

Fakultas : Teknik

LAPORAN AKHIR

RISET TERAPAN UNGGULAN UNSRAT



**PENERAPAN APLIKASI *ADVANCED NUMERICAL METHOD* PADA ANALISIS
PROFIL MUKA AIR DI MUARA SUNGAI**

Ketua / Anggota Tim

Dr.Eng.Ir. Liany A. Hendratta, MSi	NIDN :0020036605
Ir.Isri R. Mangangka, Meng., PhD	NIDN :0024096505
Ir. Hanny Tangkudung, MT	NIDN: 0002045804

Mahasiswa

Tesalonika C. Lalamentik	NIM 17021101074
Priliani A. Vabiola	NIM 17021101109
Nikita Morong	NIM 17021101091

UNIVERSITAS SAM RATULANGI
November 2021



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 : PENERAPAN APLIKASI ADVANCED NUMERICAL METHOD PADA ANALISIS PROFIL MUKA AIR DI MUARA 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 : ISRI RONALD MANGANGKA
NIP : 196509241993031003
Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi

Anggota Peneliti (2)

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

Mahasiswa (1)

Nama Lengkap/NIM : Tesalonika C. Lalamentik / 17021101074

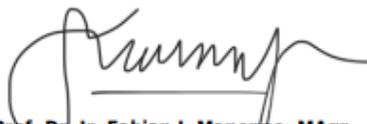
Mahasiswa (2)

Nama Lengkap/NIM : Priliani A. Vabiola / 17021101109

Mahasiswa (3)

Nama Lengkap/NIM : Nikita Morong / 17021101091

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik Unsrat


Prof. Dr. Ir. Fabian J. Manoppo, MAgr
NIP 196210141992031001

Manado, 21 November 2021
Ketua Peneliti


LIANY AMELIA HENDRATTA
NIP 196603201991032001

Menyetujui
Ketua LPPM Universitas Sam Ratulangi

Prof. Dr. Ir. Charles Lodewijk Kaunang, MS
NIP 195910181986031002

RINGKASAN

Bencana banjir pada muara sungai mengakibatkan kerusakan alam dan lingkungan serta mempunyai dampak besar bagi perekonomian bahkan kehidupan manusia. Sungai Pulisan yang bermuara di Pantai Pulisan termasuk dalam Kawasan Ekonomi Khusus Pariwisata di Kecamatan Likupang perlu mendapat perhatian karena sering meluap pada musim penghujan sehingga menjadi penghalang bagi program pemerintah khususnya pengembangan pariwisata serta kerugian bagi masyarakat yang bermukim di sekitar muara.

Secara teknis, terjadinya banjir pada muara Sungai Pulisan disebabkan oleh adanya endapan sedimen terlarut bersama aliran air sungai dari daerah hulu, curah hujan yang tinggi serta pengaruh aliran balik (*back water*) yang terjadi pada saat pasang laut dalam kondisi tinggi. Pengaruh pasang air laut mengakibatkan pembendungan aliran air di bagian hilir (muara sungai) serta perambatan air banjir ke arah bagian hulu sungai. Seberapa jauh pengaruh perambatan air banjir serta bagaimana profil aliran air akibat pengaruh bersamaan antara pasang air laut tertinggi dan aliran bersedimen yang sangat membahayakan area di sekitar muara masih menjadi permasalahan yang perlu diteliti lebih lanjut.

Beberapa studi sebelumnya tentang analisis profil aliran air banjir sering tanpa memperhitungkan kandungan sedimen terlarut padahal dengan faktor curah hujan yang tinggi serta kondisi tutupan lahan pada Daerah Aliran Sungai (DAS) akan mempengaruhi besarnya konsentrasi sedimen terlarut air di sungai yang pada akhirnya akan berpengaruh terhadap profil aliran air banjir. Selain itu, bersamaan dengan curah hujan yang tinggi sering diiringi dengan terjadinya air pasang sehingga terjadi peningkatan tinggi muka air banjir akibat aliran balik di penampang sungai sekitar muara.

Penelitian ini bertujuan jangka panjang untuk menerapkan suatu **metode analisis berbasis aplikasi program komputer dengan *advanced numerical method*** untuk menganalisis profil muka air yang tujuannya dapat mengurangi bahaya bencana banjir pada daerah muara sungai dengan memperhitungkan pengaruh pasang air laut yang tinggi dan konsentrasi sedimen terlarut pada aliran sungai. Langkah-langkah untuk mencapai tujuan jangka panjang ini adalah 1) menganalisis data pasang surut pantai Pulisan untuk mendapatkan elevasi muka air pasang tertinggi, 2) menganalisis data curah hujan dari stasiun pencatat curah hujan terdekat dengan sungai Pulisan untuk menghitung debit banjir dan melakukan pengukuran langsung debit sesaat di lokasi penelitian, 3) mengambil sampel aliran yang mengandung sedimen terlarut untuk dianalisis besar konsentrasi sedimen terlarut dan dilanjutkan dengan penelitian laboratorium hidraulika untuk mendapatkan pengaruh prosentase konsentrasi sedimen terhadap tinggi muka air, dan 4) membuat aplikasi program komputer untuk menganalisis profil aliran air banjir Sungai Pulisan yang secara bersamaan diakibatkan oleh pengaruh aliran balik (*back water*) dan aliran banjir sarat sedimen terlarut. Jika semua tahapan penelitian terlaksana dengan baik maka **aplikasi program komputer** untuk penentuan profil muka air menggunakan *advanced numerical method* sebagai luaran dari penelitian ini dapat diimplementasikan untuk menganalisis kenaikan tinggi muka air banjir yang lebih akurat sehingga dapat meminimalisir bahaya bencana banjir. Luaran penelitian akan dipublikasikan pada jurnal nasional, pertemuan ilmiah nasional serta mendapatkan HKI.

Tingkat kesiapterapan Teknologi (TKT) dari penelitian ini adalah penerapan atau demonstrasi aplikasi program komputer untuk menguji akurasi penelitian laboratorium pada lingkungan operasional dengan kondisi yang telah diketahui.

Kata kunci : Profil muka air, muara sungai, pasang surut, sedimen, *advanced numerical method*

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 : Penerapan Aplikasi *Advanced Numerical Method* Pada Analisis Profil Muka Air Di Muara Sungai.

Kegiatan ini dilaksanakan untuk membantu menyelesaikan permasalahan banjir dan genangan air 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 Pulisan , Minahasa Utara. 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 Pulisan 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 2021
Ketua Pelaksana,

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

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUNG

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. KESIMPULAN DAN SARAN

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai terbentuk secara alamiah dan berfungsi untuk menampung air hujan yang turun di atas permukaan bumi dan mengalirkannya kelaut atau kedanau-danau. Saat terjadi hujan lebat yang membawa sedimen terlarut dengan konsentrasi yang tinggi menjadikan sungai tidak dapat menampung volume air yang besar sehingga meluap dan mengakibatkan banjir yang dapat menimbulkan kerusakan terhadap harta benda dan kehilangan nyawa manusia.

Sungai Pulisan adalah salah satu sungai di Provinsi Sulawesi Utara yang pernah meluap sehingga masyarakat disekitarnya muara sungai mengalami kerugian besar. Hal itu merupakan permasalahan yang cukup serius dan memerlukan perhatian khusus dari berbagai pihak untuk segera dicarikan jalan penyelesaiannya. Beberapa permasalahan pokok yang menyebabkan terjadinya banjir di sekitar muara Sungai Pulisan sebagian besar disebabkan oleh adanya endapan akibat mengalirnya air dengan konsentrasi sedimen terlarut yang tinggi dari daerah hulu, curah hujan yang tinggi serta pengaruh air balik (back water) yang terjadi pada saat pasang laut dalam kondisi tinggi. Pengaruh pasang air laut ini mengakibatkan pembendungan aliran air di bagian hilir serta perambatan air banjir ke bagian hulu sungai. Seberapa jauh pengaruh perambatan air banjir serta bagaimana profil aliran air akibat pengaruh pasang air laut tertinggi dan aliran bersedimen yang sangat membahayakan pemukiman masyarakat di sekitar muara menjadi issue kajian dalam penelitian ini.

Salah satu bidang riset unggulan yang menjadi prioritas Universitas Sam Ratulangi adalah “manajemen penanggulangan kebencanaan dan lingkungan”. Hal ini berkaitan dengan isu strategis daerah Sulawesi Utara sebagai wilayah rawan bencana hidrometeorologi, geologis dan ekologis yang membutuhkan kebijakan, infrastruktur dan kesiapan masyarakat terhadap penanggulangan bencana. Berdasarkan isu tersebut di atas maka diperlukan topik riset yang berkaitan dengan pengembangan sistem/metode yang aplikatif untuk penguatan masyarakat yang tanggap bencana banjir.

1.2 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode hasil penelitian laboratorium sebelumnya yang ditindaklanjuti dengan pembuatan aplikasi program komputer agar dapat menganalisis kondisi luapan dan profil aliran air banjir pada setiap titik di sekitar muara sungai disaat terjadi debit banjir yang membawa aliran bersedimen dan pengaruh air balik (back water) akibat pasang surut air laut.

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 yaitu hasil nyata berupa produk aplikasi program komputer untuk menganalisis profil aliran air banjir dengan tujuan perbaikan kualitas lingkungan. Adapun rencana target capaian tahunan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Rencana Target Capaian Tahunan

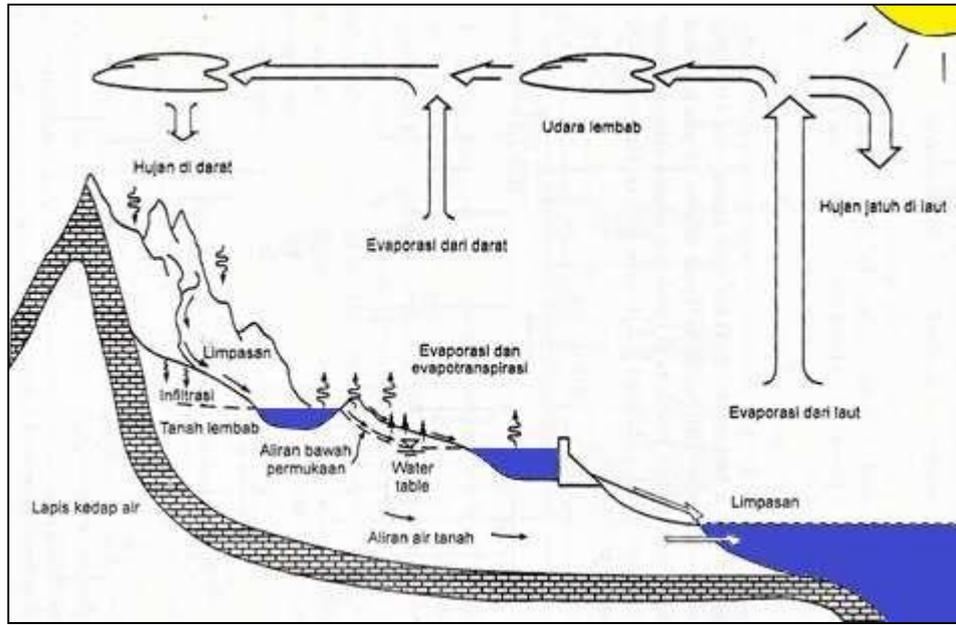
No.	Jenis Luaran		Indikator Capaian
1	Publikasi ilmiah	Internasional	
		Nasional Terakreditasi	
2	Pemakalah dalam temu ilmiah	Internasional	
		Nasional	
3	<i>Invited speaker</i> dalam temu ilmiah	Internasional	
		Nasional	
4	<i>Visiting Lecturer</i>	Internasional	
5	Hak Kekayaan Intelektual (HKI)	Paten	
		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)	
9	Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT)	4

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Siklus Hidrologi



Sumber: "Bambang Triatmodjo; 2008".

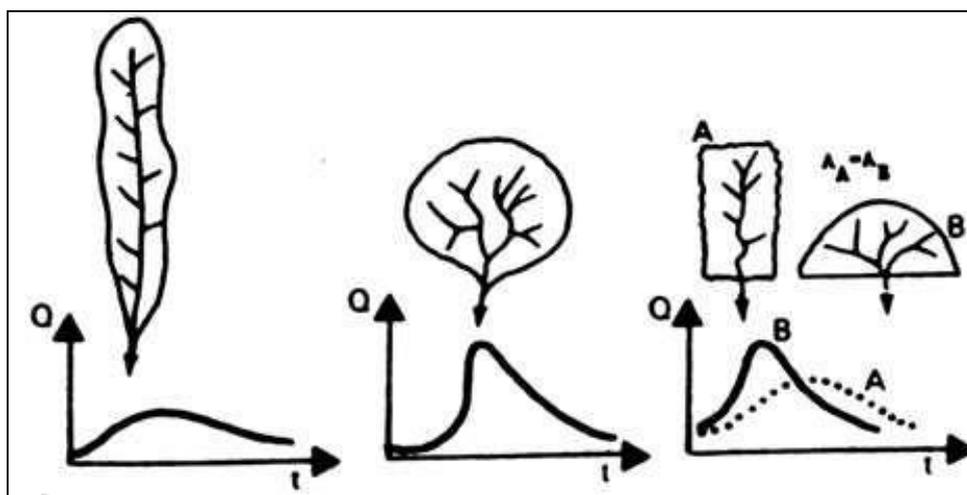
Gambar 1. Siklus Hidrologi

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:

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

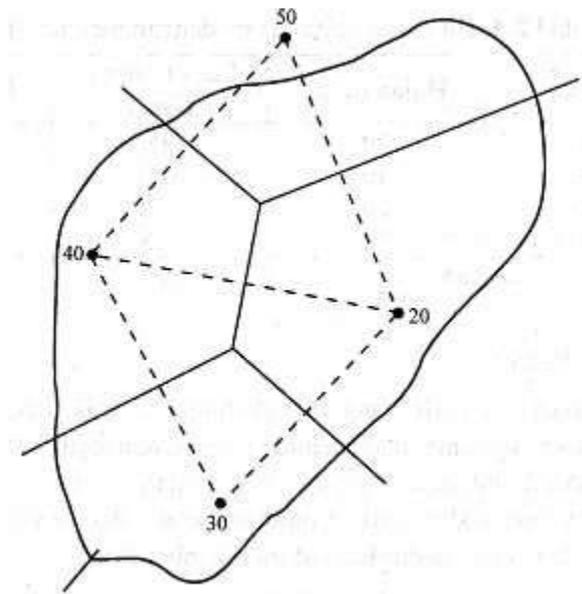
dengan:

\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.

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

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 Tata guna 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 Pasang Surut

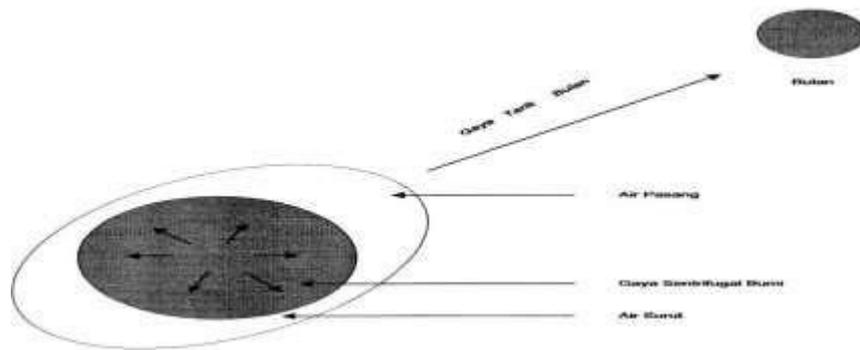
Pasang surut air laut adalah suatu gejala fisik yang selalu berulang dengan periode tertentu dan pengaruhnya dapat dirasakan sampai jauh masuk kearah hulu dari muara sungai. Pasang surut merupakan hasil dari gaya tarik gravitasi dan efek sentrifugal. Efek sentrifugal adalah dorongan ke arah luar pusat rotasi. Campuran antara air asin dan air tawar dari suatu muara sungai diakibatkan oleh gerakan arus pasang surut. (Jansen, 2016)

Gravitasi bervariasi secara langsung dengan massa tetapi berbanding terbalik terhadap jarak. Meskipun ukuran bulan lebih kecil dari matahari, gaya tarik gravitasi bulan dua kali lebih besar daripada gaya tarik matahari dalam membangkitkan pasang surut laut karena jarak bulan lebih dekat daripada jarak matahari ke bumi.

Gaya tarik gravitasi menarik air laut ke arah bulan dan matahari dan menghasilkan dua tonjolan (bulge) pasang surut gravitasional di laut. Lintang dari tonjolan pasang surut ditentukan oleh deklinasi, sudut antara sumbu rotasi bumi dan bidang orbital bulan dan matahari.

1. Pembangkit Pasang Surut

Gaya-gaya pembangkit pasang surut ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antara bumi, bulan dan matahari. Penjelasan terjadinya pasang surut dilakukan hanya dengan memandang suatu sistem bumi-bulan : sedang sistem bumi-matahari penjelasannya adalah identik. Dalam penjelasan ini dianggap bahwa permukaan bumi, yang apabila tanpa pengaruh gaya tarik bulan, tertutup secara merata oleh laut (bentuk permukaan air adalah bundar).



Sumber: "Samuel ; 2017".

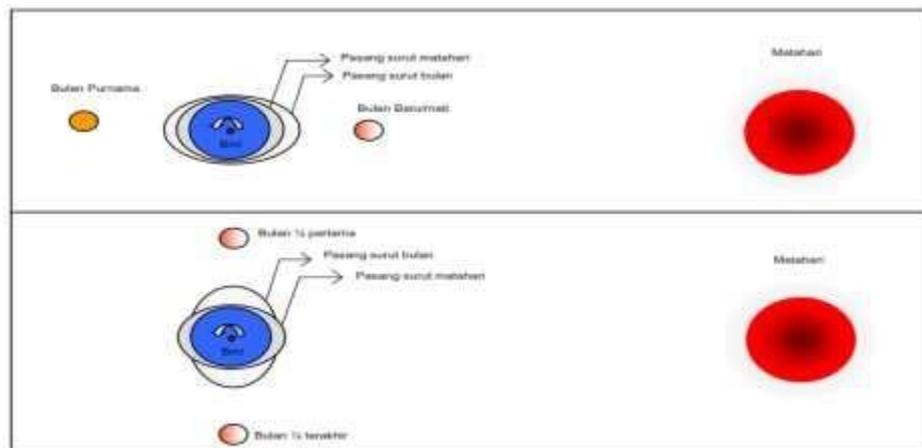
Gambar 4. Gambaran Sederhana Terjadinya Pasang Surut

Pasang surut terjadi karena adanya gerakan dari benda benda angkasa yaitu rotasi bumi pada sumbunya, peredaran bulan mengelilingi bumi dan peredaran bulan mengelilingi matahari. Gerakan dari benda angkasa tersebut akan mengakibatkan terjadinya beberapa macam gaya pada setiap titik di bumi ini, yang disebut gaya pembangkit pasang surut. Masing masing gaya akan memberikan pengaruh pada pasang surut dan disebut komponen pasang surut, dan gaya tersebut berasal dari pengaruh matahari, bulan atau kombinasi keduanya.

2. Pasang Surut Purnama dan Perbani

Seperti yang telah dijelaskan di depan, dengan adanya gaya tarik bulan dan matahari maka lapisan air yang semula berbentuk bola berubah menjadi ellips. Karena peredaran bumi dan bulan pada orbitnya, maka posisi bulan-

matahari selalu berubah setiap saat. Revolusi bulan terhadap bumi ditempuh dalam waktu 29.5 hari (jumlah hari dalam satu bulan menurut kalender tahun kamariah, yaitu tahun yang didasarkan pada peredaran bulan). Pada setiap sekitar tanggal 1 dan 15 (bulan muda dan bulan purnama) posisi bumi-bulan-matahari kira-kira berada pada satu garis lurus dalam keadaan ini terjadi pasang surut purnama (pasang besar, *spring tide*). Sedang pada setiap sekitar tanggal 7 dan 21 (seperempat bulan dan tiga perempat revolusi bulan terhadap bumi dimana bulan dan matahari membentuk sudut siku-siku terhadap bumi dalam keadaan ini terjadi pasang surut perbani (pasang kecil, *neap tide*). Berikut penjelasan posisi bulan dan matahari terhadap bumi dalam mempengaruhi pasang surut.



Sumber : Bambang Triatmodjo, 2012

Gambar 5. Posisi bumi-bulan-matahari

Beberapa posisi yang penting untuk diketahui :

- a. Matahari-bulan-bumi terletak pada satu sumbu yang berupa garis lurus. Pada posisi ini bumi menghadapi sisi bulan yang tidak kena sinar matahari (sisi gelap), jadi bulan tidak dapat dilihat dari bumi. Karenanya keadaan tersebut disebut bulan mati. Posisi seperti ini akan mengakibatkan adanya gaya tarik bulan dan matahari terhadap bumi yang saling menguatkan.
- b. Matahari-bumi-bulan terletak pada satu sumbu garis lurus. Pada posisi kedua ini, bulan sedang purnama, karena bulan dapat dilihat penuh dari bumi, dan memberikan akibat pada pembangkitan pasang yang sama

dengan posisi pertama. Akibat posisi tersebut terjadi pasang. Pasang seperti ini dikenal sebagai pasang purnama.

- c. Bulan terletak menyiku (membentuk sudut 90°) dari sumbu bersama matahari-bumi. Pada posisi semacam ini, maka gaya tarik bulan akan diperkecil oleh gaya tarik matahari terhadap massa air di bumi. Hasilnya terjadi pasang yang kecil yang disebut pasang perbani.

3. Tipe Pasang Surut

Bentuk pasang surut di berbagai daerah tidak sama. Di suatu daerah dalam satu hari dapat terjadi satu kali atau dua kali pasang surut. Secara umum pasang surut di berbagai daerah dapat dibedakan dalam empat tipe dengan menggunakan angka pasang surut "F" (*tide form number* "Formzahl"). Empat tipe pasang surut yaitu pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), pasang surut harian ganda (*semidiurnal tide*) dan dua jenis campuran. Berikut penjelasan mengenai empat tipe pasang surut tersebut :

1. Pasang Surut Harian Ganda (*semi diurnal tide*) : $0 < F \leq 0.25$

Yaitu pasang surut yang memiliki sifat dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan juga dua kali surut dengan tinggi yang hampir sama dan pasang surut terjadi berurutan secara teratur.

2. Pasang Surut Harian Tunggal (*diurnal tide*) : $F > 3$

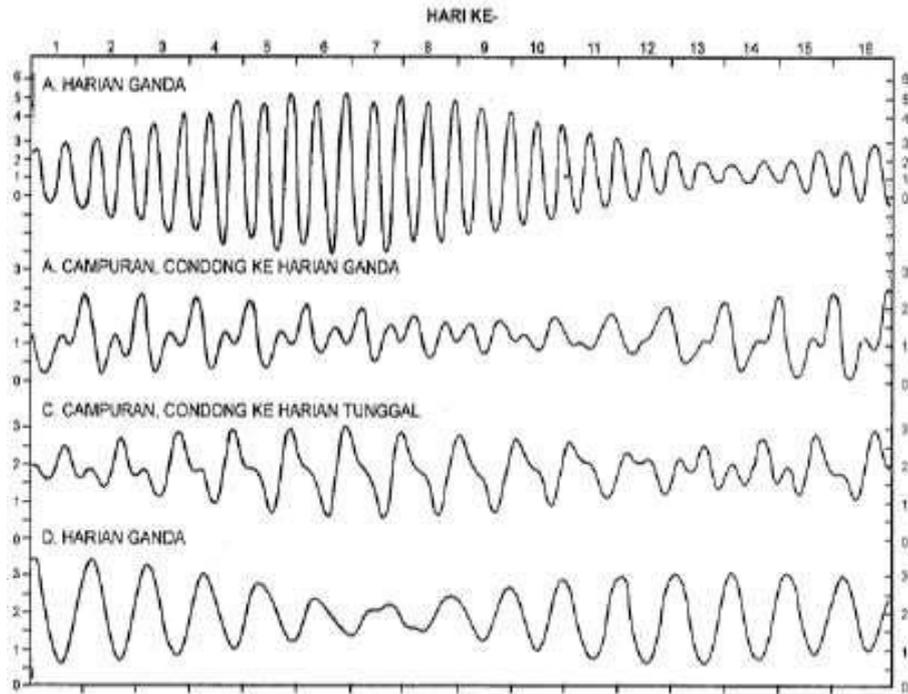
Yaitu tipe pasang surut yang apabila dalam satu hari hanya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut.

3. Pasang Surut Campuran Condong ke Harian Ganda (*mixed tide prevailing semi diurnal*) : $0.25 < F < 1.5$

Yaitu pasang surut yang dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda.

4. Pasang Surut Campuran Condong ke Harian Tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*) : $1.5 < F \leq 3$

Yaitu dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda.



Sumber : Bambang Triatmodjo, 2012

Gambar 6. Tipe Pasang Surut

Dimana angka pasang surut “F”(tide form number “Formzahl”) didapat dengan persamaan berikut :

$$F = \frac{A(K1)+A(O1)}{A(M2)+A(S2)} \quad (20)$$

Keterangan :

- F (Formzahl) = Angka Pasang Surut (*tide form number*)
- A(K1) = Amplitudo dari konstanta pasut K1
- A(O1) = Amplitudo dari konstanta pasut O1
- A(M2) = Amplitudo dari konstanta pasut M2
- A(S2) = Amplitudo dari konstanta pasut S2

2.4 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.

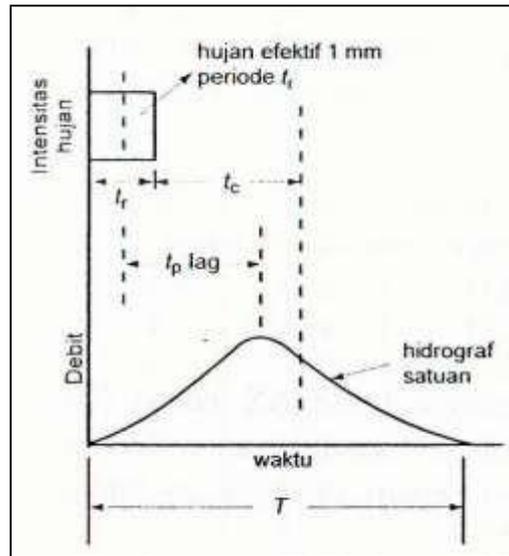
Dalam penelitian ini akan digunakan metode empiris yaitu hidrograf satuan untuk menghitung besarnya debit banjir dengan bantuan program komputer HEC-HMS.

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.

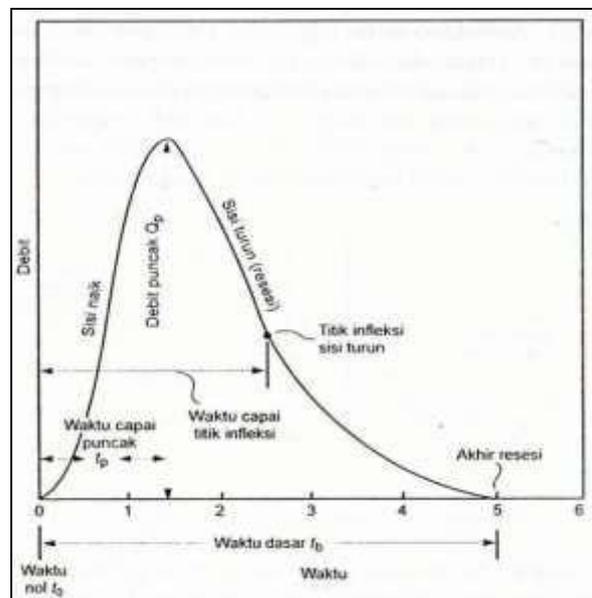
Seperti yang disebutkan sebelumnya, hidrograf aliran sungai selalu berubah tergantung sifat masukannya. Hal tersebut terjadi karena sistem DAS yang sebenarnya adalah *nonlinear time invariant*. Akan tetapi dengan andaian DAS sebagai sistem yang *linear time invariant* pengalihragaman hujan menjadi aliran 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

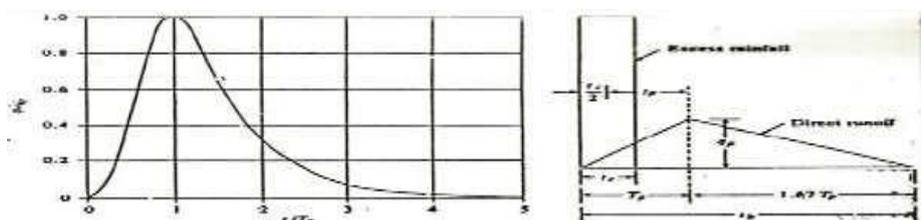
Seperti disebutkan sebelumnya, untuk menghitung hidrograf satuan diperlukan data debit terukur dan data hujan yang cukup untuk memodelkan hidrograf satuan dari suatu DAS. Namun pada praktiknya penerapan hidrograf satuan masih terbatas pada DAS yang relatif kecil dan tidak efektif bagi daerah dengan data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

2.5 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.

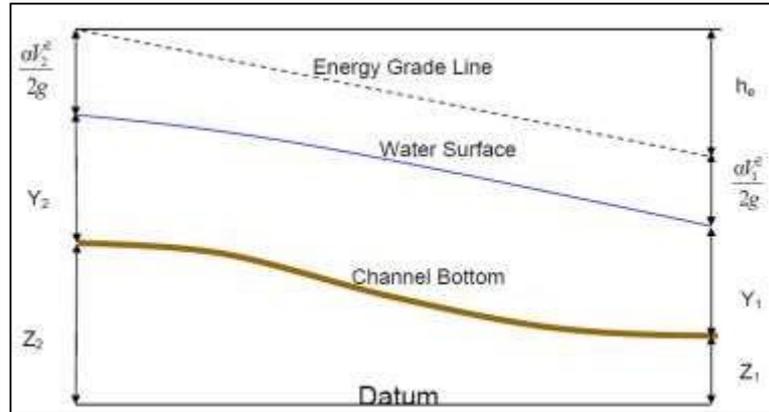
Persamaan Dasar untuk Perhitungan Profil Aliran

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

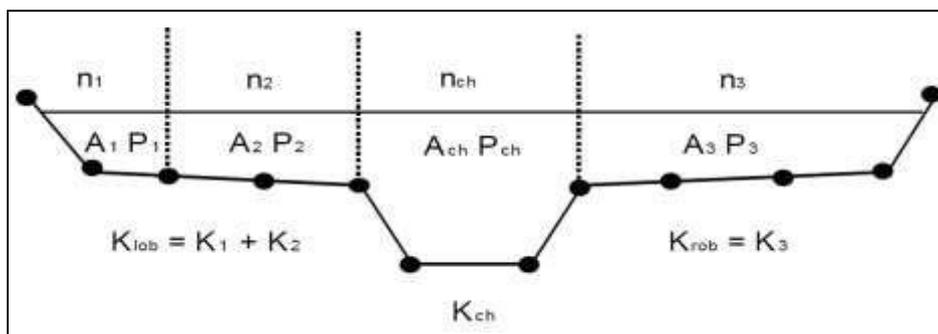
bagian menjadi:

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

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).



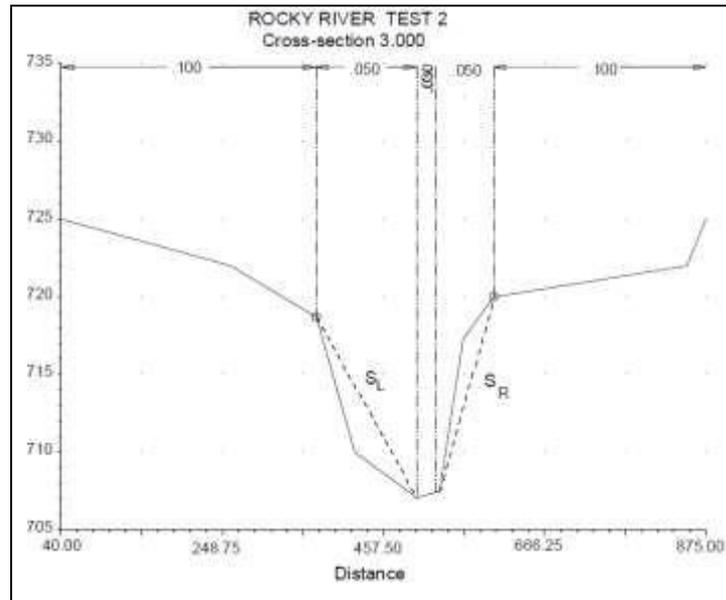
Sumber: "US Army Corps Of Engineers;2016".

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).

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^n P_i n_i^{1.49}}{P} \right]^{2/3} \quad (34)$$

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

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:

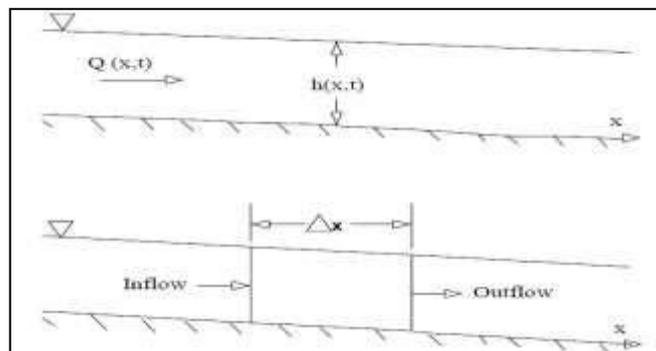
$$h_{ce} = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right| \quad (37)$$

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.

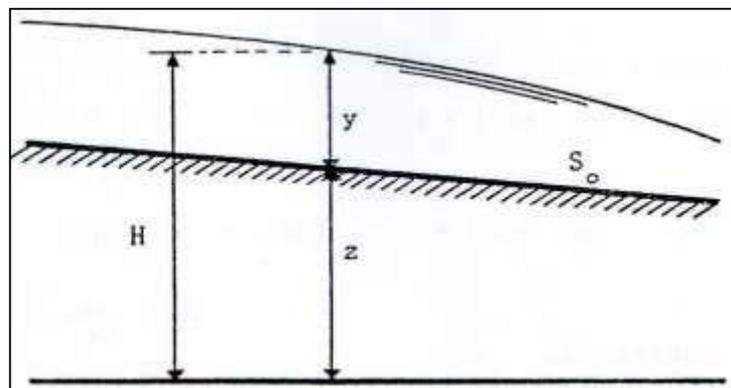
Dengan menggunakan $Q = V \cdot A$, persamaan dapat juga ditulis :

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

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

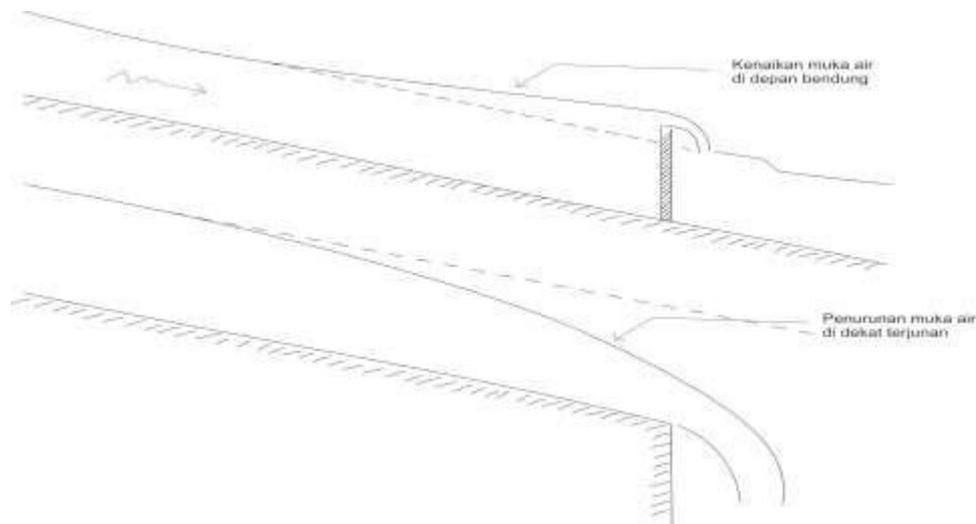
Aplikasi HEC-RAS ini menitik beratkan pada analisa Hidraulika pada sebuah Sungai / *River Analysis Sistem*. Analisis yang dilakukan oleh HEC-RAS adalah analisis Aliran *Steady*, *Unsteady* dan *Sediment Transport*. Hasil *running* HEC-RAS adalah sebuah hasil analysis hidraulika yang dapat kita lihat, 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)

$$S_f \neq S_w \neq S_o$$

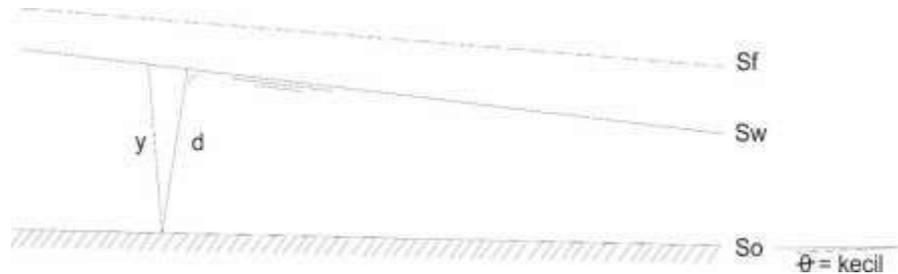
Asumsi dasar :

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

$\theta = \text{kecil}$

- $d \approx y$
- $\cos \theta \approx 1,0$
- 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 diantara 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

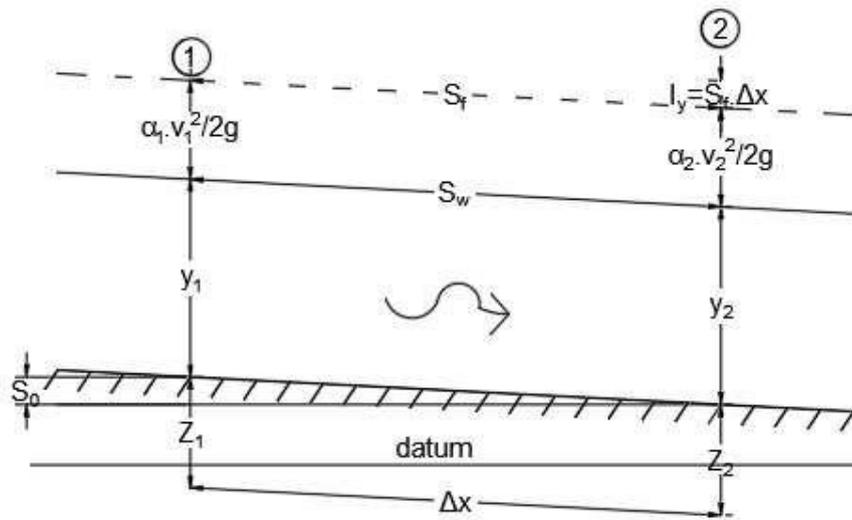
Metode perhitungan profil aliran berubah lambat laun dibagi atas tiga kelompok metode, yaitu :

- 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 di tiap 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)

c. Metode Runge –Kutte Standar (SRK) Orde – 4

Metode ini didasarkan pada persamaan diferensial untuk aliran berubah lambat laun :

$$\frac{dy}{dx} = F(y)_i \text{ dimana } F(y) = \frac{S_0 - S_f}{1 - \alpha \left(\frac{Q^2 T}{g A^3} \right)}$$

Persamaan ini merupakan fungsi dari y untuk S_0, n, Q dan geometri saluran tertentu.

Bentuk persamaan non – linear, dapat diselesaikan secara numerik dengan mencari kedalaman pada jarak yang ditentukan.

Untuk metode *Standard Fourth Order Runge – Kutta Method – (SRK)*

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{6} (K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4)$$

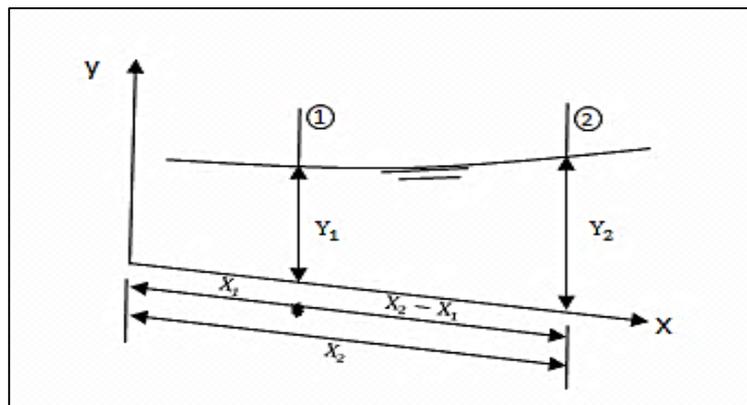
Dengan :

$$\begin{aligned} K_1 &= \Delta X \cdot F(y_1) \\ K_2 &= \Delta X \cdot F\left(y_1 + \frac{1}{2} K_1\right) \\ K_3 &= \Delta X \cdot F\left(y_1 + \frac{1}{2} K_2\right) \\ K_4 &= \Delta X \cdot F(y_1 + K_3) \end{aligned}$$

d. Metode Integrasi Grafis

Perhitungan profil aliran berubah lambat laun pada dasarnya merupakan penyelesaian terhadap persamaan diferensial dari aliran berubah lambat laun. Dasar metode ini adalah mengintegrasikan persamaan diferensial dari aliran berubah lambat laun secara grafis. Sasaran utama dari perhitungan ini adalah menentukan bentuk profil aliran.

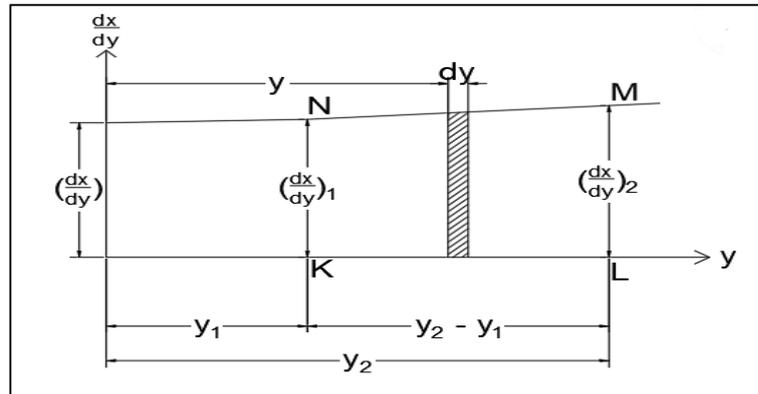
Tentukan penampang saluran 1 dan 2 seperti gambar di bawah ini



Jarak antara kedua penampang:

$$x_2 - x_1 = \int_{x_1}^{x_2} dx = \int_{y_1}^{y_2} \left(\frac{dx}{dy} \right) \cdot dy$$

Tinjau gambar dengan data sumbu y vs $\frac{dx}{dy}$ berikut,



Luas bagian yang diarsir = $\left(\frac{dx}{dy}\right) \cdot dy$

$$\text{Luas KLMN} = \int_{y_1}^{y_2} \left(\frac{dx}{dy}\right) dy$$

Apabila $(y_2 - y_1) = \text{kecil}$; maka KLMN dapat dianggap trapezium.

$$\text{sehingga Luas KLMN} = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{dx}{dy}\right)_1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)_2 \right\} (y_2 - y_1)$$

Jadi:

Bila $(y_2 - y_1) = \text{kecil}$, maka :

$$\Rightarrow x_2 - x_1 = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{dx}{dy}\right)_1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)_2 \right\} (y_2 - y_1)$$

Metode integrasi grafis sangat cocok pada saluran prismatis, namun tidak tertutup kemungkinan digunakan juga pada saluran tidak prismatis.

Tahapan analisis:

1. Kedalaman air di sungai / saluran dibagi atas beberapa kedalaman berturutan dengan perbedaan yang kecil (ingat : $(y_2 - y_1) = \text{kecil}$)
2. Hitung jarak antara dua kedalaman berturutan dengan rumus

$$x_2 - x_1 = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{dx}{dy}\right)_1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)_2 \right\} (y_2 - y_1)$$

Dimana $\frac{dx}{dy}$ diperoleh dari $\frac{1}{dy/dx}$, dan

$$\frac{dy}{dx} = S_0 \frac{1 - \left(\frac{K_0}{K}\right)^2}{1 - \left(\frac{Z_c}{Z}\right)^2}$$

3. Gambarkan profil aliran dengan jarak x vs tinggi y .

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode hasil penelitian laboratorium sebelumnya yang ditindaklanjuti dengan pembuatan aplikasi program komputer agar dapat menganalisis kondisi luapan dan profil aliran air banjir dengan *Advanced numerical methods (Standard fourth order Runge-Kutta method)* pada setiap titik di sekitar muara sungai disaat terjadi debit banjir yang membawa aliran bersedimen dan pengaruh air balik (*back water*) akibat pasang surut air laut.

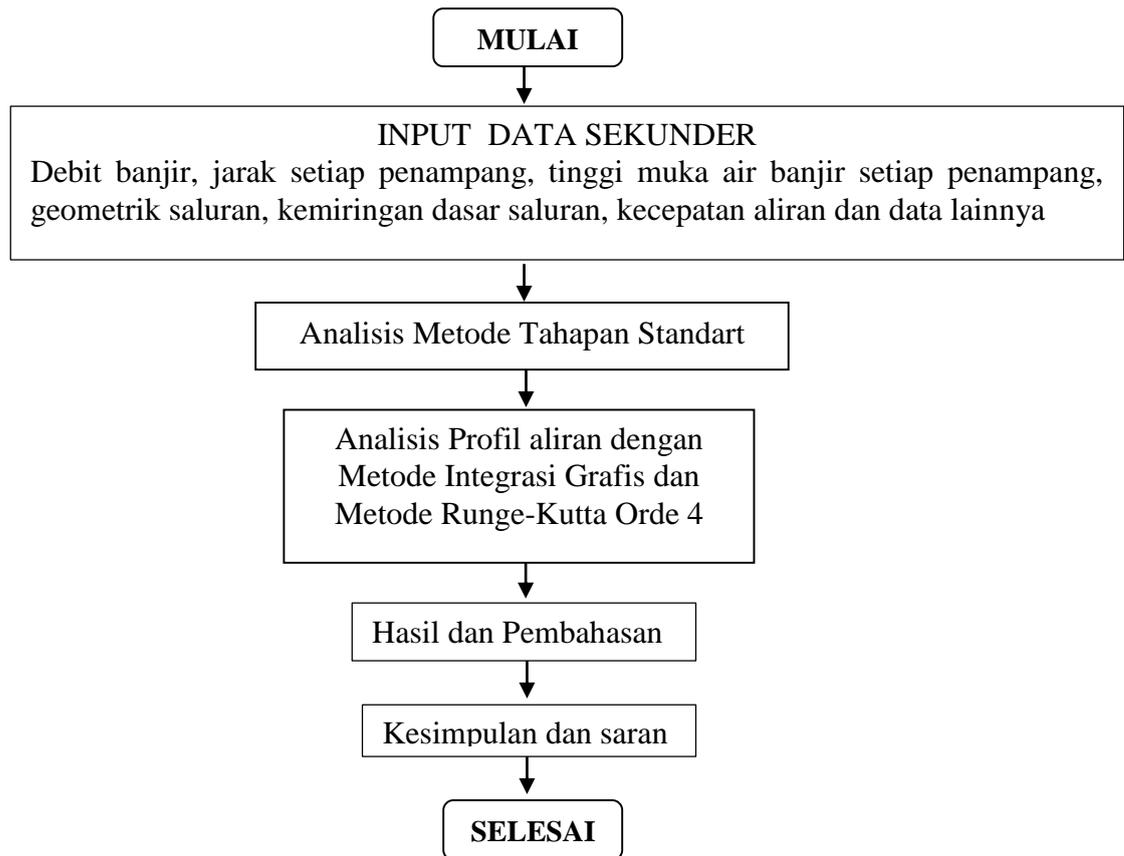
3.2 Manfaat Penelitian

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 Pulisan 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 Metode pelaksanaan

Penelitian ini akan menganalisis profil aliran berubah lambat laun dengan Metode Tahapan Standar yang merupakan salah satu metode dalam kelompok *Simple Numerical Method*. Proses analisis dilaksanakan dengan menggunakan hasil penelitian sebelumnya yang menganalisis tinggi muka air banjir dengan Program HEC-RAS. Data debit banjir, jarak setiap penampang (*cross section*), tinggi muka air banjir dan besaran-besaran geometri penampang saluran yaitu luas penampang saluran (A), kecepatan aliran (V), keliling basah saluran (P), jari-jari hidraulis (R), kemiringan dasar saluran (S_0), dan lainnya digunakan sebagai data input data sekunder pada Metode Tahapan Standart. Selanjutnya hasil analisis Metode Tahapan Standar dibandingkan dengan 2 metode yang lain yaitu metode integrasi grafis dan metode Runge-Kutta.

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.

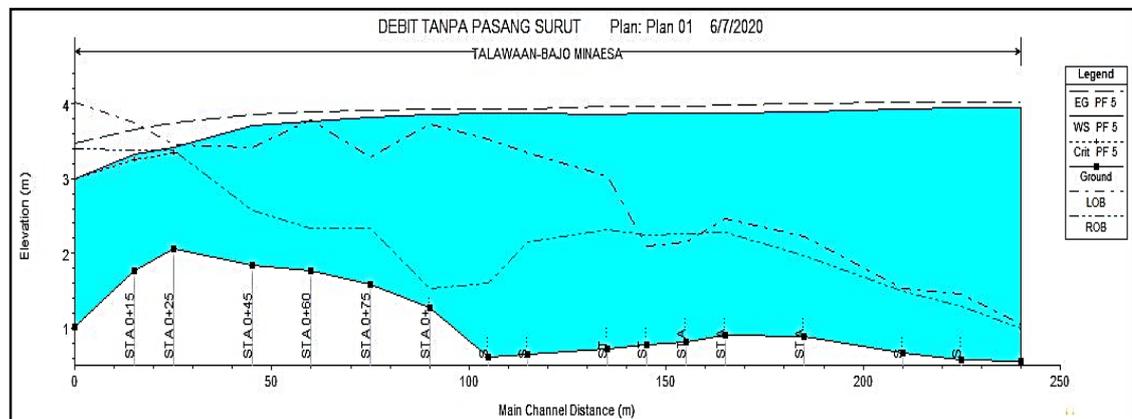
1. Ketua Tim (Dr. Eng. Ir. Liany A. Hendratta) dengan latar belakang bidang ilmu Teknik Sumber Daya Air, bertugas untuk menganalisis seluruh data sungai dan analisis hidrolika serta menganalisis profil aliran. Sebagai ketua tim juga bertanggung jawab atas keseluruhan jalannya penelitian.
2. Anggota Tim (Ir. Isri R. Mangangka, Meng., PhD) dengan latar belakang bidang ilmu Teknik Lingkungan dan Sumber Daya air , bertanggung jawab untuk menganalisis data pasang surut, komponen pasang surut, amplitudo sampai pada analisis elevasi muka air laut tertinggi.
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 Dengan Program Komputer HEC-RAS

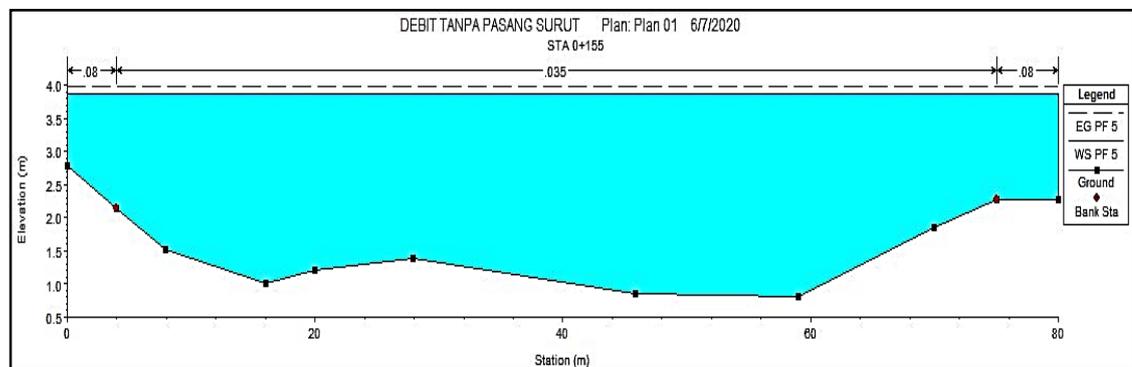
Hasil analisis tinggi muka air banjir untuk setiap penampang melintang pada beberapa STA dengan program komputer HEC-RAS menggunakan hasil penelitian sebelumnya yang berjudul “Analisis Pengaruh Backwater Di Muara Sungai Pulisan Kabupaten Minahasa Utara”.

<https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jime/article/view/31241/29955>

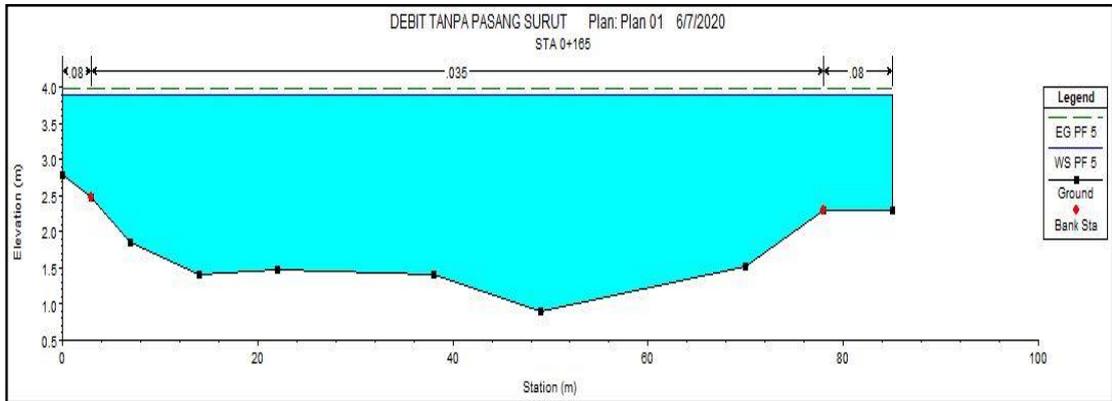


Gambar 5.1 Tinggi Muka Air Potongan Memanjang Kala Ulang 100 Tahun

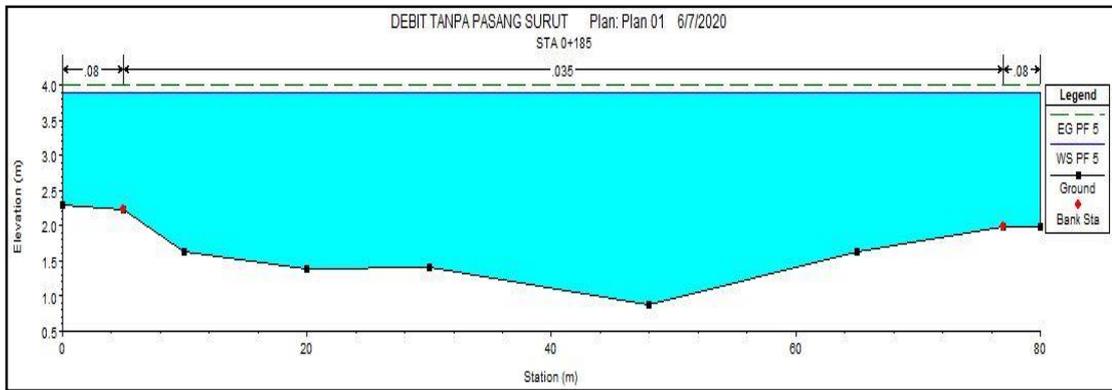
Penelitian ini meninjau sebanyak 5 segmen, sehingga diambil 6 penampang melintang yaitu yang terletak pada STA 0+155 m, STA 0+165 m, STA 0+185 m, STA 0+210 m, STA 0+225 m, STA 0+240 m.



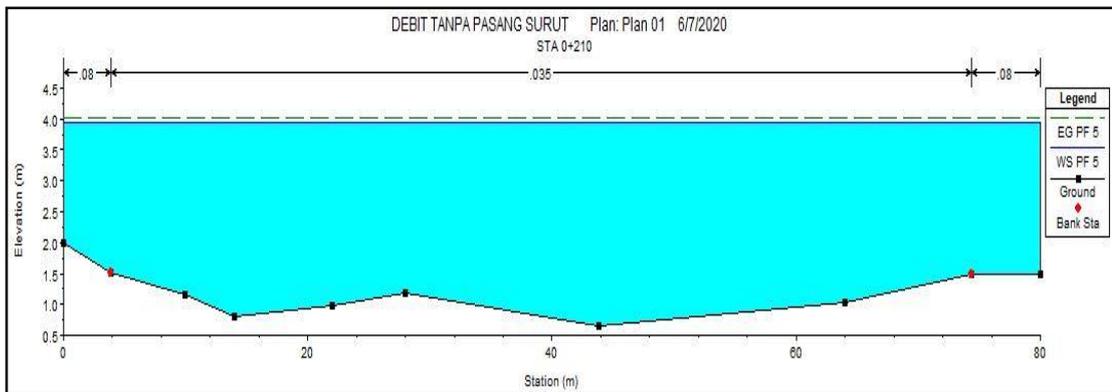
Gambar 5.2 Tinggi Muka Air STA 0+155 m Kala Ulang 100 Tahun



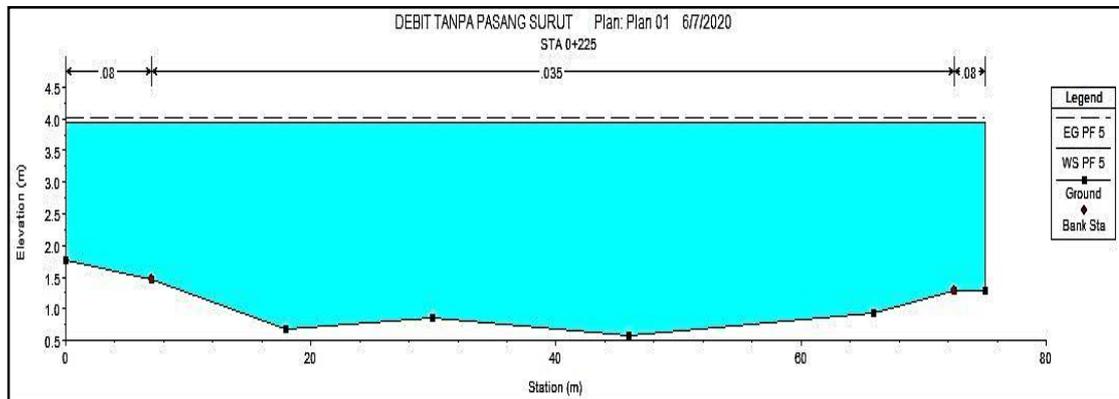
Gambar 5.3 Tinggi Muka Air STA 0+165 m Kala Ulang 100 Tahun



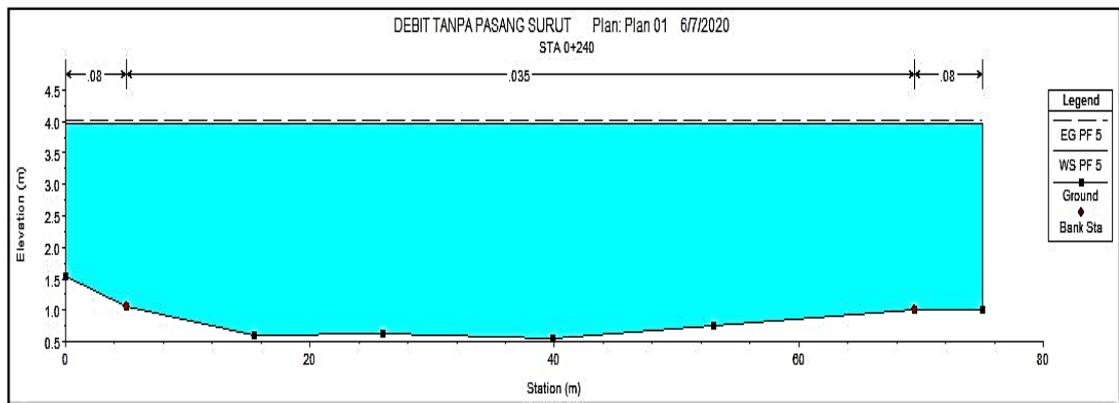
Gambar 5.4 Tinggi Muka Air STA 0+185 m Kala Ulang 100 Tahun



Gambar 5.5 Tinggi Muka Air STA 0+210 m Kala Ulang 100 Tahun



Gambar 5.6 Tinggi Muka Air STA 0+225 m Kala Ulang 100 Tahun



Gambar 5.7 Tinggi Muka Air STA 0+240 m Kala Ulang 100 Tahun

Tabel 5.1 Hasil analisis dari program HEC-RAS

STA (m)	H (m)	Tinggi Dasar Sungai (m)	Y (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	α	V (m/det)	S_f
0+155	3,88	0.808124	3,071876	200.78	82,9	8,04	1.09	1,38	0,000647
0+165	3,88	0.9086	2,971400	197.71	87,83	11,17	1.1	1,41	0,000746
0+185	3,89	0.881963	3,008037	192.17	83,58	5,75	1.09	1,45	0,000769
0+210	3,94	0.659196	3,280804	229.52	84,48	13,73	1.12	1,23	0,000443
0+225	3,95	0.57162	3,378380	226.71	79,88	6,76	1.13	1,25	0,000425
0+240	3,96	0.560546	3,399454	238.15	80,42	16,29	1.15	1,21	0,000377

Sumber : <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jime/article/view/31241/29955>

5.2 Analisis dengan Metode Tahapan Standart

Dihitung untuk STA 0+155 (Titik 1) – STA 0+165 (Titik 2), dan hasil analisis selanjutnya disusun dalam Tabel 4.2a dan 4.2b

$Q = 238,5 \text{ m}^3/\text{det}$; $n = 0,035$, $z_2 = 0,9086 \text{ m}$, $z_1 = 0,808124 \text{ m}$, $\Delta X = 10 \text{ m}$, $S_o = 0.01$

Tahapan analisis

1. Menetapkan elevasi muka air di Titik 2 = $Z_2 = 3,88 \text{ meter}$
2. Menghitung $y_2 = Z_2 - z_2$ ($z_2 = \text{elevasi dasar sungai/saluran} = 0.9086 \text{ m}$)
 $y_2 = 3,88 - 0.9086 = 2,9714 \text{ meter}$

3. Penampang 2 :

$$\begin{aligned}\text{Luas penampang } A_2 &= 197.71 \text{ m}^2 \\ \text{Kecepatan aliran } V_2 &= 1.41 \text{ m/det} \\ \text{Keliling basah } P_2 &= 87.83 \text{ m} \\ \text{Jari-jari hidrolis } R_2 &= 2,251053 \text{ m}\end{aligned}$$

4. Hitung H_2 dan Sf_2 pada penampang 2

$$H_2 = Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g}$$

$$H_2 = 3,88 + 1.1 \frac{1,41^2}{2(9,81)} = 3,99146 \text{ m}$$

$$Sf_2 = \frac{n^2 V_2^2}{R_2^{4/3}}$$

$$Sf_2 = \frac{(0,035)^2 (1,41)^2}{(2,251053)^{4/3}} = 0,000746$$

5. Perkirakan elevasi muka air dipenampang 1 = Z_1
6. Tentukan nilai y_1 dimana $Z_1 = y_1 + z_1 + (S_o \cdot \Delta X)$

$$3.88 = y_1 + 0,808124 + (0.01 \times 10)$$

$$y_1 = 3,071876$$

7. Penampang 1:

$$\begin{aligned}\text{Luas penampang } A_1 &= 200.78 \text{ m}^2 \\ \text{Kecepatan aliran } V_1 &= 1.38 \text{ m/det} \\ \text{Keliling basah } P_1 &= 82,9 \text{ m} \\ \text{Jari-jari hidrolis } R_1 &= 2,421954 \text{ m}\end{aligned}$$

8. Hitung H_1 dan Sf_1 pada penampang 1

$$H_1 = Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g}$$

$$H_1 = 3,88 + 1,09 \frac{1,38^2}{2(9,81)} = \mathbf{3,9858 \text{ m}}$$

$$Sf_1 = \frac{n^2 V_1^2}{R_1^{4/3}}$$

$$Sf_1 = \frac{(0,035)^2 (1,38)^2}{(2,421954)^{4/3}} = 0,000647$$

9. Hitung Sf rata-rata dimana $Sf = \frac{1}{2}(Sf_1 + Sf_2)$

$$Sf = \frac{1}{2}(0,000647 + 0,000746) = 0,0006965$$

10. Hitung $hf = Sf \cdot \Delta X = 0,0006965 \times 10 = 0,006965$

11. Hitung $H_1 = H_2 + hf = 3,991463 + 0,006965 = \mathbf{3,998428 \text{ m}}$

12. Periksa H_1 yang diperoleh dilangkah 11 ($H_1 = \mathbf{3,998428 \text{ m}}$) terhadap

H_1 yang diperoleh dilangkah 8 ($H_1 = \mathbf{3,9858 \text{ m}}$)

Kedua nilai H_1 harus sama atau mendekati , jika tidak maka ulangi

langkah 5 dengan Z_1 yang lain.

Selisih $H_1 = 3,998428 - 3,9858 = 0,0216$ meter (**memenuhi**)

Perhitungan selanjutnya tercantum dalam Tabel 5.2 di bawah ini :

Tabel 5.2 Analisis Metode Tahapan Standart

STA	Z	Tinggi dasar sungai	y	α	A	V	$\alpha V^2/2g$	H (m)	P	R	$R^{4/3}$	Sf	\bar{Sf}	Δx	hf	H (m)	Selisih H (m)	Keterangan
0+155	3.88	0.808124	3.071876	1.09	200.78	1.38	0.1058	3.9858	82.9	2.421954162	3.252529362	0.00064700	0.0008371	10	0.008371	3.998428303	0.0126	Memenuhi
0+165	3.88	0.9086	2.9714	1.1	197.71	1.41	0.111463303	3.991463303	87.83	2.251053171	2.950174271	0.00074600	0.0006965	10	0.006965	4.005393303	0,0139	Memenuhi
0+185	3.89	0.881963	3.008037	1.09	192.17	1.45	0.116805556	4.006805556	83.58	2.299234267	3.034666458	0.00076900	0.0007575	20	0.01515	4.020543303	0.0137	Memenuhi
0+210	3.94	0.659196	3.280804	1.12	229.52	1.23	0.086363303	4.026363303	84.48	2.716856061	3.791015034	0.00044300	0.0006060	25	0.01515	4.035693303	0.0093	Memenuhi
0+225	3.95	0.57162	3.37838	1.13	226.71	1.25	0.089991081	4.039991081	79.88	2.838132198	4.01831052	0.00042500	0.0004340	15	0.00651	4.042203303	0.0022	Memenuhi
0+240	3.96	0.560546	3.399454	1.15	238.15	1.21	0.085816259	4.045816259	80.42	2.961328028	4.252542762	0.00037700	0.0004010	15	0.006015	4.048218303	0.0024	Memenuhi

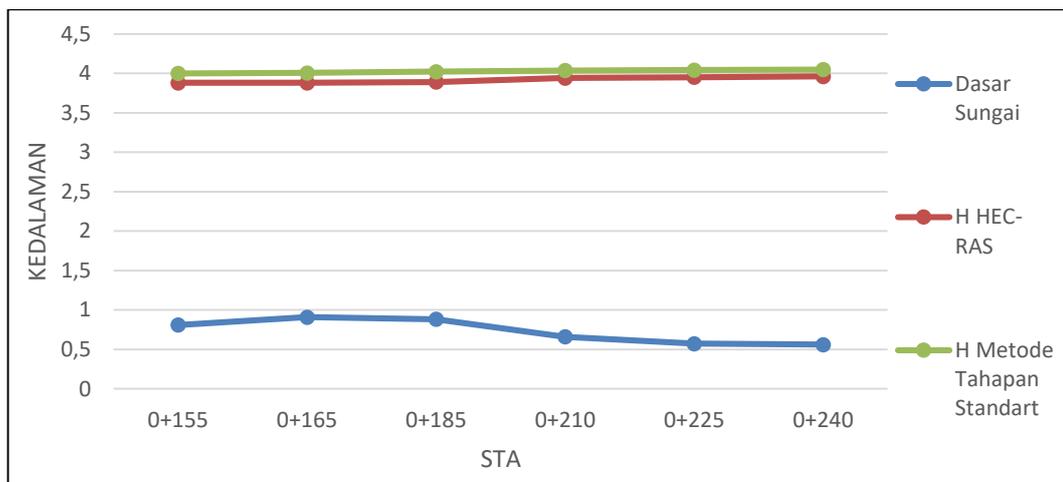
Untuk tinggi muka air diambil yang paling maksimum dari setiap STA, sehingga didapat

Tabel 5.3 Hasil analisis metode tahapan standart

STA (meter)	Y (meter)	H (meter)
0+155	3,071876	3,998428
0+165	2,971400	4,005393
0+185	3,008037	4,020543
0+210	3,280804	4,035693
0+225	3,378380	4,042203
0+240	3,399454	4,048218

Dari hasil analisis terlihat tinggi muka air (H) antara metode tahapan standart dan dari hasil HEC RAS sangat mendekati satu dengan lainnya. Perbedaan H antara kedua metode hanya bervariasi antara 0,088 meter (pada STA 0+240) sampai 0,118 (pada STA 0+155).

Hasil analisis profil muka air menggunakan metode tahapan standart dibandingkan dengan hasil program HEC-RAS dapat dilihat pada Gambar 4.8



Gambar 5.8 Profil muka air metode tahapan standart dan HEC-RAS

5.3 Analisis Dengan Metode Integrasi Grafis

Perhitungan akan dilakukan dengan membagi jarak antara setiap penampang (STA 0+155 dan STA 0+165) dengan menetapkan nilai-nilai y pada 2 penampang tersebut kemudian dihitung jarak antara setiap penampang .

Selanjutnya, perhitungan dilakukan dengan tabulasi dimana beberapa nilai konstan

dihitung lebih dulu dan yang merupakan fungsi dari y dibuat bentuk rumusnya yang paling sederhana:

Diketahui :

Untuk STA 0+155 (i)

$$Q = 263,8 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$Y = 3,0718760$$

$$S_o = 0,000647$$

$$\alpha = 1,09$$

$$n = 0,035$$

$$A = 200,78$$

$$T = 80$$

$$P = 82,90$$

$$R = A/P = 200,78 / 82,90 = 2,421954$$

$$K_o = \frac{Q}{\sqrt{S_o}} = \frac{263,8}{\sqrt{0,000647}} = 10371,04816$$

$$Z_c = \frac{Q}{\sqrt{g/\alpha}} = \frac{263,8}{\sqrt{9,81/1,09}} = 87,93333333$$

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3} = \frac{1}{0,035} (200,78)(2,421954)^{2/3} = 15415,20437$$

$$Z = A\sqrt{D} = \sqrt{\frac{A^3}{T}} = \sqrt{\frac{(200,78)^3}{80}} = 318,079501$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{S_o} \frac{1 - (\frac{Z_c}{Z})^2}{1 - (\frac{K_o}{K})^2} = \frac{1}{0,000647} \frac{1 - (\frac{87,933333}{318,079501})^2}{1 - (\frac{10371,04816}{15415,20437})^2} = 0,000383$$

$$\left(\frac{dx}{dy}\right)_i = \frac{1}{dy/dx} = \frac{1}{0,000383} = \mathbf{2607,892}$$

Untuk STA 0+165 (i)

$$Q = 263,8 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$Y = 3,0760243$$

$$S_o = 0,000746$$

$$\alpha = 1,1$$

$$n = 0,035$$

$$A = 197,71$$

$$T = 85$$

$$P = 87.83$$

$$R = A/P = 197,71 / 87.83 = 2,25105$$

$$K_o = \frac{Q}{\sqrt{S_o}} = \frac{263,8}{\sqrt{0,000746}} = 9658,404222$$

$$Z_c = \frac{Q}{\sqrt{g/\alpha}} = \frac{263,8}{\sqrt{9,81/1,1}} = 88,33577632$$

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3} = \frac{1}{0.035} (197,71)(2,25105)^{2/3} = 14456,75$$

$$Z = A\sqrt{D} = \sqrt{\frac{A^3}{T}} = \sqrt{\frac{(197,71)^3}{85}} = 301,5321$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{S_o} \frac{1 - (\frac{Z_c}{Z})^2}{1 - (\frac{K_o}{K})^2} = \frac{1}{0,000746} \frac{1 - (\frac{88,33577632}{301,5321})^2}{1 - (14456,75)^2} = 0,000452$$

$$\left(\frac{dx}{dy}\right)_j = \frac{1}{dy/dx} = \frac{1}{0,000452} = \mathbf{2213,354}$$

$$\Delta X = X_j - X_i = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{dx}{dy}\right)_i + \left(\frac{dx}{dy}\right)_j (y_j - y_i) \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \{ 2607,892 + 2213,354 \} (3,0760243 - 3,0718760)$$

$$= \mathbf{9,999989 \text{ meter}}$$

Untuk segmen selanjutnya dihitung dengan persamaan :

$$X_j = X_i + \Delta X$$

Perhitungan selanjutnya dibuat dalam bentuk tabel di bawah ini

Tabel 5.4 Analisis dengan metode integrasi grafis

STA	y	A	T	R^{2/3}	So	α	Z	K	Zc	Kn	dx/dy	ΔX	ΔX
0+155	3.0718760	200,78	80	1.803477	0.000647	1.09	318.0795	15415.2	87.93333333	10371.0482	2607.892		
0+165	3.0760243	197,71	85	1.717607	0.000746	1.1	301.5321	14456.75	88.33577632	9658.40422	2213.354	9.999989	10
0+185	3.0852105	192,17	80	1.742029	0.000769	1.09	297.8403	14251.46	87.93333333	9512.8713	2140.969	19.9998411	20
0+210	3.0936568	229,52	80	1.947053	0.000443	1.12	388.7638	19024.64	89.13521141	12533.5162	3778.725	24.999755	25
0+225	3.0975299	226,71	75	2.004572	0.000425	1.13	394.1626	19346.87	89.53225217	12796.1796	3966.909	14.9999976	15
0+240	3.1011225	238,15	75	2.062169	0.000377	1.15	424.3706	20907.07	90.32109783	13586.3912	4383.533	14.999695	15

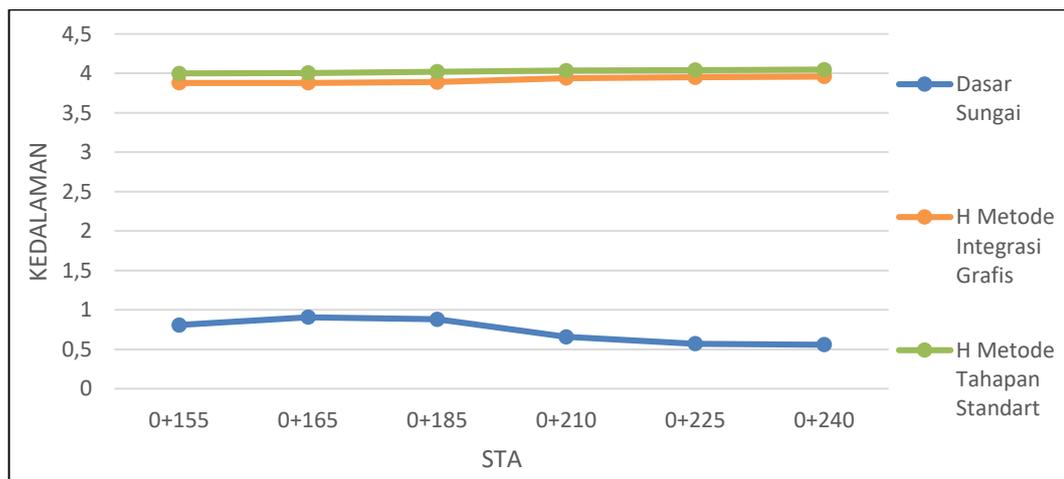
Tabel 5.5 Hasil analisis metode integrasi grafis

STA (meter)	y (meter)	H (meter)	ΔX
0+155	3,0718760	3,88	
0+165	3,0760243	3,88	9,9999890
0+185	3,0852105	3,89	19,9998411
0+210	3,0936568	3,94	24,9997550
0+225	3,0975299	3,95	14,9999976
0+240	3,1011225	3,96	14,9996950

Metode integrasi grafis dianalisis dengan menentukan nilai H dan menghitung jarak antara 2 penampang melintang. Dari hasil analisis, ΔX antara STA 0+155 dan STA 0+165 adalah 9,9999890 meter \approx 10 meter.

Dari Tabel 5.5 terlihat mulai dari STA 0+155 sampai STA 0+240, jarak antara 2 segmen (ΔX) hasil analisis metode integrasi grafis dan jarak pada metode tahapan standart sangat mendekati. Pada Metode tahapan standart, ΔX nilainya berturut-turut adalah 10 m, 20 m, 25 m, 15 m dan 15 m.

Gambar profil muka air menggunakan metode integrasi grafis dibandingkan dengan metode tahapan langsung dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Profil muka air metode integrasi grafis dan metode tahapan standart

5.4 Analisis Dengan Metode Runge-Kutta Standart orde-4

$$F(y) = \frac{S_0 - S_f}{1 - \alpha \left(\frac{Q^2 T}{g A^3} \right)}$$

$$y_2 = y_1 + \frac{1}{6}(K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4)$$

$$K_1 = \Delta X \cdot F(y_1)$$

$$K_2 = \Delta X \cdot F\left(y_1 + \frac{1}{2}K_1\right)$$

$$K_3 = \Delta X \cdot F\left(y_1 + \frac{1}{2}K_2\right)$$

$$K_4 = \Delta X \cdot F\left(y_1 + \frac{1}{2}K_3\right)$$

$$y_1 = 3,0718760 \text{ m}$$

$$\Delta X = 10 \text{ m}$$

$$Q = 263,8 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$A = 200,78$$

$$T = 80$$

$$P = 82,90$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{200,78}{82,90} = 2,421954$$

$$n = 0,035$$

$$V = 1,38 \text{ m/det}$$

$$\alpha = 1,09$$

$$S_f = \frac{n^2 v^2}{R^{4/3}} = \frac{(0,035)^2 (1,38)^2}{(2,421954)^{4/3}} = 0,000647$$

$$F(y) = \frac{S_0 - S_f}{1 - \alpha \left(\frac{Q^2 T}{g A^3} \right)} = \frac{0,01 - 0,000647}{1 - 1,09 \left(\frac{(263,8)^2 \cdot 80}{9,81 (200,78)^3} \right)} = 0,010126953$$

$$K_1 = \Delta X \cdot F(y_1) = 10 \times 0,010126953 = 0,101269528$$

$$K_2 = \Delta X \cdot F\left(y_1 + \frac{1}{2}K_1\right) = 10 \times (0,010126953 + \left(\frac{1}{2} \times 0,101269528\right)) = 0,60761717$$

$$K_3 = \Delta X \cdot F\left(y_1 + \frac{1}{2}K_2\right) = 10 \times (0,010126953 + \left(\frac{1}{2} \times 0,60761717\right)) = 3,13935538$$

$$K_4 = \Delta X \cdot F\left(y_1 + \frac{1}{2}K_3\right) = 10 \times (0,010126953 + \left(\frac{1}{2} \times 3,13935538\right)) = 15,79805$$

$$y_2 = y_1 + \frac{1}{6}(K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4) =$$

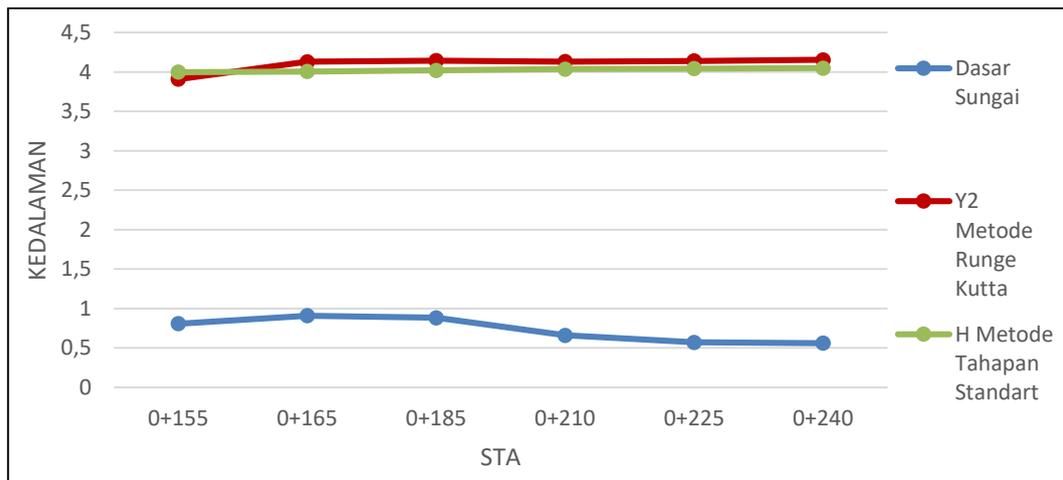
$$= 3,0718760 + \frac{1}{6} (0,101269528 + (2 \times 0,60761717) + (2 \times 3,13935538) + 15,79805)$$

$$= 3,909004$$

Perhitungan selanjutnya dilakukan secara tabulasi

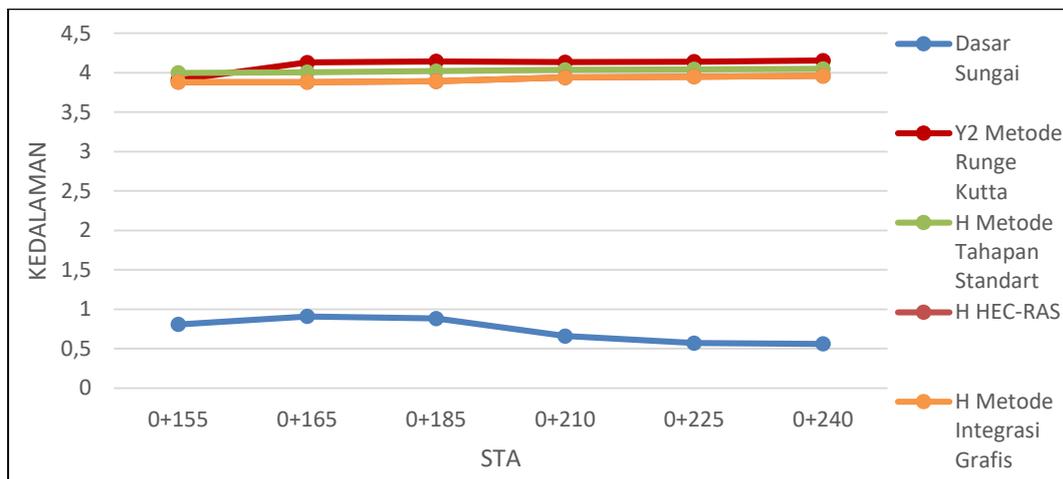
STA (m)	Q	Y	A	V	T	P	R	$R^{(4/3)}$	n	So	Sf	a	F(y)	K1	K2	K3	K4	Y2
0+155	263,8	3.071876	200,78	1,38	80	82,9	2.4219542	3.2525294	0,035	0,01	0,000647	1,09	0,010126953	0.101269528	0,607617	3.13935538	15.79805	3,909004
0+165	263,8	2.9714	197,71	1,41	85	87,83	2.2510532	2.9501743	0,035	0,011	0,000746	1,1	0,011216652	0.112166525	0,672999	3.477162275	17.49798	4,129628
0+185	263,8	3.008037	192,17	1,45	80	83,58	2.2992343	3.0346665	0,035	0,001	0,000769	1,09	0,000253058	0.005061154	0,055673	0.561788047	5,622942	4,144074
0+210	263,8	3.280804	229,52	1,23	80	84,48	2.7168561	3.791015	0,035	0,0089	0,000443	1,12	0,008926241	0.223156015	3,012606	3.788073348	4,737323	4,132620
0+225	263,8	3.37838	226,71	1,25	75	79,88	2.8381322	4.0183105	0,035	0,0058	0,000425	1,13	0,00566741	0.085011157	0,722595	5.504472419	4,136855	4,140284
0+240	263,8	3.399454	238,15	1,21	75	80,42	2.961328	4.2525428	0,035	0,0007	0,000377	1,15	0,000338326	0.005074887	0,043137	0.328598929	2,469567	4,153669

Dari hasil analisis terlihat tinggi muka air (H) antara metode tahapan standart dan nilai Y2 pada metode Runge –Kutta nilainya mendekati satu dengan lainnya untuk setiap STA. Perbedaan H dan Y2 antara kedua metode bervariasi antara 0,0894 meter (pada STA 0+155) dan 0,105451 meter (pada STA 0+240). Perbedaan paling besar terjadi pada STA 0+165 yaitu sebesar 0,124235 meter. Hasil analisis profil muka air menggunakan metode tahapan standart dibandingkan dengan hasil program HEC-RAS dapat dilihat pada Gambar 4.8



Gambar 5.10 Profil muka air metode Runge-Kutta dan metode tahapan standart

Gambar 5.11 menunjukkan profil muka air berubah lambat laun dari 4 metode yaitu dengan HEC-RAS, metode tahapan standart , metode integrasi grafis dan metode Runge-Kutta.



Gambar 5.11 Profil muka air HEC-RAS, metode tahapan standart , metode integrasi grafis dan metode Runge-Kutta

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Profil muka air pada metode tahapan standart dan program HEC RAS sangat mendekati satu dengan lainnya. Perbedaan H antara kedua metode hanya bervariasi antara 0,088 meter (pada STA 0+240) sampai 0,118 (pada STA 0+155).
2. Metode integrasi grafis dianalisis dengan menetapkan nilai-nilai y pada 2 penampang berturut kemudian dihitung jarak antara dua penampang tersebut (ΔX). Hasil analisis menunjukkan bahwa ΔX dari STA 0+155 sampai STA 0+240 mendapatkan hasil yang dapat dikatakan sama antara hasil analisis metode integrasi grafis dan jarak setiap STA pada metode tahapan standart.
3. Perbedaan profil aliran air ditunjukkan dengan perbedaan antara nilai H pada metode tahapan standart dan nilai Y2 pada metode Runge –Kutta. Hasil analisis mendapatkan untuk setiap STA terjadi perbedaan kecil antara nilai H dengan Y2 Perbedaan antara kedua metode bervariasi antara 0,0894 meter (pada STA 0+155) dan 0,105451 meter (pada STA 0+240) dan perbedaan paling besar terjadi pada STA 0+165 yaitu sebesar 0,124235 meter
4. Secara keseluruhan profil muka aliran berubah lambat laun dari 4 metode yaitu dengan HEC-RAS, metode tahapan standart , metode integrasi grafis dan metode Runge-Kutta mendapatkan hasil yang cukup mendekati untuk diaplikasikan pada saluran tidak primatis.

6.2 Saran

Analisis profil aliran berubah lambat laun dapat dilakukan dengan metode analisis lainnya seperti metode Esra, metode debit-penurunan tinggi, metode tahapan langsung dan beberapa metode numerik tingkat lanjut yaitu metode Kutta-Merson dan *Trapezoidal method*.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. *Data Hujan Harian Pos Hujan Talawaan*. 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.
- _____. 2010. *HEC-RAS 4.1.0 Users 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. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset, Yogyakarta.
- Bambang Triatmodjo. 2008. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset, Yogyakarta.
- Bambang Triatmodjo. 2012. *Perencanaan Bangunan Pantai*. Beta Offset, Yogyakarta. (12-4, 34, 155-158, 163).
- Istiarto. 2014, Januari 14. *Hec-Ras: Steady Atau Unsteady Flow Analysis*. <https://istiarto.staff.ugm.ac.id/>, 18 Januari 2019.
- Jansen, Tommy., 2018. *Tinjauan Pengaruh Pasang Surut Terhadap Pola Arus Di Teluk Amurang, Sulawesi Utara*. Jurnal Tekno Vol.16 No.70 2018 ISSN: 0215-9617, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- 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.
- Liunsanda, Moses., Jeffry D. Mamoto, Ariestides K. T. Dundu. 2017. *Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai Di Pantai Pal Kabupaten Minahasa Utara*. Jurnal Sipil Statik Vol.5 No.9 November 2017 (613-623) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Meruntu, Philips A., Jeffry S. F. Sumarauw, Tiny Mananoma. 2017. *Analisis Kapasitas Penampang Sungai Tingkulu di Kecamatan Tikala Kota Manado*. Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.4 April 2019 (379-388) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.

- Salem, Haniedo P., Jeffry S. F. Sumarauw, E. M. Wuisan. 2016. *Pola Distribusi Hujan Jam – Jaman Di Kota Manado Dan Sekitarnya*. Jurnal Sipil Statik Vol.4 No.3 Maret 2016 (203-210) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Samuel, Irdam Adil, Dwi Wisayantono. 2017. *Penentuan Chart Datum Pada Sungai Yang Dipengaruhi Pasang Surut (Studi Kasus: Teluk Sangkulirang, Kalimantan Timur)*. Institut Teknologi Bandung.
- 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.

Kotak Masuk (2,067) - lianyhendri... x Kotak Masuk (185) - lianyhendri... x INSPIRE Portal x INSPIRE Portal x +

inspire.unsrat.ac.id/haki/hak_cipta/progress/510#tahap-0

INSPIRE

LIANY AMELIA HENDRATTA
196603201991032001

Pengajuan HAKI

✓ file berhasil upload

Hak Cipta

Tahap 1 Kirim Dokumen Awal Tahap 2 No. Billing & Bukti Pembayaran Awal Tahap 3 Sertifikat Cipta

Daftar pencipta Menunggu Pemeriksaan

Choose file

Tipe: **DOC/DOCX** | Max Size: **1024 Kb**

Identitas pencipta Menunggu Pemeriksaan

Choose file

Tipe: **PDF** | Max Size: **1024 Kb**

Surat pengalihan karya cipta Menunggu Pemeriksaan

Choose file

Tipe: **PDF** | Max Size: **1024 Kb**

INTERIM REPORT...docx

29°C Berawan Bluetooth Devices IND 19:58 21/11/2021

PEMAKALAH PADA PIT 38 HATHI

(Sertifikat belum diberikan)

ANALISIS PROFIL ALIRAN BERUBAH LAMBAT LAUN SALURAN TIDAK PRISMATIS DI MUARA SUNGAI

Liany Hendratta^{1*}, Isri Mangangka¹, Hanny Tangkudung¹, Bastari², Imanuel Makasahe², Tiny Mananoma¹

¹Universitas Sam Ratulangi

²Balai Wilayah Sungai Sulawesi I

*lianyhendratta@unsrat.ac.id

Pemasukan: (kosongkan)

Perbaikan: (kosongkan)

Diterima: (kosongkan)

Intisari

Permukaan air yang mengalir pada saluran atau sungai tidak selamanya membentuk garis lurus. Daerah sekitar muara sungai dengan salurannya yang tidak prismatis dapat terjadi kenaikan dan penurunan muka air sehingga membentuk profil aliran berubah lambat laun. Profil aliran berubah lambat laun tidak dapat ditentukan secara eksak pada setiap penampang aliran sehingga diperlukan cara pendekatan untuk menentukan titik-titik yang menggambarkan profil aliran. Penelitian ini bersifat studi literatur menganalisis profil aliran berubah lambat laun dengan Metode Tahapan Standart untuk mengetahui bentuk profil aliran yang terjadi pada suatu saluran tidak prismatis. Hasil analisis selanjutnya dibandingkan dengan Metode Integrasi Grafis dan Metode Runge-Kutta. Data sekunder untuk kebutuhan analisis diambil dari pengamatan lapangan yang dianalisis dengan model HEC-RAS.

Hasil penelitian mendapatkan profil muka air pada metode tahapan standart dan model HEC RAS sangat mendekati satu dengan lainnya. Perbedaan H hanya bervariasi antara 0,088-0,118 meter.

Metode integrasi grafis dianalisis dengan menetapkan beberapa nilai y pada 2 penampang berturut kemudian dihitung jaraknya (ΔX). Hasil analisis menunjukkan ΔX mendekati antara hasil analisis metode integrasi grafis dan metode tahapan standart.

Perbedaan profil aliran air ditunjukkan dengan perbedaan antara nilai H pada metode tahapan standart dan nilai Y_2 pada metode Runge –Kutta. Hasil analisis mendapatkan untuk setiap titik tinjauan terjadi perbedaan kecil antara nilai H dengan Y_2 dan nilainya bervariasi antara 0,0894 - 0,124235 meter

Secara keseluruhan profil muka aliran berubah lambat laun dengan Model HEC-RAS, metode tahapan standart, metode integrasi grafis dan metode Runge-Kutta mendapatkan hasil yang cukup mendekati untuk diaplikasikan pada saluran tidak primatis di muara sungai.

Kata Kunci: Profil aliran berubah lambat laun, saluran tidak prismatis, muara sungai, metode tahapan standar

Latar Belakang

Secara umum permukaan air yang mengalir pada saluran atau sungai tidak selamanya membentuk atau mengikuti suatu garis lurus. Pembangunan bendung pada sungai dapat menaikkan tinggi muka air pada bagian hulu bendung dan sebaliknya bila ada bangunan terjunan dapat terjadi penurunan tinggi muka air terhadap garis lurus tersebut.

Daerah sekitar bendung, terjunan, atau bangunan teknik sipil lainnya dimana dapat terjadi kenaikan dan penurunan muka air akan terbentuk profil aliran berubah tiba-tiba dan profil aliran berubah lambat laun. Pengetahuan tentang bentuk dan pengaruh profil aliran air yang terjadi dapat mengurangi berbagai permasalahan seperti luapan air sungai yang menggenangi kawasan pemukiman, dan lain-lain.

Beberapa metode perhitungan profil aliran berubah lambat laun seperti Metode Esra, Metode Debit-Penurunan Tinggi dan Metode Integrasi Langsung hanya dapat diaplikasikan pada saluran-saluran prismatis, sedangkan yang sering terjadi permasalahan adalah pada saluran-saluran alamiah dan pada saluran tidak prismatis lainnya. Penelitian ini akan menggunakan simple numerical methods yaitu dengan Metode Tahapan Standart agar dapat menganalisis profil aliran berubah lambat laun pada saluran tidak prismatis.

Profil aliran berubah lambat laun tidak dapat ditentukan secara eksak untuk setiap penampang aliran sehingga diperlukan cara pendekatan untuk menentukan titik-titik yang menggambarkan profil aliran. Kemajuan teknologi komputer saat ini mendorong berkembangnya upaya-upaya pemecahan persoalan dengan menggunakan metode numerik. Dengan metode numerik, persamaan-persamaan yang tidak dapat diselesaikan secara analitis dapat diselesaikan dengan ketelitian yang memuaskan untuk penggunaan praktis.

Penelitian dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Bersifat studi pustaka.
2. Menggunakan hasil penelitian sebelumnya sebagai data sekunder untuk menganalisis profil aliran berubah lambat laun.
3. Profil aliran yang ditinjau akan terbagi menjadi 5 segmen dengan tinggi muka air atau jarak yang bervariasi
4. Aliran yang terjadi dianggap steady flow

Penelitian ini bertujuan menganalisis profil aliran berubah lambat laun dengan Metode Tahapan Standart yang pada intinya untuk mengetahui bentuk profil aliran yang terjadi pada suatu saluran tidak prismatis. Hasil analisis selanjutnya akan dibandingkan dengan Metode Integrasi Grafis dan Metode Runge-Kutta.

Umum

Aliran saluran terbuka dapat diklasifikasikan dengan berbagai cara berdasarkan perubahan kedalaman aliran sesuai dengan waktu dan ruang. Aliran berubah lambat laun terjadi jika kedalaman aliran berubah secara berangsur-angsur pada jarak yang cukup panjang.

Bilangan Reynolds

Perbandingan gaya inersia terhadap gaya kental (*viscous forces*) per satuan volume dikenal sebagai Bilangan Reynolds (Re) yang dapat ditulis sebagai berikut :

$$Re = \frac{V L}{\nu} \quad (1)$$

dengan:

Re = Bilangan Reynolds

V = kecepatan karakteristik (umumnya diambil sebagai kecepatan rata-rata penampang)

L = panjang karakteristik (disini dianggap sama dengan jari-jari hidrolis saluran)

ν = kekentalan kinematis cairan

Aliran dengan harga Re yang rendah mengikuti garis edar tertentu yang dapat diamati dan ditandai dengan meluncurnya satu lapisan di atas lapisan yang lain. Aliran yang demikian dikenal sebagai aliran Laminar (*laminar flow*). Pada harga bilangan Reynolds yang lebih tinggi terjadi campuran antara lapisan-lapisan fluida yang berbeda. Jenis aliran ini, dimana hampir tidak terdapat garis edar tertentu yang dapat dilihat, dikenal sebagai aliran Turbulen (*turbulent flow*). Jelasnya, pada bilangan Reynolds yang tinggi, gaya kental terlalu kecil untuk merendam gangguan sehingga aliran menjadi Turbulen.

Penelitian laboratorium pada saluran terbuka menunjukkan bahwa aliran tetap Laminar terjadi apabila $Re \leq 500$ dan aliran menjadi Turbulen apabila $Re \geq 2000$. Diantara kedua batasan ini aliran berada dalam keadaan Transisi.

Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran berubah lambat laun dapat dihitung dengan rumus aliran seragam. Diantara berbagai rumus kecepatan yang ada, rumus Manning merupakan rumus yang paling banyak digunakan karena kesederhanaannya dan derajat akurasi yang dapat diterima dalam berbagai pemakaian praktis. Rumus Manning untuk kecepatan aliran di saluran terbuka adalah:

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

dengan:

V = kecepatan rata-rata

n = koefisien kekasaran Manning

R = jari-jari hidrolis

S_f = kemiringan energi

Karena pada aliran seragam kemiringan energi = kemiringan muka air = kemiringan dasar saluran atau S_f = S_w = S₀, maka persamaan (4) dapat ditulis:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_0^{1/2} \quad (3)$$

dengan:

S₀ = kemiringan dasar saluran

Kedalaman Normal

Kedalaman normal adalah kedalaman aliran dalam keadaan seragam. Debit Q pada suatu penampang saluran untuk sembarang aliran dinyatakan dengan:

$$Q = V.A \quad (4)$$

Dimana menurut rumus Manning,

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_0^{1/2}$$

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S_0^{1/2} \quad (5)$$

Persamaan (7) ini dapat digunakan untuk menghitung kedalaman normal. Dengan mengelompokkan faktor-faktor penampang, persamaan (7) dapat ditulis

$$A R^{2/3} = \frac{Q n}{S_0^{1/2}} \quad (6)$$

Kemiringan Garis Energi

Kemiringan energi pada aliran berubah lambat laun sama dengan kemiringan energi aliran seragam yang kecepatan dan

jari-jari hidrolisnya sama. Menurut anggapan ini, rumus aliran seragam dapat dipakai untuk menyatakan kemiringan energi aliran berubah lambat laun pada penampang tertentu, dan koefisien kekasaran untuk aliran seragam, berlaku pula untuk aliran berubah lambat laun. Sehingga

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{1/2} \text{ atau}$$

$$S_f = \frac{n^2 V^2}{R^{4/3}} \quad (7)$$

Analisis Profil Aliran Berubah Lambat Laun

Analisis profil aliran berubah lambat laun pada dasarnya merupakan penyelesaian terhadap persamaan diferensial dari aliran berubah lambat laun. Sasaran utama dari perhitungan ini adalah menentukan bentuk profil aliran. Kedalaman aliran serta jarak penampang merupakan unsur yang penting untuk mendapatkan bentuk profil aliran khususnya profil aliran berubah lambat laun. Bentuk profil aliran dapat ditempuh dengan menentukan kedalaman-kedalaman aliran secara berurutan dan selanjutnya dilakukan perhitungan jarak antara setiap penampang pada kedalaman masing-masing. Sebaliknya, dapat pula ditentukan jarak setiap penampang dan dilakukan perhitungan kedalaman alirannya.

Dalam analisis profil aliran berubah lambat laun dapat menggunakan beberapa metode yang dibagi atas tiga kelompok metode, yaitu: Metode-metode grafis (Metode Integrasi Grafis) dan metode-metode numerik (Metode tahapan standar dan *Standard fourth order Runge-Kutta method*)

Metode Tahapan Standar

Proses analisis dilaksanakan dengan mengambil contoh saluran berbentuk trapesium. Tahapan selanjutnya menghitung besaran-besaran geometri penampang saluran sebagai dasar perhitungan awal. Setiap variabel yaitu luas penampang saluran (A), kecepatan aliran (V), jari-jari hidraulic (R), keliling basah saluran (P), kemiringan dasar saluran (So), dan lainnya digunakan sebagai data input dalam persamaan yang ada pada metode tahapan standar untuk menghitung profil aliran. Metode tahapan standar akan menganalisis data dengan cara coba-coba.

Misalnya akan dicari kedalaman air dari suatu bangunan air (bendung, terjunan, dll) pada jarak yang diketahui ΔX

1. Tetapkan elevasi muka air di bangunan air = Z_2
2. Hitung $y_2 = Z_2 - z_2$ (z_2 = elevasi dasar saluran di bangunan air)
3. Hitung pada penampang 2, berturut-turut: Luas penampang A_2 , Kecepatan aliran V_2 , Keliling basah P_2 , Jari-jari hidrolis R_2
4. Hitung juga pada penampang 2 nilai :

$$H_2 = Z_2 + \alpha 2 \frac{V_2^2}{2g}$$

$$Sf_2 = \frac{n^2 V_2^2}{R_2^{4/3}}$$

5. Perkirakan elevasi muka air dipenampang 1 = Z_1
6. Tentukan nilai y_1 dimana
 $Z_1 = y_1 + Z_2 + So. \Delta X$

7. Hitung pada penampang 1, berturut-turut : Luas penampang A1 , Kecepatan aliran V1 , Keliling basah P1 , Jari-jari hidrolis R1
8. Hitung juga pada penampang

$$H_1 = Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g}$$

$$Sf_1 = \frac{n^2 V_1^2}{R_1^{4/3}}$$

9. Hitung Sf rata-rata dimana $Sf = \frac{1}{2}(Sf_1 + Sf_2)$
10. Hitung $hf = Sf \cdot \Delta X$
11. Hitung $H_1 = H_2 + hf$
12. Periksa H1 yang diperoleh pada langkah 11, terhadap H1 yang diperoleh pada langkah 8. Kedua nilai H1 harus sama atau mendekati, jika tidak maka ulangi mulai langkah 5 dengan memilih Z1 yang lain.

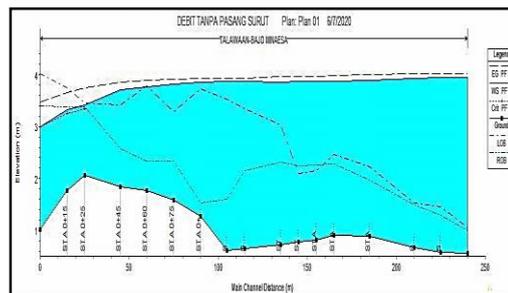
Metodologi Studi

Penelitian ini akan menganalisis profil aliran berubah lambat laun dengan Metode Tahapan Standar yang merupakan salah satu metode dalam kelompok *Simple Numerical Method*. Proses analisis dilaksanakan dengan menggunakan hasil penelitian sebelumnya yang menganalisis tinggi muka air banjir dengan Program HEC-RAS. Data debit banjir, jarak setiap penampang (*cross section*), tinggi muka air banjir dan besaran-besaran geometri penampang saluran yaitu luas penampang saluran (A), kecepatan aliran (V), keliling basah saluran (P), jari-jari hidraulic (R) , kemiringan dasar saluran (So), dan lainnya digunakan sebagai data input data sekunder pada Metode Tahapan Standart. Selanjutnya hasil analisis Metode Tahapan Standar dibandingkan dengan 2 metode yang lain yaitu metode integrasi grafis dan metode tahapan langsung.

Hasil Studi dan Pembahasan

Analisis Dengan HEC-RAS

Hasil analisis tinggi muka air banjir untuk setiap penampang melintang pada beberapa STA dengan program komputer HEC-RAS menggunakan hasil penelitian sebelumnya yang berjudul “Analisis Pengaruh Backwater Di Muara Sungai Talawaan-Bajo Kabupaten Minahasa Utara”.



Gambar 1. Tinggi muka air potongan memanjang $Tr = 100$ tahun

Penelitian ini meninjau sebanyak 5 segmen, sehingga diambil 6 penampang Metode integrasi grafis dianalisis dengan menentukan nilai H dan menghitung jarak antara 2 penampang melintang. Dari hasil analisis, ΔX antara STA 0+155 dan STA 0+165 adalah 9,9999890 meter ≈ 10 meter.

Dari Tabel 2. terlihat mulai dari STA 0+155 sampai STA 0+240, jarak antara 2 segmen (ΔX) hasil analisis metode integrasi grafis dan jarak pada metode tahapan standart sangat mendekati. Pada Metode tahapan standart, ΔX nilainya berturut-turut adalah 10 m, 20 m, 25 m, 15 m dan 15 m.

Gambar profil muka air menggunakan metode integrasi grafis dibandingkan dengan metode tahapan langsung dapat dilihat pada Gambar 2. melintang yaitu yang terletak pada STA 0+155 m, STA 0+165 m, STA 0+185 m, STA 0+210 m, STA 0+225 m, STA 0+240 m.

Analisis dengan Metode Tahapan Standar

Tabel 1. Hasil analisis metode tahapan standar

STA (meter)	Y (meter)	H (meter)
0+155	3,071876	3,998428
0+165	2,971400	4,005393
0+185	3,008037	4,020543
0+210	3,280804	4,035693
0+225	3,378380	4,042203
0+240	3,399454	4,048218

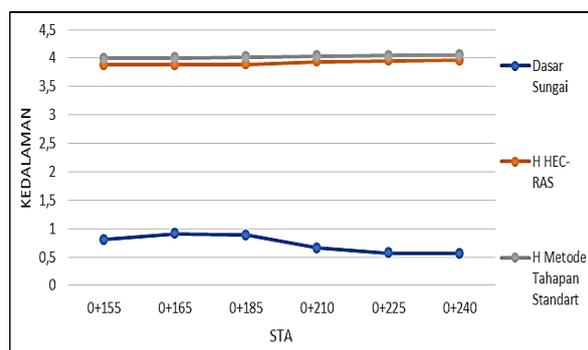
Metode integrasi grafis dianalisis dengan menentukan nilai H dan menghitung jarak antara 2 penampang melintang. Dari hasil analisis, ΔX antara STA 0+155 dan STA 0+165 adalah 9,9999890 meter \approx 10 meter.

Dari Tabel 2 terlihat mulai dari STA 0+155 sampai STA 0+240, jarak antara 2 segmen (ΔX) hasil analisis metode integrasi grafis dan jarak pada metode tahapan standart sangat mendekati. Pada Metode tahapan standart, ΔX nilainya berturut-turut adalah 10 m, 20 m, 25 m, 15 m dan 15 m.

Gambar profil muka air menggunakan metode integrasi grafis dibandingkan dengan metode tahapan langsung dapat dilihat pada Gambar 4.

Dari hasil analisis terlihat tinggi muka air (H) antara metode tahapan standart dan dari hasil HEC RAS sangat mendekati satu dengan lainnya. Perbedaan H antara kedua metode hanya bervariasi antara 0,088 meter (pada STA 0+240) sampai 0,118 (pada STA 0+155).

Hasil analisis profil muka air menggunakan metode tahapan standart dibandingkan dengan hasil program HEC-RAS dapat dilihat pada Gambar 2.

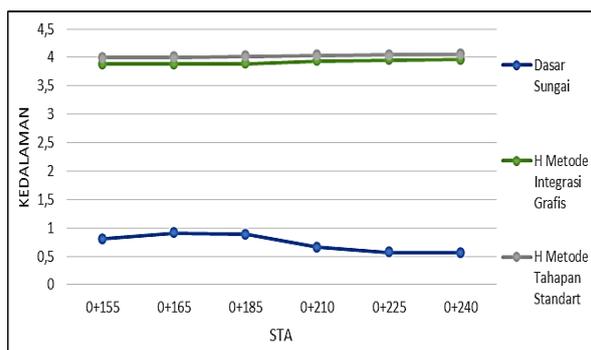


Gambar 2. Profil muka air metode tahapan standar dan HEC-RAS

Analisis Dengan Metode Integrasi Grafis

Tabel 2. Hasil analisis metode integrasi grafis

STA (m)	Y (m)	H (m)	ΔX
0+155	3,0718760	3,88	
0+165	3,0760243	3,88	9,9999890
0+185	3,0852105	3,89	19,9998411
0+210	3,0936568	3,94	24,999755
0+225	3,0975299	3,95	14,9999976

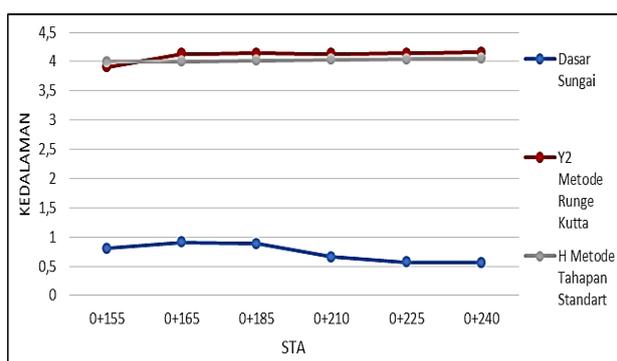


Gambar 3. Profil muka air metode integrasi grafis dan metode tahapan standart

Analisis Dengan Metode Runge-Kutta Standart orde-4

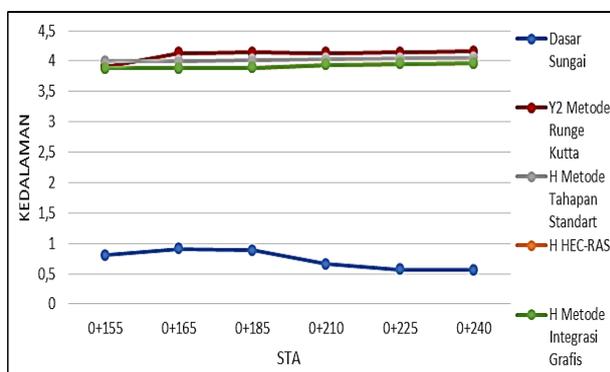
Dari hasil analisis terlihat tinggi muka air (H) antara metode tahapan standart dan nilai Y2 pada metode Runge –Kutta nilainya mendekati satu dengan lainnya untuk setiap STA. Perbedaan H dan Y2 antara kedua metode bervariasi antara 0,0894 meter (pada STA 0+155) dan 0,105451 meter (pada STA 0+240). Perbedaan paling besar terjadi pada STA 0+165 yaitu sebesar 0,124235 meter

Hasil analisis profil muka air menggunakan metode tahapan standar dibandingkan dengan hasil Runge-Kutta dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Profil muka air metode Runge-Kutta dan metode tahapan standart

Gambar 5. menunjukkan profil muka aliran berubah lambat laun dari 4 metode yaitu dengan HEC-RAS, metode tahapan standart , metode integrasi grafis dan metode Runge-Kutta.



Gambar 5. Profil muka air HEC-RAS, metode tahapan standart, metode integrasi grafis dan metode Runge-Kutta

Kesimpulan

Profil muka air pada metode tahapan standart dan program HEC RAS sangat mendekati satu dengan lainnya. Perbedaan H antara kedua metode hanya bervariasi antara 0,088 meter (pada STA 0+240) sampai 0,118 (pada STA 0+155).

Metode integrasi grafis dianalisis dengan menetapkan nilai-nilai y pada 2 penampang berturut kemudian dihitung jarak antara dua penampang tersebut (ΔX). Hasil analisis menunjukkan bahwa ΔX dari STA 0+155 sampai STA 0+240 mendapatkan hasil yang dapat dikatakan sama antara hasil analisis metode integrasi grafis dan jarak setiap STA pada metode tahapan standart.

Perbedaan profil aliran air ditunjukkan dengan perbedaan antara nilai H pada metode tahapan standart dan nilai Y2 pada metode Runge –Kutta. Hasil analisis mendapatkan untuk setiap STA terjadi perbedaan kecil antara nilai H dengan Y2 Perbedaan antara kedua metode bervariasi antara 0,0894 meter (pada STA 0+155) dan 0,105451 meter (pada STA 0+240) dan perbedaan paling besar terjadi pada STA 0+165 yaitu sebesar 0,124235 meter

Secara keseluruhan profil muka aliran berubah lambat laun dari 4 metode yaitu dengan HEC-RAS, metode tahapan standart , metode integrasi grafis dan metode Runge-Kutta mendapatkan hasil yang cukup mendekati untuk diaplikasikan pada saluran tidak primatis.100 tahun tidak dapat menampung debit banjir yang terjadi. Hal ini disebabkan oleh tinggi muka air banjir melebihi elevasi tebing sungai.

Daftar Referensi

- Chow V. T, Rosalina, N. N. V, Kristanto, S. V. F. X, Suyatman. 1989, Hidrolika Saluran Terbuka. Erlangga, Jakarta
- French, R. H. 1985, *Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill*, New York.
- Henderson, F. M. 1969, *Open Channel Flow. McMillan. Co*, New York.
- Hendratta, L., Tangkudung, H. 2020, Hidraulika, Unsrat Press, Manado
- La'la Monica, Liany A. Hendratta, Cindy J. Supit, 2020, Analisis Pengaruh *Backwater* di Muara Sungai Talawaan Bajo Kabupaten Minahasa Utara, Jurnal Ilmiah Media Engineering, Vol.10 No.2, pp. 125-134.
- Tanudjaja, L. 2003, Mekanika Fluida dan Hidrolika II, Unsrat, Manado
- Triatmodjo B. 1993, Hidraulika II. Beta Offset, Yogyakarta.

