

Fakultas : Teknik

LAPORAN AKHIR
RISET TERAPAN UNGGULAN UNSRAT



**PROFIL ALIRAN AIR SARAT SEDIMEN DAN PENGARUHNYA TERHADAP
PROSES SEDIMENTASI SUNGAI**

Ketua / Anggota Tim

Dr.Eng.Ir. Liany A. Hendratta, MSi	NIDN :0020036605
Dr. Eng. Ir. Tommy Jansen, MT	NIDN :0018055804
Ir. Hanny Tangkudung, MT	NIDN: 0002045804

Mahasiswa

Janette A. M. Du Puy	NIM 17021101042
Maria S. G. Padang	NIM 20021101061
Aprilia J. C. Pangkey	NIM 20021101101

UNIVERSITAS SAM RATULANGI
NOVEMBER 2022

Dibiayai oleh:

Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Badan Layanan Umum

Nomor: SP DIPA - 023.17.2.677519/2022

Universitas Sam Ratulangi



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SAM RATULANGI
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
Alamat : Kampus UNSRAT Manado Telp. (0431) 827560, Fax. (0431) 827560
Email: lppm@unsrat.ac.id Laman: <http://lppm.unsrat.ac.id>

**HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN AKHIR
RTUU (RISET TERAPAN UNGGULAN UNSRAT)**

JUDUL KEGIATAN : PROFIL ALIRAN AIR SARAT SEDIMEN DAN PENGARUHNYA TERHADAP PROSES SEDIMENTASI SUNGAI

Ketua Peneliti

Nama Lengkap : LIANY AMELIA HENDRATTA
Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi
NIP : 196603201991032001
Jab.Fungsional : Lektor Kepala
Prodi : TEKNIK SIPIL
Fakultas : TEKNIK
Nomor HP : 081234277668
Email : lianyhendratta@unsrat.ac.id
Usulan Biaya : Rp 50,000,000
Biaya Maksimum : Rp 50,000,000
Lama Penelitian : 8 bulan

Anggota Peneliti (1)

Nama Lengkap : TOMMY JANSEN
NIP : 195805181987031002
Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi

Anggota Peneliti (2)

Nama Lengkap : HANNY TANGKUDUNG
NIP : 195804021989031002
Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi

Mahasiswa (1)

Nama Lengkap/NIM: Janette A. M. Du Puy / 17021101042

Mahasiswa (2)

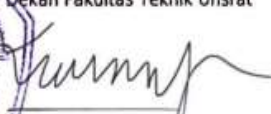
Nama Lengkap/NIM: Maria S. G. Padang / 20021101061

Mahasiswa (3)

Nama Lengkap/NIM: Aprilia J. C. Pangkey / 20021101101



Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik Unsrat



Prof. Dr. Ir. Fabian J. Manoppo, M.Agr
NIP 196210141997031001

Manado, 08 November 2022
Ketua Peneliti


LIANY AMELIA HENDRATTA
NIP 196603201991032001



Menyetujui
Ketua LPPM Universitas Sam Ratulangi


Prof. Dr. Ir. Jeffrey J. Kindangen, DEA
NIP 196506031990031003

RINGKASAN

Sungai Tolour Oki adalah salah satu inlet di danau Tondano, Kabupaten Minahasa yang pernah meluap dan membanjiri beberapa daerah yang dilewati oleh sungai tersebut. Hal ini mengakibatkan kerugian bagi warga yang tinggal disekitar sungai. Secara teknis, terjadinya banjir di sungai Tolour Oki sebagian besar disebabkan oleh adanya endapan sedimen terlarut bersama aliran air sungai dari daerah hulu, curah hujan yang tinggi serta pengaruh air balik (back water) yang terjadi pada saat pasang air di danau Tondano. Pengaruh pasang mengakibatkan pembendungan aliran air di bagian hilir (muara sungai) serta perambatan air banjir ke bagian hulu sungai. Seberapa jauh pengaruh perambatan air banjir serta bagaimana profil aliran air akibat pengaruh pasang air danau tertinggi dan aliran bersedimen yang sangat membahayakan pemukiman masyarakat di sekitar muara masih menjadi permasalahan yang perlu diteliti lebih lanjut.

Analisis dilakukan dengan mencari frekuensi hujan dengan metode Log Pearson III. Adapun data hujan yang digunakan berasal dari pos hujan Paleloan. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan harian maksimum dari tahun 2002 sampai 2019. Setelah didapat besar hujan, pemodelan hujan aliran pada program komputer HEC-HMS akan menggunakan metode HSS *Soil Conservation Services*, dan untuk kehilangan air dengan *SCS Curve Number (CN)*. Untuk aliran dasar (*baseflow*) akan menggunakan metode *recession*. Dilakukan kalibrasi parameter HSS SCS sebelum melakukan simulasi debit banjir dengan menggunakan program komputer HEC-HMS. Dalam kalibrasi ini, parameter yang akan dikalibrasi adalah *lag time*, *curve number*, *recession constant*, *baseflow* dan *ratio to peak*. Untuk batasan setiap parameter disesuaikan dengan nilai standar pada program komputer HEC-HMS. Hasil kalibrasi menunjukkan nilai *Nash Sutcliffe Efficiency* yang memenuhi yaitu 0,523. Kemudian dilakukan analisis debit banjir dengan parameter terkalibrasi menggunakan program komputer HEC-HMS. Dalam penelitian ini digunakan perangkat lunak HEC-RAS untuk melakukan penelusuran aliran dengan pemodelan aliran permanen (*steady flow*) dengan menggunakan debit banjir kala ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun sebagai *boundary condition* di sebelah hulu dan *boundary condition* sebelah hilir adalah tinggi muka air danau tertinggi. Hasil perhitungan dibandingkan dengan analisis yang menggunakan Metode Tahapan Standar.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa luapan cenderung terjadi kearah bantaran kanan sungai. Pada penampang sungai Tolour Oki yang ditinjau untuk kondisi dengan pengaruh pasang air danau, untuk semua kala ulang semua penampang sudah tidak mampu menampung debit banjir yang terjadi. Tinggi muka air tertinggi dengan kenaikan muka air banjir (luapan) berkisar 0,01–0,96 meter. Tinggi muka air banjir dan profil muka aliran yang dianalisis dengan HEC-RAS ditinjau kembali dengan menggunakan Metode Tahapan Standart dan diperoleh hasil yaitu presentase perbedaan tinggi profil muka air yang dianalisis dengan metode tahapan standart memiliki selisih yang sangat kecil dengan hasil analisis program HEC-RAS. Uraian diatas menunjukkan bahwa metode tahapan standart dapat menggantikan penggunaan program HEC-RAS dalam menganalisis profil muka air.

Konsentrasi sedimen terlarut pada sungai Tolour Oki adalah 6,30 gr/m³ dengan total sedimen inflow masing-masing pada $Q_{base}=5,91 \text{ m}^3$, $(Q_2)= 625 \text{ m}^3$, $(Q_5) = 1007 \text{ m}^3$, $(Q_{10}) = 1201 \text{ m}^3$, $(Q_{25}) = 1329 \text{ m}^3$, $(Q_{50}) = 1373 \text{ m}^3$ dan $(Q_{100}) = 1372 \text{ m}^3$.

Kata kunci : HEC-HMS, HEC-RAS, Profil aliran banjir, Sedimentasi, Tolour Oki

PRAKATA

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yesus Kristus karena hanya dengan anugerah dan kasih karunia-Nya sehingga Tim Pelaksana Riset Terapan Unggulan Universitas dapat melaksanakan penelitian yang berjudul : Profil Aliran Air Sarat Sedimen Dan Pengaruhnya Terhadap Proses Sedimentasi Sungai.

Kegiatan ini dilaksanakan untuk membantu menyelesaikan permasalahan banjir, genangan air dan sedimentasi yang berujung pada kerusakan lingkungan. Hal ini disebabkan antara lain, meningkatnya aktivitas kehidupan manusia dan makin berkurangnya lahan hijau yang berdampak pada berkurangnya daerah resapan air mengakibatkan peningkatan kuantitas air hujan.

Sebagai salah satu program kegiatan dari Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Sam Ratulangi, maka diharapkan hasil dari kegiatan penelitian ini dapat bermanfaat khususnya kepada masyarakat di sekitar Sungai Tolour Oki, Minahasa. Selain itu, diharapkan hasil kegiatan ini dapat diimplementasi dan digunakan sebagai acuan untuk dapat melanjutkan kegiatan serupa.

Dalam pelaksanaan kegiatan penelitian ini, kami sebagai Tim pelaksana banyak mendapat masukan dari masyarakat sekitar Sungai Tolour Oki dan beberapa instansi terkait. Untuk itu kami Tim Pelaksana penelitian menghaturkan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya. Ungkapan syukur terima kasih juga kami sampaikan kepada Universitas Sam Ratulangi yang sudah membiayai seluruh kegiatan penelitian ini. Semoga hasil kegiatan ini dapat bermanfaat bagi masyarakat banyak

Manado, November 2022
Ketua Pelaksana,

Dr.Eng. Ir. Liany A. Hendratta, MSi

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL

HALAMAN PENGESAHAN

RINGKASAN

PRAKATA

DAFTAR ISI

BAB 1. PENDAHULUAN

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN .

BAB 4. METODE PENELITIAN

BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

BAB 6. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses alih fungsi lahan di bagian hulu sungai (DAS) yang terjadi secara sporadis menyebabkan aliran sungai membawa sedimen terlarut dengan konsentrasi sangat tinggi yang berakibat pada tambahan kenaikan tinggi muka air sungai⁽²⁾.

Sungai Tolour Oki yang airnya mengalir menuju danau Tondano adalah salah satu sungai yang sering meluap pada musim penghujan sehingga selain menghambat kegiatan pertanian disekitarnya juga mempengaruhi tingkat kelestarian danau Tondano serta pengembangan bidang pariwisata. Sejak dicanangkannya Danau Tondano sebagai salah satu danau prioritas di Indonesia yang perlu mendapat perhatian untuk dijaga kelestariannya, maka diperlukan berbagai upaya untuk penyelamatan diantaranya adalah menahan proses laju pendangkalan danau serta memelihara ekosistem danau dengan baik. Permasalahan pokok penyebab bencana banjir dan kerusakan lingkungan di danau Tondano diakibatkan oleh beberapa faktor yang terjadi secara bersamaan yaitu banyaknya endapan akibat air sungai membawa sedimen terlarut, penggunaan pupuk di lahan persawahan, curah hujan yang tinggi pada musim penghujan, adanya keramba apung atau jaring tancap, pertumbuhan eceng gondok sukar terkendali dan lainnya. Pada musim penghujan, pengaruh tinggi rendah muka air danau mengakibatkan pembendungan aliran air di bagian hilir sungai serta perambatan air banjir ke bagian hulu sungai. Bagaimana tinggi muka air akibat fenomena alam di sekitar danau Tondano yang sangat membahayakan pemukiman masyarakat dan mengakibatkan kerusakan lingkungan pada lahan pertanian/persawahan serta rekomendasi penanganannya menjadi issue penting penelitian ini.

Penelitian ini berupa penelitian terapan berbasis Renstra dan bertujuan untuk mengimplementasi metode hasil penelitian laboratorium dan penelitian terapan yang pernah dilakukan sebelumnya menjadi sistem/metode yang aplikatif untuk penguatan masyarakat tanggap bencana banjir dengan tetap menjunjung nilai kearifan lokal.

Bagian tahapan akhir penelitian adalah pembuatan metode dalam bentuk penerapan hasil studi empiris untuk menganalisis kondisi luapan pada setiap titik di sekitar danau Tondano disaat terjadi bencana banjir. Penelitian ini akan memberikan manfaat yang signifikan bagi peningkatan kesejahteraan hidup masyarakat sekitar sungai Tolour Oki melalui kontribusi terhadap ilmu pengetahuan khususnya pada bidang sumberdaya air. Hasil nyata luaran penelitian berupa penerapan metode dalam menganalisis bencana banjir yang menjawab tantangan kebutuhan iptek oleh pengguna sektor riil dan kemudian akan menunjang pengelolaan lingkungan dan sumberdaya air yang berkelanjutan.

Rencana Strategi Penelitian Unsrat 2021-2025 menitik beratkan pada beberapa bidang riset unggulan untuk menunjang terlaksananya penelitian IPTEK yang terarah, berkualitas dan berdaya saing serta bermanfaat demi meningkatkan kualitas pendidikan dan kesejahteraan masyarakat. Salah satu dari 9 bidang riset unggulan prioritas adalah “Keanekaragaman Hayati, Kebencanaan, Lingkungan, Sumberdaya Air dan Perubahan Iklim” dengan topik riset pengelolaan lingkungan dan sumberdaya air. Luaran penelitian ini menitikberatkan pada penanggulangan bencana banjir secara terintegrasi yang menunjang pengelolaan sumber daya air dan lingkungan yang berkelanjutan serta merupakan tindak lanjut isue strategis daerah penelitian sebagai danau prioritas nasional yang wajib dilestarikan keberadaannya yang secara makro tertuang pada Renstra Penelitian Unsrat 2021-2025 khususnya pada peta jalan bidang unggulan keanekaragaman hayati, kebencanaan, lingkungan, sumberdaya air dan perubahan iklim.

1.2 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode hasil penelitian laboratorium sebelumnya yang diaplikasikan sesuai konsentrasi kandungan sedimen terlarut pada sungai Tolour Oki untuk menganalisis kondisi luapan dan profil aliran air banjir serta proses sedimentasi dasar sungai Tolour Oki akibat pasang surut air danau.

1.3 Urgensi Penelitian

Penelitian ini perlu dilakukan untuk memberikan kontribusi yang signifikan dan dapat diterapkannya metode/desain penanggulangan genangan air banjir berwawasan lingkungan. Secara khusus urgensi penelitian ini adalah memberikan kontribusi terhadap ilmu pengetahuan bidang pengembangan sumber daya air untuk menganalisis profil aliran air banjir dan proses sedimentasi dengan tujuan perbaikan kualitas lingkungan. Adapun rencana target capaian tahunan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Rencana Target Capaian Tahunan

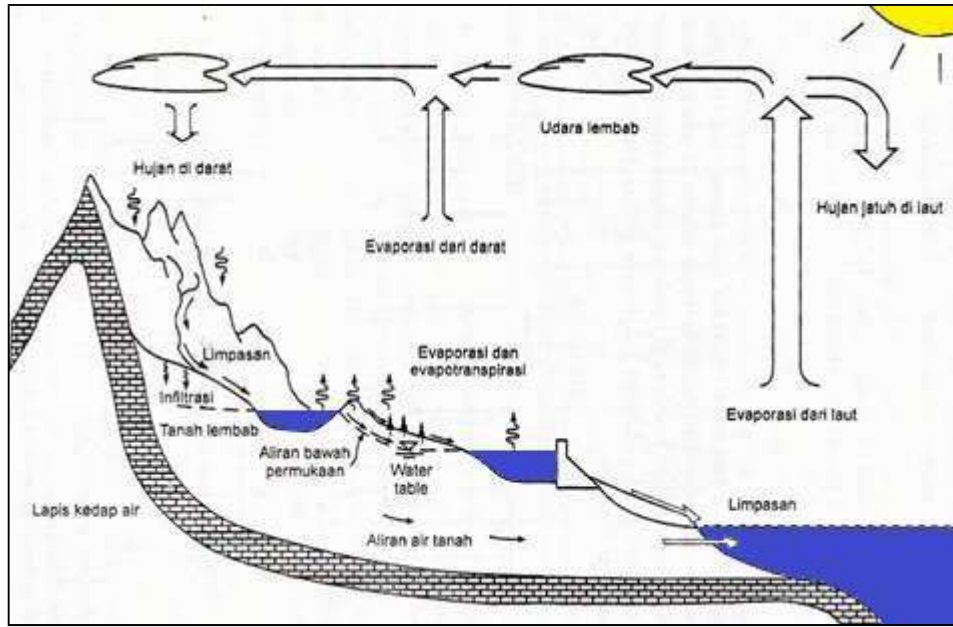
No.	Jenis Luaran		Indikator Capaian
1	Publikasi ilmiah	Internasional	
		Nasional Terakreditasi	
2	Pemakalah dalam temu ilmiah	Internasional	
		Nasional	
3	<i>Invited speaker</i> dalam temu ilmiah	Internasional	
		Nasional	
4	<i>Visiting Lecturer</i>	Internasional	
5	Hak Kekayaan Intelektual (HKI)	Paten	
		Paten sederhana	
		Hak Cipta	Terdaftar
		Merek dagang	
		Rahasia dagang	
		Desain Produk Industri	
		Indikasi Geografis	
		Perlindungan Varietas Tanaman	
		Perlindungan Topografi Sirkuit Terpadu	

6	Teknologi Tepat Guna	
7	Model/Purwarupa/Desain/Karya Seni/Rekayasa Sosial	
8	Buku Ajar (ISBN)	1 BAB
9	Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT)	4

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Siklus Hidrologi



Sumber: "Bambang Triatmodjo; 2008".

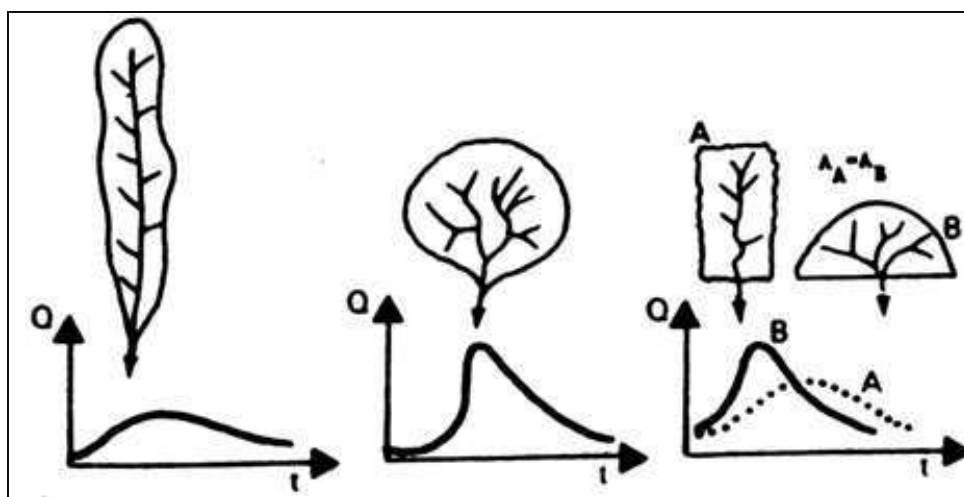
Gambar 1. Siklus Hidrologi

Proses kontinyu dari air yang bergerak dari bumi ke atmosfer dan kemudian kembali lagi ke bumi disebut juga siklus hidrologi. Air yang berada di permukaan tanah, laut, dan tumbuhan akan menguap ke udara (evapotranspirasi) yang disebabkan oleh panasnya matahari. Uap air akan bergerak dan naik ke atmosfer kemudian mengalami kondensasi dan berubah menjadi titik-titik air membentuk awan. Titik-titik air tersebut jatuh sebagai hujan ke permukaan laut dan daratan (presipitasi). Hujan yang jatuh sebagian akan tertahan oleh tumbuh-tumbuhan (intersepsi) dan sebagiannya akan sampai ke permukaan tanah. Sebagian air yang jatuh ke permukaan tanah akan meresap ke dalam tanah (infiltrasi) dan sebagian akan mengalir di atas permukaan tanah (aliran permukaan) mengisi cekungan tanah, danau, dan masuk ke sungai dan mengalir ke laut. Air yang meresap ke dalam tanah sebagian mengalir di dalam tanah

(perkolasi) mengisi air tanah yang kemudian keluar sebagai mata air atau mengalir ke sungai sampai ke laut.

Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah aliran sungai (DAS) adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggung gunung/pegunungan di mana air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju sungai utama pada suatu titik/stasiun yang ditinjau.



Sumber: "Meruntu Philips; 2019".

Gambar 2. Sketsa Pengaruh Bentuk DAS Terhadap Bentuk Hidrograf Alirannya.

Pola sungai akan menentukan bentuk dari suatu Daerah Aliran Sungai, bentuk suatu DAS mempunyai arti penting dalam hubungannya dengan aliran sungai, yaitu berpengaruh terhadap kecepatan terpusatnya aliran. Secara fisik setelah batas DAS ditentukan garis batasnya, maka bentuk DAS dapat diketahui. Umumnya bentuk DAS dapat dibedakan menjadi 4 (empat) bentuk yaitu aliran sungai berbentuk memanjang, radial, paralel dan kompleks.

a) Daerah aliran sungai berbentuk memanjang.

Susunan sungai induk dengan anak-anak sungai semacam bulu ayam yang terdiri dari batang, cabang, dan ranting. Susunan induk ibarat batangnya, dahan ibarat anak cabang besar dan ranting merupakan anaknya cabang sungai.

b) Daerah aliran sungai berbentuk radial.

Susunan sungai berbentuk radial yaitu anak-anak sungai yang mengalir dari segala penjuru menuju ketitik pusat dan mengalir ke laut. Sebagai akibat dari bentuk tersebut maka waktu yang diperlukan aliran yang datang dari segala penjuru anak sungai memerlukan waktu yang hampir bersamaan. Apabila terjadi hujan yang sifatnya merata di seluruh DAS akan menyebabkan terjadinya banjir besar.

c) Daerah aliran sungai berbentuk paralel.

Susunan sungai tipe paralel yaitu cabang-cabang besar mengalir paralel (sejajar) kemudian setelah mendekati muara mereka bertemu dan berkumpul menjadi sungai induk.

d) Daerah aliran sungai berbentuk kompleks.

Merupakan bentuk kejadian gabungan dari beberapa bentuk DAS yang dijelaskan sebelumnya.

Karakteristik Sungai

Bagian hulu merupakan daerah sumber erosi karena pada umumnya alur sungai melalui daerah pegunungan, perbukitan atau lereng gunung api yang kadang – kadang mempunyai cukup ketinggian dari muka laut.

Bagian tengah merupakan daerah peralihan dari bagian hulu dan hilir. Kemiringan dasar sungai lebih landai sehingga kecepatan aliran relatif lebih kecil dari pada bagian hulu.

Bagian hilir biasanya melalui daerah pendataran yang terbentuk dari endapan pasir halus sampai kasar, lumpur, endapan organik dan jenis endapan lainnya yang sangat labil.

Morfometri daerah aliran sungai adalah istilah yang digunakan untuk menyatakan keadaan jaringan alur sungai secara kuantitatif, keadaan yang dimaksud untuk analisa aliran sungai. Secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut:

a) Luas

Garis batas antara DAS adalah punggung permukaan bumi yang dapat memisahkan dan membagi air hujan ke masing-masing DAS. Garis batas tersebut ditentukan berdasarkan perubahan kontur dari peta topografi sedangkan luas

DAS-nya dapat diukur dengan Planimeter. Skala peta yang digunakan akan mempengaruhi ketelitian perhitungan luasnya. Sebagai contoh skala peta 1 : 250.000 dengan interval kontur 50 m dapat memberikan hasil yang teliti jika luasnya lebih dari 40 Km², dengan kesalahan yang diizinkan sekitar 5%. Dengan demikian semakin kecil DAS yang dihitung diperlukan peta topografi dengan skala semakin besar.

Tabel 1. Batasan Penggunaan Peta Topografi untuk Menghitung Luas DAS

Skala Peta	Luas DAS Minimal (Km ²)	Interval Kontur (m)
1 : 250.000	40	50
1 : 250.000	25	40
1 : 100.000	7	25
1 : 50.000	1,6	25
1 : 25.000	0,4	12,5
1 : 20.000	0,25	10
1 : 10.000	0,07	5

Sumber: " Meruntu Philips; 2019".

Di Indonesia pengukuran luas dari suatu DAS kadang – kadang sulit dilakukan karena adanya jaringan irigasi yang masuk atau keluar dari suatu DAS. Dengan demikian penentuan batas harus dilakukan oleh seorang hidrolog yang paham bentuk tentang lokasi DAS yang dimaksud.

Apabila dalam suatu DAS volume aliran total untuk periode satu tahun terutama disebabkan oleh volume banjir, sedangkan volume aliran yang keluar atau masuk saluran irigasi lebih kecil, maka batas DAS tersebut cukup ditentukan berdasarkan batas alami saja. Data luas DAS sangat berguna dalam analisa data aliran sungai, misalnya saja perhitungan tinggi aliran tebal sedimen dan sebagainya.

b) Panjang dan Lebar.

Panjang DAS adalah sama dengan jarak datar dari muara sungai ke arah hulu sepanjang sungai induk. Lebar DAS dihitung berdasarkan luas DAS dibagi panjangnya.

c) Orde dan Tingkat Percabangan Sungai.

Alur sungai di dalam suatu DAS dapat dibagi dalam beberapa orde sungai. Orde sungai ditetapkan berdasarkan alur dan posisinya. Strahler (1952, dalam Thompson, 1999) menetapkan anak sungai paling ujung sebagai sungai orde satu. Apabila dua alur dengan orde yang sama bergabung, maka orde alur di bawah percabangan tersebut meningkat satu orde. Apabila sebuah sungai dengan suatu orde bertemu dengan sungai yang mempunyai orde lebih rendah maka orde sungai pertama tidak berubah.

Jenis Sungai

Pada bagian dari sungai, sesungguhnya dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu bagian yang dipengaruhi oleh pasang surut dan tidak dipengaruhi oleh pasang surut. Bagian sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut terletak pada hilir sungai, dan bagian yang tidak dipengaruhi pada pasang surut air laut terletak pada bagian hulu sungai. Dilihat dari pengaruh pasang surut, jenis sungai dibagi menjadi dua, yaitu sungai non-pasang surut dan sungai pasang surut.

a. Sungai non-pasang surut

Sungai non-pasang surut merupakan sungai yang ketinggian airnya tidak dipengaruhi oleh gaya pasang surut. Sungai non-pasang surut biasanya terletak pada daerah hulu sungai. Hulu sungai merupakan bagian dari sungai yang letaknya paling awal atau paling tinggi. Topografi pada daerah hulu biasanya terdiri dari lereng-lereng pegunungan yang curam dan kondisi geologinya terdiri dari lapisan batuan dasar yang keras. Lembah dari bagian atas hulu sungai berbentuk V, dan memiliki rangkaian jeram-jeram aliran yang deras sehingga disebut alur jeram, atau *rapids river*. Pada sungai nonpasang surut ketinggian

muka airnya sangat dipengaruhi oleh besarnya debit air yang mengalir pada sungai tersebut.

b. Sungai pasang surut

Selalu terjadi perubahan periodik pada ketinggian muka air dari sungai di bagian hilir, karena pengaruh dari pasang surut. Air yang berasal dari laut, akan memasuki sungai pada saat pasang naik atau yang disebut *flood tide*, dan akan mengalir kembali ke laut pada saat waktu surut, atau *ebb tide*. Bagian dari sungai pasang surut ini akan mempunyai debit air yang berubah-ubah sesuai dengan musim yang berlaku, dan sangat tergantung pada debit air yang ada pada bagian hulu sungai.

Selain itu, faktor lainnya yang berpengaruh dalam pasang surut pada sungai adalah interaksi gaya gravitasi bumi dengan gaya gravitasi bulan dan matahari. Namun pengaruh dari gaya gravitasi bulan lebih besar karena posisi bulan yang lebih dekat dengan bumi. Dikenal dua macam ketinggian pasang yaitu:

1. Pasang purnama atau yang disebut dengan *spring tide* yang terjadi karena superposisi gaya gravitasi bumi dan bulan pada saat purnama terhadap air laut sebagai ketinggian pasang maksimum.
2. Pasang perbani atau disebut dengan *neap tide* yang terjadi karena superposisi gaya gravitasi bumi dan bulan terhadap air laut pada kedudukan bulan perbani sebagai ketinggian pasang minimum.

Siklus dari pasang surut dapat terjadi,

1. Terjadi satu kali dalam 24 jam yang disebut *diurnal tide*. Jenis dari pasang surut ini biasanya memiliki amplitudo yang tidak terlalu besar. Jenis pasang surut dari *diurnal* biasanya terjadi pada wilayah pantai yang berbatasan dengan laut yang tidak terlalu luas seperti laut Jawa, laut Karibia, dan lain-lain.

2. Terjadi dua kali dalam 24 jam yang disebut *semi-diurnal*. Jenis dari pasang surut ini biasanya memiliki amplitudo yang cukup besar. Jenis pasang surut dari *semi-diurnal* ini biasanya terjadi pada wilayah pantai yang berbatasan langsung dengan samudera, seperti samudera hindia, atlantik, dan pasifik.

Pasang astronomis akan menjalar ke bagian hilir dari sungai dan mempengaruhi perubahan kedudukan muka air di bagian sungai itu. Bersamaan dengan variasi debit yang datang dari hulu sungai, panjang jarak pengaruh air pasang ke arah hulu dapat dijelaskan sebagai berikut, pada saat debit dari hulu sungai minimum, maka pengaruh pasang dari laut akan maksimum, sedangkan apabila terjadi debit besar dari hulu, maka pengaruh pasang akan minimum. Jauhnya jarak dari pengaruh pasang naik, disebut *tidal reach*. Untuk debit air tertentu dari hulu sungai, maka *tidal reach* dibagi menjadi tiga daerah yaitu,

- 1) Daerah dimana terjadi penyusupan atau *intrusi* air asin, terdapat dua arah aliran pada ruas ini.
- 2) Daerah pertemuan antara pengaruh pasang dan debit sungai dari hulu.
- 3) Daerah dengan arah aliran tetap ke arah hilir, tetapi dengan kecepatan yang berubah sesuai dengan siklus pasang. Semakin tinggi pasang, maka semakin rendah kecepatannya.

2.2 Curah Hujan Rencana.

Analisis Curah Hujan

Analisis curah hujan merupakan penyelidikan awal data curah hujan sebelum diolah untuk digunakan pada analisis selanjutnya. Dalam analisis curah hujan diperlukan hujan kawasan yang diperoleh dari harga rata-rata curah hujan.

Curah hujan rata – rata dari hasil pengukuran hujan di beberapa stasiun pengukuran dapat dihitung dengan metode *Polygon Thiessen*. Metode ini dipandang cukup baik karena memberikan koreksi terhadap kedalaman hujan sebagai fungsi luas daerah yang dianggap mewakili.

Curah hujan rata – rata dengan cara *Polygon Thiessen* dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (1)$$

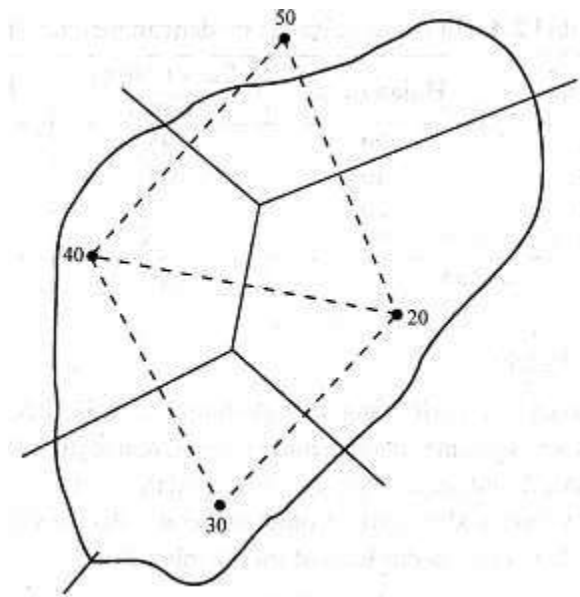
dengan:

\bar{R} = Curah hujan rata – rata

R_1, R_2, \dots, R_n = Curah hujan di tiap titik pengamatan dan n adalah jumlah titik – titik pengamatan.

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas daerah yang mewakili tiap stasiun pengamatan.

Dalam metode poligon thiessen, curah hujan rata-rata didapatkan dengan membuat poligon yang memotong tegak lurus pada tengah-tengah garis penghubung dua stasiun hujan. Dengan demikian setiap stasiun penakar hujan akan terletak pada suatu wilayah poligon tertutup luas tertentu. Jumlah perkalian antara tiap-tiap luas poligon dengan besar curah hujan di stasiun dalam poligon tersebut dibagi dengan luas daerah seluruh DAS akan menghasilkan nilai curah hujan rata-rata DAS. Metode ini cocok untuk daerah datar dengan luas 500-5000 km², dan jumlah pos penakar hujan terbatas.



Sumber: "Bambang Triatmodjo; 2008".

Gambar 3. Menghitung Curah Hujan Rata – Rata Dengan *Polygon Thiessen*

Analisis Frekuensi

Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi seperti : curah hujan, temperatur, penguapan, debit sungai dan lain sebagainya yang akan selalu berubah menurut waktu. Komponen data hidrologi dapat disusun dalam bentuk daftar atau tabel, Suwarno (1991).

Ilmu statistika telah umum untuk menyatakan komponen keterangan atau fakta dari suatu fenomena yang biasanya berbentuk angka yang disusun dalam tabel dan atau diagram. Dan sembarang nilai yang menjelaskan ciri susunan data disebut dengan parameter. Parameter yang digunakan dalam analisis susunan data dari sebuah variabel disebut dengan parameter statistik.

Dalam sistem hidrologi, ada waktu – waktu terjadinya kejadian ekstrim seperti hujan badai, banjir, dan kekeringan. Besarnya kejadian ekstrim berbanding terbalik dengan frekuensi kejadiannya. Bencana yang sangat parah cenderung jarang terjadi dibandingkan dengan bencana yang tidak terlalu parah. Tujuan

Analisis frekuensi adalah untuk mengetahui besarnya suatu kejadian dan frekuensi atau periode ulang kejadian tersebut dengan menggunakan distribusi probabilitas.

Analisis Data Outlier

Data *outlier* adalah data yang secara statistik menyimpang jauh dari kumpulan datanya. Uji data *outlier* gunanya untuk mencari data curah hujan yang ada, apakah ada data yang menyimpang jauh dari kumpulan datanya. Berikut ini adalah syarat untuk pengujian data *outlier* berdasarkan koefisien *skewness* ($C_{S_{\log}}$).

1. Jika $C_{S_{\log}} > 0,4$, maka : uji data *outlier* tinggi, koreksi data, uji data outlier rendah, koreksi data.
2. Jika $C_{S_{\log}} < -0,4$, maka : uji data *outlier* rendah, koreksi data, uji data *outlier* tinggi, koreksi data.
3. Jika $-0,4 \leq C_{S_{\log}} \leq 0,4$, maka : uji data *outlier* tinggi dan rendah, koreksi data. Rumus yang digunakan:

$$\overline{\log x} = \frac{\sum \log x}{n} \quad (2)$$

$$S_{\log} = \sqrt{\frac{\sum (\log x - \overline{\log x})^2}{n-1}} \quad (3)$$

$$C_{S_{\log}} = \frac{n}{(n-1)(n-2)S_{\log}^3} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 \quad (4)$$

•0

$$\text{utlier tinggi: } \text{Log } x_h = \overline{\log x} + Kn \cdot S_{\log} \quad (5)$$

•0

$$\text{utlier rendah: } \text{Log } x_l = \overline{\log x} - Kn \cdot S_{\log} \quad (6)$$

dengan:

$C_{S_{\log}}$ = Koefisien kemencengan dalam log.

S_{\log} = Simpangan baku.

- $\overline{\log x}$ = Nilai rata – rata.
- Kn = Nilai K (diambil dari *outlier test K value*) tergantung dari jumlah data yang dianalisis.
- $\text{Log } x_h$ = *Outlier* tinggi.
- $\text{Log } x_l$ = *Outlier* rendah.
- n = Jumlah data.

Nilai Kn dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

Untuk nilai Cs_{\log} lebih dari 0,4:

$$Kn = (-0,62201) + (6,28446 \times N^{1/4}) - (2,49835 \times N^{1/2}) + (0,491436 \times N^{3/4}) - (0,037911 \times N) \dots\dots\dots (7)$$

Untuk nilai Cs_{\log} kurang dari -0,4:

$$Kn = (-3,62201) + (6,28446 \times n^{1/4}) - (2,49835 \times n^{1/2}) + (0,491436 \times n^{3/4}) - (0,037911 \times n) \dots\dots\dots (8)$$

Parameter Statistik

Untuk menyelidiki susunan data kuantitatif dari sebuah variabel statistik, maka akan sangat membantu apabila kita mendefinisikan ukuran – ukuran numerik yang menjadi ciri data tersebut. Dalam statistik dikenal beberapa parameter yang berkaitan dengan analisis data (Soewarno). Parameter – parameter yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

a) Rata – rata Hitung (*Mean*)

Mean adalah harga rata-rata dari suatu variabel. Harga ini hanya dapat digunakan secara menguntungkan bila sampel terdiri dari sejumlah observasi yang tidak terlalu besar.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (9)$$

dengan:

\bar{X} = Nilai rata – rata.

n = Jumlah data.

X_i = Nilai varian.

b) Simpangan Baku (Standar Deviasi)

Standar deviasi atau simpangan baku adalah suatu nilai pengukuran dispersi terhadap data yang dikumpulkan. Untuk data yang kurang dari 100 digunakan rumus Fisher dan Wicks dalam menghitung standar deviasi.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (10)$$

dengan:

S = Standar deviasi.

\bar{X} = Nilai rata – rata.

n = Jumlah data.

X_i = Nilai varian.

c) Koefisien *Skewness* (Kemencengan).

Kemencengan (*Skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan dari suatu bentuk distribusi. Pengukuran kemencengan adalah mengukur seberapa besar suatu kurva frekuensi dari suatu distribusi tidak simetris atau menceng.

$$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2) \cdot s^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 \quad (11)$$

dengan:

C_s = Koefisien kemencengan.

S = Standar deviasi.

\bar{X} = Nilai rata – rata.

n = Jumlah data.

X_i = Nilai varian.

d) Koefisien Variasi

Koefisien variasi (*coefficient of variation*) adalah nilai perbandingan antara standar deviasi dengan nilai rata-rata hitung dari suatu distribusi. Semakin besar nilai variasi berarti datanya kurang merata, semakin kecil berarti data tersebut semakin merata.

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} \quad (12)$$

dengan:

C_v = Koefisien variasi.

S = Standar deviasi.

\bar{X} = Nilai rata – rata.

e) Koefisien Kurtosis.

Pengukuran kurtosis dimaksudkan untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal. Koefisien kurtosis digunakan untuk menentukan keruncingan kurva distribusi.

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3) \cdot S^4} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 \quad (13)$$

dengan:

C_k = Koefisien kurtosis.

S = Standar deviasi.

\bar{X} = Nilai rata – rata.

n = Jumlah data.

X_i = Nilai varian.

Distribusi Probabilitas

Analisis distribusi peluang adalah menentukan besaran variabel hidrologi pada periode ulang tertentu. Analisis curah hujan yang ada harus sesuai dengan tipe distribusi datanya. Metode-metode distribusi yang umumnya dipakai adalah :

a) Distribusi Normal

Distribusi normal atau kurva normal disebut juga distribusi Gauss. Persamaan distribusi normal:

$$X = \bar{X} + k \cdot S \quad (14)$$

dengan:

X = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan besaran peluang tertentu atau pada periode ulang tertentu.

\bar{X} = Nilai rata – rata hitung.

k = Karakteristik dari distribusi normal.

S = Standar deviasi.

b) Distribusi Log Normal

Distribusi log normal merupakan hasil transformasi dari distribusi normal, yaitu yang mengubah nilai varian X menjadi nilai logaritmik varian X . Persamaan transformasi distribusi log normal dua parameter adalah:

$$\log X = \overline{\log X} + k \cdot S_{\log} \quad (15)$$

dengan:

$\log X$ = Nilai varian X yang diharapkan terjadi pada peluang atau periode ulang tertentu.

$\overline{\log X}$ = Rata – rata nilai X hasil pengamatan.

k = Karakteristik dari distribusi log normal.

$S_{\log X}$ = Standar deviasi logaritmik nilai X hasil pengamatan.

c) Distribusi Gumbel

Tipe distribusi ini umumnya digunakan untuk analisis data maksimum.

Persamaan distribusi Gumbel tipe I:

$$X = \bar{X} + \frac{S}{S_n} (Y - Y_n) \quad (16)$$

dengan:

X = Nilai varian yang diharapkan terjadi.

\bar{X} = Nilai rata – rata hitung varian.

Y = Nilai reduksi varian dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode ulang tertentu.

Y_n = Nilai rata – rata dari reduksi varian, nilainya tergantung dari jumlah data (n).

S = Standar deviasi.

S_n = Standar deviasi dari reduksi varian, nilainya tergantung dari jumlah data (n).

d) Distribusi Log Pearson Tipe III

Bentuk distribusi log pearson tipe III merupakan hasil transformasi dari distribusi pearson tipe III dengan menggantikan varian menjadi nilai logaritmik.

Persamaan distribusi log Pearson Tipe III:

$$\log X = \overline{\log X} + K_{TR,CS} \cdot S_{\log X} \quad (17)$$

dengan:

$\log X$ = Nilai varian X yang diharapkan terjadi pada peluang atau

periode ulang tertentu.

$\overline{\log X}$ = Rata – rata nilai X hasil pengamatan.

$K_{TR,CS}$ = Karakteristik dari distribusi Log Pearson Tipe III.

$S_{\log X}$ = Standar deviasi logaritmik nilai X hasil pengamatan.

c. Pemilihan Tipe Distribusi

Setiap tipe distribusi memiliki sifat yang khas sehingga setiap data hidrologi harus diuji kesesuaiannya dengan sifat masing-masing tipe distribusi tersebut. Tipe distribusi yang sesuai dapat diketahui berdasarkan parameter-parameter statistik data pengamatan. Hal ini dilakukan dengan melakukan tinjauan terhadap syarat batas parameter statistik tiap distribusi dengan parameter data pengamatan.

Secara teoritis langkah awal penentuan tipe distribusi dapat dilihat dari parameter-parameter statistik data pengamatan lapangan. Parameter-parameter yang dilakukan adalah C_s, C_v , dan C_k . Kriteria pemilihan untuk tipe-tipe distribusi berdasarkan parameter statistik adalah sebagai berikut:

1. Distribusi Normal

$$C_s \approx 0 ; C_k \approx 3$$

2. Distribusi Log-Normal

$$C_s \approx C_v^3 + 3 C_v$$

$$C_k \approx C_v^8 + 6 C_v^6 + 15 C_v^4 + 16 C_v^2 + 3$$

3. Distribusi Gumbel

$$C_s \approx 1,14$$

$$C_k \approx 5,40$$

4. Bila Kriteria 3 (tiga) sebaran diatas tidak memenuhi, kemungkinan tipe sebaran yang cocok adalah Tipe Distribusi Log-Person III.

Hujan Efektif

The Soil Conservation Service (SCS, 1972, dalam Chow 1988) telah mengembangkan metode untuk menghitung hujan efektif dari hujan deras, dalam bentuk persamaan berikut:

$$P_e = \frac{(P-0,2 S)^2}{P+0,8 S} \quad (18)$$

Dengan:

P_e = Kedalaman hujan efektif (mm).

P = Kedalaman hujan (mm).

S = Retensi potensial maksimum air oleh tanah, yang sebagian besar adalah karena infiltrasi.

Persamaan (19) merupakan persamaan dasar untuk menghitung kedalaman hujan efektif. Retensi potensial maksimum mempunyai bentuk berikut:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (19)$$

Dengan CN adalah *Curve Number* yang merupakan fungsi dari karakteristik DAS seperti tipe tanah, tanaman penutup, tata guna lahan, kelembaman dan cara pengerjaan tanah. Berikut adalah Tabel Nilai CN untuk berbagai kebutuhan.

Tabel 2. Nilai CN untuk Beberapa Tata Guna Lahan

Jenis Tataguna tanah	Tipe Tanah			
	A	B	C	D
Tanah yang diolah dan ditanami				
- dengan konservasi	72	81	88	91
- tanpa konservasi	62	71	78	81
Padang rumput				
- kondisi jelek	68	79	86	89
- kondisi baik	39	61	74	80
Padang rumput: kondisi baik	30	58	71	78
Hutan - tanaman jarang, penutupan jelek	45	66	77	83
- penutupan baik	25	55	70	77
Tempat terbuka, halaman rumput, lapangan golf, kuburan, dsb				
- kondisi baik: rumput menutup 75% atau lebih luasan	39	61	74	80
- kondisi sedang: rumput menutup 50% - 75% luasan	49	69	79	84
Daerah perniagaan dan bisnis (85% kedap air)	89	92	94	95
Daerah industri (72% kedap air)	81	88	91	93
Pemukiman				
Luas % kedap air				
1/8 acre atau kurang 65	77	85	90	92
1/4 acre 38	61	75	83	87
1/3 acre 30	57	72	81	86
1/2 acre 25	54	70	80	85
1 acre 20	51	68	79	84
Tempat parkir, atap, jalan mobil (dihalaman)	98	98	98	98
Jalan				
- Perkerasan dengan drainasi	98	98	98	98
- kerikil	76	85	89	91
- tanah	72	82	87	89

Catatan 1 acre = 0,4047 ha

Sumber: "Bambang Triatmodjo; 2008"

Jenis tanah sangat berpengaruh terhadap nilai hujan efektif. Jenis tanah dibagi dalam empat kelompok yaitu:

- A : terdiri dari tanah dengan potensi limpasan rendah, mempunyai laju infiltrasi tinggi. Terutama untuk tanah pasir (*deep sand*) dengan *silty* dan *clay* sangat sedikit; Juga kerikil (*gravel*) yang sangat lulus air.
- B : terdiri dari tanah dengan potensi limpasan agak rendah, laju infiltrasi sedang. Tanah berbutir sedang (*sandy soils*) dengan laju meloloskan air sedang.
- C : terdiri dari tanah dengan potensi limpasan agak tinggi, laju infiltrasi lambat jika tanah tersebut sepenuhnya basah. Tanah berbutir sedang sampai halus (*clay* dan *coloids*) dengan laju meloloskan air lambat.
- D : terdiri dari tanah dengan potensi limpasan tinggi, mempunyai laju infiltrasi sangat lambat. Terutama tanah liat (*clay*) dengan daya kembang (*swelling*) tinggi, tanah dengan muka air tanah permanen tinggi, tanah dengan lapis lempung di dekat permukaan dan tanah yang dilapisi dengan bahan kedap air. Tanah ini mempunyai laju meloloskan air sangat lambat.

Tabel berikut memberikan klasifikasi tanah untuk berbagai jenis tanah, dalam tabel tersebut juga diberikan perkiraan laju infiltrasi minimumnya.

Tabel 3. Klasifikasi Tanah Secara Hidrologi Berdasar Tekstur Tanah

Tekstur tanah	Laju Infiltrasi Minimum (fc)(mm/jam)	Pengelompokan Tanah Secara Hidrologi
Sand	210	A
Loamy Sand	61	A
Sandy loam	26	B
Loam	13	B
Silty loam	6,9	C
Sandy clay loam	4,3	C
Silty clay loam	2,3	D
Clay loam	1,5	D
Sandy clay	1,3	D
Silty clay	1,0	D
Clay	0,5	D

Sumber: "Bambang Triatmodjo; 2008"

2.3 Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana adalah debit maksimum pada suatu sungai dengan periode ulang tertentu. Data yang dibutuhkan untuk menentukan debit banjir rencana antara lain data curah hujan, luas *catchment area* dan data penutup lahan. Debit banjir rencana biasa didapatkan dengan beberapa metode antara lain:

1. Metode Analisis Probabilitas Frekuensi Banjir. Metode ini digunakan apabila data debit yang tersedia cukup panjang (> 20 tahun) sehingga analisisnya dapat dilakukan dengan distribusi probabilitas.
2. Metode Rasional $Q = C.I.A$. Metode ini digunakan jika data aliran sungai tidak mencukupi, sehingga data curah hujan dipakai dalam rumus tersebut. Metode ini lebih cocok untuk DAS yang kecil.
3. Metode Analisis Regional. Metode ini dapat digunakan apabila data debit yang tersedia berada di antara 10 – 20 tahun. Data debit dapat diambil dari berbagai daerah pengaliran yang ada tetapi masih dalam satu regional.
4. Metode Puncak Banjir di Atas Ambang. Metode ini digunakan apabila data debit yang tersedia di antara 3 – 10 tahun. Metode ini berdasarkan pengambilan puncak banjir dalam selang satu tahun di atas ambang tertentu dan hanya cocok untuk data yang didapat dari pos duga air otomatis.
5. Metode Empiris. Rumus – rumus ini digunakan dengan mendasarkan ketentuan – ketentuannya pada hasil pengamatan. Rumus – rumus empiris yang sudah dipakai antara lain adalah Hidrograf Satuan.
6. Metode Analisis Regresi. Metode ini menggunakan persamaan – persamaan yang dihasilkan *Institute of Hydrology (IoH)* dan Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan dengan data hujan dan karakteristik daerah

pengaliran sungai (DPS), selanjutnya untuk banjir dengan periode ulang tertentu digunakan lengkung analisis regional.

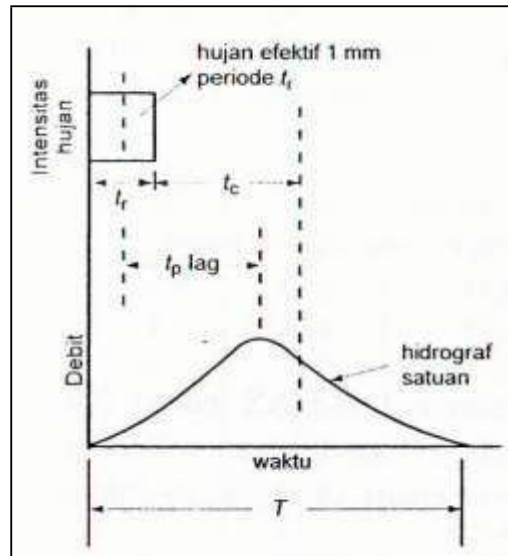
Dalam penelitian ini akan digunakan metode empiris yaitu hidrograf satuan untuk menghitung besarnya debit banjir dengan bantuan program komputer HEC-HMS.

Hidrograf Satuan

Hidrograf adalah penyajian antara salah satu unsur aliran dengan waktu. Teori klasik hidrograf satuan (*unit hydrograph*) pertama kali diperkenalkan oleh L.K. Sherman (1932). Ada beberapa macam hidrograf yang menunjukkan tanggapan menyeluruh DAS terhadap masukan tertentu. Sesuai dengan sifat dan perilaku DAS yang bersangkutan, hidrograf aliran selalu berubah sesuai dengan besaran dan waktu terjadinya.

1. Hidrograf muka air (*stage hydrograph*), yaitu hubungan antara perubahan tinggi muka air dengan waktu.
2. Hidrograf debit (*discharge hydrograph*), yaitu hubungan antara debit dengan waktu. Hidrograf debit ini sering disebut sebagai hidrograf.
3. Hidrograf sedimen (*sediment hydrograph*), yaitu hubungan antara kandungan sedimen dengan waktu.

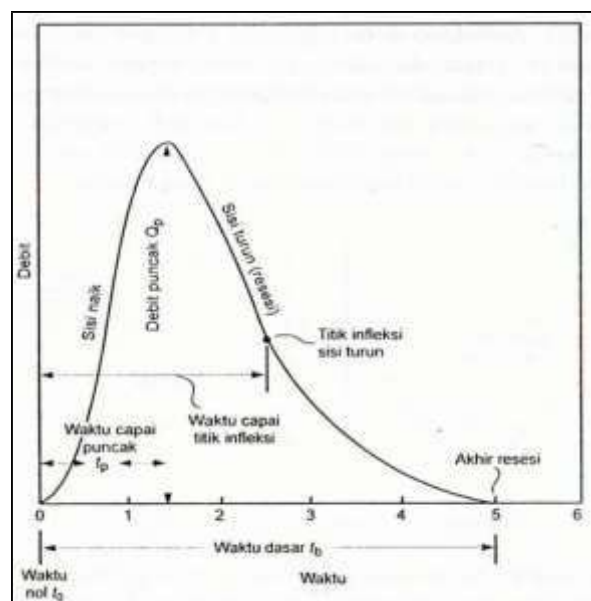
Seperti yang disebutkan sebelumnya, hidrograf aliran sungai selalu berubah tergantung sifat masukannya. Hal tersebut terjadi karena sistem DAS yang sebenarnya adalah *nonlinear time invariant*. Akan tetapi dengan andaian DAS sebagai sistem yang *linear time invariant* pengalihragaman hujan menjadi aliran menjadi lebih sederhana yaitu masukan yang terjadi setiap saat akan mengakibatkan aliran yang sama. Dengan demikian, suatu DAS tertentu mempunyai tanggapan yang khas terhadap masukan dengan besaran tertentu.



Sumber: "Bambang Triatmodjo; 2008".

Gambar 7. Hidrograf Satuan

Hidrograf terdiri dari tiga bagian yaitu sisi naik (*rising limb*), puncak (*crest*), dan sisi turun (*recession limb*). Bentuk hidrograf dapat ditandai dengan 3 sifat pokoknya yaitu waktu puncak (*time of rise*), debit puncak (*peak discharge*), dan waktu dasar (*base time*). Dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Sumber: "Bambang Triatmodjo; 2008".

Gambar 8. Hidrograf Debit

Waktu naik (TR) adalah waktu yang diukur dari saat hidrograf mulai naik sampai waktu terjadinya debit puncak. Debit puncak adalah debit maksimum yang terjadi dalam kasus tertentu. Waktu dasar (TB) adalah waktu yang diukur dari saat hidrograf mulai naik sampai waktu dimana debit kembali pada suatu besaran yang ditetapkan.

Untuk memperoleh hidrograf satuan dari suatu kasus banjir, maka diperlukan data sebagai berikut: rekaman AWLR, pengukuran debit yang cukup, data hujan biasa (manual), dan data hujan otomatis.

Hidrograf Satuan Sintetis

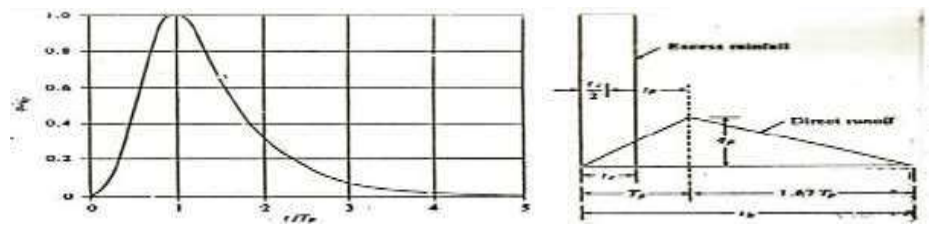
Seperti disebutkan sebelumnya, untuk menghitung hidrograf satuan diperlukan data debit terukur dan data hujan yang cukup untuk memodelkan hidrograf satuan dari suatu DAS. Namun pada praktiknya penerapan hidrograf satuan masih terbatas pada DAS yang relatif kecil dan tidak efektif bagi daerah dengan data hujan dan debit yang tidak lengkap.

Konsep Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) dikembangkan untuk menurunkan hidrograf satuan suatu DAS dengan cara sintetis. Konsep Hidrograf Satuan Sintetis didasarkan pada karakteristik fisik dari DAS. Parameter – parameter yang umum dipakai dalam perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis antara lain: Luas DAS, Panjang sungai, Kelandaian DAS, jumlah pertemuan sungai, kerapatan jaringan dan orde sungai. Terdapat beberapa model Hidrograf Satuan Sintetis yaitu HSS SCS, HSS Snyder, HSS Nakayasu, HSS Gama – 1, HSS Limantara.

a. Hidrograf Satuan Sintetis Soil Conservation Services (SCS)

Hidrograf tidak berdimensi SCS (*Soil Conservation Services*) adalah hidrograf satuan sintetis dimana debit dinyatakan sebagai nisbah debit q terhadap debit puncak q_p waktu dalam nisbah waktu t terhadap waktu naik dari hidrograf satuan T_p

Jika debit puncak dan waktu keterlambatan dari suatu durasi hujan efektif (*lag time*) diketahui, maka hidrograf satuan dapat diestimasi dari UH sintetis SCS.



Sumber : “Sumarauw Jeffry; 2013”.

Gambar 9. Grafik Unit Hidrograf SCS Tak Berdimensi

Tabel 4. Unit Hidrograf SCS Tak Berdimensi

TABLE SCS DIMENSIONLESS UNIT HYDROGRAPH ORDINATES									
t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p
0.0	0.00								
0.2	0.10	1.2	0.93	2.2	0.207	3.2	0.040	4.2	0.0100
0.4	0.31	1.4	0.78	2.4	0.147	3.4	0.029	4.4	0.0070
0.6	0.66	1.6	0.56	2.6	0.107	3.6	0.021	4.6	0.0030
0.8	0.93	1.8	0.39	2.8	0.077	3.8	0.015	4.8	0.0015
1.0	1.00	2.0	0.28	3.0	0.055	4.0	0.011	5.0	0.0000

Parameter – parameter SCS :

$$T_1 = \frac{L^{0.8} (2540 - 22,86 CN)^{0.7}}{14,104 CN \times S^{0.5}} \quad \text{Untuk luas DAS} < 16 \text{ km}^2 \quad (21)$$

$$T_1 = 0,6 T_c \quad \text{Untuk luas DAS} \geq 16 \quad (22)$$

$$T_p = \frac{T_r}{2} + T_1 \quad (23)$$

$$Q_p = \frac{2,08 \times A}{T_p} \quad (24)$$

$$T_b = \frac{8}{3} T_p \quad \text{Untuk luas DAS} < 2 \text{ km}^2 \quad (25)$$

$$T_b = 5 \frac{8}{d} 20 T_p \quad (26)$$

Menghitung Time of Concentration (T_c) :

$$T_c = \frac{0.606 (L.N)^{0.467}}{S^{0.234}}$$

- T_c = Waktu konsentrasi (jam).
 L = Panjang sungai utama terhadap titik kontrol yang ditinjau (km).
 s = Kemiringan lahan antara elevasi maksimum dan minimum (m/m)
 N = Koefisien kekasaran lahan.

Tabel 5. Koefisien kekasaran Inahan HSS SCS

Tata Guna Lahan	N
Kedap Air	0,02
Timbunan Tanah	0,1
Tanaman Pangan/Tegalan Dengan Sedikit Rumput	0,2
Padang Rumput	0,4
Tanah Gundul yang Kasar Dengan Runtuhan Dedaunan	0,6
Hutan dan Sejumlah Semak Belukar	0,8

Sumber : "Sumarauw Jeffry; 2017".

2.4 Analisis Hidraulika

Klasifikasi Aliran

Berdasarkan fungsi waktu, aliran dapat dibedakan menjadi:

- Aliran permanen (*steady flow*) apabila kedalaman aliran tidak berubah atau konstan sepanjang waktu tertentu.
- Aliran tidak permanen (*unsteady flow*) apabila kedalaman aliran berubah sepanjang waktu tertentu

Berdasarkan fungsi ruang, aliran dapat dibedakan menjadi:

- Aliran Seragam (*uniform flow*) apabila kedalaman aliran pada setiap penampang saluran adalah sama.
- Aliran tidak seragam (*varied flow*) apabila kedalaman aliran berubah sepanjang saluran. Aliran ini dapat berupa "*gradually varied flow*" atau

“*rapidly varied flow*”. Aliran dapat dikatakan sebagai “*rapidly varied flow*” apabila kedalaman air berubah secara cepat pada jarak yang relatif pendek.

Aliran Langgeng (*Steady Flow*)

Aliran dikatakan langgeng (*steady*) jika kecepatan tidak berubah selama selang waktu tertentu. Aliran alami umumnya bersifat tidak tetap, ini disebabkan karena bentuk geometris hidroliknya saluran, sungai – sungai di lapangan tidak teratur, adanya tanaman pada tebing saluran, adanya bangunan air, perubahan dasar saluran, dan lainnya. Komponen pada model ini digunakan untuk menghitung profil muka air pada kondisi aliran langgeng (*steady*). Komponen pada *steady flow* dapat memodelkan profil muka air pada kondisi aliran subkritis, superkritis dan sistem gabungan.

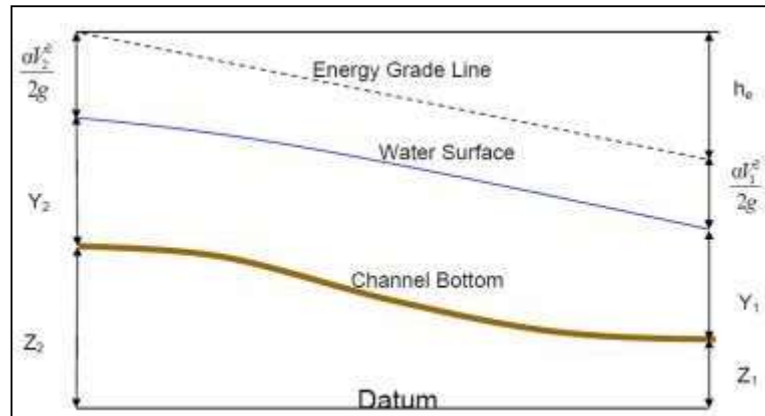
Persamaan Dasar untuk Perhitungan Profil Aliran

Dalam ilmu hidraulika dasar, diketahui bahwa jumlah energi yang melalui suatu penampang saluran dapat dinyatakan sebagai tinggi air, yang setara dengan jumlah dari ketinggian di atas suatu bidang persamaan, tinggi tekanan dan tinggi kecepatan. Profil permukaan air dihitung dari satu titik temu menuju titik temu berikut dengan memecahkan persamaan energi yang dinamakan metode standar. Persamaan energi ditulis sebagai berikut:

$$z_1 + y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_e \quad (27)$$

dengan:

- z_1, z_2 = Beda tinggi dasar saluran terhadap bidang persamaan.
- y_1, y_2 = Tinggi muka air dari dasar saluran.
- α_1, α_2 = Koefisien koreksi pembagian kecepatan.
- V_1^2, V_2^2 = Kecepatan aliran rata – rata.
- h_e = Kehilangan energi.



Sumber: "US Army Corps Of Engineers;2016".

Gambar 10. Komponen Dalam Persamaan Energi

Kehilangan energi di antara 2 penampang melintang disebabkan oleh gesekan dan perubahan lebar saluran. Kehilangan energi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$h_e = L \times S_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (28)$$

dengan:

- L = Panjang jangkauan aliran yang diukur.
- S_f = Kemiringan garis energi di antara 2 penampang melintang.
- C = Koefisien perubahan lebar saluran.

Panjang jangkauan aliran yang diukur L dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$L = \frac{L_{lob} \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \quad (29)$$

dengan:

- L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} = Panjang saluran pada bagian kiri saluran, saluran utama dan bagian kanan saluran.
- $\bar{Q}_{lob}, \bar{Q}_{ch}, \bar{Q}_{rob}$ = Debit rata – rata pada bagian kiri saluran, saluran utama dan bagian kanan saluran.

Pembagian Penampang Melintang untuk Perhitungan *Conveyance*

Total *Conveyance* dan koefisien kecepatan untuk penampang melintang mengharuskan penampang melintang dibagi menjadi bagian – bagian dimana kecepatan tersalurkan secara seragam. Pendekatan dalam program komputer HEC-RAS adalah dengan membagi aliran pada daerah bantaran sungai dengan input nilai *n Manning* di titik pembagian (lokasi dimana nilai *n* berubah) sebagai dasar pembagian. *Conveyance* dihitung dalam masing – masing bagian mengikuti persamaan *Manning*:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (30)$$

Dengan persamaan debit menjadi:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2} \quad (31)$$

Nilai *Conveyance* untuk tiap bagian merupakan persamaan berikut:

$$K = \frac{1}{n} A R^{2/3} \quad (32)$$

Karena penampang sungai memiliki kedalaman yang bervariasi dengan tinggi muka air yang cenderung tetap, maka dalam program komputer HEC-RAS aliran dianggap tak seragam dengan kemiringan yang digunakan dalam perhitungan adalah kemiringan energi (S_f). Sehingga, persamaan debit pada tiap

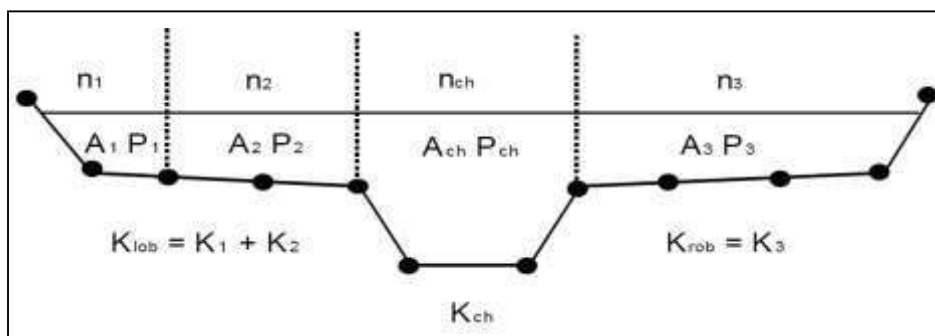
bagian menjadi:

$$Q = K S_f^{1/2} \quad (33)$$

dimana:

- K** = Nilai *Conveyance* pada bagian aliran yang dihitung.
- n** = Nilai kekasaran *Manning* untuk bagian aliran yang dihitung.
- A** = Luas penampang melintang untuk bagian aliran yang dihitung.
- R** = Jari – jari hidrolis untuk bagian aliran yang dihitung.
- S_f** = Kemiringan energi.
- V** = Kecepatan aliran.

Program ini menjumlahkan seluruh nilai *conveyance* pada bantaran sungai untuk mendapatkan nilai *conveyance* untuk bantaran kiri sungai dan bantaran kanan sungai. Nilai *conveyance* untuk saluran utama secara normal dihitung sebagai elemen *conveyance* tunggal. Total nilai *conveyance* untuk penampang melintang didapat dengan menjumlahkan ketiga nilai *conveyance* (bantaran kiri, saluran utama dan bantaran kanan).



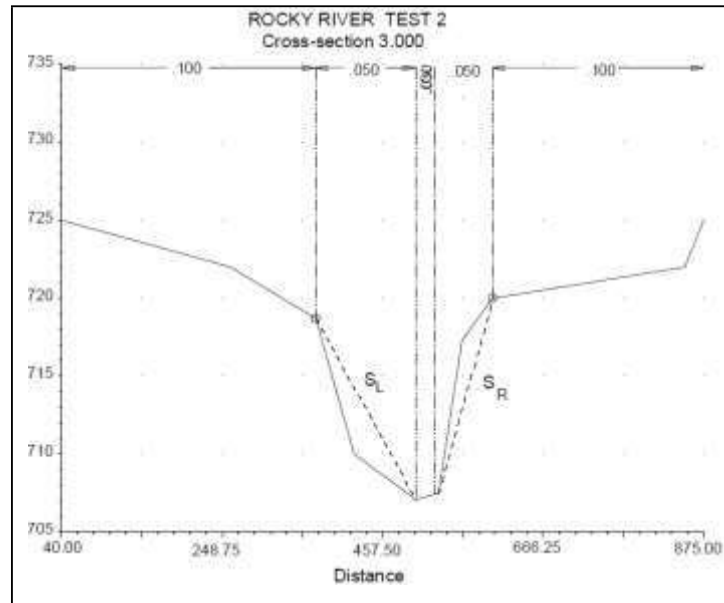
Sumber: "US Army Corps Of Engineers;2016".

Gambar 11. Standar Pembagian Conveyance pada HEC-RAS

Nilai *n* Manning Komposit untuk Saluran Utama

Aliran dalam saluran utama tidak dibagi – bagi, kecuali koefisien kekasaran berubah dalam daerah saluran. Program HEC-RAS menguji penerapan pembagian kekasaran dalam penampang saluran utama, dan jika tidak dapat diterapkan, maka program akan menghitung nilai *n* tunggal untuk seluruh saluran utama.

Program akan menentukan apabila saluran utama dapat dibagi – bagi, atau akan digunakan nilai *n* komposit untuk saluran utama berdasarkan kriteria berikut: Jika sisi miring saluran utama lebih curam dari 5H:1V dan saluran utama mempunyai lebih dari 1 nilai *n*, kekasaran komposit akan dihitung.



Sumber: "US Army Corps Of Engineers;2016".

Gambar 12. Penentuan kemiringan bantaran untuk nilai Manning Komposit

Untuk penentuan nilai n_c , saluran utama dibagi menjadi n bagian, masing – masing dengan keliling basah yang diketahui (P_i) dan koefisien kekasaran (n_i).

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^n P_i n_i^{1.48}}{P} \right]^{2/3} \quad (34)$$

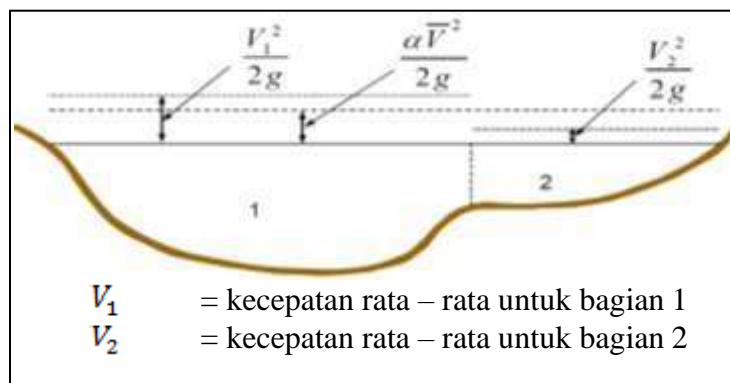
dimana:

- n_c = Koefisien kekasaran komposit atau ekuivalen.
- P = Keliling basah saluran utama.
- P_i = Keliling basah bagian ke- i saluran utama.
- n_i = Koefisien kekasaran bagian ke- i saluran utama.

Tinggi Energi Kinetik Rata - Rata

Dalam pemodelan aliran 1 dimensi, hanya ada muka air tunggal dan tinggi energi rata – rata dihitung pada masing – masing penampang melintang. Untuk suatu elevasi muka air, energi rata – rata diperoleh dari perhitungan energi

yang terpusat pada aliran dari 3 bagian penampang melintang (bantaran kiri, saluran utama, dan bantaran kanan). Gambar 13 menunjukkan bagaimana memperoleh energi rata – rata untuk sebuah penampang melintang yang terdiri dari saluran utama dan bantaran kanan (tanpa bantaran kiri).



Sumber: “US Army Corps Of Engineers;2016”.

Gambar 13. Contoh bagaimana memperoleh energi rata - rata

Nilai α perlu untuk diketahui agar dapat menghitung energi kinetik rata – rata. Nilai α dihitung dengan rumus:

$$\alpha = \frac{[Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_N V_N^2]}{Q \bar{V}^2} \quad (35)$$

Koefisien kecepatan α dihitung berdasarkan *conveyance* pada ketiga bagian aliran: bantaran kiri, bantaran kanan dan saluran utama. Persamaan dapat juga ditulis dengan istilah dalam *conveyance* dan daerah seperti pada rumus berikut:

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[\frac{K_{lob}^3}{A_{lob}^2} + \frac{K_{ch}^3}{A_{ch}^2} + \frac{K_{rob}^3}{A_{rob}^2} \right]}{K_t^3} \quad (36)$$

dimana:

- A_t = Luas total penampang melintang.
 A_{lob}, A_{ch}, A_{rob} = Luas penampang melintang pada bantaran kiri, saluran utama, dan bantaran kanan.
 K_t = Nilai *conveyance* total pada penampang melintang.

K_{lob}, K_{ch}, K_{rob} = Nilai *conveyance* pada bantaran kiri, saluran utama dan bantaran kanan.

Evaluasi Kehilangan Kontraksi dan Ekspansi

Kehilangan kontraksi dan ekspansi dalam program komputer HEC-RAS dievaluasi dengan persamaan sebagai berikut:

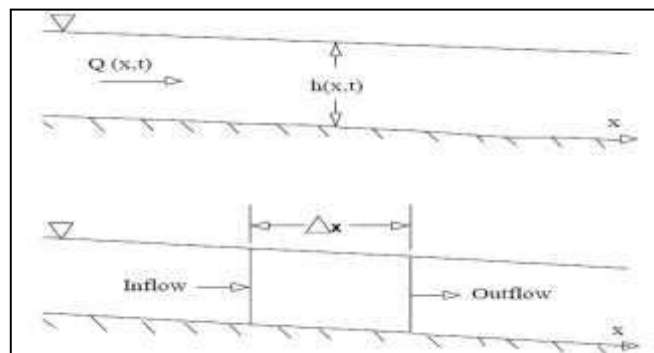
$$h_{ce} = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right| \quad (37)$$

Dimana C = koefisien kontraksi atau ekspansi

Program mengasumsikan kontraksi terjadi ketika tinggi kecepatan di daerah hilir lebih besar dari tinggi kecepatan daerah hulu. Sebaliknya, ketika tinggi kecepatan di hulu lebih besar dari tinggi kecepatan di hilir, program mengasumsikan ekspansi aliran terjadi.

Persamaan Kontinuitas

Pada gambar 12, ruang tilik adalah jarak x yang di ukur sepanjang saluran (seperti pada gambar). Pada titik tengah dari volume, kontrol aliran dan luas total aliran dinotasikan $Q_{(x,t)}$ dan A_t . Luas total aliran jumlah luas aliran pada saluran (A) dan luas tampungan di luar saluran (S).



Sumber: "US Army Corps Of Engineers;2016".

Gambar14. Volume Kontrol Dasar untuk Penurunan Persamaan Kontinuitas dan Momentum

Konservasi massa untuk volume kontrol menyatakan bahwa “total laju aliran ke dalam volume akan sama dengan laju perubahan tampungan di dalam volume”.

Laju aliran masuk (*inflow*) ke volume kontrol dapat ditulis sebagai berikut:

$$Q - \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \quad (38)$$

Laju aliran keluar (*outflow*) menjadi:

$$Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \quad (39)$$

Laju perubahan debit aliran terhadap jarak dalam tampungan adalah:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} \quad (40)$$

Perubahan debit yang masuk ke ruang tilik dalam waktu Δt adalah $-\frac{\partial Q}{\partial x} \Delta x \Delta t$,

dan perubahan simpanan air dalam ruang tilik dalam waktu Δt adalah $T \frac{\partial y}{\partial t} \Delta x \Delta t$.

Dengan melihat prinsip kekekalan massa untuk air, yaitu volume yang masuk ruang tilik – volume yang keluar ruang tilik = volume yang tinggal di dalam ruang tilik, maka:

$$-\frac{\partial Q}{\partial x} \Delta x \Delta t + q \Delta x \Delta t = T \frac{\partial y}{\partial t} \Delta x \Delta t \quad (41)$$

atau

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + T \frac{\partial y}{\partial t} = q \quad (42)$$

atau

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (43)$$

dimana:

A = Luas penampang melintang aliran.

Q = Debit aliran.

q = Debit limpasan samping (*lateral inflow*) persatuan panjang saluran.

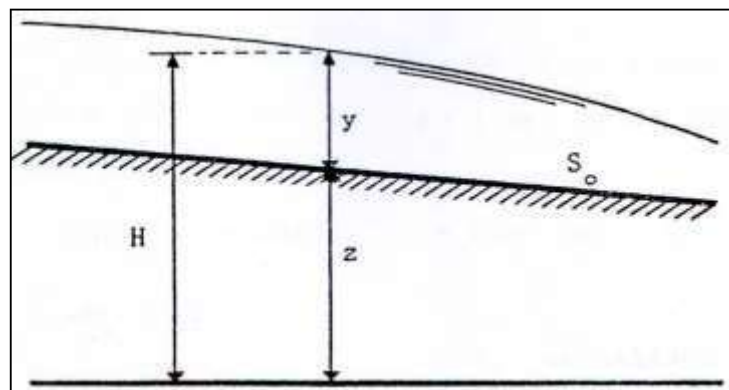
Dengan menggunakan $Q = V \cdot A$, persamaan dapat juga ditulis :

$$\frac{\partial(VA)}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (44)$$

atau

$$V \frac{\partial A}{\partial x} + A \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (45)$$

Gambar 13 memperlihatkan hubungan antara kedalaman air dan taraf muka air terhadap bidang acuan.



Sumber: "Tanudjaja Lambertus; 1991"

Gambar 15. Hubungan Antara Kedalaman Air dan Taraf Muka Air Terhadap Bidang Acuan

Hubungan tersebut adalah:

$$y = H - z \quad (46)$$

dimana:

H = Tinggi muka air.

z = Tinggi dasar saluran terhadap bidang acuan.

Dari persamaan 42 diperoleh:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial H}{\partial t} \quad (47)$$

Untuk aliran langgeng, perubahan debit yang masuk ke dalam ruang tilik sama dengan nol.

Program

HEC-HMS

Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) merupakan perangkat lunak yang dirancang untuk mensimulasikan proses hujan-aliran/limpasan (*rainfall-runoff*) pada suatu sistem tangkapan hujan atau daerah aliran sungai (DAS). HEC-HMS dapat diterapkan secara luas untuk berbagai permasalahan diantaranya adalah ketersediaan air dan banjir di perkotaan maupun DAS alami. Hidrograf yang dihasilkan dari program ini dapat digunakan untuk studi ketersediaan air, drainase perkotaan, peramalan aliran, pengaruh urbanisasi, perancangan pelimpah bendungan, mitigasi dampak banjir, pengelolaan daerah genangan, hidrologi lahan basah, dan operasi sistem seperti waduk, dsb.

HEC-RAS

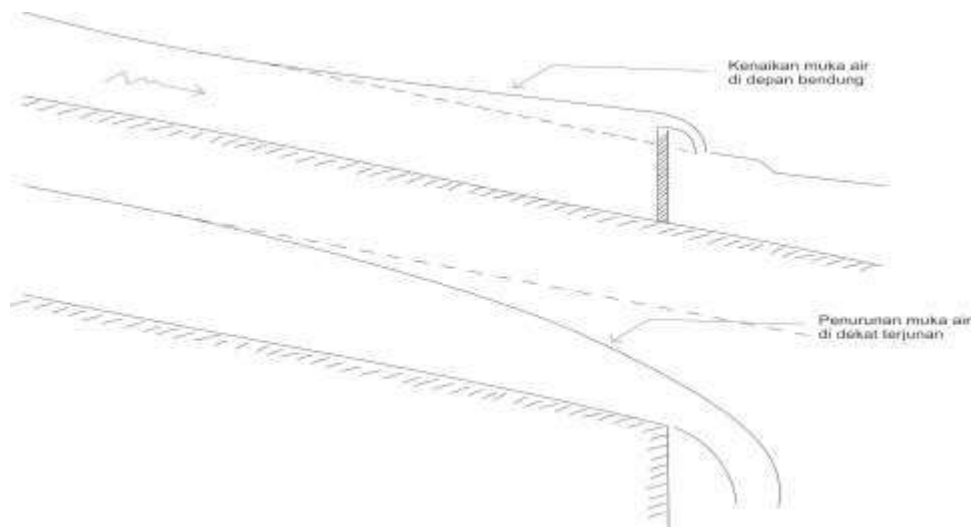
Aplikasi HEC-RAS ini menitik beratkan pada analisa Hidraulika pada sebuah Sungai / *River Analysis Sistem*. Analisis yang dilakukan oleh HEC-RAS adalah analisis Aliran *Steady*, *Unsteady* dan *Sediment Transport*. Hasil *running* HEC-RAS adalah sebuah hasil analysis hidraulika yang dapat kita lihat, yaitu berupa sebuah gambar profil melintang dan memanjang sungai. Tidak hanya gambar, output yang dihasilkan juga dapat berupa tabel tabel data.

2.5 Aliran Berubah Lambat Laun

Aliran berubah lambat laun dalam keadaan langsung (*gradually varied steady flow*) memiliki ciri-ciri sebagai berikut :

- Aliran langsung
- Garis arus praktis sejajar (pembagian tekanan adalah hidrostatik).
- Perubahan taraf muka air secara berangsur-angsur.

Contoh :



Sumber: Sumber: "Tanudjaja Lambertus; 2016"

Gambar 16. Garis kemiringan energi pada aliran berubah lambat laun

⇒⇒ Garis kemiringan energi (S_f) tidak sama/sejajar garis permukaan air (S_w), dan tidak sama/sejajar datar saluran (S_o)

$$S_f \neq S_w \neq S_o$$

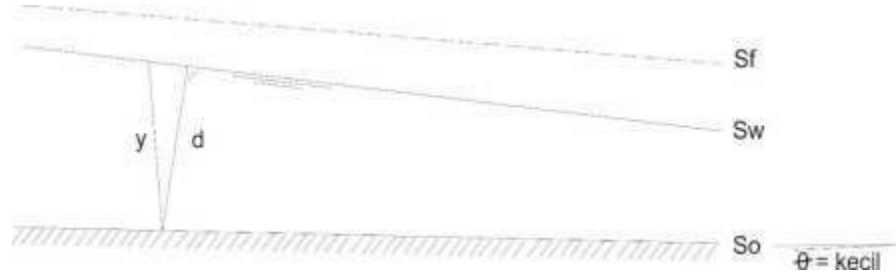
Asumsi dasar :

1. Kehilangan tinggi energi pada suatu penampang, sama dengan kehilangan pada aliran seragam, pada kecepatan dan jari-jari hidrolis penampang yang sama.

→ Rumus aliran seragam dapat dipakai untuk aliran berubah lambat laun :

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S f^{\frac{1}{2}} \rightarrow S f = \frac{n^2 v^2}{R^{\frac{4}{3}}} \quad (48)$$

2. Kemiringan dasar saluran cukup kecil.



Sumber: "Ven Te chow; 1989"

Gambar 17. Kemiringan dasar saluran

$\theta = \text{kecil}$

- $d \approx y$
- $\text{Cos } \theta \approx 1,0$
- Tidak terjadi pemasukan udara.

3. Distribusi kecepatan di penampang saluran tetap.

→ Koefisien distribusi kecepatan (α & β) = tetap.

4. Daya angkut (hantaran) K dan faktor penampang Z (merupakan fungsi eksponen terhadap kedalaman aliran).

$$Z^2 = C_1 \cdot y^m \quad (49)$$

$$K^2 = C_2 \cdot y^n \quad (50)$$

5. Koefisien kekasaran n , tidak tergantung pada kedalaman aliran dan tetap sepanjang bagian saluran yang ditinjau.

Klasifikasi Profil Aliran Berubah Lambat Laun

Kemiringan dasar saluran terdiri dari $S_o > 0$, $S_o = 0$, $S_o < 0$. Untuk $S_o > 0$ bisa terjadi $S_o < S_c$, $S_o = S_c$, ataupun $S_o > S_c$. Untuk setiap kemiringan saluran diberi notasi yang mudah diingat, yaitu :

H	untuk dasar saluran mendatar	$\rightarrow S_o = 0$
M	untuk dasar saluran landai (subkritis)	$\rightarrow S_o > 0 ; S_o < S_c$
C	untuk dasar saluran kritis	$\rightarrow S_o > 0 ; S_o = S_c$
S	untuk dasar saluran terjal	$\rightarrow S_o > 0 ; S_o > S_c$
A	untuk dasar saluran menanjak	$\rightarrow S_o < 0$

Secara umum, ruang di saluran dapat dibagi menjadi 3 daerah dengan adanya grafis kedalaman normal dan garis kedalaman kritis.

- Daerah 1 \rightarrow ruang diatas garis atas
- Daerah 2 \rightarrow ruang daintara garis atas dan garis bawah
- Daerah 3 \rightarrow ruang dibawah garis bawah

Bila $y_o > y_c$, sebagai garis atas adalah garis kedalaman normal, dan garis bawah adalah garis kedalaman kritis.

Bila $y_c > y_o$, sebagai garis atas adalah garis kedalaman kritis, dan garis bawah adalah garis kedalaman normal.

Tabel 6. Jenis Profil Aliran Berubah Lambat Laun

Kemiringan dasar saluran	Notasi tipe aliran dengan lokasi terjadinya			Hubungan y, y_0, y_c			Lengkung muka air	Jenis aliran (Subkritis, kritis, superkritis)
	Zona-1	Zona-2	Zona-3	Zona-1	Zona-2	Zona-3		
Mendatar (horizontal) $S_0 = 0$	NIHIL			$y > y_0 > y_c$			-	-
		H2		$y_0 > y > y_c$			Surut muka air	Subkritis
			H3	$y_0 > y_c > y$			Air balik	Superkritis
Lantai (mild) $0 < S_0 < S_c$	M1			$y > y_0 > y_c$			Air balik	Subkritis
		M2		$y_0 > y > y_c$			Surut muka air	Subkritis
			M3	$y_0 > y_c > y$			Air balik	Superkritis
Kritis (critical) $S_0 = S_c > 0$	C1			$y > y_0 = y_c$			Air balik	Subkritis
		C2		$y_0 = y = y_c$			-	Kritis
			C3	$y_0 = y_c > y$			Air balik	Superkritis
Terjal (steep) $S_0 > S_c > 0$	S1			$y > y_c > y_0$			Air balik	Subkritis
		S2		$y_c > y > y_0$			Surut muka air	Superkritis
			S3	$y_c > y_0 > y$			Air balik	Superkritis
Menanjak (adverse) $S_0 < 0$	NIHIL			$y > y_0^* > y_c$			-	-
		A2		$y_0^* > y > y_c$			Surut muka air	Subkritis
			A3	$y_0 > y_c > y$			Air balik	Superkritis

y_0^* → dianggap bernilai positif

Metode Perhitungan Profil Aliran Berubah Lambat Laun

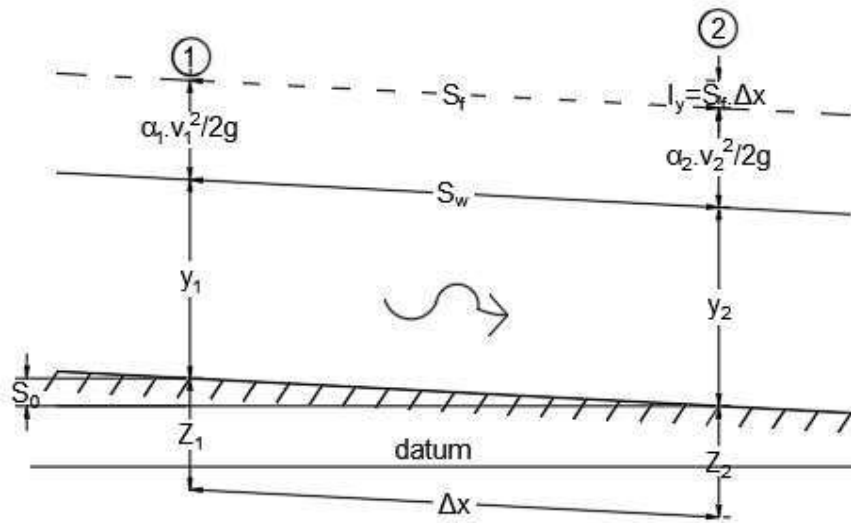
Metode perhitungan profil aliran berubah lambat laun dibagi atas tiga kelompok metode, yaitu :

- A. Metode-metode grafis ; antara lain :
 - Metode Integrasi Grafis
 - Metode Esra
 - Metode debit-penurunan tinggi
- B. Metode Integrasi Langsung
- C. Metode-Metode Numerik
 1. Simple numerical methods ; antara lain :
 - Metode tahapan langsung
 - Metode tahapan standar
 2. *Advanced numerical methods* ; antara lain :
 - *Standard fourth order Runge-Kutta method*
 - *Kutta-Merson method*
 - *Trapezoidal method*

Perhitungan profil aliran berubah lambat laun pada dasarnya merupakan penyelesaian terhadap persamaan diferensial dari aliran berubah lambat laun.

a. Metode Tahapan Langsung

Secara umum saluran dibagi-bagi menjadi bagian-bagian yang pendek, lalu secara bertahap dilakukan perhitungan dari satu ujung ke ujung saluran lainnya. Ada berbagai jenis metode tahapan ini dan tidak ada suatu metode yang dianggap paling baik untuk menyelesaikan segala masalah.



Sumber: "Ven Te chow; 1989"

Gambar 18. Bagian saluran untuk menurunkan metode tahapan

$$z_1 + y_1 + \alpha_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \alpha_2 \cdot \frac{v_2^2}{2g} + hf \quad (51)$$

$$z_1 + E_1 = z_2 + E_2 + hf \quad (52)$$

$$E_2 - E_1 = hf - (z_1 - z_2) \quad (53)$$

Dengan :

$$z_1 - z_2 = S_0 \cdot \Delta x \quad (54)$$

$$hf = S_f \cdot \Delta x \quad (55)$$

$$\Delta E = E_2 - E_1 = (S_f - S_0) \Delta x \quad (56)$$

$$\Delta x = \frac{\Delta E}{S_f - S_0} \quad (57)$$

Di mana :

$$\Delta E = E_2 - E_1 \quad (58)$$

$$E = \alpha \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (59)$$

$$S_f = \frac{n^2 \cdot v^2}{R^{4/3}} \quad (60)$$

b. Metode Tahapan Standart

Perhitungan dilakukan tahap demi tahap dari suatu pos pengamat ke pos berikutnya yang sifat-sifat hidrolisnya telah ditetapkan. Dalam metode ini jarak setiap pos diketahui dan dilakukan penentuan kedalaman aliran ditiap pos. Cara semacam ini biasanya dibuat berdasarkan perhitungan coba-coba.

Elevasi muka air :

$$Z_2 = y_2 + z_2 \quad (61)$$

$$Z_1 = y_1 + z_1 = y_1 + z_2 + S_o \cdot \Delta X \quad (62)$$

Kehilangan Tekanan :

$$h_f = S_f \cdot \Delta X = \frac{1}{2} (S_{f1} + S_{f2}) \cdot \Delta X \quad (63)$$

Tinggi tekanan :

$$H_2 = Z_2 + \alpha_2 \left(\frac{v_2^2}{2g} \right) \quad (64)$$

$$H_1 = Z_1 + \alpha_1 \left(\frac{v_1^2}{2g} \right) \quad (65)$$

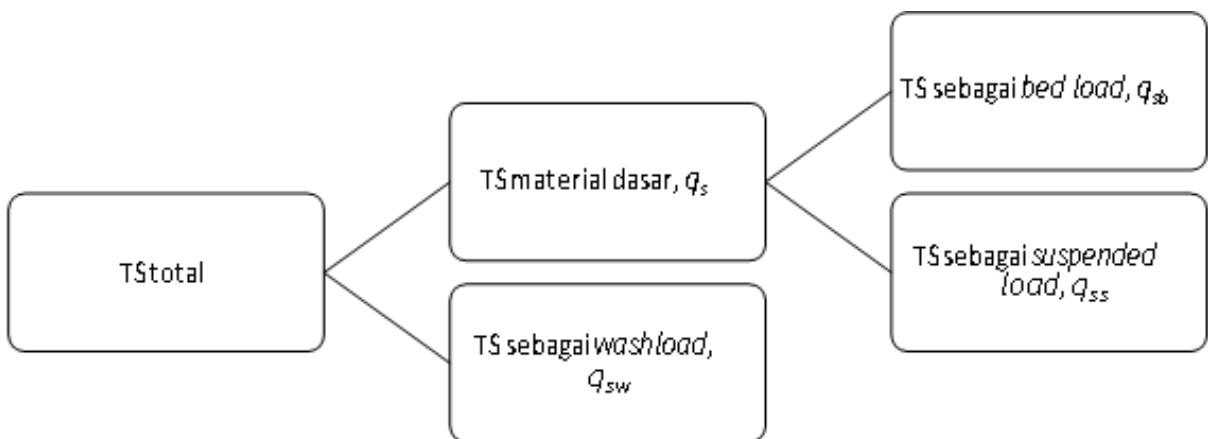
$$H_1 = H_2 + h_f \quad (66)$$

(kadang-kadang h_f ditambahkan h_e akibat pusaran air)

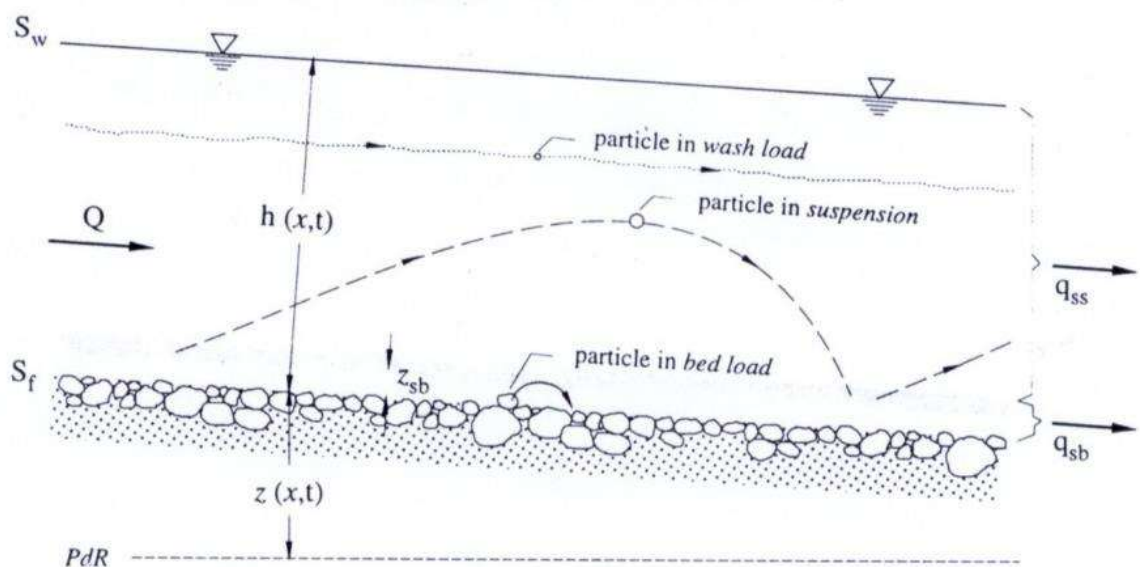
Analisis transpor Sedimen

Jenis Transpor Sedimen terdiri dari :

1. Transpor sedimen dasar (*bed load*), q_{sb} (debit solid per satuan lebar, m^3/m), adalah gerak butir sedimen yang selalu berada di dekat dasar saluran atau sungai. Butir sedimen bergerak dengan cara bergeser atau menggelinding di dasar sungai. Transpor dengan cara ini umumnya terjadi pada butir sedimen yang berukuran relatif besar.
2. Suspended Load (*suspended solid*), q_{ss} , adalah gerak butir sedimen yang sesekali bersinggungan dengan dasar sungai atau saluran. Butir sedimen bergerak dengan lompatan yang jauh dan tetap didalam aliran. Transpor dengan cara ini umumnya terjadi pada butir sedimen yang berukuran relatif kecil.
3. Transpor sedimen dasar+suspensi atau transpor material dasar total, $q_s = q_{sb} + q_{ss}$, adalah gerak butir sedimen yang selalu berkaitan atau bersinggungan dengan dasar sungai atau saluran.
4. Transpor sedimen *wash load*, q_{sw} , adalah gerak butir sedimen yang hampir tidak pernah bersinggungan dengan dasar sungai atau saluran. Pada *wash load*, butir sedimen bergerak bagaikan digelontor oleh aliran dan tidak pernah menyentuh dasar sungai atau saluran. Transpor dengan cara ini umumnya terjadi pada butir sedimen yang berukuran sangat halus.



Gambar 19. Bagan Pengelompokan Cara Transport Sedimen



Gambar 20. Skema Transport Sedimen

Bed Load

Bed Load merupakan partikel padat yang bergerak dengan cara meluncur, berguling atau melompat, yang sangat dekat dengan dasar sungai, $0 < z < z_{sb}$. Perpindahan partikel ini dipengaruhi oleh turbulensi aliran. Ada beberapa formula yang dapat digunakan untuk memprediksikan *bed-load*. Formula ini bersifat empiris, tetapi sering dimasukkan bilangan tanpa dimensi. Hal ini dimungkinkan untuk melakukan percobaan di laboratorium, di mana kondisi hidraulik dapat dikontrol dengan baik; sehingga formula ini dapat diterapkan untuk kondisi lapangan.

Dasar saluran dianggap sebagai bidang tetapi bergerak yang terdiri dari partikel padat berukuran seragam dan tidak kohesif. Partikel-partikel ini menggeser dirinya sendiri di bawah aksi aliran, yang seragam dan mantap.

- Bilangan Reynolds dari suatu partikel :

$$Re = \frac{u_* d}{\nu}$$

- Tegangan geser tak berdimensi:

$$\tau_* = \frac{\rho u_*^2}{(\gamma_s - \gamma)d} = \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma)d} = \frac{\gamma R_h S_f}{(\gamma_s - \gamma)d}$$

- Atau Bilangan Froude partikel yang densimetrik:

$$Fr_{*D} = \frac{u_*}{\sqrt{(s_s - 1)gd}} = \frac{\sqrt{\tau_0}}{\sqrt{(\gamma_s - \gamma)d}} = \sqrt{\tau_*}$$

- Kedalaman relatif

$$\frac{h}{d} = \frac{R_h}{d}$$

- Kepadatan relatif

$$s_s = \frac{R_h}{d}$$

- Diameter partikel tanpa dimensi dapat diperoleh dengan menggabungkan persamaan

$$d_* = d \left((s_s - 1) \frac{g}{v^2} \right)^{1/3}$$

- Untuk studi tentang dimulainya erosi, dinyatakan oleh tegangan geser tak berdimensi

$$\tau_{*cr} = f(Re_*)$$

memberikan batas zona "gerak" dari zona "tidak ada gerak" partikel

Intensitas Sedimen transpor dapat dinyatakan sebagai fungsi dari jumlah tak berdimensi ini, yaitu:

$$\Phi = f \left(d_*, \tau_*, \frac{R_h}{d}, \frac{\rho_s}{\rho} \right)$$

Sedangkan intensitas *bed-load* :

$$\Phi = q_{sb*} = \frac{q_{sb}}{\sqrt{(s_s - 1) g d^3}}$$

dengan q_{sb} [m^2 / s] adalah debit padat volume per satuan lebar.

Formula Bed Load

- Formula Meyer-Peter tahun 1934 dan 1948, (formula empiris)

Intensitas *bed load* :

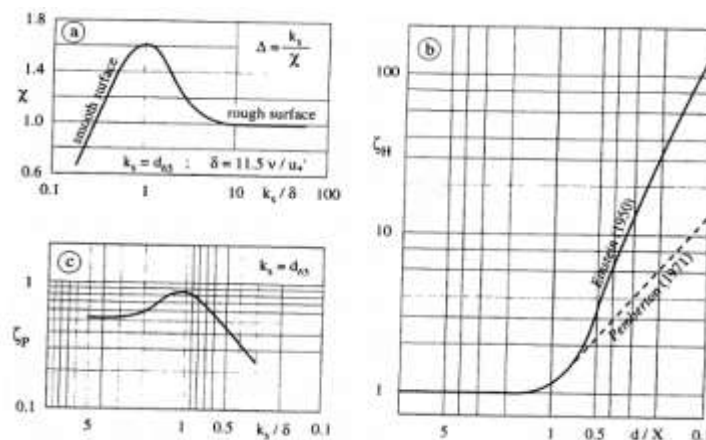
$$\Phi = 8 (\xi_M \tau_* \tau_{*cr})^{3/2}$$

Dimana ξ_M adalah parameter kekasaran

$$\xi_M = \left(\frac{K_S}{K'_S} \right)^{3/2}$$

K_S adalah kekasaran butiran

$$K_S = \frac{U}{R_{hb}^{2/3} S_e^{1/2}} \quad \text{dan} \quad K'_S = \frac{26}{d_{90}^{1/6}}$$



Gambar 21. koefisien koreksi

- koefisien koreksi distribusi kecepatan,
- koefisien koreksi tersembunyi,
- koefisien koreksi gaya angkat

- Jumlah partikel yang tersimpan per satuan waktu dan lapisan permukaan $A_L d$ dihitung dengan rumus:

$$N_D = \frac{g_{sb} i_{sb}}{(A_L d)(\gamma_s k_2 d^3)}$$

Di mana $(\gamma_s k_2 d^3)$ adalah partikel berat dan A_L adalah konstanta. i_{sb} adalah fraksi kurva granulometrik, g_{sb} dalam berat. Jumlah partikel yang terkikis per satuan waktu dan permukaan lapisan, dihitung dengan rumus:

$$N_E = \frac{i_b}{k_1 d^2} \left(\frac{p_e}{t_e} \right)$$

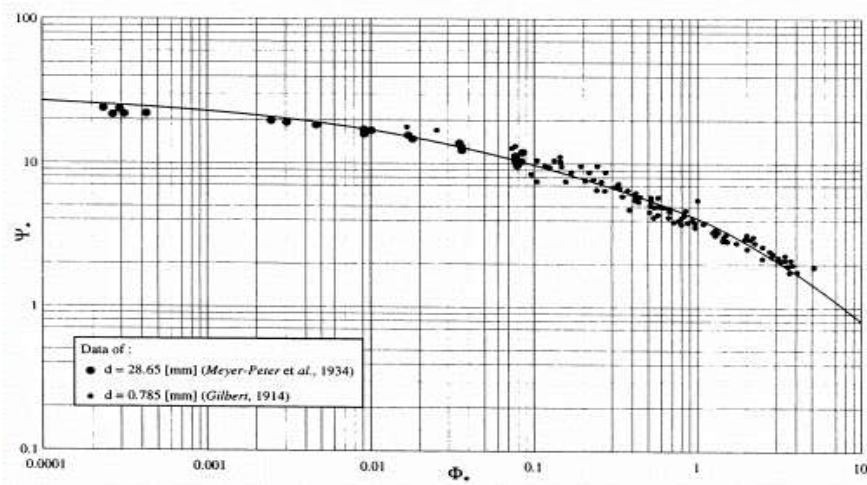
Persamaan *bed load* setelah Einstein (1950) mendalilkan bahwa laju erosi sama dengan laju deposisi, dengan demikian $N_D = N_E$ menjadi :

$$\frac{g_{sb} i_{sb}}{(A_L d)(\gamma_s k_2 d^3)} = \frac{i_b}{k_1 k_e d^2} \sqrt{\frac{g(\rho_s - \rho)}{\rho d}}$$

partikel padat menggeser dirinya dengan membuat lompatan dari panjang $A_L d$ yang terkait dengan transisi probabilitas dengan rumus :

$$A_L d = \lambda d \left(\frac{1}{1 - p_e} \right)$$

Dimana, λ adalah konstanta lompatan partikel



Gambar 22. Grafik Persamaan *Bed Load* Einstein

Suspended Load

Dalam *suspended load*, partikel sedimen bergerak dalam lompatan besar, namun dari waktu ke waktu tetap melakukan kontak dengan sedimen dasar (*bed load*) dan juga dengan dasar saluran/sungai. Zona suspensi berada pada $z_{sb} < z < h$. Di sini z_{sb} adalah tebal lapis di dekat dasar saluran tempat terjadi transpor sedimen dasar (*bed load*).

Mekanisme *suspended load* dapat dinyatakan dengan persamaan transpor konveksi-difusi. Persamaan ini memperlihatkan distribusi vertikal konsentrasi sedimen suspensi dalam aliran, $c_s(z)$. Pada kasus aliran permanen dan seragam (*steady uniform flow*), distribusi vertikal konsentrasi sedimen suspensi dapat dituliskan dalam bentuk sebagai berikut.

Debit sedimen suspensi per satuan lebar, di kedalaman $z_{sb} < z < h$, diperoleh dengan mengintegrasikan debit di setiap kedalaman:

$$q_{ss} = \int_{z_{sb}}^h C_s u dz$$

Dimana:

$C_s(z)$ =konsentrasi lokal di kedalaman z

$U(z)$ = kecepatan aliran lokal di kedalaman z

Persamaan *Suspended Load* Einstein :

$$q_{ss} = 11.6 c_{sa} u'_{*z_{sb}} \left[2.303 \log \left(30.2 \frac{h}{\Delta} \right) I_1 + I_2 \right]$$

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode hasil penelitian laboratorium sebelumnya yang diaplikasikan sesuai konsentrasi kandungan sedimen terlarut pada sungai Tolour Oki untuk menganalisis kondisi luapan dan profil aliran air banjir serta proses sedimentasi dasar sungai Tolour Oki akibat pasang surut air danau.

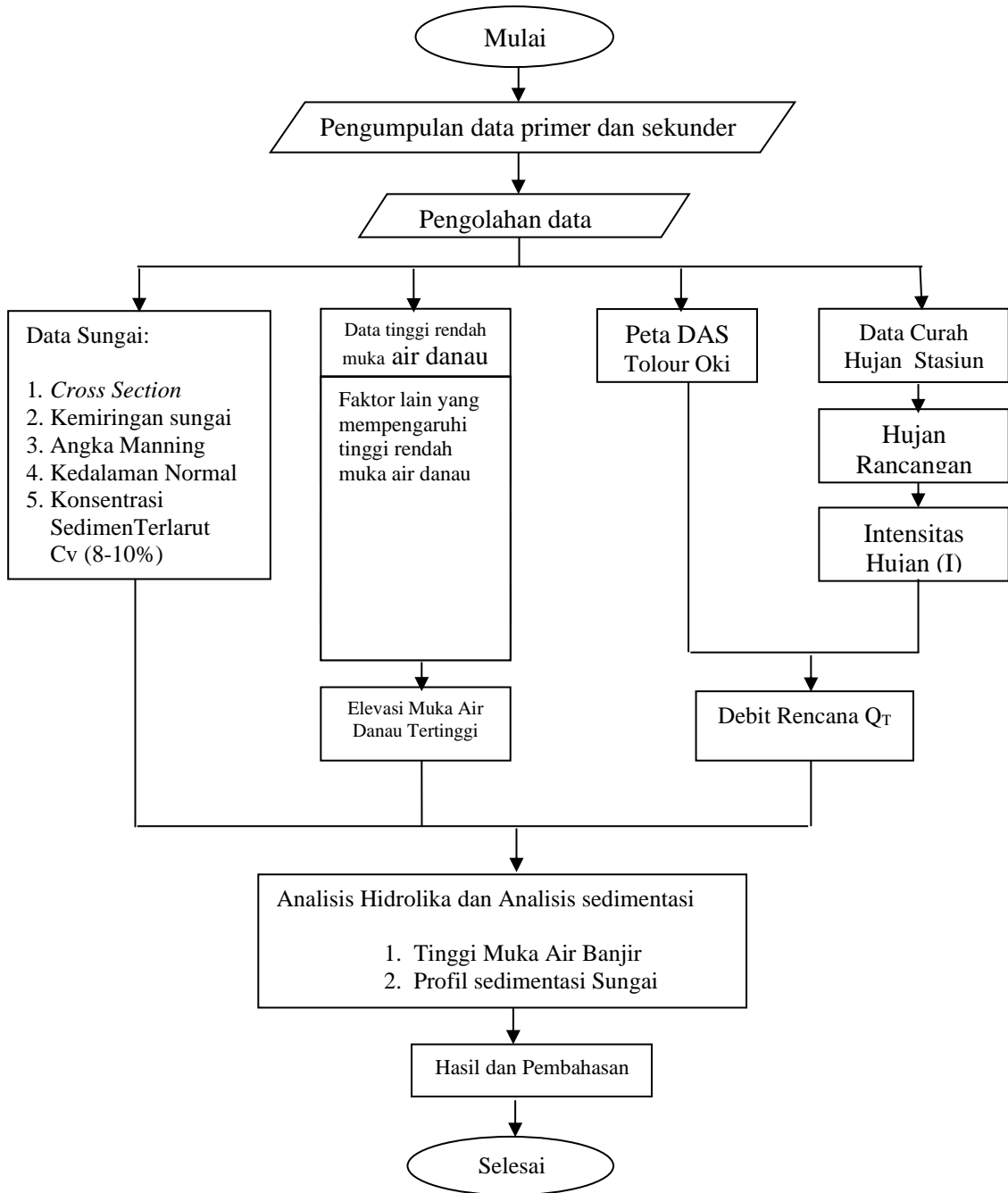
3.2 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah memberikan informasi serta menambah wawasan dan pengetahuan tidak hanya bagi pemerintah dan swasta tetapi juga masyarakat untuk penyusunan upaya – upaya penanggulangan banjir di Sungai Tolour Oki agar dampak negatif yang ditimbulkan dapat diminimalisir serta mengakomodir semua kepentingan dan berorientasi bagi kesejahteraan masyarakat.

BAB 4. METODE PENELITIAN

4.1 Bagan alir penelitian

Langkah – langkah pelaksanaan penelitian ini mengikuti bagan alir pada gambar dibawah ini.



4.2 Tahapan dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini berupa studi kasus melalui survei atau pengamatan langsung di lapangan yang disertai dengan analisis berdasarkan metode-metode yang diperlukan.

Uraian tahapan penelitian yang akan dilakukan adalah :

1. Pengumpulan data primer melalui survei lapangan dan data sekunder yang diperoleh dari beberapa instansi terkait. Data primer berupa kondisi luasan genangan banjir, pengukuran geometri sungai, pengukuran kemiringan sungai, pengambilan sampel aliran bersedimen, pengukuran data pasang surut air laut dan data eksisting lainnya. Sedangkan data-data sekunder adalah berupa peta topografi, peta DAS, data curah hujan (hidrologi) dan data klimatologi.

2. Tahapan selanjutnya adalah pengolahan data primer dan sekunder.

Analisis sampel aliran bersedimen dilakukan untuk mendapatkan persentasi konsentrasi sedimen terlarut (C_v) dan diagram distribusi partikel. Dari data muka air danau didapatkan elevasi muka air pasang tertinggi. Selanjutnya, dari data curah hujan dihitung hujan rancangan (R_{24}), intensitas hujan dan debit rencana sungai (Q_T) berdasarkan luasan DAS Tolour Oki.

3. Analisis hidrolika dalam penelitian ini menggunakan program HEC-RAS 5.1. Seluruh data-data sungai yaitu cross section, kemiringan sungai, angka Manning, kedalaman normal dan konsentrasi sedimen terlarut C_v (%) dianalisis bersama-sama dengan besar debit rencana sungai (Q_T) dan elevasi muka air danau tertinggi untuk mendapatkan tinggi muka air banjir aliran bersedimen dan evaluasi kapasitas tampang sungai.

Usulan Tim Peneliti terdiri dari 3 orang (1 Ketua dan 2 anggota)

Tugas masing-masing Tim peneliti sesuai dengan latar belakang bidang keilmuan masing-masing.

1. Ketua Tim (Dr. Eng. Ir. Liany A. Hendratta) dengan latar belakang bidang ilmu Teknik Sumber Daya Air, bertugas untuk menganalisis seluruh data sungai dan analisis hidrolika serta menganalisis profil aliran. Sebagai ketua tim juga bertanggung jawab atas keseluruhan jalannya penelitian.
2. Anggota Tim (Dr.Eng. Ir. Tommy Jansen, MT) dengan latar belakang bidang ilmu Teknik Sumber Daya air , bertanggung jawab untuk menganalisis sedimentasi sungai.
3. Anggota Tim (Ir. Hanny Tangkudung, MT) dengan latar belakang bidang ilmu Teknik Sumber Daya Air, bertanggung jawab menganalisis data-data hidrologi untuk mendapatkan debit rencana (QT)

BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

5.1 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi bertujuan untuk menentukan curah hujan rencana yang akan digunakan dalam menghitung debit limpasan. Adapun langkah-langkah dalam analisis hidrologi adalah sebagai berikut :

- a. Menentukan sebaran data curah hujan berdasarkan stasiun yang ada.
- b. Menganalisis curah hujan rencana dengan periode ulang T tahun.
- c. Menghitung intensitas curah hujan berdasarkan besarnya curah hujan rencana
- d. Menghitung debit banjir rencana berdasarkan besarnya curah hujan rencana dengan periode ulang 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun.

1. Penentuan Hujan Rerata Kawasan

Metode yang digunakan dalam penentuan hujan rerata kawasan adalah metode Poligon Thiessen. Dengan menggunakan bantuan program ARC GIS diperoleh stasiun hujan, yaitu sebagai berikut :



2. Analisis Curah Hujan Rencana

Data curah hujan merupakan data sekunder yang diperoleh dari stasiun pencatat curah hujan yang terdekat dengan lokasi penelitian. Data yang digunakan adalah data curah hujan harian maksimum tahunan yang diambil dari Stasiun Paleloan. Data yang dipakai berjumlah 18 data dengan 18 tahun pengamatan (2002-2019). Rekapitulasi dari data curah hujan harian maksimum dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Stasiun Paleloan		
no	Tahun	CH
1	2002	107.29
2	2003	63
3	2004	136.6
4	2005	98.6
5	2006	59.2
6	2007	65.5
7	2008	71.6
8	2009	40
9	2010	67.2
10	2011	90.9
11	2012	69.8
12	2013	66.5
13	2014	110.5
14	2015	68.56
15	2016	115.5
16	2017	160.2
17	2018	126.5
18	2019	157.3

3. Analisis Data Outlier

Paleloan

No.	Tahun	Xi (mm)	Log Xi	(log Xi - log X)	(log Xi - log X) ²	(log Xi - log X) ³
1	2002	107.29	2.0306	0.0915	0.0084	0.0008
2	2003	63.00	1.7993	-0.1397	0.0195	-0.0027
3	2004	136.60	2.1355	0.1964	0.0386	0.0076
4	2005	98.60	1.9939	0.0548	0.0030	0.0002
5	2006	59.20	1.7723	-0.1667	0.0278	-0.0046
6	2007	65.50	1.8162	-0.1228	0.0151	-0.0019
7	2008	71.60	1.8549	-0.0841	0.0071	-0.0006
8	2009	40.00	1.6021	-0.3370	0.1136	-0.0383
9	2010	67.20	1.8274	-0.1117	0.0125	-0.0014
10	2011	90.90	1.9586	0.0195	0.0004	0.0000
11	2012	69.80	1.8439	-0.0952	0.0091	-0.0009
12	2013	66.50	1.8228	-0.1162	0.0135	-0.0016
13	2014	110.50	2.0434	0.1043	0.0109	0.0011
14	2015	68.56	1.8361	-0.1030	0.0106	-0.0011
15	2016	115.50	2.0626	0.1235	0.0153	0.0019
16	2017	160.20	2.2047	0.2656	0.0706	0.0187
17	2018	126.50	2.1021	0.1630	0.0266	0.0043
18	2019	157.30	2.1967	0.2577	0.0664	0.0171
Jumlah		1674.75	34.9029	0.0000	0.4687	-0.0013
		Mean (log X) = 1.9390				

Data max = 160.20
Data min = 40.00

standar deviasi (Slog) = 0.166042937
Koefisien skewness (Cslog) = **0.166042937** =STDEV() = 0.166042937
-0.018467315
-0.018467315 Kn₍₁₃₎ = 2.247

Uji outlier tinggi:

Log Xh = 2.31214684
Xh = 205.1856

Uji outlier rendah:

Log Xi = 1.56594988
XI = 36.80865

Keterangan: Hasil uji data outlier menunjukkan bahwa tidak terdapat data outlier

Metode Log Normal dan Log Pearson III

Distribusi Log Normal dan Log Pearson 3									
Tahun	CH	Log x	Log Xi - log \bar{X}	(Log Xi - log \bar{X}) ²	(Log Xi - log \bar{X}) ³	(Log Xi - log \bar{X}) ⁴	S	Cs	Ck
2002	107.29	2.030559	0.091510885	0.008374242	0.000766334	7.01279E-05	0.1660429	-0.02012	3.147324
2003	63	1.799341	-0.13970781	0.019518272	-0.002726855	0.000380963			
2004	136.6	2.135451	0.196402339	0.038573879	0.007576	0.001487944			
2005	98.6	1.993877	0.054828555	0.00300617	0.000164824	9.03706E-06			
2006	59.2	1.772322	-0.16672665	0.027797777	-0.00463463	0.000772716			
2007	65.5	1.816241	-0.12280706	0.015081574	-0.001852124	0.000227454			
2008	71.6	1.854913	-0.08413534	0.007078755	-0.000595573	5.01088E-05			
2009	40	1.60206	-0.33698837	0.113561161	-0.03826879	0.012896137			
2010	67.2	1.827369	-0.11167909	0.012472219	-0.001392886	0.000155556			
2011	90.9	1.958564	0.019515523	0.000380856	7.4326E-06	1.45051E-07			
2012	69.8	1.843855	-0.09519294	0.009061695	-0.000862609	8.21143E-05			
2013	66.5	1.822822	-0.11622671	0.013508649	-0.001570066	0.000182484			
2014	110.5	2.043362	0.104313918	0.010881393	0.001135081	0.000118405			
2015	68.56	1.836071	-0.10297755	0.010604376	-0.001092013	0.000112453			
2016	115.5	2.062582	0.123533624	0.015260556	0.001885192	0.000232885			
2017	160.2	2.204663	0.265614151	0.070550877	0.018739311	0.004977426			
2018	126.5	2.102091	0.163042165	0.026582748	0.004334109	0.000706642			
2019	157.3	2.196729	0.257680362	0.066399169	0.017109762	0.00440885			
jumlah	1674.75	34.90287		0.468694369	-0.001277501	0.026871448			
	\bar{X}	1.939048							

Tabel Parameter Statistik DAS Taler

No	Distribusi	Persyaratan	Hasil Perhitungan
1	Normal	Cs = 0	Cs = 0.64889 Ck = 3.12375
		Ck = 3	
2	Gumbel	Cs = 1.14	Cs = 0.64889 Ck = 3.12375
		Ck = 5.4	
3	Log Normal	Cs = 0.25	Cs = -0.02
		Ck = 3.11	Ck = 3.147
4	Log Pearson III	Selain dari nilai di atas	

5. Perhitungan Curah Hujan Rencana

Perhitungan curah hujan rencana dilakukan dengan menggunakan persamaan distribusi teoritis

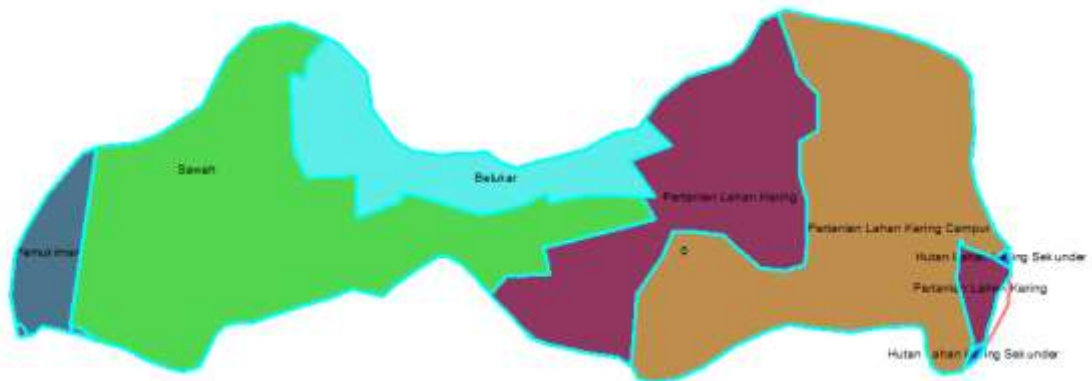
Log Person III

T	1/T	Kt	Sy	\hat{Y}	Ytr	Xtr
5	20	0.840489	0.161365	1.939048	2.074674	118.7609
10	10	1.281754			2.145878	139.9195
25	4	1.753519			2.222004	166.7264
50	2	2.040398			2.268297	185.4798
100	1	2.30736			2.311375	204.8212

B. Debit Banjir Rencana Menggunakan HEC-HMS

Perhitungan *Curve Number*

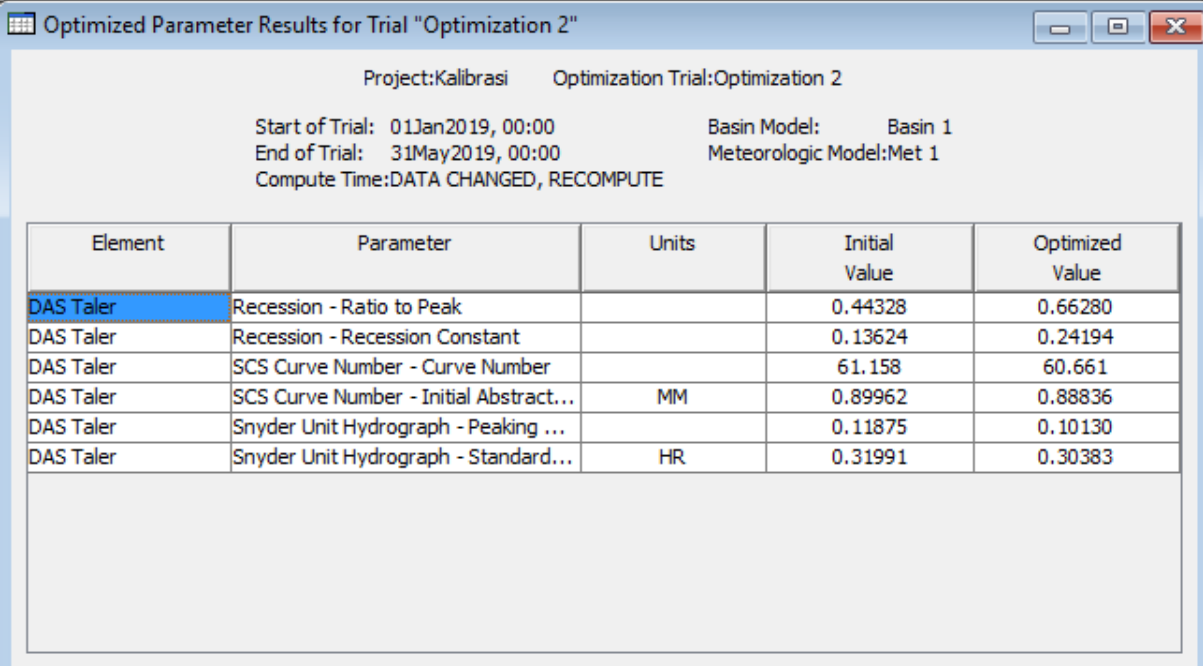
Pemodelan debit banjir rencana dengan menggunakan program Hec-HMS untuk *Loss Method* adalah metode SCS *Curve Number* dan dalam menentukan *Curve Number* digunakan Peta Penutup Lahan :



Curve Number				
Penutup Lahan	Luas (km2)	%	CN	
Hutan Lahan Kering Sekunder	0.04	0.41	55	0.23
Belukar	1.08	10.72	70	7.50
Pemukiman	0.40	4.03	74	2.98
Pertanian Lahan Kering	2.07	20.61	65	13.39
Pertanian Lahan Kering Campur	3.04	30.25	58	17.54
Sawah	3.41	33.99	85	28.89
Total	10.05	100		70.54

2. Kalibrasi Parameter

Sebelum dilakukan perhitungan pemodelan HEC-HMS untuk debit banjir rencana harus dilakukan kalibrasi model perhitungan, karena kalibrasi adalah proses untuk membandingkan debit observasi dilapangan dengan debit hasil perhitungan, dan berikut adalah hasil setelah dilakukan *Optimiztion* berikut adalah hasilnya :



Project: Kalibrasi Optimization Trial: Optimization 2

Start of Trial: 01Jan2019, 00:00 Basin Model: Basin 1
End of Trial: 31May2019, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE

Element	Parameter	Units	Initial Value	Optimized Value
DAS Taler	Recession - Ratio to Peak		0.44328	0.66280
DAS Taler	Recession - Recession Constant		0.13624	0.24194
DAS Taler	SCS Curve Number - Curve Number		61.158	60.661
DAS Taler	SCS Curve Number - Initial Abstract...	MM	0.89962	0.88836
DAS Taler	Snyder Unit Hydrograph - Peaking ...		0.11875	0.10130
DAS Taler	Snyder Unit Hydrograph - Standard...	HR	0.31991	0.30383

3. Debit Banjir

Berikut adalah hasil perhitungan debit banjir berdasarkan kala ulang :

Global Summary Results for Run "KU 2"

Project: DAS Taler Simulation Run: KU 2

Start of Run: 01Jan2019, 00:00 Basin Model: DAS Taler
 End of Run: 05Jan2019, 00:00 Meteorologic Model: Hujan Rencana
 Compute Time: 15Oct2021, 17:18:09 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DAS Taler	10.05	19.9	01Jan2019, 03:00	109.39
Sink-1	10.05	19.9	01Jan2019, 03:00	109.39

Global Summary Results for Run "KH 5"

Project: DAS Taler Simulation Run: KH 5

Start of Run: 01Jan2019, 00:00 Basin Model: DAS Taler
 End of Run: 05Jan2019, 00:00 Meteorologic Model: Hujan Rencana
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DAS Taler	10.05	29.4	01Jan2019, 03:00	161.29
Sink-1	10.05	29.4	01Jan2019, 03:00	161.29

Global Summary Results for Run "KH 10"

Project: DAS Taler Simulation Run: KH 10

Start of Run: 01Jan2019, 00:00 Basin Model: DAS Taler
 End of Run: 05Jan2019, 00:00 Meteorologic Model: Hujan Rencana
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DAS Taler	10.05	36.1	01Jan2019, 03:00	197.93
Sink-1	10.05	36.1	01Jan2019, 03:00	197.93

Global Summary Results for Run "KH 25"

Project: DAS Taler Simulation Run: KH 25

Start of Run: 01Jan2019, 00:00 Basin Model: DAS Taler
 End of Run: 05Jan2019, 00:00 Meteorologic Model: Hujan Rencana
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DAS Taler	10.05	44.9	01Jan2019, 03:00	246.11
Sink-1	10.05	44.9	01Jan2019, 03:00	246.11

Global Summary Results for Run "KH 100"

Project: DAS Taler Simulation Run: KH 100

Start of Run: 01Jan2019, 00:00 Basin Model: DAS Taler
 End of Run: 05Jan2019, 00:00 Meteorologic Model: Hujan Rencana
 Compute Time: 29Sep2021, 19:09:23 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DAS Taler	10.05	57.9	01Jan2019, 03:00	317.17
Sink-1	10.05	57.9	01Jan2019, 03:00	317.17

Global Summary Results for Run "KH 50"

Project: DAS Taler Simulation Run: KH 50

Start of Run: 01Jan2019, 00:00 Basin Model: DAS Taler
 End of Run: 05Jan2019, 00:00 Meteorologic Model: Hujan Rencana
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DAS Taler	10.05	51.2	01Jan2019, 03:00	280.76
Sink-1	10.05	51.2	01Jan2019, 03:00	280.76

Kala Ulang (Tahun)	Debit
2	19.9
5	29.4
10	36.1
25	44.9
50	51.2
100	57.9

DAS TOLOUR OKI

Untuk Luas DAS : 8,50 km²



Analisis perbandingan luas DAS

Letak pos debit tidak berada pada titik yang akan dianalisis. Untuk mendapatkan besaran perkiraan debit di titik lokasi penelitian, akan menggunakan metode perbandingan luas DAS.

$$Q2 = \frac{A2}{A1} \times Q1$$

dengan:

Q2 = Debit DAS Tolour Oki

Q1 = Debit Sungai Taler di titik pengukuran debit

A2 = Luas DAS Tolour Oki

A1 = Luas DAS di titik pengukuran debit

Tabel Perbandingan luas DAS

DAS	Luas (km ²)
Taler	10.05
Tolour Oki	8.50

Data debit Sungai Taler hasil pencatatan di Titik Pos debit seperti berikut.

Tabel Debit Sungai Taler

tanggal	bulan											
	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
1	0.088489	0.747908	0.109759	0.115491	0.125419	0.115491	0.146699	0.115491	0.115491	0.13582	0.146699	0.169917
2	0.088489	0.267035	0.097032	0.106031	0.13582	0.13582	0.13582	0.115491	0.125419	0.125419	0.236711	0.182265
3	0.097032	0.115491	0.115491	0.115491	0.13582	0.125419	0.13582	0.115491	0.115491	0.125419	0.158063	0.146699
4	0.088489	0.115491	0.169917	0.106031	0.146699	0.125419	0.13582	0.125419	0.115491	0.13582	0.13582	0.158063
5	0.097032	0.106031	0.13582	0.125419	0.125419	0.106031	0.13582	0.106031	0.115491	0.13582	0.13582	0.13582
6	0.088489	0.106031	0.195114	0.13582	0.125419	0.125419	0.13582	0.125419	0.115491	0.125419	0.13582	0.146699
7	0.088489	0.115491	0.169917	0.057435	0.13582	0.106031	0.13582	0.106031	0.125419	0.13582	0.146699	39.40789
8	0.115491	0.088489	0.182265	0.125419	0.106031	0.13582	0.13582	0.115491	0.115491	0.13582	0.13582	0.13582
9	0.088489	0.097032	0.182265	0.106031	0.115491	0.106031	0.13582	0.115491	0.125419	0.125419	0.125419	0.13582
10	0.13582	0.106031	0.169917	0.115491	0.115491	0.182265	0.125419	0.106031	0.115491	0.13582	0.13582	0.158063
11	0.097032	0.106031	0.195114	0.106031	0.115491	0.125419	0.13582	0.097032	0.115491	0.208468	0.13582	0.282989
12	0.35219	0.097032	0.208468	0.115491	0.115491	0.125419	0.13582	0.097032	0.115491	0.158063	0.13582	0.146699
13	0.115491	0.097032	0.208468	0.125419	0.115491	0.13582	0.125419	0.097032	0.115491	0.146699	0.13582	0.146699
14	0.158063	0.097032	0.208468	0.097032	0.13582	0.125419	0.125419	0.088489	0.106031	0.131602	0.115491	0.146699
15	0.316504	0.115491	0.208468	0.10882	0.106031	0.13582	0.13582	0.097032	0.125419	0.146699	0.097032	0.13582
16	0.125419	0.088489	0.208468	0.13582	0.115491	0.125419	0.125419	0.236711	0.115491	0.125419	0.088489	0.146699
17	0.158063	0.088489	0.236711	0.125419	0.13582	0.125419	0.13582	0.088489	0.115491	0.13582	0.115491	0.13582
18	0.125419	0.097032	0.236711	0.267035	0.125419	0.13582	0.125419	0.370859	0.115491	0.13582	0.088489	0.146699
19	0.106031	0.088489	0.208468	0.146699	0.125419	0.125419	0.13582	0.169917	0.115491	0.131602	0.097032	0.13582
20	0.097032	0.088489	0.222332	0.195114	0.236711	0.13582	0.125419	0.208468	0.115491	0.125419	0.088489	0.13582
21	0.097032	0.088489	0.13582	0.13582	0.158063	0.13582	0.072001	0.169917	0.115491	0.115491	0.106031	0.13582
22	0.115491	0.097032	0.146699	0.208468	0.13582	0.13582	0.13582	0.182265	0.125419	0.125419	0.097032	0.13582
23	0.097032	0.088489	0.106031	0.195114	0.106031	0.125419	0.125419	0.182265	0.115491	0.13582	0.106031	0.131602
24	0.097032	0.088489	0.115491	0.370859	0.125419	0.13582	0.115491	0.169917	0.125419	0.146699	0.097032	0.13582
25	0.088489	0.088489	0.106031	3.813017	0.106031	0.125419	0.115491	0.169917	0.115491	0.13582	0.115491	0.125419
26	0.106031	0.097032	0.125419	0.282989	0.115491	0.125419	0.115491	0.169917	0.125419	0.370859	0.106031	0.125419
27	0.097032	0.088489	0.106031	0.158063	0.106031	0.13582	0.125419	0.182265	0.125419	0.299477	0.115491	0.13582
28	0.106031	0.097032	0.097032	1.613612	0.115491	0.13582	0.115491	0.169917	0.125419	0.236711	0.13582	0.125419
29	0.088489		0.146699	0.451136	0.125419	0.125419	0.125419	0.169917	0.125419	0.169917	0.195114	0.125419
30	0.088489		0.13582	0.158063	0.125419	0.13582	0.115491	0.158063	0.13582	0.146699	0.169917	0.13582
31	0.097032		0.115491		0.125419		0.115491	0.146699		0.146699		0.125419

Dengan metode perbandingan luas DAS, perkiraan debit di titik Junction Kolam Retensi didapatkan seperti pada table berikut.

Tabel Perkiraan debit Sungai Tolour Oki

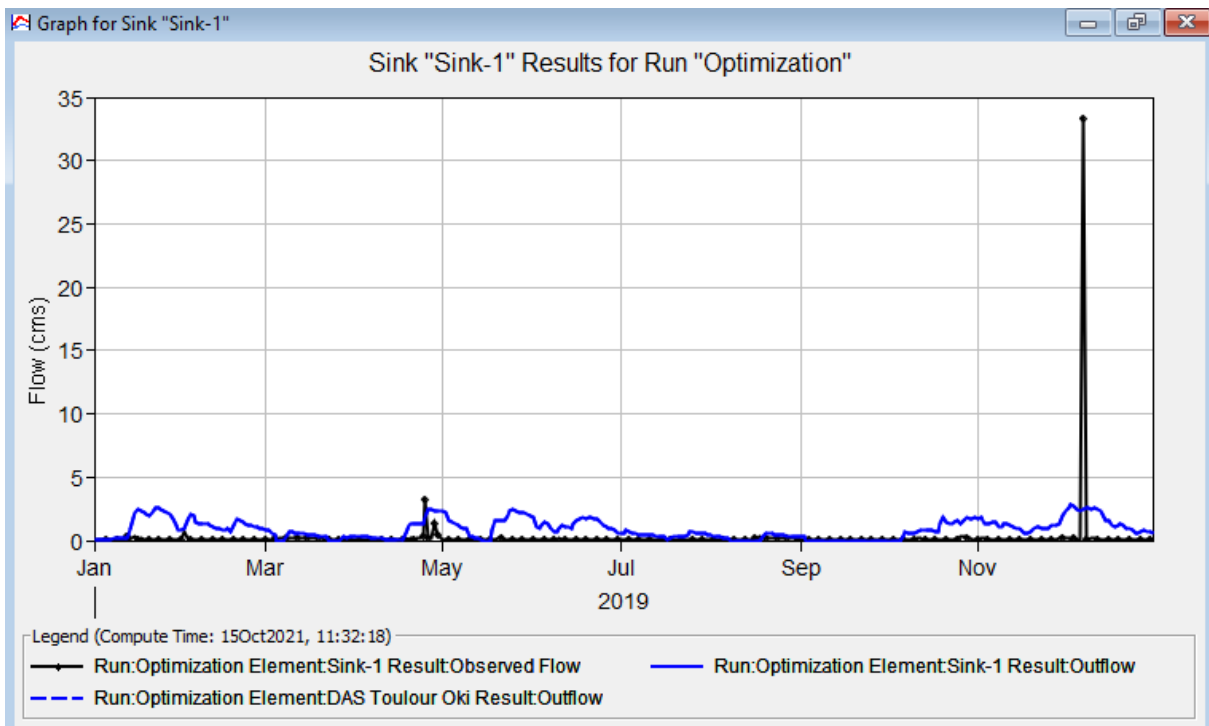
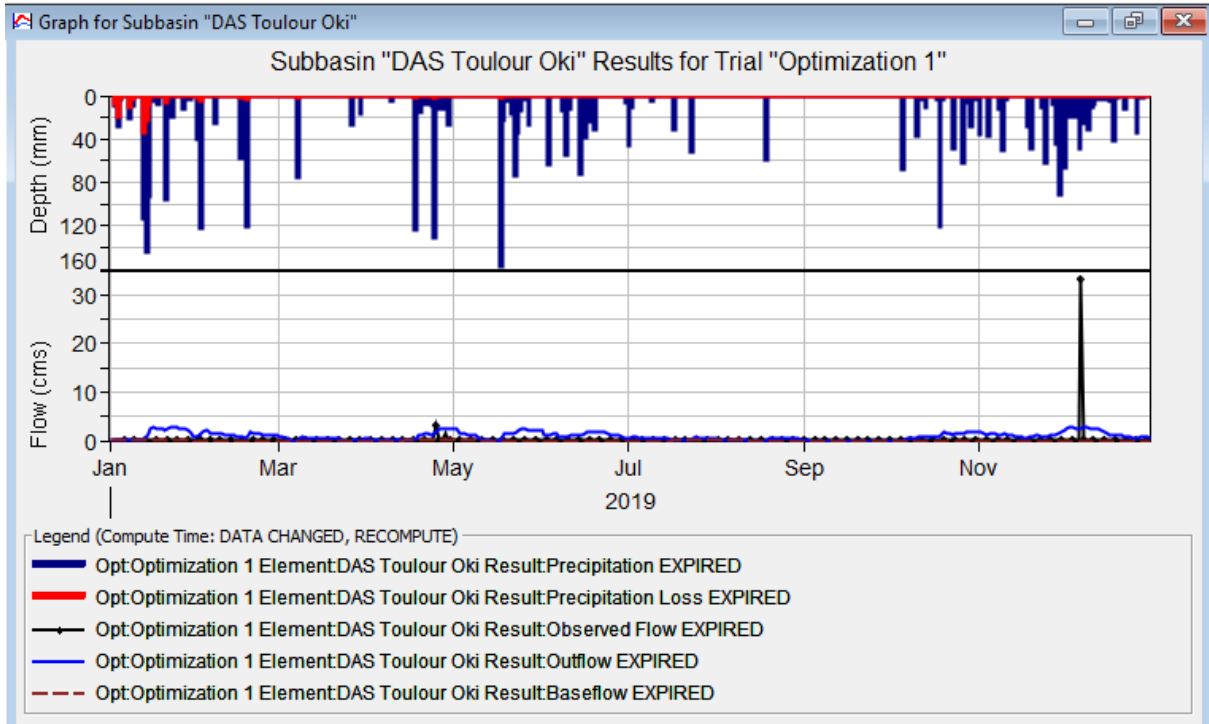
tanggal	bulan											
	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
1	0.074827	0.632439	0.092814	0.097661	0.106056	0.097661	0.12405	0.097661	0.097661	0.114851	0.12405	0.143683
2	0.074827	0.225808	0.082051	0.089661	0.114851	0.114851	0.114851	0.097661	0.106056	0.106056	0.200166	0.154125
3	0.082051	0.097661	0.097661	0.097661	0.114851	0.106056	0.114851	0.097661	0.097661	0.106056	0.13366	0.12405
4	0.074827	0.097661	0.143683	0.089661	0.12405	0.106056	0.114851	0.106056	0.097661	0.114851	0.114851	0.13366
5	0.082051	0.089661	0.114851	0.106056	0.106056	0.089661	0.114851	0.089661	0.097661	0.114851	0.114851	0.114851
6	0.074827	0.089661	0.16499	0.114851	0.106056	0.106056	0.114851	0.106056	0.097661	0.106056	0.114851	0.12405
7	0.074827	0.097661	0.143683	0.048568	0.114851	0.089661	0.114851	0.089661	0.106056	0.114851	0.12405	33.32373
8	0.097661	0.074827	0.154125	0.106056	0.089661	0.114851	0.114851	0.097661	0.097661	0.114851	0.114851	0.114851
9	0.074827	0.082051	0.154125	0.089661	0.097661	0.089661	0.114851	0.097661	0.106056	0.106056	0.106056	0.114851
10	0.114851	0.089661	0.143683	0.097661	0.097661	0.154125	0.106056	0.089661	0.097661	0.114851	0.114851	0.13366
11	0.082051	0.089661	0.16499	0.089661	0.097661	0.106056	0.114851	0.082051	0.097661	0.176282	0.114851	0.239299
12	0.297816	0.082051	0.176282	0.097661	0.097661	0.106056	0.114851	0.082051	0.097661	0.13366	0.114851	0.12405
13	0.097661	0.082051	0.176282	0.106056	0.097661	0.114851	0.106056	0.082051	0.097661	0.12405	0.114851	0.12405
14	0.13366	0.082051	0.176282	0.082051	0.114851	0.106056	0.106056	0.074827	0.089661	0.111284	0.097661	0.12405
15	0.267639	0.097661	0.176282	0.09202	0.089661	0.114851	0.114851	0.082051	0.106056	0.12405	0.082051	0.114851
16	0.106056	0.074827	0.176282	0.114851	0.097661	0.106056	0.106056	0.200166	0.097661	0.106056	0.074827	0.12405
17	0.13366	0.074827	0.200166	0.106056	0.114851	0.106056	0.114851	0.074827	0.097661	0.114851	0.097661	0.114851
18	0.106056	0.082051	0.200166	0.225808	0.106056	0.114851	0.106056	0.313602	0.097661	0.114851	0.074827	0.12405
19	0.089661	0.074827	0.176282	0.12405	0.106056	0.106056	0.114851	0.143683	0.097661	0.111284	0.082051	0.114851
20	0.082051	0.074827	0.188006	0.16499	0.200166	0.114851	0.106056	0.176282	0.097661	0.106056	0.074827	0.114851
21	0.082051	0.074827	0.114851	0.114851	0.13366	0.114851	0.060885	0.143683	0.097661	0.097661	0.089661	0.114851
22	0.097661	0.082051	0.12405	0.176282	0.114851	0.114851	0.114851	0.154125	0.106056	0.106056	0.082051	0.114851
23	0.082051	0.074827	0.089661	0.16499	0.089661	0.106056	0.106056	0.154125	0.097661	0.114851	0.089661	0.111284
24	0.082051	0.074827	0.097661	0.313602	0.106056	0.114851	0.097661	0.143683	0.106056	0.12405	0.082051	0.114851
25	0.074827	0.074827	0.089661	3.224328	0.089661	0.106056	0.097661	0.143683	0.097661	0.114851	0.097661	0.106056
26	0.089661	0.082051	0.106056	0.239299	0.097661	0.106056	0.097661	0.143683	0.106056	0.313602	0.089661	0.106056
27	0.082051	0.074827	0.089661	0.13366	0.089661	0.114851	0.106056	0.154125	0.106056	0.253241	0.097661	0.114851
28	0.089661	0.082051	0.082051	1.364488	0.097661	0.114851	0.097661	0.143683	0.106056	0.200166	0.114851	0.106056
29	0.074827		0.12405	0.381485	0.106056	0.106056	0.106056	0.143683	0.106056	0.143683	0.16499	0.106056
30	0.074827		0.114851	0.13366	0.106056	0.114851	0.097661	0.13366	0.114851	0.12405	0.143683	0.114851
31	0.082051		0.097661		0.106056		0.097661	0.12405		0.12405		0.106056

Tabel Data hujan Stasiun Paleloan tahun 2019

tanggal	bulan												
	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec	
1	0	39.9	0	0	0	0	0	6.2	0	0	0	4	9.7
2	11.5	122.4	0	0	0	0	0	46.5	0	0	0	36.5	66.1
3	0	0	0	0	0	0	0	10.9	0	0	0	0	20.5
4	29	0	0	0	0	0	63.5	0	0	0	0	0	4.4
5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37.4	19.8
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68.8	0	0
7	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49.7
8	21.5	0	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.2
9	8.9	0	0	0	0	0	14.6	0	0	0	0	12.9	25
10	0	0	0	4.6	0	0	55	5.5	0	0	0	51	31
11	0	0	0	0	0	0	12.9	0	0	0	38	3.9	10.7
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	8.8
13	113.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.1
14	145	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.7	0	4.3
15	92.7	0	0	0	0	0	72.5	0	0	0	0	0	3
16	5.5	58.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.4
17	0	0	0	0	0	0	38.6	0	0	0	0	0	0
18	8	120.7	0	124.3	157.3	23.8	31	0	0	0	3.5	0	4.7
19	0	0	0	14.8	22.2	13.9	0	59.9	0	120.4	29	41.7	0
20	0	0	0	15.1	0	32	0	0	0	4	49.5	1.8	0
21	95.8	0	0	8	4.7	0	0	0	0	0	0	0	1.2
22	11.8	0	0	7.5	16.5	0	0	0	0	0	0	0	0
23	19.3	0	0	0.7	73.6	0	0	0	0	0	0	0	12.4
24	0	0	0	9.4	34.2	0	51.9	0	0	49.3	10.9	0	0
25	0	0	0	130.8	14.3	0	0	0	0	0	0	62.5	0
26	1.2	0	0	12.7	4	0	0	0	0	0	0	0	0
27	12.3	0	27.8	12.1	0	0	0	0	0	63	0	35.1	0
28	0	0	0	5	27.4	0	0	0	0	0	8.5	0	0
29	4.3		0	12.5	0	0	0	0	0	6.5	45.5	2.7	0
30	0		16.3	26.7	0	0	0	0	0	28.2	91.1	0	0
31	0		0		0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data hujan rerata, Sub-sistem, luas DAS dimasukkan dianalisis dengan Software HEC-HMS, dengan memasukkan parameter DAS sesuai syarat HEC-HMS. Hasil hitungan kemudian dibandingkan dengan debit pengamatan. Parameter DAS di kalibrasi sehingga debit hasil hitungan mendekati debit pengamatan.





Gambar Debit hasil kalibrasi Sungai Tolour Oki

Analisis ini adalah analisis debit banjir sehingga kalibrasi dititikberatkan pada besaran debit puncak. Dari hasil kalibrasi didapatkan besaran debit puncak hasil hitungan dan debit puncak terukur sudah mendekati sama. Dapat disimpulkan bahwa parameter parameter yang digunakan sudah sesuai untuk DAS Tolour Oki, dan dapat digunakan untuk menghitung debit untuk hujan rencana yang ditentukan.

Tabel Parameter yang dikalibrasi

Project: DAS Toulour Oki Optimization Trial: Optimization 1

Start of Trial: 01Jan2019, 00:00 Basin Model: DAS Toulour Oki
 End of Trial: 31Dec2019, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 15Oct2021, 11:28:10

Element	Parameter	Units	Initial Value	Optimized Value
DAS Toulour Oki	Recession - Ratio to Peak		0.33	0.51178
DAS Toulour Oki	Recession - Recession Constant		0.3	0.11418
DAS Toulour Oki	SCS Curve Number - Curve Number		60	45.375
DAS Toulour Oki	SCS Curve Number - Initial Abstract...	MM	1	0.94798
DAS Toulour Oki	Snyder Unit Hydrograph - Peaking ...		0.3	0.19004
DAS Toulour Oki	Snyder Unit Hydrograph - Standard...	HR	0.46753	0.30665

Analisis debit banjir rencana dengan HEC-HMS

Debit rencana untuk berbagai kala ulang dihitung dengan memasukkan hujan rencana ke HEC-HMS dengan parameter hasil kalibrasi.

Kala Ulang (Tahun)	Debit (m ³ /det)
2	9.8
5	15.4
10	19.5
25	25.1
50	29.3
100	33.7

Global Summary Results for Run "KU 100"

Project: Debit Toulour Oki Simulation Run: KU 100

Start of Run: 01Jan2000, 00:00 Basin Model: DAS Toulour Oki
 End of Run: 05Jan2000, 00:00 Meteorologic Model: Curah Hujan Rencana
 Compute Time: 15Oct2021, 12:02:41 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DAS Toulour Oki	8.495262	33.7	01Jan2000, 03:30	151.95
Sink-1	8.495262	33.7	01Jan2000, 03:30	151.95

Global Summary Results for Run "KU 50"

Project: Debit Toulour Oki Simulation Run: KU 50

Start of Run: 01Jan2000, 00:00 Basin Model: DAS Toulour Oki
 End of Run: 05Jan2000, 00:00 Meteorologic Model: Curah Hujan Rencana
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DAS Toulour Oki	8.495262	29.3	01Jan2000, 03:30	131.97
Sink-1	8.495262	29.3	01Jan2000, 03:30	131.97

Global Summary Results for Run "KU 25"

Project: Debit Toulour Oki Simulation Run: KU 25

Start of Run: 01Jan2000, 00:00 Basin Model: DAS Toulour Oki
 End of Run: 05Jan2000, 00:00 Meteorologic Model: Curah Hujan Rencana
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DAS Toulour Oki	8.495262	25.1	01Jan2000, 03:30	113.32
Sink-1	8.495262	25.1	01Jan2000, 03:30	113.32

Global Summary Results for Run "KU 10"

Project: Debit Toulour Oki Simulation Run: KU 10

Start of Run: 01Jan2000, 00:00 Basin Model: DAS Toulour Oki
 End of Run: 05Jan2000, 00:00 Meteorologic Model: Curah Hujan Rencana
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DAS Toulour Oki	8.495262	19.5	01Jan2000, 03:30	88.11
Sink-1	8.495262	19.5	01Jan2000, 03:30	88.11

Global Summary Results for Run "KU 5"

Project: Debit Toulour Oki Simulation Run: KU 5

Start of Run: 01Jan2000, 00:00 Basin Model: DAS Toulour Oki
 End of Run: 05Jan2000, 00:00 Meteorologic Model: Curah Hujan Rencana
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DAS Toulour Oki	8.495262	15.4	01Jan2000, 03:30	69.58
Sink-1	8.495262	15.4	01Jan2000, 03:30	69.58

Global Summary Results for Run "KU 2"

Project: Debit Toulour Oki Simulation Run: KU 2

Start of Run: 01Jan2000, 00:00 Basin Model: DAS Toulour Oki
 End of Run: 05Jan2000, 00:00 Meteorologic Model: Curah Hujan Rencana
 Compute Time: 15Oct2021, 17:10:18 Control Specifications: Control 1

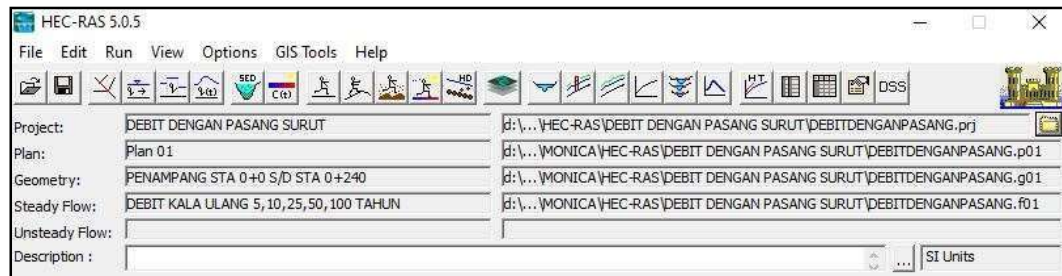
Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DAS Toulour Oki	8.495262	9.8	01Jan2000, 03:30	44.56
Sink-1	8.495262	9.8	01Jan2000, 03:30	44.56

Analisis Tinggi Muka Air Dengan Pengaruh Pasang Surut

Input Data pada Program HEC-RAS

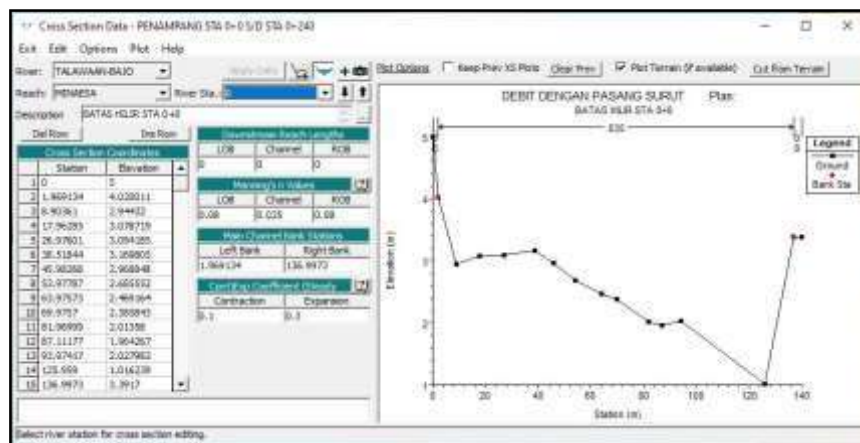
Pada *file* baru dalam program komputer HEC-RAS yang pertama dilakukan adalah memasukkan data penampang melintang (*Cross Section*) sungai Tolour Oki pada bagian *View/Edit geometric data*.



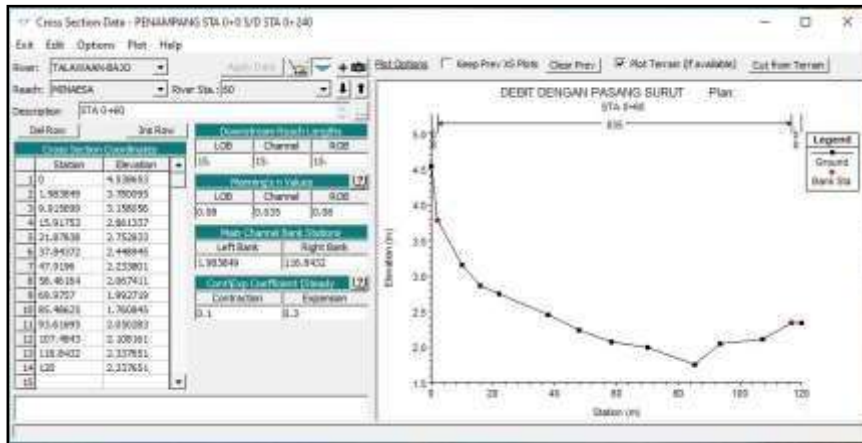
Gambar 89. Menambahkan Data Geometri Sungai Tolour Oki

Pada Tampilan *View/Edit geometric data* dibuat dahulu sungai pada bagian *River Reach*. Kemudian, tambahkan penampang melintang pada bagian *Cross Section*.

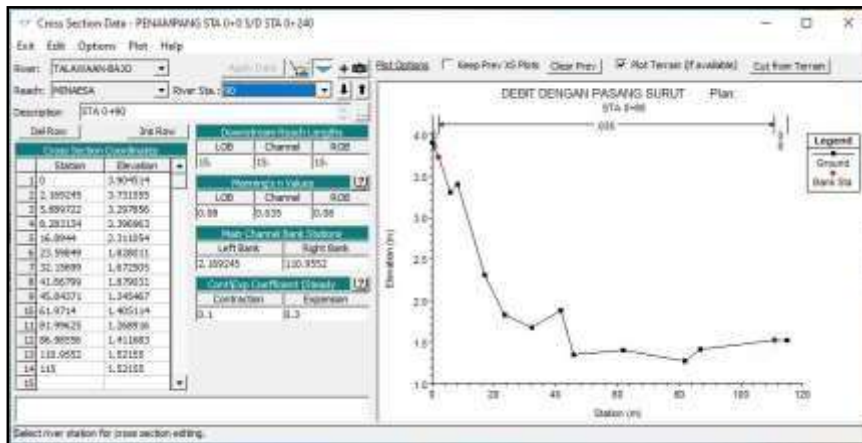
Dengan mengikuti gambar letak penampang, maka gambar penampang melintang untuk sta 0 + 0, 0 + 15, 0 + 25, 0 + 45, 0 + 60, 0 + 75, 0 + 90, 0 + 105, 0 + 115, 0 + 135, 0 + 145, 0 + 155, 0 + 165, 0 + 185, 0 + 210, 0 + 225, 0 + 240.



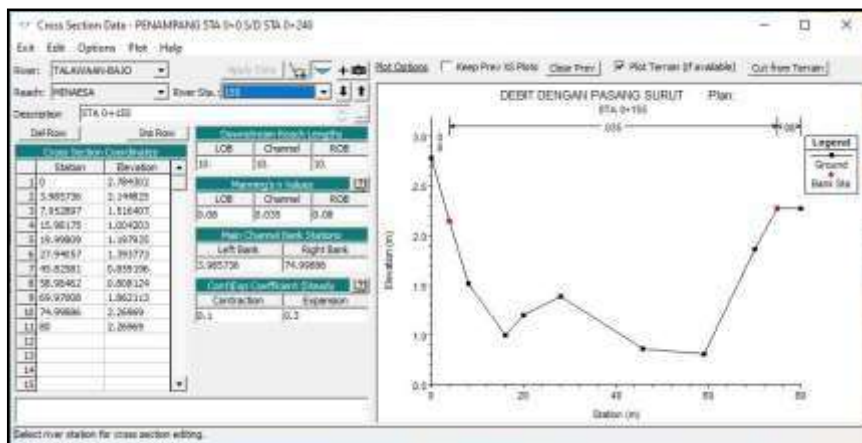
Gambar 90. Data Penampang Melintang Sta 0 + 0 m



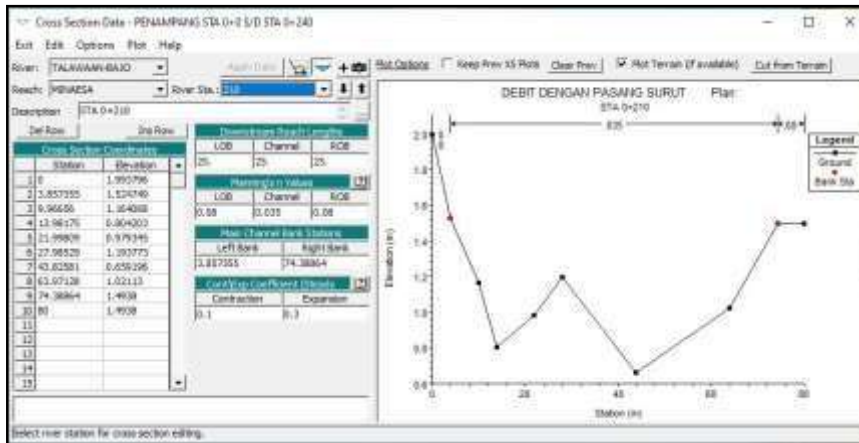
Gambar 91. Data Penampang Melintang Sta 0 + 60 m



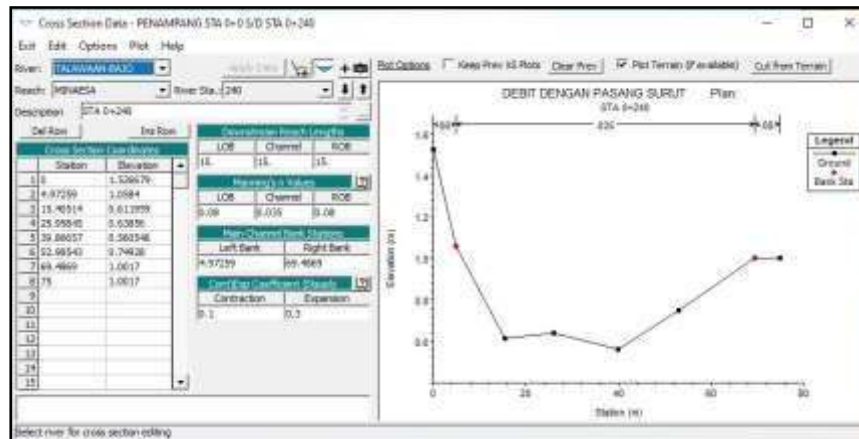
Gambar 92. Data Penampang Melintang Sta 0 + 90 m



Gambar 93. Data Penampang Melintang Sta 0 + 155 m



Gambar 94. Data Penampang Melintang Sta 0 + 210 m



Gambar 95. Data Penampang Melintang Sta 0 + 240 m

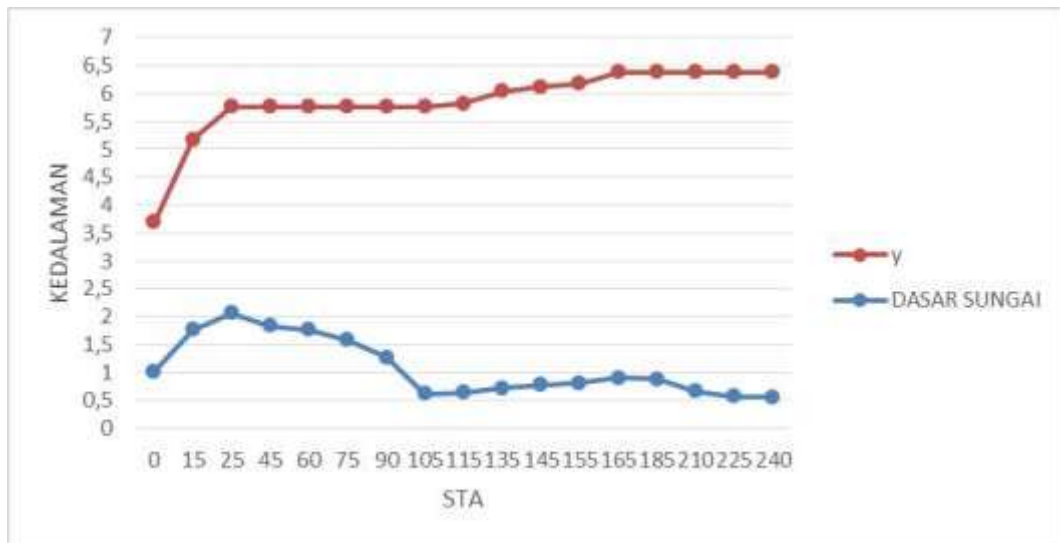
Analisis Profil Muka Air Banjir

Analisis profil muka air banjir akan menggunakan komponen data dengan kondisi pasang surut tertinggi dan debit terbesar.

Metode Tahapan Langsung

Tabel 27. Analisis Dengan Metode Tahapan Langsung

x	Δx	α	V	A	P	R	So	Sf	\overline{Sf}	$\alpha V^2/2g$	ΔE	y2-y1	y
0	0	1.01	1.5	176.29	136.62	1.290367	0	0.001962	0	0.115826	0	0	2.683761
15	15	1.02	1.73	153.85	132.78	1.158684	0.048667	0.003013	0.002487	0.155594	0.69269	0.732459	3.41622
25	10	1.02	1.88	142.22	128.06	1.110573	0.029	0.003765	0.003389	0.183746	0.256114	0.284265	3.700485
45	20	1.04	1.54	176.14	123.72	1.423699	0.017	0.001814	0.002789	0.125712	0.284214	0.226181	3.926666
60	15	1.03	1.48	181.65	119.85	1.515645	0.007333	0.001541	0.001678	0.11499	0.084836	0.074115	4.000781
75	15	1.02	1.27	209.97	113.25	1.85404	0.014667	0.000867	0.001204	0.083851	0.201935	0.170796	4.171576
90	15	1.04	1.08	251.19	117.64	2.135243	0.023333	0.00052	0.000694	0.061828	0.339597	0.317573	4.489149
105	15	1.05	0.96	281.7	113.13	2.490056	0.045333	0.000335	0.000427	0.049321	0.673594	0.661087	5.150237
115	10	1.03	1.06	253.09	102.6	2.466764	0.003	0.000413	0.000374	0.058986	0.026263	0.035928	5.186164
135	20	1.07	1.32	208.21	87.26	2.386088	0.005	0.000669	0.000541	0.095024	0.089176	0.125214	5.311378
145	10	1.11	1.3	216.8	83.29	2.602954	0.004	0.000578	0.000624	0.095612	0.033762	0.03435	5.345728
155	10	1.09	1.34	207.88	83.08	2.502167	0.003	0.000648	0.000613	0.099756	0.023871	0.028015	5.373743
165	10	1.1	1.36	205.22	88	2.332045	0.01	0.000733	0.00069	0.103698	0.093099	0.097042	5.470785
185	20	1.09	1.4	199.1	83.76	2.37703	0.002	0.000757	0.000745	0.108889	0.025105	0.030296	5.501081
210	25	1.12	1.2	236.12	84.64	2.789698	0.0104	0.000449	0.000603	0.082202	0.244925	0.218237	5.719318
225	15	1.13	1.22	232.86	80.04	2.909295	0.006667	0.000439	0.000444	0.085723	0.093339	0.09686	5.816178
240	15	1.15	1.18	244.21	80.59	3.030277	0.001333	0.000389	0.000414	0.081614	0.01379	0.00968	5.825859



Gambar 109. Profil Muka Air Banjir Dengan Metode Tahapan Langsung

Metode Tahapan Standart

Tabel 28. Analisis Dengan Metode Tahapan Standart

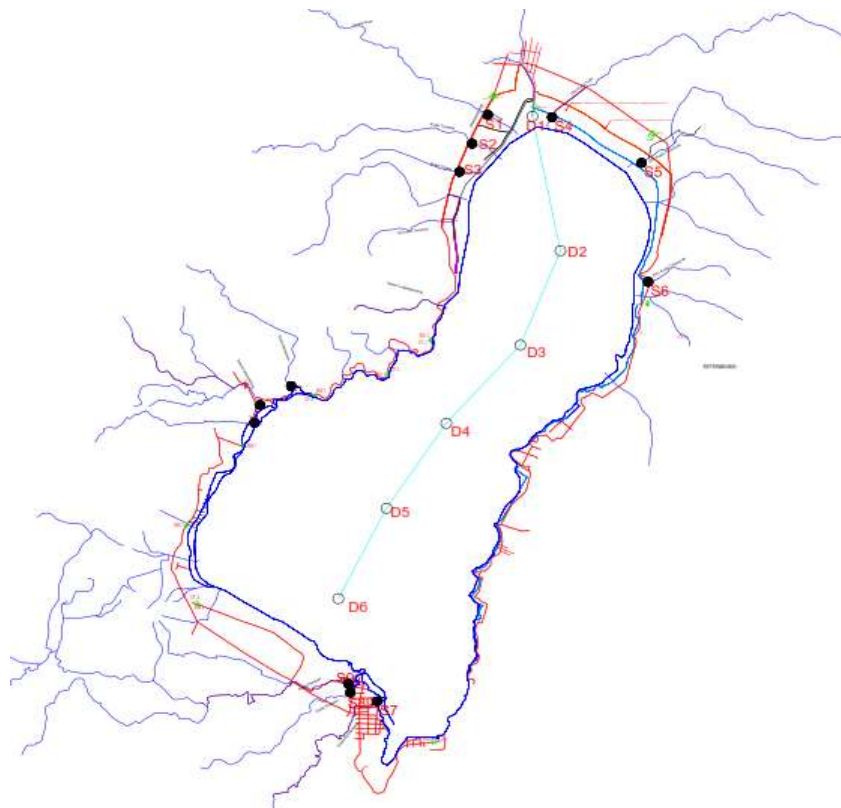
Station	Z	Tinggi dasar sungai	y	α	A	V	$\alpha V^2/2g$	H
0	3.7	1.016239	2.683761	1.01	176.29	1.5	0.115826	3.815826
15	3.71	1.760402	1.949598	1.02	153.85	1.73	0.155594	3.865594
25	3.72	2.065602	1.654398	1.02	142.22	1.88	0.183746	3.903746
45	3.84	1.834618	2.005382	1.04	176.14	1.54	0.125712	3.965712
60	3.87	1.760845	2.109155	1.03	181.65	1.48	0.11499	3.98499
75	3.92	1.586193	2.333807	1.02	209.97	1.27	0.083851	4.003851
90	3.95	1.268916	2.681084	1.04	251.19	1.08	0.061828	4.011828
105	3.97	0.615372	3.354628	1.05	281.7	0.96	0.049321	4.019321
115	3.97	0.639817	3.330183	1.03	253.09	1.06	0.058986	4.028986
135	3.96	0.722469	3.237531	1.07	208.21	1.32	0.095024	4.055024
145	3.97	0.777229	3.192771	1.11	216.8	1.3	0.095612	4.065612
155	3.97	0.808124	3.161876	1.09	207.88	1.34	0.099756	4.069756
165	3.97	0.9086	3.0614	1.1	205.22	1.36	0.103698	4.073698
185	3.98	0.881963	3.098037	1.09	199.1	1.4	0.108889	4.088889
210	4.02	0.659196	3.360804	1.12	236.12	1.2	0.082202	4.102202
225	4.03	0.57162	3.45838	1.13	232.86	1.22	0.085723	4.115723
240	4.04	0.560546	3.479454	1.15	244.21	1.18	0.081614	4.121614

Tabel 29. Analisis Dengan Metode Tahapan Standart

P	R	$R^{4/3}$	Sf	\overline{Sf}	Δx	hf	H	Persentase Selisih H (%)	Keterangan
136.62	1.290367	1.404811	0.001962	0	0	0	3.815826	0	Memenuhi
132.78	1.158684	1.216988	0.003013	0.002487	15	0.03731	3.853135	0.003	Memenuhi
128.06	1.110573	1.150084	0.003765	0.003389	10	0.033886	3.887021	0.004	Memenuhi
123.72	1.423699	1.601612	0.001814	0.002789	20	0.055786	3.942807	0.006	Memenuhi
119.85	1.515645	1.740991	0.001541	0.001678	15	0.025164	3.967971	0.004	Memenuhi
113.25	1.85404	2.277677	0.000867	0.001204	15	0.018065	3.986036	0.004	Memenuhi
117.64	2.135243	2.749559	0.00052	0.000694	15	0.010403	3.996439	0.004	Memenuhi
113.13	2.490056	3.375039	0.000335	0.000427	15	0.006406	4.002845	0.004	Memenuhi
102.6	2.466764	3.333012	0.000413	0.000374	10	0.003737	4.006583	0.006	Memenuhi
87.26	2.386088	3.188466	0.000669	0.000541	20	0.010824	4.017407	0.009	Memenuhi
83.29	2.602954	3.580595	0.000578	0.000624	10	0.006238	4.023645	0.010	Memenuhi
83.08	2.502167	3.396943	0.000648	0.000613	10	0.006129	4.029773	0.010	Memenuhi
88	2.332045	3.092545	0.000733	0.00069	10	0.006901	4.036674	0.009	Memenuhi
83.76	2.37703	3.172338	0.000757	0.000745	20	0.014895	4.051569	0.009	Memenuhi
84.64	2.789698	3.927138	0.000449	0.000603	25	0.015075	4.066645	0.009	Memenuhi
80.04	2.909295	4.153209	0.000439	0.000444	15	0.006661	4.073306	0.010	Memenuhi
80.59	3.030277	4.385069	0.000389	0.000414	15	0.00621	4.079516	0.010	Memenuhi

Sedimentasi

Lokasi pengambilan sample dilakukan pada sungai Tolour Oki seperti gambar (S5). Berdasarkan proyeksi tutupan lahan 2050, hanya terjadi sedikit perubahan total luasan tutupan antara tutupan lahan penahan sedimentasi (hutan dan persawahan) dan penyebab meningkatnya sedimentasi (lahan kosong dan pemukiman) sebesar 2%, sehingga besarnya rata-rata konsentrasi sedimen layang dari DAS diasumsikan sama pada tahun 2016 dan 2050



Gambar 6. 1 Titik-titik Monitoring Sedimen dan Pengukuran Sedimen

Pada Danau Tondano, data sedimen didapatkan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sembiring, A. (2014). Hasil dari penentuan parameter sedimen diperlihatkan pada tabel berikut.

Tabel 6. 1 Data Sedimen

Data Sedimen	
d50 (mm)	0.5
Porositas	0.4
Gs	2.66

Konsentrasi sedimen merupakan tingkat kandungan sedimen dalam air yang dapat ditentukan berdasarkan jenis tata guna lahan dan tingkat erosi dari sub-DAS Inlet Danau Tondano. Setiap inlet memiliki tingkat konsentrasi sedimen yang berbeda, dipengaruhi oleh besar luasan DAS. Tingkat konsentrasi sedimen yang telah diperkirakan, ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 6. 2 Tingkat Konesetrasi Sedimen

Inlet	Konsentrasi Sedimen (gr/m ³)
Tolour Oki	6.30

Tabel 6. 3 Rata-rata Sedimen Layang

Rata-rata Sedimen Layang (gr/m ³)							
Inflow	Qbase	Q2	Q5	Q10	Q25	Q50	Q100
Tolour Oki	5.89	97.82	132.58	148.21	157.93	161.252	161.08

Tabel 6. 4 Total Sedimen

Total Sedimen (m ³)							
Inflow	Qbase	Q2	Q5	Q10	Q25	Q50	Q100
Tolour Oki	5.91	625	1007	1201	1329	1373	1372

Dari simulasi dalam 24 jam yang telah dilakukan ditemukan hubungan besarnya debit sungai, volume sedimen dan penambahan tinggi sedimen pada Tabel 6.9. Berdasarkan Tabel 6.9 dilakukan analisis estimasi penambahan volume dan ketinggian sedimentasi selama kurun waktu 30 tahun yang ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 6. 5 Estimasi Kenaikan Dasar Danau Setelah 30 Tahun

Kala Ulang	Total Sedimen Perhari (m ³)	Penambahan Tinggi Sedimen (mm)	Frekuensi dlm 30 tahun	Total 30 Tahun (m ³)
Qbase	79.73	0	10950	873043.5
Q2	74798.06	1.56	15	1121970.9
Q5	105611.24	2.2	6	633667.44
Q10	119158.91	2.48	3	357476.73
Q25	128827.69	2.68	2	257655.38
Q50	134039.34	2.79	1	134039.34
Q100	137251.45	2.86	1	137251.45
Total volume Sedimen dalam 30 Tahun (m ³)				3515104.7
Total Kenaikan Dasar Setelah 30 tahun (mm)				73.25

Tabel di atas adalah mengadopsi asumsi bahwa seluruh sedimentasi terjadi merata di seluruh dasar danau, menunjukkan kenaikan yang kecil.

Kesimpulan

1. Besar debit banjir Sungai Tolour Oki pada kala ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun adalah $(Q2) = 9,8 \text{ m}^3/\text{dtk}$, $(Q5) = 15,4 \text{ m}^3/\text{dtk}$, $(Q10) = 19,5 \text{ m}^3/\text{dtk}$, $(Q25) = 25,1 \text{ m}^3/\text{dtk}$, $(Q50) = 29,3 \text{ m}^3/\text{dtk}$ dan $(Q100) = 33,7 \text{ m}^3/\text{dtk}$.
2. Luapan cenderung terjadi kearah bantaran kanan sungai. Penampang sungai pada kondisi dengan pengaruh pasang air danau yaitu pada elevasi +683.02 m untuk kala ulang 5 dan 100 tahun semua penampang sudah tidak mampu menampung debit banjir yang terjadi. Tinggi muka air banjir (luapan) berkisar 0,01–0,96 meter.
3. Profil muka air banjir sungai Tolour Oki yang dihasilkan dari metode tahapan langsung memiliki trend yang sama dengan hasil dari program HEC- RAS.
4. Presentase perbedaan tinggi profil muka air sungai Tolour Oki yang dihasilkan dari metode tahapan standart memiliki selisih yang sangat kecil dengan yang dihasilkan dari program HEC-RAS.
5. Konsentrasi sedimen terlarut pada sungai Tolour Oki adalah $6,30 \text{ gr/m}^3$ dengan total sedimen inflow masing-masing pada $Q_{base} = 5,91 \text{ m}^3$, $(Q2) = 625 \text{ m}^3$, $(Q5) = 1007 \text{ m}^3$, $(Q10) = 1201 \text{ m}^3$, $(Q25) = 1329 \text{ m}^3$, $(Q50) = 1373 \text{ m}^3$ dan $(Q100) = 1372 \text{ m}^3$.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian, profil muka air sungai sungai Tolour Oki perlu untuk ditinjau dan dikaji ulang terhadap pengendalian banjir sungai untuk menanggulangi banjir yang terjadi akibat pengaruh *backwater* melalui upaya berupa peninggian atau pembuatan tanggul banjir. Diperlukan juga bangunan pengendali sedimen seperti checkdam.

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Besar debit banjir Sungai Tolour Oki pada kala ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun adalah $(Q_2) = 9,8 \text{ m}^3/\text{dtk}$, $(Q_5) = 15,4 \text{ m}^3/\text{dtk}$, $(Q_{10}) = 19,5 \text{ m}^3/\text{dtk}$, $(Q_{25}) = 25,1 \text{ m}^3/\text{dtk}$, $(Q_{50}) = 29,3 \text{ m}^3/\text{dtk}$ dan $(Q_{100}) = 33,7 \text{ m}^3/\text{dtk}$.
2. Luapan cenderung terjadi kearah bantaran kanan sungai. Penampang sungai pada kondisi dengan pengaruh pasang air danau yaitu pada elevasi +683.02 m untuk kala ulang 5 dan 100 tahun semua penampang sudah tidak mampu menampung debit banjir yang terjadi. Tinggi muka air banjir (luapan) berkisar 0,01–0,96 meter.
3. Profil muka air banjir sungai Tolour Oki yang dihasilkan dari metode tahapan langsung memiliki trend yang sama dengan hasil dari program HEC- RAS.
4. Presentase perbedaan tinggi profil muka air sungai Tolour Oki yang dihasilkan dari metode tahapan standart memiliki selisih yang sangat kecil dengan yang dihasilkan dari program HEC-RAS.
5. Konsentrasi sedimen terlarut pada sungai Tolour Oki adalah $6,30 \text{ gr/m}^3$ dengan total sedimen inflow masing-masing pada $Q_{base} = 5,91 \text{ m}^3$, $(Q_2) = 625 \text{ m}^3$, $(Q_5) = 1007 \text{ m}^3$, $(Q_{10}) = 1201 \text{ m}^3$, $(Q_{25}) = 1329 \text{ m}^3$, $(Q_{50}) = 1373 \text{ m}^3$ dan $(Q_{100}) = 1372 \text{ m}^3$.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, profil muka air sungai Tolour Oki perlu untuk ditinjau dan dikaji ulang terhadap pengendalian banjir sungai untuk menanggulangi banjir yang terjadi akibat pengaruh *backwater* melalui upaya berupa peninggian atau pembuatan tanggul banjir. Diperlukan juga bangunan pengendali sedimen seperti checkdam.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. *Data Hujan Harian Pos HujanPaleloan*. Balai Wilayah Sungai Sulawesi 1, Manado.
- _____. *Global Mapper*. Data GIS Balai Wilayah Sungai Sulawesi 1, Manado.
- _____. 2000. *HEC-HMS Technical Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center, U.S Army Corps of Engineers, USA.
- _____. 2010. *HEC-RAS 4.1.0 Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center, U.S Army Corps of Engineers, USA.
- Anandhita, T, & Hambali, R. 2018. *Analisis Pengaruh Backwater (Air Balik) Terhadap Banjir Sungai Rangkui Kota Pangkalpinang*. Jurnal Fropil Vol 03No 2 Juli-Desember 2015, 131-141, Universitas Bangka Belitung, Pangkalpinang.
- Bambang Triatmodjo. 2008. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset, Yogyakarta.
- Hendratta, L & Ohmoto, T (2013). *Resistance and flow characteristics of high concentration sediment laden flow over dune type bed in an open channel*. Acta Technica Corviniencis-Bulletin of Engineering. Tome VI-Fascicule 4. 49-54.
- Istiarto. 2014, Januari 14. *Hec-Ras: Steady Atau Unsteady Flow Analysis*. <https://istiarto.staff.ugm.ac.id/>, 18 Januari 2019.
- Kamase, Melinda., Liany A. Hendratta, Jeffry S. F. Sumarauw. 2017. *Analisis Debit Dan Tinggi Muka Air Sungai Tondano Di Jembatan Desa Kuwil Kecamatan Kalawat*. Jurnal Sipil Statik Vol.5 No.4 Juni 2017 (175-185) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Soewarno. 1991. *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data*. Nova, Bandung.
- Sukarno, Liany, A Hendratta & Hanny Tangkudung. 2017. *Studi Aliran Banjir Pada Pertemuan Muara Sungai Tondano Dan Sungai Sawangan*. Jurnal Sipil Statik Vol.5 No.10 Desember 2017 (711-716) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Sumarauw, Jeffry. 2013. *Hujan*. Bahan Ajar Mahasiswa, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Sumarauw, Jeffry. 2017. *Analisis Frekwensi Hujan*. Bahan Ajar Mahasiswa, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Sumarauw, Jeffry. 2017. *Hidrograf Satuan Sintetis*. Bahan Ajar Mahasiswa, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Sumarauw, Jeffry. 2018. *HEC-HMS*. Bahan Ajar Mahasiswa, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Tanudjaja, Lambertus. 1991. *Analisis Aliran Di Saluran Terbuka Dengan Metode Elemen Hingga*. Tesis S2 Teknik Sumberdaya Air, Institut Teknologi Bandung, Bandung

LAMPIRAN :

KETERKAITAN JUDUL PENELITIAN:

No	URAIAN	Cek List (✓)	
		YA	TIDAK
1.	Berorientasi Kepasifikan	✓	
2.	Berorientasi Kearifan Lokal	✓	
3.	Penelitian Produk Inovasi		✓
4.	Penelitian Protipe Industri		✓
5.	Penelitian Prototipe R & D		✓
6.	Penelitian Dimanfaatkan Masyarakat	✓	

BIDANG FOKUS/UNGGULAN PENELITIAN:

No	URAIAN	Cek List (✓)	
		YA	TIDAK
1.	Pangan-Pertanian		✓
2.	Kesehatan dan Obat		✓
3.	Kemaritiman		✓
4.	Kebencanaan	✓	
5.	Sosial Humaniora, Seni Budaya, dan Pendidikan		✓

DAFTAR LAMPIRAN:

A. FORMULIR LUARAN PENELITIAN

Disesuaikan dengan data yang tersedia dari masing-masing dosen

1. Publikasi Jurnal: Nasional Terakreditasi / Internasional*) *coret yg tdk perlu

Nama Jurnal :

Judul Artikel :

Tanggal Submit/Daftar:

ISSN **Volume** **No** **Halaman (...s/d...)=>** (*khusus untuk artikel yang telah di publikasikan*)

URL (http://...) => (*khusus untuk artikel yang telah di publikasikan*)

Lampirkan: **Bukti Submit atau Artikel yang telah diterbitkan**

2. Hak Kekayaan Intelektual (HKI)

Judul HKI : **Profil Aliran Sarat Sedimen Dan Pengaruhnya Terhadap Proses Sedimentasi Sungai**

Jenis HKI (~~Paten, Paten Sederhana, Hak Cipta~~*) *coret yang tidak perlu

Nomor Pendaftaran : **EC00202286055**

Status (~~Terdaftar atau Granted~~*) *coret yang tidak perlu

Lampirkan: **Bukti Sertifikat**

REPUBLIC INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00202286055, 9 November 2022

Pencipta

Nama : **Dr. Eng. Ir. Liany Amelia Hendratta, MSi**
Alamat : Kelurahan Batukota Lingkungan I No. 31 Kecamatan Malalayang,
Manado, SULAWESI UTARA, 95115
Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta

Nama : **Sentra Kekayaan Intelektual Universitas Sam Ratulangi**
Alamat : Gd.LPPM Lt-1. Jln. Kampus Unsrat, Manado, Sulawesi Utara,
Manado, SULAWESI UTARA, 95115
Kewarganegaraan : Indonesia
Jenis Ciptaan : **Program Komputer**
Judul Ciptaan : **PROFIL ALIRAN AIR SARAT SEDIMEN DAN PENGARUHNYA
TERHADAP PROSES SEDIMENTASI SUNGAI**

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 9 November 2022, di Manado

Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama 50 (lima puluh) tahun sejak Ciptaan tersebut pertama kali dilakukan Pengumuman.

Nomor pencatatan : 000401799

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.
Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n Menteri Hukum dan Hak Asasi Manusia
Direktur Jenderal Kekayaan Intelektual
u.b.
Direktur Hak Cipta dan Desain Industri

Anggoro Dasananto
NIP.196412081991031002

Disclaimer:

Dalam hal pemohon memberikan keterangan tidak sesuai dengan surat pernyataan, Menteri berwenang untuk mencabut surat pencatatan permohonan.