

Pemodelan Bendung Porous Untuk Membantu Penanganan Sedimentasi (Studi Kasus Hulu Sungai Keruh di Kabupaten Brebes)

Abdul khamid¹✉

¹Universitas Muhadi Setia Budi Brebes

abdulkhamid.mt@gmail.com

Abstract

The existence of the river will have a major impact on the irrigation process to advance the agricultural sector. To build good irrigation, it is necessary to choose an ideal location, a large enough river flow and good spring management. This study aims to present the findings in the form of a porous weir modeling to assist the handling of sedimentation with a case study of a cloudy river upstream in Brebes district, Central Java. The method used in this research is quantitative by using data collection through secondary data assessment. secondary data. The types of data used in this study include rainfall data that has an effect on the research location, the results of the study show that the shaft weir has good stability for the irrigation flow process with vegetation that retains greater water because the drainage is smaller. The porous weir modeling can stabilize the water flow so that the river flow can still be used to irrigate agricultural land throughout the year. So that it has a good porous weir effectiveness to deal with sedimentation.

Keywords: hydrology, cloudy rivers, porous weir, sedimentation, irrigation.

Abstrak

Keberadaan sungai akan memiliki dampak yang besar bagi proses irigasi untuk memajukan sector pertanian. Untuk membangun irigasi yang baik perlu dipilih lokasi yang ideal, aliran sungai yang cukup besar serta pengelolaan mata air yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk memaparkan hasil temuan berupa pemodelan bendung porous untuk membantu penanganan sedimentasi dengan studi kasus hulu sungai keruh di kabupaten brebes, jawa tengah. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif dengan menggunakan pengumpulan data melalui pengkajian data sekunder. data sekunder. Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya data curah hujan yang berpengaruh di lokasi penelitian, hasil penelitian menunjukkan bendung bendung porous memiliki stabilitas yang baik untuk proses aliran irigasi dengan vegetasi yang dalam menahan air lebih besar karena pengaliran lebih kecil. Pemodelan bendung porous bisa menstabilkan debit air sehingga aliran sungai ini masih bisa dimanfaatkan untuk mengairi lahan pertanian sepanjang tahun. Sehingga memiliki efektifitas bendung porous yang baik untuk menangani terjadinya sedimentasi.

Kata kunci: hidrologi, sungai keruh, bendung porous, sedimentasi, irigasi.

CEC is licensed under a Creative Commons 4.0 International License.



1. Pendahuluan

Hidrologi merupakan ilmu yang mempelajari tentang air dalam segala bentuknya (cairan, gas, maupun padat) di dalam dan di atas permukaan tanah. Siklus hidrologi adalah proses kontinyu di mana air bergerak dari bumi ke atmosfer dan kemudian kembali ke bumi lagi [1]. Dalam pengelolaan sumber daya air, kita harus mempunyai sarana dan prasarana penunjang yang memadai, salah satunya adalah irigasi untuk memajukan pertanian. Dengan adanya irigasi yang baik pengolahan lahan pertanian dapat dilakukan secara maksimal, karena jika hanya mengandalkan pengairan dari curah hujan frekuensi panen hanya sekali dalam setahun, tapi dengan irigasi bisa dua kali atau tiga kali panen setahun. Untuk membangun irigasi yang baik perlu dipilih lokasi yang ideal, aliran sungai yang cukup besar serta pengaturan untuk memenuhi hal ini maka perlu dibangun bedungan pada aliran sungai, dimana fungsi dari bedungan ini adalah untuk meningkatkan tinggi muka air dan menstabilkan debit

air sehingga aliran sungai ini masih bisa dimanfaatkan untuk mengairi lahan pertanian sepanjang tahun, walaupun pada musim kemarau Pemerintah melalui Direktorat Jendral Sumber Daya Air (SDA) Kementerian Pekerjaan Umum terus mendorong peningkatan tampungan air melalui pembangunan beberapa bendungan. Salah satunya adalah bendung porous. Bendung atau pelimpah adalah suatu bangunan yang dibuat dari pasangan batu kali, bronjong atau beton, yang terletak melintang pada sebuah sungai yang tentu saja bangunan ini dapat digunakan pula untuk kepentingan lain selain irigasi, seperti untuk keperluan air minum, pembangkit listrik atau untuk pengendali banjir. Menurut macamnya bendung dibagi dua, yaitu bendung tetap dan bendung sementara, bendung tetap adalah bangunan yang sebagian besar konstruksi terdiri dari pintu yang dapat digerakkan untuk mengatur ketinggian muka air sungai sedangkan bendung tidak tetap adalah bangunan yang dipergunakan untuk meninggikan muka air di sungai, sampai pada ketinggian yang diperlukan agar air dapat dialirkan ke

saluran irigasi dan petak tersier [2]. Bendung terdiri dari beberapa komponen, yaitu : badan bendungan (*body of dams*), pondasi (*foundation*), pintu air (*gates*), bangunan pelimpah (*spill way*), kanal (*canal*), reservoir, stilling basin, katup (kelep, *valves*). Pada salah satu komponen dari bendungan penyusun tertarik untuk merencanakan suatu katup atau valve, yang berfungsi untuk mengatur aliran fluida dengan menutup, membuka atau menghambat sebagian dari jalannya aliran. Keamanan bendungan memegang peranan yang sangat penting, karenanya keamanan bendungan ini harus diamati secara terus menerus sepanjang waktu. Salah satu cara mengamati perilaku bendungan adalah dengan bantuan instrument geoteknik. Instrumen geoteknik digunakan untuk menghasilkan data mengenai perilaku dan kondisi pada tubuh bendungan. Data yang didapat dari instrument geoteknik tersebut dapat diolah sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi keamanan bendungan untuk keperluan pada masa yang akan datang. Untuk mengkaji suatu masalah yang telah ditetapkan menjadi pokok bahasan perlu ditunjang oleh pengetahuan dan dasar-dasar teori. Dasar-dasar teori yang ada pada bab ini merupakan rangkuman teori yang menunjang analisa selanjutnya. Rumusan masalah dalam Kajian penanganan sedimentasi dengan Bendung porous adalah bagaimana bentuk bendung porous, profil aliran air melewati bendung porous, stabilitas bendung porous, model fisik laboratorium bendung porous dan evaluasi metode dan efektivitas bendung porous.

Peningkatan sedimentasi di hulu Bendung Gerak Serayu terus terjadi sepanjang tahun 2007-2016. Kemudian dengan menggunakan analisis prediksi model polinomial orde 2, sampai tahun 2026, terjadi peningkatan sedimentasi di hulu Bendung Gerak Serayu sebesar 1,638 T/hari [3]. Bendung Air Musi Kejalo mengalami penurunan produktivitas, salah satu faktor penyebabnya adalah sedimentasi. metode Shen and Hungs, didapatkan nilai debit laju sedimen pada sand trap sebesar 0,1295 ton/hari, dan dengan metode Meyer Petter Muller sebesar 22,4966 ton/hari. Sehingga hasil debit laju sedimen metode Meyer Petter Muller digunakan untuk perencanaan dimensi sand trap Bendung Air Musi Kejalo. Volume sand trap Bendung Air Musi Kejalo adalah 120 m³. Dimensi sand trap panjang 61 m, lebar 4 m dan kedalaman 1,3 m. Kesimpulan dari penelitian ini adalah dengan dimensi kantong lumpur yang direncanakan berdasarkan volume sedimen yang diperoleh, maka sand trap harus dibilas selama 14 hari sekali agar sedimen tidak menumpuk di sand trap dan menggunakan konstruksi pasang bulat. batu dengan tipe sand trap berbentuk bujur sangkar dan tipe main drain trapezium [4]. Angkutan Sedimen Bendung Aepodu di Kabupaten Konawe Selatan, berdasarkan pengamatan di lapangan, Bendung Aepodu memiliki penumpukan sedimen yang kini telah melebihi ketinggian rumah mercusuar. analisis debit rata-rata sungai Aepodu adalah 3.604 m³/detik. Angkutan sedimen yang terjadi di

Aepoduweir adalah Angkutan Bedload (Q_b) sebesar 291625.771 ton/tahun, dan angkutan sedimen gantung (Q_s) sebesar 16972.423 ton/tahun, sehingga total angkutan sedimen (Q_T) sebesar 308598.194 ton/tahun [5]. Debit air sungai yang mengalir pada penampang sungai Wimbi berkisar antara 0,88 m³/dt – 13,7 m³/dt (rata-rata 6,17 m³/dt). Selanjutnya tinggi muka air (H) yang mengalir pada penampang sungai Wimbi berkisar antara 0,5-1,84 m dengan rata-rata = 1,14m. Laju pemuatan sedimen terapung di sungai Wimbi berkisar antara 2.110 – 99,511kg/detik (rata-rata 35.222 kg/detik). Hasil analisis hubungan debit air dengan debit sedimen terapung diperoleh hubungan positif dengan nilai korelasi sebesar 0,96 [6] Debit angkutan sedimen dasar di hulu Sungai Galang-Galang atau yang juga dikenal dengan Sungai Binanga Karaeng sebesar 4x10⁻⁴ ton/hari, di tengah sebesar 0,0891 ton/hari, dan di hilir sebesar 1x10⁻⁴ ton/hari. Sedangkan untuk debit angkutan sedimen terapung sebesar 0,208 ton/hari di hulu, 0,278 ton/hari di tengah, dan 0,121 ton/hari di hilir, dimana angkutan sedimen terapung diukur pada debit yang sangat kecil sehingga hasil yang diperoleh juga kecil [7]. Kapasitas aliran sedimen transport sepanjang dasar sungai Krueng Baro bervariasi secara langsung dengan adanya perbedaan antara tegangan geser pada sedimen dasar dan tegangan geser kritis yang diizinkan untuk partikel yang bergerak. Semua sampel sedimen pada hulu dan hilir Bendung Keumala terjadi angkutan sedimen. Pengurangan aliran akibat adanya pembendungan menyebabkan perubahan pada saluran dan rezim alirannya, dan pengurangan pelepasan air telah menyebabkan terjadinya pengurangan angkutan sedimen melayang dan sedimen dasar ke arah hilir. Total sedimen yang terdapat di sekitar areal bendung pada saat debit normal sebesar 6.325.698,93 ton/tahun. Sedimentasi di sekitar bendung menjadi masalah yang serius karena dapat mempengaruhi fungsi dan kinerja bendung dan saluran irigasi. Selain itu pendangkalan akibat sedimentasi menyebabkan tertutupnya intake PDAM Keumala. Untuk mengatasi masalah ini, perlu dilakukan pengerukan dan pengangkutan sedimen dari dasar bendung secara berkala. Pengerukan dan pengangkutan sedimen akan meningkatkan kinerja Bendung Keumala untuk mengairi Daerah Irigasi Krueng Baro. Kapasitas pengaliran intake bendung dapat tetap terjaga untuk mengairi lahan irigasi sesuai dengan areal rencana [8]. Sungai Jawi memiliki periode 1 kali dan 1 kali surut dalam 24 jam yang tergolong tipe pasang surut harian tunggal (diurnal tide). Konsentrasi sedimen tertinggi pada titik 1 sebesar 50 mg/l dimana titik 1 merupakan titik yang terdekat dengan muara sehingga terjadi akumulasi sedimen. Laju sedimen layang tertinggi terletak pada titik 2 segmen tengah dengan nilai laju sedimen layang (suspended load) sebesar 173,02 ton/hari atau 63.152,54 ton/tahun. Laju sedimen terendah pada titik 3 segmen kanan dengan laju sedimen layang 8,67 ton/ hari atau 3.163,45 ton/tahun. Rata-rata laju sedimen layang di setiap titik 50,74 ton/ hari atau

18.519,49 ton/tahun [9]. Efek angkutan sedimen bed-load terhadap hambatan aliran di sungai baturusa pulau Bangka. koefisien hambatan dengan angkutan sedimen (bed-load) menunjukkan nilai koefisien hambatan lebih besar dibandingkan tanpa angkutan sedimen (no bed-load), angkutan sedimen yang terjadi di Sungai Baturusa akan mempengaruhi nilai koefisien hambatan aliran. Sedangkan analisa debit aliran berdasarkan koefisien Manning yang digunakan beberapa metode semuanya memberikan selisih debit yang sangat besar terhadap debit terukur, penentuan nilai Manning memiliki pengaruh yang cukup besar dalam estimasi kecepatan aliran dan debit aliran., selain itu kecepatan aliran, pengaruh Fr dan U/U^* juga memiliki pengaruh terhadap nilai koefisien kekasaran pada Sungai Baturusa [10]. Kajian Sedimentasi pada Muara Sungai Batang Arau Kota Padang dengan Metode Yang's didapat hasil 28703,83 ton/tahun dan dengan Metoda Engelund & Hansen didapat hasil 34587,43 ton/tahun. Dan untuk estimasi tebal endapan di pelabuhan Muara Batang Arau kota Padang didapat dari hasil kajian angkutan sedimen yang berdasarkan angkutan sedimen terbesar Metoda Engelund & Hansen hasilnya adalah 21,64 cm per tahun [11]. Karakteristik Sedimen Melayang dan Sedimen Dasar pada Sungai Bompon, Sub DAS Bompon, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah dengan debit muatan sedimen melayang pada bagian hulu sungai rata-rata sebesar 55,322 ton/tahun dengan hubungan antara debit aliran dan debit muatan sedimen melayang yang dirumuskan dalam $Q_s = 9,12119 Q - 0,12828$ dengan r (korelasi) = 0,9768. Debit muatan sedimen dasar pada hulu sungai rata-rata sebesar 0,323 ton/tahun. Pada bagian tengah sungai, debit muatan sedimen melayang memiliki rata-rata sebesar 945,570 ton/tahun dengan hubungan antara debit aliran dan debit muatan sedimen melayang dapat dirumuskan dalam $Q_s = 23,9113 Q - 0,58204$ dengan r (korelasi) = 0,98178. Debit muatan sedimen dasar pada bagian tengah sungai rata-rata sebesar 2,077 ton/tahun. Pada bagian hilir sungai, debit muatan sedimen melayang memiliki rata-rata sebesar 8297,002 ton/tahundengan hubungan antara debit aliran dan debit muatan sedimen melayang dapat dirumuskan dalam $Q_s = 42,3715 Q - 1,14840$ dengan r (korelasi) = 0,95373 dan debit muatan sedimen dasar yang dihasilkan rata-rata sebesar 5,975 ton/tahun [12]. Jumlah sedimentasi STA 1 = 9.777 kg/m³, STA 2 = 3.794 kg/m³, STA 3 = 6.032 kg/m³, STA 4 = 9.611 kg/m³, STA 5 = 7.043 kg/m³, STA 6 = 7.846 kg/m³. Dengan tinggi sedimen tiap STA 0.40 cm, 0.38 cm, 0.29 cm, 0.35 cm dan 0.44 cm. Alternatif solusi untuk menanggulangi terjadinya pengulangan sedimentasi Sungai Sampean adalah dengan cara normalisasi. Yaitu dengan total volume sedimen 1373.13 m³ bisa di normalisasikan di setiap STA dengan menggunakan 6 excavator CAT6090 dengan bucket kapasitas 52.0 m³/jam [13]. Analisis sedimentasi pada bendung beringen sila desa stowe berang kecamatan utan kabupaten Sumbawa, besar Sedimen Dasar (QSD) pada saat debit normal sebesar

635712,105 ton/tahun, dan Sedimen Melayang (QSM) sebesar 1052356,320 ton/tahun, sedangkan pada saat banjir maksimum (Qr) Sedimen Dasar (Bed Load) sebesar 635712,105 ton/tahun dan Sedimen Melayang (Suspended Load) sebesar 4001918,400 ton/tahun [14]. Prediksi Peningkatan Sedimentasi Dengan Metode Angkutan Sedimen Di Waduk Mrica menunjukkan bahwa debit sedimen ini diprediksi terus mengalami peningkatan selama 10 tahun mendatang [15]. Jumlah sedimen yang mengendap di Waduk Ciawi sepanjang umur rencana adalah sebesar 206.687,60 m³, dengan elevasi nol baru (new zero elevation) waduk setelah tahun ke 50 yaitu pada +512 m dan kapasitas tampungan efektif yang terisa sampai dengan umur efektif tercapai (T50) sebesar 6.178.131 m³. Secara teoritis Waduk Ciawi masih bisa berfungsi dengan baik sampai dengan umur rencana terlampaui [16]. Besar debit sedimen dengan metode sesaat di intake Selat Panjang saat pasang 3393,387 ton/hari, saat surut 927,208 ton/hari; di intake Imam Bonjol saat pasang 308,558 ton/hari, saat surut 158,506 ton/hari; di intake Penepat saat pasang 55,019 ton/hari, saat surut 34,388 ton/hari. Jumlah angkutan sedimen dengan metode L.C Van Rijn di intake Selat Panjang saat pasang 980,0276 ton/hari, saat surut 1,1517 ton/hari; di intake Imam Bonjol saat pasang 129,7662 ton/hari, saat surut 0,4585 ton/hari; di intake Penepat saat pasang 0,1267 ton/hari, saat surut 0,2964 ton/hari. Debit air di intake Selat Panjang saat pasang 1354,321 m³/detik, saat surut 357,989 m³/detik, di intake Imam Bonjol saat pasang 223,205 m³/detik, saat surut 114,660 m³/detik; di intake Penepat saat pasang 18,729 m³/detik, saat surut 12,876 m³/detik [17]. Analisis hidrolika menggunakan debit unsteady, parameter Manning (n) dan koefisien ekspansi dan kontraksi. Kalibrasi model dilakukan dengan cara perbandingan tinggi muka air yang menghasilkan nilai determinasi R² sebesar 0,9586, nilai RMSE sebesar 0,39 dan masuk dalam kategori baik. Tahap kedua, analisis sedimentasi menggunakan debit quasi-unsteady dan diameter butiran. Fungsi pengangkutan sedimen yang cocok pada pemodelan ini adalah Laursen (Field) dengan laju sedimen sebesar 256,341 m³/tahun. Adapun laju sedimentasi di lapangan dilakukan dengan membandingkan cross section lama dengan yang baru yaitu 289,24 m³/tahun. Uji keandalan (validasi) model dilakukan dengan membandingkan hasil pemodelan dengan data observasi yang didapatkan dari hasil perhitungan volume pengendapan pada cross section. Didapatkan hasil uji keandalan sebesar 88% [18]. Analisis pengaruh debit aliran terhadap sedimentasi di Sungai Lematang Kabupaten Lahat diketahui bahwa jenis sedimen bed load di Sungai Lematang adalah pasir bergradasi buruk dengan angkutan sedimen yang besar terbawa oleh debit aliran pada segmen penelitian sebesar 0,022 (m³/dtk) dengan metode duboy dan 0,0000004 (kg/dtk/m) dengan metode perisai, maka volume sedimen untuk satu tahun berikutnya adalah 693.792 (m³/dtk) m untuk metode duboy dan 126.144 (kg/dtk) / m untuk metode perisai

[19]. Berdasarkan profil unsupported 210Pb pada lokasi IST-01 (MuaraPemali) dan IST-02 (Muara Nipon) rata-rata laju sedimentasinya berturut-turut 0,224 cm/tahun dan 0,211 cm/tahun, debit Sungai Pemali sebesar 14,4-48,1 m³/s, kecepatan arus pada stasiun IST-01 berkisar antara 0,001-0,1 m/s dan kecepatan arus pada stasiun IST-02 berkisar antara 0,001-0,08 m/s. Kondisi hidro oseanografi daerah penelitian yang fluktuatif memberikan pengaruh besar terhadap proses sedimentasi. Besarnya debit sungai memiliki korelasi terhadap peningkatan besarnya nilai laju sedimentasi di Muara Pemali dan Muara Nippon. Hasil penelitian tersebut dapat dijadikan bahan rekomendasi upaya mitigasi bencana erosi di kecamatan Brebes [20]. Sungai Cibeet merupakan salah satu sungai pemasok air dan sedimen ke saluran irigasi Tarum Barat atau dikenal sebagai Kalimalang. Untuk salinitas didapat optimum pada saat 15%, dan konsentrasi sedimen yang optimum pada saat 4700 ppm dengan kecepatan jatuh rata-rata 37,28 mm/s. Hasil dari laboratorium tidak sesuai dengan pendekatan hukum stokes dikarenakan adanya pengaruh flokulasi dari sifat sedimen lumpur yang kohesif, sehingga menggunakan pendekatan hukum stokes tidak bisa untuk menghitung kecepatan jatuh sedimen pada lumpur [21]. Dengan adanya sedimentasi ini dapat menurunkan pemanfaatan air karena mengakibatkan pengurangan kapasitas dan kualitas air di sungai, saluran irigasi, waduk, dan lainnya. hubungan antara debit aliran (Qw) terhadap debit sedimen suspensi (Qs) dengan persamaan $Q_s = 1.1071.Q_w^{2.3488}$, sehingga didapatkan hubungan antara debit aliran terhadap konsentrasi sedimen suspensi rata-rata dengan persamaan $C = 12.813.Q_w^{1.3488}$, dan terakhir didapatkan besaran faktor eksponen Rouse berada antara range 0.01435 – 0.054064 [22].

2. Metodologi Penelitian

Dalam studi ini sistem yang ditinjau adalah Sungai Keruh Kabupaten Brebes. Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali keruh merupakan sub DAS dari DAS Pemali yang merupakan DAS utama di Kabupaten Brebes. Daerah Aliran Sungai Keruh dengan luas wilayah 12258 hektar dengan panjang sungai 20 km, DAS Kali Keruh membentang diantar 2 kecamatan yaitu Kecamatan Sirampang yang merupakan hulu Kali Keruh dan Kecamatan Bumiayu yang merupakan hilir dari Kali Keruh. DAS Kali keruh merupakan sub DAS Pemali yang merupakan DAS utama di Kabupaten Brebes.

2.1. Sumber Data

Sumber data penelitian ini adalah berupa tempat (place) yaitu Daerah Aliran Sungai Keruh bagian hulu dalam pengertian secara fisik sebagai sistem hidrologi dan ekosistem suatu daerah sebagai pengumpul, penyimpanan dan pengalir air dan sedimen ke daerah di bawahnya/hilir.

2.2. Sampel penelitian

Satuan unit lahan dijadikan sebagai sampel untuk menghitung besar erosi tanah yang terjadi di Daerah Aliran Sungai Keruh bagian hulu. Data primer diperoleh dari pengukuran yang dilakukan di lapangan. Data sekunder diperoleh dari publikasi Pemerintah Propinsi dan Kabupaten terkait berupa sistem dan kebijakan, data – data dan analisis dari pelaksanaan pembangunan. Data-data sekunder dari negara lain yang terkait dengan penelitian diadopsi untuk memberikan wawasan yang lebih luas.

2.3. Pengumpulan Data

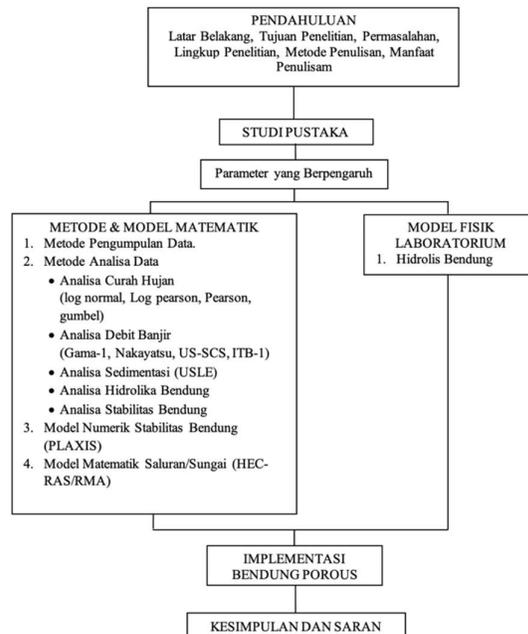
Data yang dikumpulkan adalah data sekunder. Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya data curah hujan yang berpengaruh di lokasi penelitian, data DAS Kali Keruh, dan data lain yang berkaitan dengan penelitian. Untuk lebih jelasnya akan disajikan pada Table 1.

Tabel 1. Sumber Data dan Pengumpulan Data

Data	Sumber
Data curah hujan 2005-2015	Pusat penelitian dan Pengembangan sumber daya air (PUSAIR)
Data DAS kali Keruh	Pusat penelitian dan Pengembangan sumber daya air (PUSAIR)
RTRW (Rencana Tata Ruang Wilayah)	Badan Perencanaan pembangunan daerah (BAPEDA)

2.4. Alur Penelitian

Alur penelitian mulai dari pendahuluan sampai di dapatkan kesimpulan di sajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alur penelitian

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Data hujan

Secara teoritis, pendataan mengikuti kaidah sebagai berikut:

- Banyaknya hujan dapat diukur dengan alat pengukur hujan (*raingauge*), baik yang manual ataupun yang otomatis (*automatic raingauge recorder*). Pengukuran yang diperoleh dari masing-masing pengukur hujan adalah data yang merupakan data hujan lokal (*point rainfall*), sedangkan untuk keperluan analisis, yang diperlukan adalah data hujan daerah aliran (*areal rainfall atau catchment rainfall*).
- Data hujan daerah aliran yang paling riil dihitung dengan menggunakan cara poligon Thiessen.
- Pelaksanaan analisis hidrologi memerlukan data yang lengkap dalam arti kualitas, dan runtut waktu (*time series*) yang panjang minimal 15 tahun untuk menghindari deviasi yang terlalu besar.

Data Hujan Daerah Tangkapan Air Kali Keruh Untuk lebih jelasnya akan disajikan pada Table 2.

Tabel 2. Data Hujan Daerah Tangkapan Air Kali Keruh

Tahun	Hujan asli (mm)
2005	69
2006	112
2007	69
2008	81
2009	74
2010	77
2011	52
2012	60
2013	119
2014	97
2015	86

3.2. koefisien aliran permukaan

Koefisien aliran permukaan (C) merupakan bilangan yang menunjukkan nisbah (perbandingan) antara besarnya aliran permukaan terhadap besarnya faktor-faktor aliran limpasan misalnya kelerengan, jenis tanah, perubahan penggunaan lahan. Koefisien aliran permukaan merupakan salah satu indikator untuk menentukan kondisi fisik suatu daerah aliran sungai. Nilai koefisien ini dipengaruhi kondisi tata guna lahan dan berkisar antara 0–1. Kartasapoetra dkk (1991) mengemukakan bahwa peranan vegetasi dalam menahan air lebih besar karena pengaliran lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa angka koefisien aliran dapat juga dijadikan indikator gangguan fisik dalam suatu daerah aliran sungai. Nilai C makin besar menunjukkan bahwa semakin banyak air hujan yang menjadi aliran permukaan.



Gambar 2. DAS Kali Keruh

Berikut Jenis Penutup Lahan Menurut US Forest Service (1980) yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Jenis Penutup Lahan Menurut US Forest Service (1980)

No.	Tipe Daerah Tangkapan	C
1	Lapangan Berumput	
	a. Tanah berpasir	0,10-0,15
	b. Tanah berat	0,25-0,35
2	Daerah Usaha di kampung	0,50-0,70
3	Daerah Permukiman	0,30-0,50
4	Taman, kuburan	0,10-0,25
5	Tempat bermain (<i>playgrounds</i>)	0,20-0,40
6	Daerah tidak terbangun	0,10-0,30
7	Jalan	
	a. Jalan aspal	0,70-0,95
	b. Jalan beton	0,80-0,95
	c. Jalan bata	0,70-0,85
	d. Jalan kerikil/paving	0,15-0,35
	e. Tidak diperkeras	0,10-0,30
8	Atap Genteng	0,75-0,95
9	Daerah berhutan baik	0,01-0,10
10	Tanah Lapang	
	a. Berpasir, datar 2%	0,05-0,10
	b. Berpasir, agak datar 2-7%	0,10-0,15
	c. Berpasir, miring 7%	0,15-0,20
	d. Tanah berat, datar 2%	0,13-0,17
	e. Tanah berat, agak datar 2-7%	0,18-0,22
	f. Tanah berat, miring 7%	0,25-0,35
11	Tanah Pertanian	
	a. Tanah kosong	
	Rata	0,30-0,60
	Kasar	0,20-0,50
	b. Ladang garapan	
	Tanah berattanpa vegetasi	0,30 -0,60
	Tanah berat dengan vegetasi	0,20 -0,50
	Berpasirtanpa vegetasi	0,20-0,25
	Berpasir dengan vegetasi	0,10 - 0,25
	c. Padang rumput	
	Tanah berat	0,15-0,45
	Berpasir	0,05-0,25
	Hutan/bervegetasi	0,05-0,25
13	Tanah Kosong	
	Rata, kedap air	0,70-0,90
	Kasar	0,50-0,70
	Multi unit terpisah	0,40-0,60
	Multi unit tergabung	0,60-0,75
	Sub urban	0,25-0,40

Berikut Koefisien Penutup Lahan Waduk Gunungrowo yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Koefisien Penutup Lahan Waduk Gunungrowo

Tata guna lahan	Luas		Persen Luas	Koefisien Lahan
	M ²	Km ²		
Sawah	48990000	48,99	40%	0,4
Pemukiman	20080000	20,08	16%	0,24
Semak/Belukar	23730000	23,73	19%	0,19
Kebun	29610000	29,61	24%	0,16

3.3. uji outlier

Outlier adalah titik data yang menyimpang cukup jauh dari kecenderungan kelompoknya. Keberadaan outlier mengganggu proses pemilihan jenis distribusi suatu sampel data, sehingga outlier ini perlu dikecualikan dari analisis. Uji untuk outlier menggunakan cara *Water Resources Council*, data yang lebih besar dari ambang batas atas outlier atau lebih kecil dari ambang batas bawah dieliminasi dan dikecualikan dari analisis selanjutnya. Ambang batas atas dan ambang batas bawah outlier ditentukan sebagai berikut:

$$X_H = \exp(+Kn \cdot S)$$

$$X_L = \exp(-Kn \cdot S)$$

Dimana X_H adalah ambang batas atas outlier, X_L adalah ambang batas bawah outlier, \bar{X} adalah nilai rata-rata, S adalah standar deviasi dari logaritma dari data, Kn adalah koefisien yang bergantung kepada jumlah sampel data dan, N adalah jumlah sampel data.

Tabel 5. Nilai Kn untuk Uji Outlier

Jumlah Data	Kn						
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Tabel 6. Hasil Uji Outlier

No.	Tahun	Data Hujan (mm)	Log Data
1	2005	69	1.840921
2	2006	112	2.047937
3	2007	69	1.838849
4	2008	81	1.908485
5	2009	74	1.869232
6	2010	77	1.886491
7	2011	52	1.718751
8	2012	60	1.775756
9	2013	119	2.076750
10	2014	97	1.986772
11	2015	86	1.936162
XH	140.28		
XL	44.72		

Nilai Kn untuk berbagai jumlah sampel n diberikan dalam Tabel 4. dan hasil analisis untuk data di daerah tangkapan air Waduk Gunungrowo disajikan pada Tabel 5.

3.4. Analisis Frekuensi Curah Hujan

Metode perhitungan dalam analisis frekuensi lazim menggunakan parameter intensitas hujan, frekuensi, dan waktu curah hujan dengan rumus empiris Normal, Log Normal, E.J. Gumbell, Pearson III dan atau Log Pearson III.

a. Analisis Frekuensi Normal

$$X_{tr} = \bar{X} + k \cdot S_x$$

$$k = W - \left[\frac{2,515517 + 0,802853 \cdot W + 0,010328 \cdot W^2}{1 + 1,432788 + 0,189269 \cdot W^2 + 0,001308 \cdot W^3} \right]$$

$$W = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{p}\right)} \quad p = \frac{1}{T}$$

Dimana X_{tr} adalah curah hujan dengan kala ulang tertentu (mm), \bar{X} adalah data hujan rata-rata tahunan (mm), K adalah faktor frekuensi, dan T adalah kala ulang.

b. Analisis Frekuensi Log Normal

$$Y_{tr} = \bar{Y} + k \cdot S_y$$

$$k = W - \left[\frac{2,515517 + 0,802853 \cdot W + 0,010328 \cdot W^2}{1 + 1,432788 + 0,189269 \cdot W^2 + 0,001308 \cdot W^3} \right]$$

$$W = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{p}\right)} \quad p = \frac{1}{T} \quad X_{tr} = 10^{(Y_{tr})}$$

Dimana X_{tr} adalah curah hujan dengan kala ulang tertentu (mm), \bar{Y} adalah log data hujan rata-rata tahunan (mm), S_y adalah standar deviasi log rata-rata data hujan, K adalah faktor frekuensi, dan T adalah kala ulang.

c. Analisis Frekuensi E.J. Gumbel

$$X_{tr} = \bar{X} + k \cdot S_x$$

$$K = \frac{-\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0,5772 + \ln\left(\ln\left[\frac{T}{T-1}\right]\right) \right\}$$

Dimana X_{tr} adalah curah hujan dengan kala ulang tertentu (mm), \bar{X} adalah data hujan rata-rata tahunan (mm), K adalah faktor frekuensi, S_x adalah standar deviasi, dan T adalah kala ulang.

d. Analisis Frekuensi Pearson III

$$\log X_{tr} = \log X + k_{Tr} \cdot (S_{\log x}) \log x = \frac{\sum_{i=1}^N \log x_i}{N}$$

$$S_{\log x} = \frac{\sum_{i=1}^N (\log x_i - \log x)^2}{N - 1} \quad C_s = \frac{\sum_{i=1}^N (\log x - \log x_i)^2}{(N - 1)(N - 2) (S_{\log x})^3}$$

Dimana k_{Tr} adalah faktor penyimpangan k untuk suatu kala ulang tertentu dan C_s adalah koefisien penyimpangan.

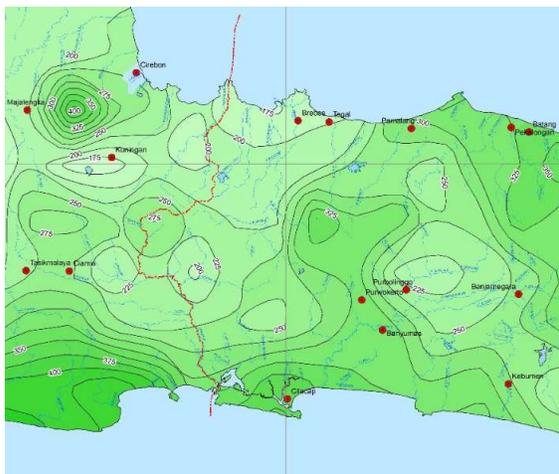
Analisis frekuensi disajikan pada Tabel 6 berdasarkan persamaan di atas dan hasil hujan rencana disajikan pada Tabel 7. Hasil analisis hujan rancangan kala ulang 100 dan 1000 tahun akan diperbandingkan dengan peta isohiet yang disusun berdasarkan data hujan tahun 1916-2010 disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Tabel 6. Hasil analisis frekuensi

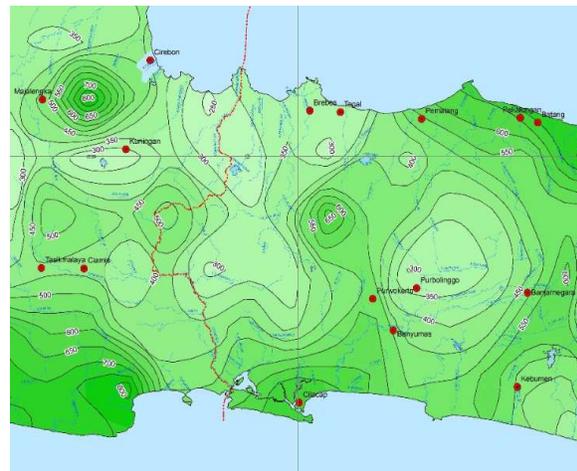
No	Tahun	Hujan Asli Diurutkan		Empiris	Normal		Log Normal 2 Par		Probabilitas (%)			Pearson III		Log Pearson III			
		(mm)	(mm)		Teoritis	Beda	Teoritis	Beda	Teoritis	Beda	Teoritis	Beda	Teoritis	Beda	Lnx	Teoritis	Beda
1	2005	69	52	90,91	90,57	0,33	93,57	2,66	96,71	5,80	88,05	2,86	93,00	2,09	3,96	96,70	5,79
2	2006	112	60	81,82	83,61	1,80	84,71	2,89	89,51	7,69	78,64	3,18	84,20	2,38	4,09	86,30	4,48
3	2007	69	69	72,73	70,93	1,80	68,26	4,46	72,76	0,03	64,25	8,47	68,30	4,43	4,23	65,90	6,83
4	2008	81	69	63,64	70,41	6,77	67,62	3,98	72,04	8,41	63,72	0,09	67,70	4,06	4,24	65,10	1,46
6	2010	74	74	54,55	62,64	8,09	58,34	3,80	61,53	6,99	56,29	1,74	58,70	4,15	4,30	54,70	0,15
7	2011	77	77	45,45	57,33	11,87	52,41	6,96	54,61	9,16	51,63	6,18	53,00	7,55	4,34	48,40	2,95
8	2012	52	81	36,36	50,06	13,70	44,80	8,43	45,61	9,25	45,68	9,32	45,50	9,14	4,39	40,90	4,54
9	2013	60	97	27,27	23,22	4,05	20,84	6,43	18,02	9,26	26,23	1,04	21,50	5,77	4,57	19,70	7,57
10	2014	119	112	18,18	8,02	10,16	8,95	9,23	6,14	12,04	14,85	3,33	9,10	9,08	4,72	9,90	8,28
11	2015	97	119	9,09	3,97	5,12	5,54	3,55	3,29	5,80	10,88	1,79	5,50	3,59	4,78	7,00	2,09
Jml Data	10			ΔMaks	13,70	ΔMaks	9,23	ΔMaks	12,04	ΔMaks	9,32	ΔMaks	9,14	ΔMaks	8,28		

Tabel 7. Hasil Hujan Rencana

Kala Ulang (T) Tahun	τ	Probabilitas (%)						
		Normal	Log Normal II	Log Normal I	Gumbel I	Pearson III	Log Pearson III	
		Parameter	Parameter	Parameter	(mm)	(mm)	Teoritis	
2	0,000	81,0	78,2	78,6	78,1	78,5	77,6	
5	0,841	99,4	97,8	97,8	104,1	98,3	97,5	
10	1,281	109,0	109,8	109,0	121,4	110,1	110,7	
20	1,644	116,9	120,9	120,5	137,9	120,7	123,3	
25	1,750	119,2	124,4	123,7	143,2	123,9	127,3	
50	2,053	125,9	134,7	133,5	159,3	133,5	139,7	
100	2,326	131,8	144,8	142,5	175,4	142,7	152,5	
200	2,575	137,3	154,7	151,9	191,4	151,4	164,9	
500	2,878	143,9	167,6	163,6	212,5	162,6	182,2	
1000	3,090	148,5	177,3	172,3	228,4	170,8	195,6	
10000	3,719	162,2	209,4	200,7	281,4	196,9	243,2	
		2,31	3,43	3,25	5,25	3,23	4,01	



Gambar 3. Peta Isohiet Kala Ulang 100 tahun



Gambar 4. Peta Isohiet Kala Ulang 1000 tahun

Berdasarkan peta isohiet di atas, maka kala ulang 100 tahun mencapai 225 mm dan kala ulang 1000 tahun mencapai 350 mm sehingga hujan rencana dimodifikasi sedemikian rupa sehingga sesuai dengan ketentuan tersebut disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Hujan Rencana

Kala Ulang (tahun)	Hujan Rencana (mm)
2	89,5
5	116,3
10	130,3
20	141,9
25	145,2
50	154,9
100	250,0
200	277,8
500	361,1
1000	500,0

3.5 Analisa Debit Banjir

Tujuan analisis debit banjir adalah untuk memperoleh debit puncak yang akan digunakan sebagai data dalam desain. Analisis dilakukan dengan menggunakan hidrograf satuan sintesis. Hidrograf satuan sintesis merupakan suatu cara untuk memperkirakan penggunaan konsep hidrograf satuan dalam suatu perencanaan yang tidak tersedia pengukuran-pengukuran langsung mengenai hidrograf banjir [23]. Hidrograf satuan adalah hidrograf dari aliran permukaan tanah yang terjadi oleh curah hujan efektif yang tingginya 1 mm. Secara umum hidrograf banjir untuk berbagai kala ulang dapat dihitung dengan persamaan [24].

$$Q_k = U_1 R_i + U_2 R_{i-1} + U_3 R_{i-2} + \dots + U_n R_{i-n+1} + B_f$$

Dimana Q_k adalah Ordinat hidrograf banjir pada jam ke k , U_n merupakan Ordinat hidrograf satuan, R_i adalah Hujan netto pada jam ke i , dan B_f adalah Aliran dasar (*base flow*)

3.6 Metode Hidrograf Satuan Sintetik Gama I

Satuan hidrograf sintetik Gama I dikembangkan atas riset Dr. Sri Harto sepanjang pulau Jawa pada akhir dekade 1980-an yang mengkombinasikan antara metode Stahler, dan pendekatan Kraijenhorr van der Leur [25]. Satuan hidrograf sintetik Gama I dibentuk oleh tiga komponen dasar yaitu waktu naik (TR), debit puncak (Q_p) dan waktu dasar (TB) dengan uraian sebagai berikut.

Waktu Naik

$$TR = 0,43 \left(\frac{L}{100SF} \right)^3 + 1,0665 SIM + 1,2775$$

Debit Puncak

$$Q_p = 0,1836 A^{0,5886} JN^{0,2381} TR^{-0,4008}$$

Waktu Dasar

$$TB = 27,4132 TR^{0,1457} S^{-0,0956} SN^{0,7344} RUA^{0,2574}$$

Hujan efektif didapat dengan cara metode ϕ indeks yang dipengaruhi fungsi luas daerah aliran sungai, dan frekuensi sumber SN dirumuskan sebagai berikut.

$$\phi = 10,4903 - 3,589 \cdot 10^{-6} A^2 + 1,6985 \cdot 10^{-13} (A/SN)^4$$

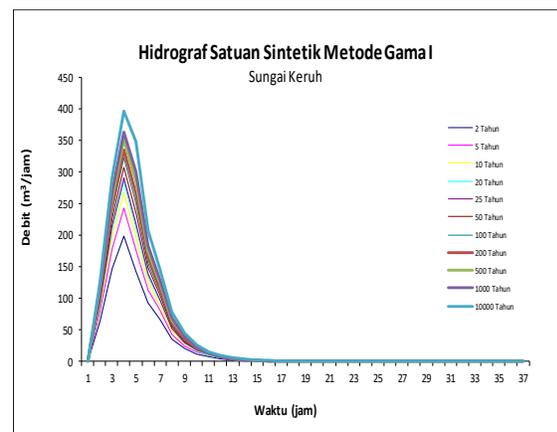
Dengan R adalah curah hujan (mm), TR adalah waktu naik (jam), L adalah panjang sungai (km), SF merupakan faktor sumber yaitu perbandingan antara jumlah panjang sungai tingkat 1 dengan jumlah panjang sungai semua tingkat, SIM adalah faktor simetri ditetapkan sebagai hasil kali antara faktor lebar (WF) dengan luas relatif DAS sebelah hulu (RUA), sedangkan WF adalah faktor lebar adalah perbandingan antara lebar daerah pengaliran sungai yang diukur dari titik di sungai yang berjarak $\frac{3}{4} L$ dan lebar daerah pengaliran sungai yang diukur dari titik yang berjarak $\frac{1}{4} L$ dari titik tempat pengukuran, JN adalah jumlah pertemuan sungai, TB adalah waktu dasar (jam), S adalah landai sungai rata-rata, SN adalah frekuensi sumber yaitu perbandingan antara jumlah segmen sungai-sungai tingkat 1 dengan jumlah sungai semua tingkat, RUA adalah luas daerah pengaliran sungai sebelah hulu (km²), ϕ adalah indeks ϕ (mm/jam), A adalah luas daerah aliran sungai (km²), dan SN adalah frekuensi sumber.

Aliran dasar dapat didekati sebagai fungsi luas daerah tangkapan air dan kerapatan jaringan sungai yang dirumuskan sebagai berikut.

$$Q_B = 0,4751 A^{0,6444} A^{D0,9430}$$

Dimana Q_B adalah aliran dasar (m³/det), A adalah luas daerah aliran sungai (km²), dan D adalah kerapatan jaringan sungai (km/km²).

Hasil grafik metode hidrograf satuan sintetik gama I disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hidrograf Satuan Metode Gama-I

3.7. Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Metode Nakayasu sebagai salah satu analisis hidrograf satuan membentuk unit hidrograf secara umum ditentukan oleh curah hujan dalam waktu tertentu (unit duration atau standard duration) maka perlu diperhatikan bagaimana curah hujan harian dapat dipecah-pecahkan menjadi sejumlah komponen curah hujan yang sesuai dengan unit duration atau *standard duration* yang ditentukan dalam teori yang dipakai [26].

Parameter unit hidrograf adalah angka-angka tertentu yang menentukan bentuk hidrograf.

$$T_p = T_g + 0,8 \text{ tr}$$

$$T_g = 0,40 + 0,058 L \text{ untuk } L > 15 \text{ km}$$

$$T_g = 0,21 L^{0,70} \text{ untuk } L < 15 \text{ km}$$

$$Q_p = \frac{1}{36} AR_0 \left(\frac{1}{0,3T_p + T_{0,3}} \right)$$

$$\alpha = \frac{1}{T_g} 0,47 (A.L)^{0,25}$$

$$T_{0,3} = \alpha T_g$$

Lengkung Naik $Q_t = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4}$

Lengkung Turun 1 $Q_t = Q_p \left(0,3 \frac{(t-T_p)}{T_{0,3}} \right)$

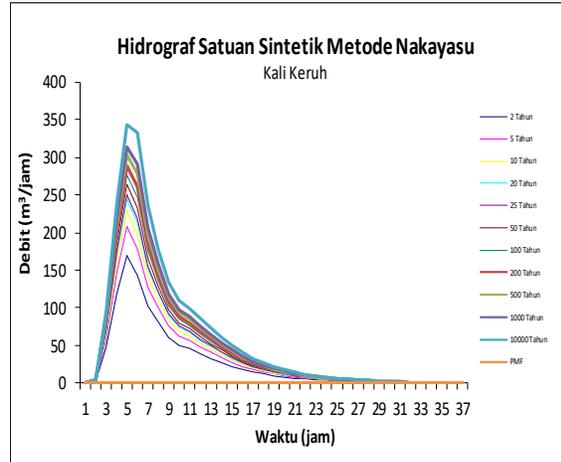
Lengkung Turun 2 $Q_t = Q_p \left(0,3 \frac{(t-T_p + 0,5T_{0,3})}{1,5T_{0,3}} \right)$

Lengkung Turun 3 $Q_t = Q_p \left(0,3 \frac{(t-T_p + 0,5T_{0,3})}{2T_{0,3}} \right)$

Dimana T_g adalah *time lag*, yaitu waktu antara titik berat hujan dan titik berat hidrograf atau waktu terjadinya hujan sampai terjadinya debit puncak (jam), T_p adalah *peak time*, yaitu waktu antara saat mulainya hidrograf dan saat debit maksimum, T_b adalah *time base* dari hidrograf, T_r adalah satuan waktu curah hujan (jam), L adalah panjang sungai, A adalah luas daerah pengaliran (km^2), R_0 adalah curah hujan spesifik (mm),

α adalah koefisien antara 1,5–3,5 atau dihitung dengan pendekatan tersebut di atas.

Hasil grafik metode hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hidrograf Satuan Metode Nakayasu

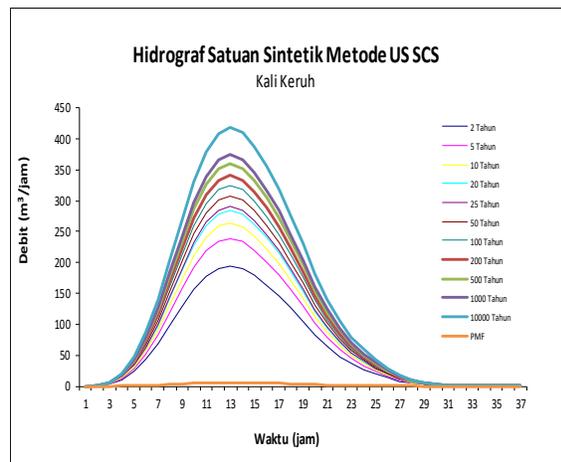
3.8. Metode Hidrograf Satuan Sintetik US-SCS

Metode *Soil Conservation Service* merupakan suatu metode yang dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat sejak tahun 1947 sehingga dikenal dengan metode US SCS. Metode SCS digunakan untuk menghitung jumlah *direct runoff* dari suatu kejadian hujan (USDA, 1986). Persamaan umum adalah

$$Q_t = \frac{[P - 0.2 \cdot S]^2}{[P - 0.8 \cdot S]}$$

Dimana P adalah hujan (mm), S adalah potensial retensi maksimum (mm).

Hasil grafik metode hidrograf Satuan Sintetik US-SCS disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hidrograf Satuan Metode US-SCS

Nilai S berkaitan dengan kondisi tanah dan tutupan lahan yang ditunjukkan melalui *curve number* (CN), nilai CN bervariasi antara 0 hingga 100.

$$S = \frac{1000}{CN} - 1$$

Menentukan nilai CN, terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan yaitu, jenis tanah, tutupan lahan, kondisi hidrologi dan kelembaban tanah sedangkan *baseflow* dihitung dengan cara meneruskan persamaan metode Penman. Secara medasar, *runoff* adalah jumlah dari *baseflow* dengan *direct runoff* yang terjadi.

3.9. Metode Hidrograf Satuan Sintetik Limantara

Hidrograf satuan sintetis Limantara merupakan hasil analisis dari Indonesia yang dirumuskan Lily Montarich Limantara tahun 2006. Lokasi penelitian berada di sebagian Indonesia yang dianggap mewakili. Parameter daerah tangkapan air yang dipakai dalam hidrograf satuan sintetis Limantara antara lain [27].

a. Luas Daerah Tangkapan Air

Luas daerah tangkapan air (A) diperkirakan dengan mengukur daerah itu pada peta topografi. Apabila dihitung tiap satuan luas, banjir yang terjadi di daerah dengan luas yang kecil akan lebih besar dibandingkan banjir yang terjadi di sungai dengan daerah tangkapan air yang lebih luas. Hal ini disebabkan karena di daerah tangkapan air yang kecil, air hujan mudah mencapai sungai, sedangkan pada daerah tangkapan air yang luas kemungkinan terdapat danau, rawa, kolam, tanah yang porous dan lain-lain, yang dapat menahan air hujan. Luas daerah tangkapan air dipandang berpengaruh besar terhadap debit puncak. Daerah tangkapan air yang kecil memiliki tanggapan yang berbeda dengan daerah tangkapan air yang besar, terutama tentang hubungannya dengan peristiwa limpasan [28]

b. Panjang Sungai Utama

Panjang sungai (L) merupakan jarak dari outlet ke batas daerah aliran, yang diukur sepanjang saluran aliran utama. Semakin panjang sungai, maka jarak antara tempat jatuhnya hujan dengan outlet semakin besar, sehingga waktu yang diperlukan air hujan untuk mencapai outlet lebih lama dan akan menurunkan debit banjir. Hal ini disebabkan karena makin panjang sungai makin banyak memberikan kesempatan bagi air hujan untuk mengalir sebagai limpasan sehingga jumlah kehilangan air akan semakin besar [29].

c. Panjang Sungai diukur sampai titik terdekat dengan titik berat Daerah Tangkapan Air

Variabel L_c merupakan panjang sungai dari outlet sampai titik berat daerah tangkapan air dan diukur sepanjang aliran utama. Parameter ini didasarkan pada penelitian Gupta [30], antara lain dalam upayanya untuk mengaitkan besarnya debit puncak dengan faktor-faktor fisik daerah tangkapan air. Karakteristik

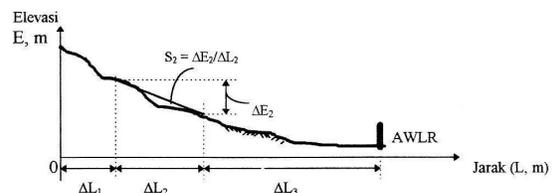
daerah tangkapan air yang cenderung menyempit di bagian hilir, maka titik berat daerah tangkapan air akan terletak hampir ke hulu. Walaupun L_c cenderung panjang, namun dengan kondisi daerah tangkapan air menyempit ke bagian hilir, maka akan mempercepat naiknya debit puncak atau waktu untuk mencapai debit puncak relatif singkat. Sebaliknya untuk daerah tangkapan air yang mempunyai lebar cenderung merata dari hulu ke hilir, maka titik berat daerah tangkapan air akan terletak hampir di tengah daerah tangkapan air. Hal ini menunjukkan walaupun L_c relatif pendek, dengan kondisi daerah tangkapan air yang lebar, akan memperlambat naiknya debit puncak sehingga waktu untuk mencapai debit puncak relatif lama.

d. Kemiringan Sungai

Kemiringan sungai (S) merupakan kemiringan sungai utama. Secara umum, hanya sungai utama yang diperhatikan dalam menggambarkan kemiringan daerah tangkapan air secara umum. Kemiringan sungai secara rasional berpengaruh terhadap debit puncak (Q_p). Kemiringan yang curam akan mempercepat waktu untuk mencapai puncak banjir karena limpasan semakin cepat masuk ke sungai. Kemiringan sungai utama menentukan kecepatan aliran dalam saluran, seperti halnya liku resesi hidrograf yang digambarkan pengosongan tampungan. Kemiringan sungai yang curam akan mempercepat pengosongan tampungan dan akan menghasilkan liku resesi hidrograf yang curam, sehingga menjadikan waktu dasar hidrograf menjadi pendek. Banyak kasus, kemiringan daerah tangkapan air yang landai justru menghasilkan debit puncak yang lebih besar. Taylor dan Cordery [31]. menyarankan cara menghitung kemiringan sungai dengan anggapan aliran seragam. Berdasarkan alasan kecepatan berbanding lurus dengan akar kemiringan sungai (rumus Manning), maka prosedur perhitungan kemiringan sungai adalah dengan membuat seimbang segmen-segmen sungai dengan akar kemiringannya [32]. Jadi, jika sungai dengan kekasaran Manning yang sama dibagi dengan N segmen dengan kemiringan masing-masing S_i sebagaimana Gambar 16, dengan kecepatan aliran adalah sama ($V_1 = V_2 = V_3 = VN$), maka indeks kemiringan sederhana menjadi:

$$S = (\sum \sqrt{S_i}/N)^2 \Leftrightarrow S_i \approx \frac{\Delta E}{\Delta L}$$

Dimana ΔE adalah beda elevasi dasar sungai (m), ΔL adalah panjang segmen sungai (m)



Gambar 8. Pembagian Segmen Sungai

e. Koefisien Kekasaran

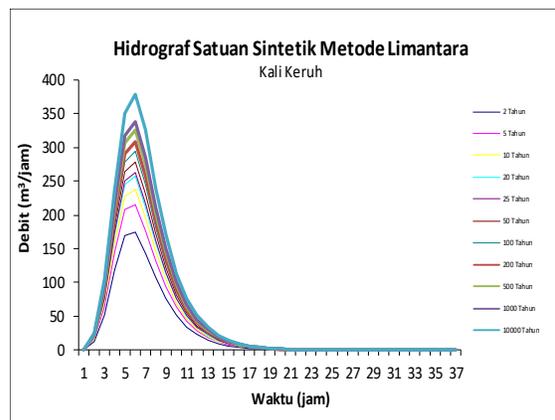
Karakteristik di dalam daerah tangkapan air terdapat hutan dan beberapa bagian tegalan, sawah, dan pemukiman, yang membutuhkan perkiraan koefisien kekasaran (n). Koefisien kekasaran (n) untuk lahan pertanian dengan tanaman diperkirakan sebesar 0,035 sedangkan untuk hutan atau semak belukar sebesar 0,07. Menghubungkan dengan persamaan garis linier pada 2 titik yaitu pada kondisi tidak terdapat hutan dan kondisi hutan seluruhnya, maka Chow [33] merumuskan:

$$n = 0,035 \left(1 + \frac{Af}{A} \right)$$

Dimana n adalah koefisien kekasaran daerah tangkapan air, Af adalah luas hutan, A adalah luas daerah tangkapan air.

Berdasarkan rumus di atas, jika luas hutan 100% artinya seluruh daerah tangkapan air berupa hutan, maka akan diperoleh koefisien kekasaran n = 0,070. Sebaliknya jika tidak ada hutan sama sekali, dalam arti Af = 0, maka akan diperoleh koefisien kekasaran n = 0,035. Sebagaimana diketahui, hutan pada umumnya ditumbuhi tanaman berupa pohon-pohon yang besar sehingga menggambarkan kekasaran daerah tangkapan air cukup besar, dalam arti akan menghambat jalannya air hujan yang melimpas, sedangkan untuk sawah dan tegalan hanya ditumbuhi tanaman yang relatif kecil dan dianggap tidak cukup kuat dalam menghambat air hujan yang melimpas [34]. Hal yang sama untuk daerah pemukiman, dianggap tidak cukup kasar untuk menghambat jalannya air hujan yang melimpas. Berdasarkan alasan tersebut, Chow [35] hanya memasukkan faktor luas hutan dalam perhitungan koefisien kekasaran daerah tangkapan air.

Hasil grafik metode hidrograf Satuan Sintetik Sintetik Limantara disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Hidrograf Satuan Metode Limantara

3.10. Kesimpulan Analisa Debit Banjir

Hasil analisis debit banjir daerah tangkapan air Gunungrowo untuk 6 metode analisis disajikan pada Tabel 9. Berdasarkan tabel tersebut, metode yang digunakan dalam analisis selanjutnya adalah debit terbesar yaitu Gama I

Tabel 9. Hidrograf Satuan Sungai Keruh

Periode Ulang tahun	Gama 1	Nakayasu	US SCS	Metode Limantara m3/det
2	198.20	169.93	194.30	175.25
5	242.97	208.51	239.15	215.72
10	266.37	228.75	263.51	237.74
20	285.70	245.50	284.22	256.47
25	291.33	250.39	290.37	262.04
50	307.45	264.41	308.31	278.28
100	321.95	277.05	324.89	293.32
200	335.22	288.66	340.50	307.48
500	351.31	302.77	360.03	325.21
1000	362.59	312.69	374.19	338.08
10000	394.04	342.32	418.82	378.71

4. Kesimpulan

hasil penelitian menunjukkan bendung bendung porous memiliki stabilitas yang baik untuk proses aliran irigasi dengan vegetasi yang dalam menahan air lebih besar karena pengaliran lebih kecil. Pemodelan bendung porous bisa menstabilkan debit air sehingga aliran sungai ini masih bisa dimanfaatkan untuk mengairi lahan pertanian sepanjang tahun. Sehingga memiliki efektifitas bendung porous yang baik untuk menangani terjadinya sedimentasi.

Daftar Rujukan

- [1] Berghouti., Ali & Mohamed Meddi. 2016. *Sediment transport modellingin wadi Chemoraduring flood flow events*. Journal of Water And Land Develoment 2016, No. 31 (X–XII): 23–31 ISSN 1429–7426.
- [2] Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2004). *Pedoman Teknis Bendung Pengendali Dasar Sungai (Pd T-12-2004-A)*. Pedoman. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- [3] Marhendi, Teguh & Imron, Ali. (2020). Model Angkutan Sedimen Untuk Analisis Peningkatan Sedimentasi Di Hulu Bendung Gerak Serayu. *Techno (Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto)*. 21. 57. <http://dx.doi.org/10.30595/techno.v21i1.7152>
- [4] Rahayu, Anis & Besperi, Besperi & Razali, Makmun. (2019). Kajian Laju Angkutan Sedimen Total Pada Kantong Lumpur Bendung Air Musi Kejalo. *Inersia, Jurnal Teknik Sipil*. 10. 1-14. <http://dx.doi.org/10.33369/jts.10.1.1-14>
- [5] Putra, Ramadhan & Syukri, Amad & Sudarjat, Catrin & Ilham, Vickky. (2021). Analisa Angkutan Sedimen Pada Hulu Bendung Aepodu Kabupaten Konawe Selatan. *Sultra Civil Engineering Journal*. 2. 1-7. <http://dx.doi.org/10.54297/sciej.v2i1.161>
- [6] Harjanto, Herman & Wahid, Abdul & Sudhartono, Arief & Perori, Nikteri. (2021). Laju Angkutan Sedimen Melayang Di Sungai Wimbi Sub Das Wimbi Kabupaten Poso. *Jurnal Hutan Tropis*. 9. 43. <http://dx.doi.org/10.20527/jht.v9i1.10467>
- [7] Tandira'pak, Seri & Bungin, Erni & Apriyani, Ika. (2022). Analisis Angkutan Sedimen Pada Sungai Galang-Galang Kampung Paku Kabupaten Polewali Mandar. *Paulus Civil Engineering Journal*. 4. 139-149. <http://dx.doi.org/10.52722/peej.v4i1.387>
- [8] Azmeri, Azmeri & Basri, Hairul & Sundary, Devi & Endang, Yusni & Jemi, Faris. (2020). Hidrodinamika Dan Produk

- Sedimen Terhadap Bendung Irigasi Keumala (published 29092020). *Jurnal Irigasi*. 15. 1-14. <http://dx.doi.org/10.31028/ji.v15.i1.1-14>
- [9] Pratomo, Dicky & Nurhayati, Nurhayati & Fitria, Laili. (2018). Kajian Angkutan Sedimen Layang Pada Sungai Jawi Kota Pontianak. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*. 5. <http://dx.doi.org/10.26418/jtlb.v5i1.23887>
- [10] Maini, Miskar & Mashuri, Mashuri & Eka Susanti, Junita. (2021). Efek Angkutan Sedimen Bed-Load Terhadap Hambatan Aliran Di Sungai Baturusa Pulau Bangka. *Jurnal Teknik Sipil*. 28. 41-50. <http://dx.doi.org/10.5614/jts.2021.28.1.5>
- [11] Sabrina, Tipani & Hidayat, Taufiq & Hartati, Hartati & Umar, Zahrul. (2018). Kajian Sedimentasi pada Muara Sungai Batang Arau Kota Padang. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*. 15. 37-44. <http://dx.doi.org/10.30630/jirs.15.1.92>
- [12] Maqdan, Maola & Yogafanny, Ekha & Sungkowo, Andi & Setiawan, Muhammad & Junun, Sartohadi. (2019). Karakteristik Sedimen Melayang dan Sedimen Dasar pada Sungai Bompon, Sub DAS Bompon, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah. *Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan*. 3. 26. <http://dx.doi.org/10.31315/jmel.v3i1.2893>
- [13] Iswahyudi, Khafid & Salim, Noor & Abadi, Taufan. (2018). Kajian Sedimentasi Di Sungai Sampean Bondowoso Menggunakan Program Hec-Ras Versi 4.1. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon*. 3. <http://dx.doi.org/10.32528/hgn.v3i2.2916>
- [14] Badaruddin, & Satriawansyah, Tri & Faturrahman,. (2018). Analisis Sedimentasi Pada Bendung Beringen Sila Desa Stowe Berang Kecamatan Utan Kabupaten Sumbawa. <http://dx.doi.org/10.31227/osf.io/26tmk>
- [15] Marhendi, Teguh & Ningsih, Dewi. (2018). Prediksi Peningkatan Sedimentasi Dengan Metode Angkutan Sedimen (Studi Kasus Sedimentasi Di Waduk Mrica). *Techno (Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto)*. 19. 87. <http://dx.doi.org/10.30595/techno.v19i2.3006>
- [16] Siwu, Wulandari & Sangkawati, Sri & Sriyana, Ignatius. (2021). Kajian Distribusi Sedimentasi Terhadap Umur Rencana Waduk Ciawi Di Kabupaten Bogor. *Rang Teknik Journal*. 4. 211-219. <http://dx.doi.org/10.31869/rtj.v4i2.2321>
- [17] Erlanda, Ella & Soeryamasoeka, Stefanus & Yuniarti, Erni. (2012). Kajian Sedimentasi Pada Sumber Air Baku Pdam Kota Pontianak. *Jurnal Teknik Sipil*. 12. <http://dx.doi.org/10.26418/jtsft.v12i2.1354>
- [18] Cahyani, Hajar & Hidayah, Entin & Agung Wiyono, Retno & Halik, Gusfan & Widiarti, Wiwik. (2021). Prediksi Laju Sedimentasi Pada Sungai Jatiroto. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*. 17. 64. <http://dx.doi.org/10.25077/jrs.17.1.64-71.2021>
- [19] Martini, RA & Bahri, Zainul & Miranda, Ade. (2020). Pengaruh Debit Aliran Terhadap Sedimentasi Di Sungai Lematang Kabupaten Lahat. *Bearing : Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil*. 6. <http://dx.doi.org/10.32502/jbearing.2841202063>
- [20] Gemilang, Wisnu & Kusumah, Gunardi & Wisha, Ulung & Lubis, Ali Arman. (2017). Laju Sedimentasi Di Perairan Brebes, Jawa Tengah Menggunakan Metode Isotop ^{210}pb . *Jurnal Geologi Kelautan*. 15. <http://dx.doi.org/10.32693/jgk.15.1.2017.328>
- [21] Warsito, Kevin & Pranoto, Wati. (2021). Analisis Kecepatan Jatuh Sedimen Pada Sungai Cibeet, Jawa Barat. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan*. 5. 45. <http://dx.doi.org/10.24912/jmstik.v5i1.7649>
- [22] Wiryamanta, Dhimas & Sumiadi, Sumiadi & Dermawan, Very. (2021). Kajian Distribusi Konsentrasi Sedimen Suspensi Menggunakan TSS Meter pada Sungai Brantas di Desa Pendem Kota Batu. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*. 1. 379-392. <http://dx.doi.org/10.21776/ub.jtresda.2021.001.02.04>
- [23] Elyasi., Mohammad & Amir Abbas Kamanbedast. 2014. *The Effect of Angle of Intakes on Diversion sediments in River Bend with CCHE2D Model*. *Journal Advances in Environmental Biology* Vol. 8 pp. 81-86.
- [24] Istiarto, 2009. "Aplikasi Model Aliran Satu Dimensi HEC-RAS". Modul Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- [25] Arsyad, S. 2006. *Konservasi Tanah dan Air*. Edisi kedua. IPB Press. Bogor.
- [26] Asdak, C. 2004. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gajah Mada University Press. Cetakan ketiga. Yogyakarta.
- [27] Zhang, Yaixin. 2006, *Graphical Users Interface for NCCHE Models*, User's Manual Version 3.0, The University of Mississippi, Mississippi, USA.
- [28] United States Departement of the Interior. 1974. *Design of Small Dams*, Oxford & IBH Publishing Co. New Delhi.
- [29] Nugraheni, Aprillya., Sobriyah., Susilowati. 2014. Perbandingan Hasil Prediksi Laju Erosi dengan Metode USLE, MUSLE, dan RUSLE di DAS Keduang. *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil* September 2013. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [30] Parsa, A.S., Mohammad noori, Mohammad heydari & Mahmood rashidi. 2016 *Floodplain Zoning Simulation by Using HEC-RASand CCHE2D Models in the Sungai Maka River*.
- [31] Soemarto, C. D. 1999. *Hidrologi Teknik*, Erlangga. Jakarta.
- [32] Sukartaatmadja, S. 2004. *Perencanaan dan Pelaksanaan Teknis Bangunan Pencegah Erosi*. Institut Pertanian Bogor (IPB). Bogor.
- [33] Suyono Sosrodarsono & Masateru Tominaga. *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*, P.T. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [34] Sugiyono. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, R & D. Bandung : Alfabeta*.
- [35] Takahashi, Tamotsu. 2007. *Debris Flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures*, Routledge. Indonesia.