 50 Tahun



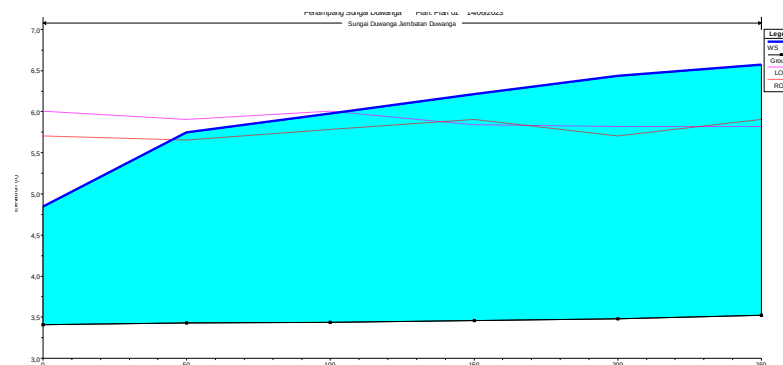
Gambar 7. Summary Result Kala Ulang 100 Tahun

Analisis Tinggi Muka Air

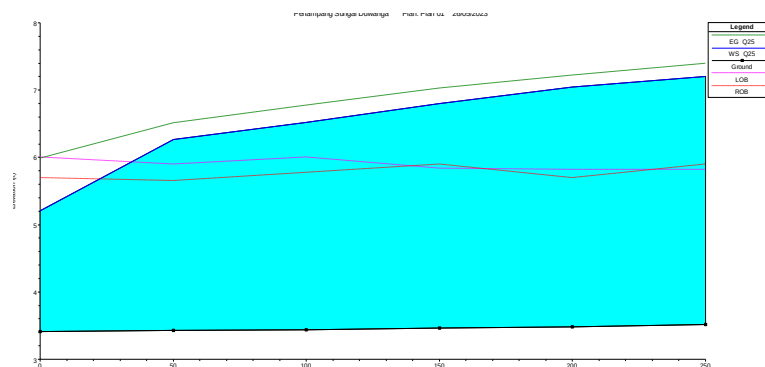
Analisis tinggi muka air menggunakan program komputer HEC-RAS 6.0 membutuhkan data masukan yaitu penampang saluran, karakteristik saluran untuk nilai koefisien n Manning, dan data debit banjir untuk perhitungan aliran langgeng (*Steady Flow*).



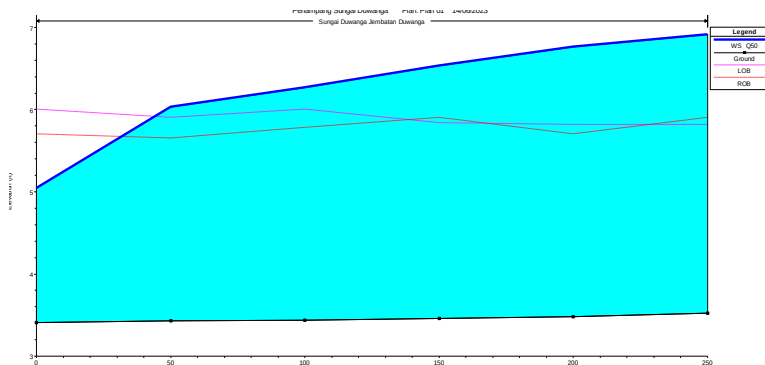
Gambar 8. Potongan Memanjang Tinggi Muka Air Kala Ulang 5 Tahun



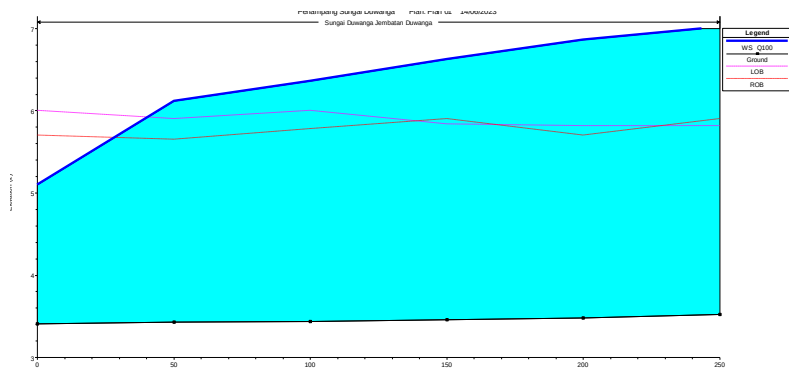
Gambar 9. Potongan Memanjang Tinggi Muka Air Kala Ulang 10 Tahun



Gambar 10. Potongan Memanjang Tinggi Muka Air Kala Ulang 25 Tahun



Gambar 11. Potongan Memanjang Tinggi Muka Air Kala Ulang 50 Tahun



Gambar 12. Potongan Memanjang Tinggi Muka Air Kala Ulang 100 Tahun

Pembahasan

Perhitungan curah hujan rencana dengan menggunakan data curah hujan harian maksimum menghasilkan hujan rata – rata yang mengikuti sebaran Log Pearson III.

Tabel 7. Rangkuman Hasil Perhitungan Curah Hujan Rencana

Kala Ulang	Curah Hujan (mm)
5 Tahun	76,86
10 Tahun	83,74
25 Tahun	90,52
50 Tahun	94,56
100 Tahun	97,94

Dengan menggunakan data hujan hasil analisis frekuensi, dihitung hidrograf debit banjir dalam menggunakan program komputer HEC-HMS. Metode perhitungan yang digunakan adalah Hidrograf Satuan Sintetis *Soil Conservation Services* yang memperhitungkan parameter DAS seperti luas DAS dan kelambatan waktu (*lag time*). Kehilangan air hujan dalam program dihitung dengan menggunakan nilai *SCS Curve Number* yang didasari pada jenis penutup lahan dalam DAS Pilolalenga. Sementara untuk aliran dasar atau *Baseflow* menggunakan metode *recession*.

Dilakukan kalibrasi parameter HSS SCS sebelum melakukan simulasi debit banjir dengan melakukan uji koefisien determinasi (r^2). Dalam kalibrasi ini, parameter yang dikalibrasi adalah *lag time*, *curve number*, *recession constant*, dan *ratio to peak*. Untuk batasan setiap parameter disesuaikan dengan nilai standar pada program komputer HEC-HMS. Hasil uji korelasi menunjukkan nilai r^2 yang memenuhi yaitu 1. Kemudian dilakukan analisis debit banjir dengan parameter terkalibrasi menggunakan program komputer HEC-HMS.

Tabel 8. Rangkuman Hasil Debit Banjir

Kala Ulang	Debit (m ³ /det)
5 Tahun	35,6
10 Tahun	42,1
25 Tahun	47,5
50 Tahun	52,8
100 Tahun	56,2

Analisis Hidraulik menggunakan program komputer HEC-RAS dilakukan dengan data masukan yaitu data debit puncak dari perhitungan HSS SCS yang diolah

menggunakan program computer HEC-HMS, dan data penampang sungai serta koefisien kekasaran saluran (nilai n Manning).

Tabel 9. Rangkuman Hasil Tinggi Muka Air Tiap Kala Ulang

No	No STA	Elevasi Bantaran Sungai		Elevasi Muka Air					Keterangan
		Kiri (m)	Kanan	5 tahun	10 tahun	25 tahun	50 tahun	100 tahun	
1	0+50 (Hilir)	5,9	5,65	5,56	5,75	5,89	6,03	6,12	Tidak mebak pada kala ulang 5 tahun bantaran kiri tidak meluap kala ulang 10 tahun dan 25 tahun
2	0+100	6	5,78	5,78	5,98	6,13	6,27	6,36	Tidak mebak pada kala ulang 5 tahun bantaran kiri kala ulang 10 tahun
3	0+150	5,84	5,9	6	6,21	6,38	6,53	6,63	Meluap pada bantaran kiri dan kanan
4	0+200	5,82	5,7	6,21	6,43	6,6	6,76	6,87	Meluap pada bantaran kiri dan kanan
5	0+250 (Hulu)	5,82	5,9	6,34	6,57	6,75	6,92	7,02	Meluap pada bantaran kiri dan kanan

Hasil analisis memperlihatkan bahwa pada sta 0+50 dan sta 0+100 kala ulang 5 tahun tidak terjadi luapan, sedangkan pada kala ulang 10 tahun luapan banjir terjadi hanya pada bantaran kanan sungai. Sungai Duwanga tidak mampu membendung debit banjir pada sta 0+150, sta 0+200, sta 0+250 untuk kala ulang 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun.

Kesimpulan

1. Debit banjir yang di peroleh dari hasil simulasi untuk masing-masing kala ulang adalah sebagai berikut :
 - a. Kala ulang 5 tahun adalah 35,6 m³/det.
 - b. Kala ulang 10 tahun adalah 42,1 m³/det.
 - c. Kala ulang 25 tahun adalah 47,5 m³/det.
 - d. Kala ulang 50 tahun adalah 52,8 m³/det.
 - e. Kala ulang 100 tahun adalah 56,2 m³/det.
2. Berdasarkan hasil analisis memperlihatkan bahwa pada sta 0+50 dan sta 0+100 kala ulang 5 tahun tidak terjadi luapan, sedangkan pada kala ulang 10 tahun luapan banjir terjadi hanya pada bantaran kanan sungai. Sungai Duwanga tidak mampu membendung debit banjir pada sta 0+150, sta 0+200, sta 0+250 untuk kala ulang 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun.

Saran

Penanggulangan luapan banjir pada semua daerah penampang sungai yang ditinjau dilakukan dengan cara yaitu pembangunan tanggul yang mampu menahan debit banjir akibat curah hujan yang tinggi agar tidak terjadi luapan dari sungai tersebut serta adanya kesadaran masyarakat setempat terhadap kebersihan sungai dari sampah.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada dosen pembimbing 1 dan pembimbing 2, teman-teman teknik sipil yang telah berkontribusi dalam pelaksanaan studi ini. Penulis juga berterima kasih kepada Balai Wilayah Sungai Sulawesi II dan Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung Bone Bolango atas penyediaan data yang diberikan.

Daftar Referensi

- Anandhita, T., dan Hambali, R. 2015. Analisis Pengaruh Back Water (Air Balik) Terhadap Banjir Sungai Rangkui Kota Pangkal Pinang. *Jurnal Fropil*. Vol.3 No.2 Desember 2015, Universitas Bangka Belitung, Pangkal Pinang.
- Balai Pemantapan Kawasan Hutan Wilayah XV. *Data Penutupan Lahan Sub DAS Pilolalenga*. Gorontalo.
- Balai Wilayah Sungai Sulawesi II. *Data Curah Hujan Pos Hujan MRG DAS Limboto Pilolalenga*. Gorontalo.
- Balai Wilayah Sungai Sulawesi II. *Data Curah Hujan Pos Hujan DAS Limboto Tabongo Timur*. Gorontalo.
- Balai Wilayah Sungai Sulawesi II. *Data Debit Harian Sungai Alopohu Limehu*. Gorontalo.
- Chow, V.T., Maidment, D.R. Mays, L.W., 1988. *Applied Hydrology*. Singapore: McGraw-Hill.
- Breda, L.F. dan Paulo, J. 2023. Assessing Climate Change Impact on Flood Discharge in South America and The Influence of Its Main Drivers. *Jurnal of Hidrology*. Vol.619 April 2023. Universitas Federal Rio Grande do Sul, Brazil. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129284>
- Kaharu, A.N., Rawiyah Husnan, R., dan Labdul, B.Y. 2022. Analisis Debit Banjir Dan Tinggi Muka Air Sungai Bone Terhadap Elevasi Dasar Jembatan Molintogupo. *Composite Journal*. Vol.2 Juli 2022 ISSN: 2807-5919, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo.
- Limantara, L. M. 2018. *Rekayasa Hidrologi*. Andi. Yogyakarta.
- Makahinsade, I., Mananoma, T. dan Sumarauw, J.S.F. 2020. Analisis Debit Banjir dan Tinggi Muka Air Sungai Maen Kecil di Desa Maen Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Sipil Statik*. Vol.8 No.3 Mei 2020 (337-344) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Rapar, S.M.E., Mananoma, T., Wuisan, E. M., dan Binilang, A. 2014. Analisis Debit Banjir Sungai Tondano Menggunakan Metode HSS Gama I Dan HSS Limantara. *Jurnal Sipil Statik* Vol.2 No.1 Januari 2014 (13-21) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Sebayang, I.S.D. 2018. Analisis Banjir dan Tinggi Muka Air Pada Ruas Ciliwung. *Jurnal Forum Mekanika* Vol.7 No.1 Mei 2018 ISSN: 2356-1491, Universitas Mercu Buana, Yogyakarta.
- Sosrodarsono, S., dan Takeda, K. 2003. *Hidrologi Untuk Pengairan* (Cetakan Kesembilan). Pradnya Paramita, Jakarta.
- Talumepa, M. Y., Tanudjaja, L., dan Sumarauw, J.S.F. 2017. Analisis Debit Banjir dan Tinggi Muka Air Sungai Sangkub Kabupaten Bolaang Mongondow Utara. *Jurnal Sipil Statik*. Vol.5 No.10 Desember 2017 (699-710) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Triatmodjo, B.. 2008. *Hidrologi Terapan*. Betta Offset, Yogyakarta.
- U.S Army Corps of Engineers. 2000. *HEC-HMS Technical Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center, U.S Army Corps of Engineers, USA.