

THESIS

REALTIME RAMBATAN BANJIR DI HILIR WADUK BILI-BILI DENGAN
HIDROLIK *ROUTING*



OLEH:

MUH AZWIN SUDARMIN

D0121 72 020

JURUSAN SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2021

**REALTIME RAMBATAN BANJIR DI HILIR WADUK BILI-BILI DENGAN
HIDROLIK ROUTING**

Thesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Sipil

Disusun dan diajukan Oleh

MUHAMMAD AZWIN SUDARMIN

D0121 72 020

Kepada

JURUSAN SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2021

TESIS

REALTIME RAMBATAN BANJIR DI HILIR WADUK BILI-BILI DENGAN HIDROLIK ROUTING

Disusun dan diajukan oleh:

MUHAMMAD AZWIN SUDARMIN

Nomor Pokok D012172020

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

pada tanggal 30 Agustus 2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasehat,

Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT.

Ketua

Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, MT.

Sekretaris

Ketua Program Studi
S2 Teknik Sipil

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.T

PERNYATAAN KEASLIAN THESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Azwin Sudarmin

Nomor mahasiswa : D012172020

Program studi : Teknik Sipil

Konsentrasi : Keairan

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa thesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan thesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 30 Agustus 2021

Yang menyatakan,



Muhammad Azwin Sudarmin

KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan Thesis ini dengan judul “Realtime Rambatan Banjir di Hilir Waduk Bili-Bili dengan Hidroulik Routing”, sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Master di Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Namun demikian kami menyadari bahwa dalam Thesis ini tentu masih terdapat kekeliruan dan kekurangan sehingga dengan segala kerendahan hati saya siap untuk menerima segala kritikan dan saran dari pembaca terutama yang berpengalaman dalam menuangkan pola pikirnya guna lebih melengkapi dan menyempurnakan Thesis ini. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada bapak Prof. Dr. M. Wihardi Tjaronge, ST, M. Eng selaku Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, ibu Dr. Eng. Rita Irmawaty, ST, MT selaku Ketua Prodi S2 Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, bapak Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, M.T. sebagai Dosen Pembimbing I dalam penyusunan Thesis ini, ibu Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, M.T. sebagai Dosen Pembimbing II dalam penyusunan Thesis ini, bapak Dr. Ir. Riswal K, ST, M.T. sebagai Dosen Pembimbing lapangan, bapak Ir. Akhmad Sumakin, M.T. sebagai dosen pembimbing lapangan, bapak Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing lapangan, bapak-ibu dosen dan staf administrasi Jurusan Sipil Fakultas Teknik, saudara-saudari kawan seperjuangan Teknik Sipil Angk. 2017

Program Pascasarjana, sahabat-sahabatku Muh. Rahmat Fitrah, S.ST, Nurul Fatimah Rusman, SP., Nurul Rifqiani, S. Ked., Nurul Anisa S.H. M.H., Putri Mutmainna, S. Hum, Suri Etika Yuniawati, A.Md.G., Ayu Anggreani, S.Si, saudara-Saudariku Azwar Sudarmin, SE., Dr. Ria Rezeki Sudarmin, SKM., M. Kes., Azrul Sudarmin, ST., dan Ririn Anugerah Sudarmin S.M. beserta keluarga besar saya yang selalu memberikan dukungan moril dan materil tanpa kenal Lelah, terkhusus penulis persembahkan sujud dan rasa terima kasih kepada kedua orang tua Alm. Dr. H. Sudarmin Harun, M. Hum. dan Dra. Hj ST. Mariani Rapi yang telah memberikan pengorbanannya baik materi maupun doa demi keberhasilan penulis.

Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, terima kasih atas bantuan, nasehat dan dorongan dalam penyusunan Thesis ini.

Makassar, 30 Agustus 2021



Muh. Azwin Sudarmin

ABSTRAK

Muhammad Azwin Sudarmin. Realtime Rambatan Banjir Di Hilir Waduk Bili-Bili Dengan Hidraulik Routing (Dibimbing oleh **Farouk Maricar** dan **Rita Tahir Lopa**).

Januari 2019, bencana banjir terbesar yang dialami kabupaten Gowa dan kota makassar selama satu dekade terakhir, banjir tersebut menelan banyak korban dan kerusakan bangunan yang cukup parah, hal ini dapat diantisipasi dengan penelusuran banjir. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hidrograf banjir, waktu rambatan banjir, dan menentukan model genangan banjir selama banjir di hilir waduk Bili-Bili. Penelitian dilakukan dengan 3 tahap, yaitu Delinasi DAS dengan Program Bantu ArcGis, Penelusuran Banjir Hidraulik dengan Program Bantu HEC-HMS, dan Simulasi Genangan Banjir dengan program bantu HEC-RAS yang telah terintegrasi RAS-MAPPER. Hasil dari penelitian ini didapatkan hidrograf Banjir yang terjadi di hulu 3,319.7 M³/S dan dihilir 2,961.4 M³/S, dengan waktu perjalanan banjir 1 Jam 44 Menit, serta model genangan banjir Realtime di Hilir Waduk Bili-Bili menghasilkan genangan banjir 52.47 Km².

Kata Kunci: Sungai Jeneberang, Banjir, Penelusuran Hidraulik, Hilir Waduk Bili-Bili

ABSTRACT

Muhammad Azwin Sudarmin. Realtime Flood Propagation On The Downstream Of Bili-Bili Reservoir With Hydraulic Routing (Supervised by **Farouk Maricar** and **Rita Tahir Lopa**).

On January 2019, the biggest flood in the last decade struck Gowa and Makassar. The flood claimed enormous number of victims and caused severe damage to many buildings, this can be anticipated by Flood Routing. This study aims to analyze the flood hydrograph, flood propagation time, and to determine the flood inundation model during the flood downstream of The Bili-Bili reservoir. This research was conducted through three phases: delineation of watershed by using ArcGis 10.6.1, Hydraulic Routing by using HEC-HMS 4.5, and flood simulation by using HEC-RAS 5.0.7 which has been integrated with RAS-MAPPER. The results showed that the flood hydrographs which occurred in The Upstream was 3,319.7 m³/s and in The Downstream was 2.961.4 m³/s, with the travel time of flooding lasted for 1 hour 44 minutes, as well as a model of Realtime flooding in The Downstream Reservoir of The Bili-Bili produced a flood surface area of 52.47 km².

Keywords: Jeneberang River, Flood, Hydraulic Routing, The Downstream of Bili-Bili Reservoir.

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN THESIS	ii
PERNYATAAN KEASLIAN THESIS	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. LATAR BELAKANG	1
B. RUMUSAN MASALAH	3
C. TUJUAN PENELITIAN	4
D. MANFAAT PENELITIAN	4
E. BATASAN PENELITIAN	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. PENELITIAN SEBELUMNYA	6
B. LANDASAN TEORI	10
1. Hidrologi	10
2. Daerah Aliran Sungai	11
3. Koefisien Manning	13
4. Penelusuran Aliran	16
5. Penelusuran Banjir Hidrolik	20
6. ARC-GIS	23
7. HEC-HMS	25
8. HEC-RAS	28
C. KERANGKA PIKIR PENELITIAN	30
BAB III METODE PENELITIAN	31
A. WAKTU DAN LOKASI PENELITIAN	31

B. TAHAPAN PENELITIAN	32
C. DATA PENELITIAN	33
D. DELINASI DAS	34
E. SIMULASI HIDRAULIK ROUTING	35
F. SIMULASI GENANGAN BANJIR	36
G. VALIDASI	37
H. KESIMPULAN DAN SARAN	37
I. DIAGRAM ALIR PENELITIAN	38
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	39
A. BENDUNGAN BILI-BILI	40
B. DELINASI DAS	44
1. Fill	45
2. Flow Direction	46
3. Flow Accumulation	47
4. Snap Pour Point	50
5. Watershed	51
C. Hidraulik Routing	54
1. Basin Model Manager	54
2. Time Series Data Manager	60
3. Meteorologic Model Manager	65
4. Control Specification Manager	66
5. Compute	67
6. Result	67
D. Simulasi Genangan Banjir	65
1. Terrain	65
2. Geometries	66
3. Boundary Condition	66
4. Unsteady Flow Analysis	68
5. Result	68
E. Validasi	97
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	99
A. KESIMPULAN	99
B. SARAN	100
DAFTAR PUSTAKA	101

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Koefisien Kekasaran Manning berdasarkan bahan saluran	15
Tabel 2 Koefisien Kekasaran Manning berdasarkan Tipe Saluran dan Jenis Bahan Saluran	15
Tabel 3 Metode Simulasi pada HEC-HMS	27
Tabel 4 Pola Operasi Pintu Bendungan Bili-Bili (Hubungan Antara Elevasi Air Waduk, Debit, dan Bukaannya Pintu)	43
Tabel 5 Koordinat Titik Tinjauan Hidraulik Routing	55
Tabel 6 Input Data Penampang Routing pada elemen Reach	58
Tabel 7 Tabel Data Waduk Bili-Bili Tanggal 21 s/d 24 Januari 2019	62
Tabel 8 Tabel Data tinggi Muka Air Sungai Jenelata Tanggal 21 s/d 24 Januari 2019	64
Tabel 9 Global Summary HEC-HMS Realtime Rambatan Banjir 21-24 Januari 2019	75
Tabel 10 Hasil Simulasi HEC-HMS	65
Tabel 11 Rekapitulasi Hasil Simulasi Genangan Banjir Realtime Rambatan Banjir 21-24 Januari 2019	96
Tabel 12 Perbandingan Data Lapangan dengan Hasil Simulasi Pada Tanggal 22 Januari 2019 Pukul 16.30 Wita	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Batas Aliran Sungai	13
Gambar 2 Sketsa Teknik Penelusuran Aliran Sungai	18
Gambar 3 Perambatan (propagation) gelombang kinematic dari $t_n=0$ sampai $t_{(n+1)}=T$	23
Gambar 4 Tampilan Aplikasi ARC-GIS	24
Gambar 5 Tampilan Aplikasi HEC-HMS	25
Gambar 6 Tampilan Aplikasi HEC-RAS Yang Telah Terintegrasi RAS-MAPPER	29
Gambar 7 Kerangka Pikir Penelitian	30
Gambar 8 Peta Lokasi Penelitian	31
Gambar 9 Diagram Alir Delinasi DAS Dengan Program Bantu ARC-GIS	34
Gambar 10 Diagram Alir Hidrolik Routing dengan Program HEC-HMS	35
Gambar 11 Diagram Alir Simulasi Genangan Banjir Dengan Program HEC-RAS	36
Gambar 12 Diagram Alir Penelitian	38
Gambar 13 Skema Sungai Jeneberang	39
Gambar 14 Tampak Bendungan Bili-Bili	40
Gambar 15 Tampak Data DEMNAS yang diproyeksikan ARC-GIS	44
Gambar 16 Perintah dan Masukan Fill	45
Gambar 17 Output Analisis Fill	46
Gambar 18 Perintah dan Masukan Flow Direction	46
Gambar 19 Output Analisis Flow Direction	47
Gambar 20 Perintah dan Masukan Flow Accumulation	47
Gambar 21 Output Analisis Flow Accumulation	48
Gambar 22 Perintah dan Masukan Flow Calculator	49
Gambar 23 Output Analisis Flow Calculator	49
Gambar 24 Perintah dan Masukan Snap Pour Point	50
Gambar 25 Output Analisis Snap Pour Point	51
Gambar 26 Perintah dan Masukan Watershed	51
Gambar 27 Output Analisis Watershed	52
Gambar 28 Perintah dan Masukan Raster to Polygon	53
Gambar 29 Output Analisis Watershed	53
Gambar 30 Model dan Elemen-Elemen DAS pada Basin Model Manager	55
Gambar 31 Editor Komponen Source Waduk Bili-Bili	56
Gambar 32 Editor Komponen Source Sungai Jenelata	57
Gambar 33 Editor Komponen Elemen Reach	59
Gambar 34 Editor Komponen Elemen Junction	59
Gambar 35 Editor Komponen Elemen Sink	60
Gambar 36 Editor Komponen Time-Series Data Manager	61

Gambar 37 Grafik Hubungan Waktu dan Debit <i>Outflow</i> Waduk Bili-Bili 21-24 Januari 2019	63
Gambar 38 Grafik Hubungan Waktu dan Debit Inflow Sungai Jenelata 21-24 Januari 2019	65
Gambar 39 Editor Komponen Meteorologic Model Manager	66
Gambar 40 Editor Komponen Control Specifications Manager	66
Gambar 41 Editor Komponen Compute	67
Gambar 42 Editor Komponen Results	68
Gambar 43 Grafik Hubungan Waktu dan Outflow Pada Pertemuan	68
Gambar 44 Grafik Hubungan Waktu dan Outflow Pada Bendung Bissua	69
Gambar 45 Grafik Hubungan Waktu dan Outflow Pada BS.1	69
Gambar 46 Grafik Hubungan Waktu dan Outflow Pada Bendung Kampili	70
Gambar 47 Grafik Hubungan Waktu dan Outflow Pada BK.1	70
Gambar 48 Grafik Hubungan Waktu dan Outflow Pada BK.2	71
Gambar 49 Grafik Hubungan Waktu dan Outflow Pada BK.3	71
Gambar 50 Grafik Hubungan Waktu dan Outflow Pada BK.4	72
Gambar 51 Grafik Hubungan Waktu dan Outflow Pada Jembatan Kembar	72
Gambar 52 Grafik Hubungan Waktu dan Outflow Pada JK.1	73
Gambar 53 Grafik Hubungan Waktu dan Outflow Pada Bendung Karet	73
Gambar 54 Grafik Hubungan Waktu dan Outflow Pada Muara	74
Gambar 55 Grafik Perbandingan Debit Banjir Hulu dan Hilir Sungai Jeneberang 21-24 Januari 2019	74
Gambar 56 Tampak Data DEMNAS yang diproyeksikan RAS-MAPPER	65
Gambar 57 Area 2D Flow Areas Hilir Waduk Bili-Bili	66
Gambar 58 Model Boundary condition Hilir Sungai Jeneberang	67
Gambar 59 Editor Komponen Unsteady Flow Data	67
Gambar 60 Editor Komponen Unsteady Flow Analysis Sungai Jeneberang	68
Gambar 61 Kedalaman Banjir Sungai Jeneberang pada tanggal 21-24 Januari 2019	69
Gambar 62 Kedalaman Banjir Sungai Jeneberang (Depth Map Value) pada tanggal 21-24 Januari 2019	69
Gambar 63 Kecepatan Banjir Sungai Jeneberang pada tanggal 21-24 Januari 2019	70
Gambar 64 Kecepatan Banjir Sungai Jeneberang (Velocity Map Value) pada tanggal 21-24 Januari 2019	70
Gambar 65 Elevasi Muka Air Banjir Sungai Jeneberang pada tanggal 21- 24 Januari 2019	71

Gambar 66 Elevasi Muka Air Banjir Sungai Jeneberang (*WSE Map Value*)
pada tanggal 21-24 Januari 2019

71

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Masalah banjir akan menarik perhatian setelah mempengaruhi kehidupan manusia dan menimbulkan bencana/kerugian bagi masyarakat di sekitar lingkungan sungai tersebut. Terjadinya banjir dapat dibedakan oleh beberapa macam, yaitu debit terlalu besar atau kapasitas pengaliran sungai berkurang. Hal ini dapat terjadi oleh gejala alamiah atau akibat kurang hati-hatian kegiatan manusia dalam melakukan pembinaan/pengelolaan sungai untuk berbagai kepentingan. Sejalan dengan laju perkembangan masyarakat terutama yang tinggal dan melakukan kegiatan di sekitar dataran banjir, maka persoalan yang ditimbulkan oleh banjir, dari waktu ke waktu semakin meningkat dan memerlukan perhatian dan usaha-usaha untuk mengatasinya dengan baik.

Salah satu sungai besar yang berada di Sulawesi Selatan yaitu Sungai Jeneberang merupakan sungai yang sangat berpengaruh di Sulawesi Selatan yang mana memiliki Panjang 75 km dan luas Daerah Aliran Sungai (DAS) 784,01 Km² yang bersumber dari Gunung Bawakaraeng pada elevasi + 2.833,00 MSL. DAS Jeneberang terletak pada Wilayah Sungai (WS) Jeneberang. DAS ini sebagian terletak pada Kabupaten Gowa dan Wilayah Kota Makassar.

Pada musim penghujan di daerah Sungai Jeneberang sering terjadi banjir yang pada umumnya diakibatkan oleh hujan yang terjadi secara terus menerus selama beberapa hari, seperti yang terjadi pada bulan Desember sampai dengan Januari Tahun 1976 hampir 2/3 wilayah Kota Makassar dan Kab. Gowa tergenang, hal ini terjadi karena meluapnya Sungai Jeneberang di daerah hilir Jembatan Sungguminasa dan banjir yang terjadi pada bulan Januari 2019 ini yang merupakan bencana banjir terbesar yang dialami Kab. Gowa dan Kota Makassar selama satu dekade terakhir yang mana menelan banyak korban dan kerusakan bangunan yang cukup parah, penyebab utama banjir tersebut yaitu meluapnya Bendungan Bili-bili dan Sungai Jeneberang, serta hujan deras yang terjadi selama sehari-hari.

Di aliran Sungai Jeneberang terdapat bendungan terbesar di Sulawesi Selatan yaitu Bendungan Bili-Bili yang tepatnya berada di Desa Bili-Bili Kecamatan Bontomarannu, Kabupaten Gowa. Bendungan Bili-Bili merupakan salah satu bendungan yang menjadi pengendali banjir Sungai Jeneberang yang memiliki luas waduk 40.428 Ha yang mampu menyediakan air baku sebesar 3.300 Liter/det dengan luas areal irigasi 24.585 Ha. Bendungan Bili-Bili juga memiliki pembangkit tenaga listrik tenaga air (PLTA) dengan kapasitas terpasang 20,1 MW.

Penelusuran banjir adalah sebuah cara untuk menentukan modifikasi aliran banjir, dimana prosedurnya digunakan untuk menentukan waktu dan debit banjir (hidrograf banjir) di suatu titik pada aliran berdasarkan hidrograf yang diketahui di sebelah hulu. Penelusuran banjir merupakan upaya untuk

pengendalian banjir, dimana dilakukan analisis perjalanan/penelusuran banjir di sepanjang sungai, apabila hidrograf di bagian hulu sungai diketahui maka akan dapat dihitung bentuk hidrograf banjir di bagian hilirnya. Ada dua macam penelusuran banjir yaitu penelusuran hidrologis dan penelusuran hidraulis/hidrolik. Pada penelusuran hidrologis dicari hidrograf debit di suatu titik di hilir berdasarkan hidrograf di hulu. Penelusuran secara hidrologis dapat berupa penelusuran waduk dan penelusuran sungai. Pada penelusuran hidraulis dicari hidrograf debit di titik di sepanjang aliran.

Dengan penelusuran banjir maka waktu dan debit banjir dapat diketahui dan dapat digunakan dalam upaya pengendalian banjir untuk mengantisipasi waktu dan kejadian banjir itu sendiri.

Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan penelitian untuk mempelajari *Real Time* Rambatan Banjir Di Hilir Waduk Dengan Hidrolik *Routing* di Hilir Sungai Jeneberang.

B. RUMUSAN MASALAH

Masalah yang di bahas dalam penelitian ini dapat di jabarkan dalam rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana Hidrograf Banjir dengan Hidrolik *Routing* di Hilir Waduk Bili-bili selama banjir?
2. Bagaimana waktu rambatan banjir di Hilir Sungai Jeneberang dari Bendungan Bili-bili ke lokasi lainnya selama banjir?
3. Bagaimana model genangan banjir selama banjir di Hilir Bendungan Bili-Bili?

C. TUJUAN PENELITIAN

1. Menganalisis Hidrograf Banjir dengan Hidrolik Routing di Hilir Waduk Bili-Bili selama banjir.
2. Menganalisis waktu rambatan banjir di Hilir Sungai Jeneberang dari Bendungan Bili-bili ke lokasi lainnya selama banjir.
3. Menentukan model genangan banjir selama banjir di Hilir Bendungan Bili-Bili.

D. MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah:

1. Hasil dari penelitian diharapkan memberikan manfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama dalam penanganan banjir di daerah sekitar sungai.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai salah satu masukan untuk perencanaan dalam kaitannya dengan perencanaan bangunan air, khususnya perencanaan elevasi bangunan pengaman di sempadan sungai.
3. Hasil Penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai informasi waktu perkiraan datangnya banjir untuk mengantisipasi kejadian banjir, khususnya daerah hilir sungai.
4. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan salah satu sumber untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

E. BATASAN PENELITIAN

Agar penelitian ini dapat berjalan efektif dan mencapai sasaran yang ingin dicapai maka pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Debit Banjir *Real Time* Waduk Bili-Bili yang digunakan yaitu pada tanggal 21, 22, 23, dan 24 Januari 2019.
2. Debit Banjir di Sungai Jenelata yang digunakan yaitu pada tanggal 21, 22, 23, dan 24 Januari 2019.
3. Aplikasi yang digunakan untuk Penunjang penelitian yaitu ARC-GIS, HEC-RAS, dan HEC-HMS.
4. Metode *Hidraulic Routing* yang digunakan yaitu *Kinematic Wave*.
5. Daerah Penelitian yaitu Alur Sungai Jeneberang.

BAB II TINJAUAN

PUSTAKA

A. PENELITIAN SEBELUMNYA

Adiningrum, Cita, 2014 meneliti perbedaan metode *HSS Snyder* dan *HSS Clark* untuk memperkirakan waktu penjalaran debit puncak banjir. Metode penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan perbandingan antara metode *HSS Snyder* dan *HSS Clark* dalam memodelkan komponen *direct run off*, seperti perbandingan besarnya debit puncak banjir berbagai kala ulang dan perkiraan besarnya waktu penjalaran debit puncak banjir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu penjalaran debit puncak banjir dari EWS 1 ke Bendung Cilemahabang untuk kala ulang 5 tahun dan 100 tahun sama yaitu selama 6 jam. Besarnya waktu penjalaran debit puncak banjir berbagai kala ulang tergantung pada panjang ruas sungai di antara dua lokasi atau jarak tempuh, kemiringan/slope ruas sungai, dan kekasaran saluran. Terkait dengan peristiwa keterlambatan membuka pintu air yang pernah terjadi, diduga kemungkinan penyebabnya ada 3 kemungkinan yaitu kondisi darurat dimana listrik mati/*panel* pembuka pintu otomatis rusak sehingga serangkaian pintu air (7-8 pintu) harus dibuka secara manual yang membutuhkan waktu lebih lama dan petugas lebih banyak; terjadi gangguan pada stasiun telemetri system peringatan dini banjir (sensor, *transmitter*) sehingga tidak dapat mengirim alarm. Buka/tutup pintu *bending* tergantung alam/sinyal yang dikirimkan EWS; kejadian banjir yang melebihi

besaran banjir rancangan/*design flood* pembuatan bendung; dan human error, misalnya saat banjir terjadi dan petugas sedang tidak ada di lokasi.

Tikno, Sunu, 2002 menentukan nilai-nilai konstanta dan koefisien yang digunakan pada ruas Sungai Ciliwung serta memperkirakan laju debit di Manggarai. Metode penelitian yang digunakan yaitu Metode *Muskingum*, yaitu dengan menggunakan pendekatan nilai koefisien korelasi (r) antara kumulatif *Storage* (S) dengan $[xI + (1 - x)D]$ untuk menentukan nilai x dan perbandingan antara laju $[xI + (1 - x)D]$ dengan kumulatif *storage* (S) untuk menentukan nilai K , serta dengan menggunakan persamaan $D_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 D_1$ dan periode pengamatan (t) untuk memperkirakan laju debit *outflow* di Manggarai. Hasil Penentuan nilai-nilai konstanta dan koefisien dengan metode *Muskingum*, diketahui bahwa nilai-nilai konstanta dan koefisien yang digunakan dalam perhitungan penelusuran banjir di Sungai Ciliwung pada ruas Depok hingga Manggarai adalah sebagai berikut : $x = -0.002$; $K = 6$ jam; $C_0 = 0.1443$; $C_1 = 0.1409$ dan $C_3 = 0.7147$; dan Perjalanan puncak gelombang banjir dari Depok sampai Manggarai berlangsung sekitar 6 jam.

Assiddiq, Muh. Dkk, 2019 memprediksi nilai debit puncak yang terjadi di Sungai Pasangkayu Kecamatan Pasangkayu Kabupaten Pasangkayu. Metode penelitian yang digunakan yaitu dengan melakukan pengukuran debit aliran sungai selama 3 hari, dengan cara mengukur lebar sungai dari arah barat ke arah timur, mengukur kecepatan aliran sungai, mengukur kedalaman sungai, dan mengolah data tersebut menggunakan Metode

Muskingum. Hasil perhitungan menggunakan metode *Muskingum* debit puncak bagian hulu (aliran masuk) menunjukkan perbedaan waktu kenaikan dengan debit puncak di bagian hilir sungai (aliran keluar), pada pengukuran tanggal 17 maret 2018 debit puncak bagian hulu terjadi pada pukul 12.00 WITA dengan besar debit 18,17 m³/dt sedangkan debit maksimum aliran keluar terjadi pada pukul 10.00 WITA dengan debit sebesar 19,09 m³/dt, pada pengukuran tanggal 18 maret 2018 perbedaan terjadinya debit puncak antara bagian hulu dan bagian hilir memiliki selisih 1 jam terjadi pada pukul 12.00 WITA dengan besar debit 13,15 m³/dt sementara besar debit dibagian hilir sungai terjadi pada pukul 13.00 WITA dengan besar debit 12,40 m³/dt, dan pengukuran pada tanggal 19 Maret 2018 nampak debit puncak aliran masuk lebih kecil dari pada aliran keluar yang menunjukkan bahwa aliran sungai sangat baik. Data aliran hidrograf didapatkan informasi berapa lama waktu aliran banjir mencapai bagian hilir sungai. Berdasarkan grafik *Muskingum* yang telah diperoleh bahwa Sungai Pasangkayu memiliki debit puncak aliran masuk (*Inflow*) yang lebih besar dari pada aliran keluar (*Outflow*) dimana debit puncak yang dimaksud adalah debit tertinggi yang terjadi di aliran Sungai Pasangkayu pada saat dilakukan pengukuran dimana aliran sungai tertampung di sungai meluap dan menggenangi pemukiman warga yang berada disekitar Sungai Pasangkayu.

Santoso, Agus dkk, 2014 melakukan permodelan sistem pengelolaan alur dan dataran banjir berbasis muka air *realtime* di Bengawan Solo

dengan menggunakan Program Bantu HEC-RAS versi 4.1. Metode penelitian yaitu dengan melakukan analisis hidraulik alur Bengawan Solo dengan kondisi fisik terkini dengan simulasi model numerik, mengkaji Teknik perkerasan alur sungai, serta mengkaji pengaruh perkerasan alur terhadap kondisi alur sungai dengan uji model hidraulik fisik. Hasil Analisa Dengan bantuan *Software* Ras Mapper dihasilkan luas genangan yang terjadi di Kota Bojonegoro pada debit kala ulang 25 tahunan adalah 19,5 Km². Kajian Teknik perkerasan alur sungai dalam mengurangi luas genangan banjir dengan menginventarisasi Teknik perkerasan alur sungai berupa Saluran Solo Valley Weken dan *bottom outlet* yaitu bendung yang dibuat semacam lubang gorong-gorong. Hasil Analisa dengan bantuan *Software* Ras Mapper dihasilkan luas genangan yang terjadi setelah ditambahkan 2 buah *bottom outlet* dan Saluran Solo Valley Weken di Kota Bojonegoro pada debit kala ulang 25 tahunan adalah 11,14 km² atau dapat mengurangi genangan sebesar 42,87%.

B. LANDASAN TEORI

1. Hidrologi

Hidrologi adalah ilmu yang berkaitan dengan air di bumi, baik mengenai terjadinya, peredaran dan penyebarannya, sifat-sifatnya dan hubungan dengan lingkungannya terutama dengan makhluk hidup. Penerapan ilmu hidrologi dapat dijumpai dalam beberapa kegiatan seperti perencanaan dan operasi bangunan air, penyediaan air untuk berbagai keperluan (air bersih, irigasi, perikanan, peternakan), pembangkit listrik tenaga air pengendalian banjir, pengendalian erosi dan sedimentasi, transportasi air, drainase, pengendalian polusi, air limbah, dsb. (Triatmodjo, 2008).

Hidrologi banyak dipelajari oleh para ahli di bidang Teknik sipil dan pertanian. Ilmu tersebut dapat dimanfaatkan untuk beberapa kegiatan berikut (Triatmodjo, 2008):

1. Memperkirakan besarnya banjir yang ditimbulkan oleh hujan deras, sehingga dapat direncanakan bangunan-bangunan untuk mengendalikannya seperti pembuatan tanggul banjir, saluran drainase, gorong-gorong, jembatan, dsb.
2. Memperkirakan jumlah air yang dibutuhkan oleh suatu jenis tanaman, sehingga dapat direncanakan bangunan untuk melayani kebutuhan tersebut.
3. Memperkirakan jumlah air yang tersedia di suatu sumber air (mata air, sungai, danau, dsb.) untuk dapat dimanfaatkan guna berbagai

keperluan seperti air baku (air untuk keperluan rumah tangga, perdagangan, industri), irigasi, pembangkit listrik tenaga air, perikanan, peternakan, dsb.

Hidrologi merupakan tahapan awal perencanaan suatu rancangan bangunan dalam suatu DAS untuk memperkirakan besarnya debit banjir yang terjadi di daerah tersebut. Pada saat air hujan jatuh ke bumi, sebagian air jatuh langsung ke permukaan bumi dan ada juga yang terhambat oleh vegetasi (intersepsi). Intersepsi memiliki 3 macam, yaitu kehilangan intersepsi (*interception loss*), curahan tajuk (*through fall*) dan aliran batang (*stem flow*). Kehilangan intersepsi adalah air yang jatuh ke vegetasi tetapi belum sampai mencapai tanah sudah menguap. Curahan tajuk adalah air hujan yang tidak langsung jatuh ke bumi, tetapi terhambat oleh dedaunan terlebih dahulu. Aliran batang adalah air hujan yang jatuh ke vegetasi dan mengalir melalui batang vegetasi tersebut (Rahayu dkk, 2009).

2. Daerah Aliran Sungai

Daerah aliran sungai (DAS) menurut definisi adalah suatu daerah yang dibatasi (dikelilingi) oleh garis ketinggian di mana setiap air yang jatuh di permukaan tanah akan dialirkan melalui satu outlet. Komponen yang ada di dalam sistem DAS secara umum dapat dibedakan dalam 3 kelompok, yaitu komponen masukan yaitu curah hujan, komponen output yaitu debit aliran dan polusi / sedimen, dan komponen proses yaitu manusia, vegetasi, tanah, iklim dan topografi. Setiap komponen dalam suatu DAS harus dikelola sehingga dapat mencapai tujuan yang kita inginkan. Tujuan dari

pengelolaan DAS adalah melakukan pengelolaan sumber daya alam secara rasional supaya dapat dimanfaatkan secara maksimum dan berkelanjutan sehingga dapat diperoleh kondisi tata air yang baik. Sedangkan pembangunan berkelanjutan adalah pemanfaatan dan pengelolaan sumber daya alam bagi kepentingan manusia pada saat sekarang ini dengan masih menjamin kelangsungan pemanfaatan sumber daya alam untuk generasi yang akan datang (Budiono, 2014).

DAS ditentukan dengan menggunakan peta topografi yang dilengkapi dengan garis-garis kontur. Untuk maksud tersebut dapat digunakan peta topografi skala 1:50.000. Garis-garis kontur dipelajari untuk menentukan arah dari limpasan permukaan. Limpasan berskala dari titik-titik tertinggi dan bergerak menuju titik-titik yang lebih rendah dalam arah tegak lurus dengan garis kontur. Daerah yang dibatasi oleh garis yang menghubungkan titik-titik tertinggi tersebut adalah DAS. Gambar 1 menunjukkan contoh bentuk DAS. Dalam gambar tersebut ditunjukkan pula penampang pada keliling DAS. Garis yang mengelilingi DAS tersebut merupakan titik-titik tertinggi. Air hujan yang jatuh di dalam DAS akan mengalir menuju sungai utama yang ditinjau, sedang yang jatuh di luar DAS akan mengalir ke sungai lain di sebelahnya (Budiono, 2014).



Sumber : Lapak GIS, 2019

Gambar 1 Batas Aliran Sungai

3. Koefisien *Manning*

Suatu saluran tidak harus memiliki satu nilai n saja untuk setiap keadaan. Sebenarnya nilai n sangat bervariasi dan tergantung pada berbagai faktor. Dalam memilih nilai n yang sesuai untuk berbagai kondisi perancangan maka adanya pengetahuan dasar tentang faktor-faktor tersebut akan sangat banyak membantu. Faktor-faktor yang memiliki pengaruh besar terhadap koefisien kekasaran baik bagi saluran buatan maupun alam diuraikan sebagai berikut (Ilyas, 2018):

1. Kekasaran Permukaan, yang ditandai dengan ukuran dan bentuk butiran bahan yang membentuk luas basah dan menimbulkan efek hambatan terhadap aliran. Hal ini sering dianggap sebagai satu-satunya faktor dalam memilih koefisien kekasaran, tetapi sebenarnya hanyalah satu dari beberapa faktor utama lainnya. Secara umum

dikatakan bahwa butiran halus mengakibatkan nilai n yang relatif rendah dan butiran kasar memiliki nilai n yang tinggi.

2. Tetumbuhan, digolongkan sebagai jenis kekasaran permukaan, tetapi hal ini juga memperkecil kapasitas saluran dan menghambat aliran.
3. Ketidakteraturan saluran, mencakup pula ketidakteraturan keliling basah dan variasi penampang, ukuran dan bentuk di sepanjang saluran.
4. Trase saluran, kelengkungan yang landai dengan garis tengah yang besar akan mengakibatkan nilai n yang relatif rendah, sedangkan kelengkungan yang tajam dengan belokan-belokan yang patah akan memperbesar nilai n .
5. Hambatan, adanya balok sekat, pilar jembatan dan sejenisnya cenderung memperbesar n . Besarnya kenaikan ini tergantung pada sifat alamiah hambatan, ukuran, bentuk, banyaknya dan penyebarannya.
6. Taraf air dan debit, nilai n pada saluran umumnya berkurang bila taraf dan debitnya bertambah. Bila air rendah, ketidakteraturan dasar saluran akan menonjol dan efeknya kelihatan. Namun nilai n dapat pula besar pada taraf air yang tinggi bila dinding saluran kasar dan berumput.

Dalam analisis hidrolika, penampang sungai dihitung menggunakan rumus Manning dengan cara coba-coba. Berdasarkan data lebar sungai dapat ditentukan kemiringan palung dan kemiringan dasar saluran

(Hidayatullah dkk, 2019). Tabel Koefisien Manning dapat dilihat di Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Koefisien Kekasaran Manning berdasarkan bahan saluran

Bahan	Koefisien <i>Manning</i> (n)
Besi tulangan dilapis	0.014
Kaca	0.01
Saluran beton	0.013
Bata dilapis mortar	0.015
Pasangan Batu disemen	0.025
Saluran tanah bersih	0.022
Saluran tanah	0.03
Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0.04
Saluran pada batu padas	0.04

Sumber: Bambang Triatmojo, 2003.

Tabel 2 Koefisien Kekasaran Manning berdasarkan Tipe Saluran dan Jenis Bahan Saluran

No	Tipe Saluran dan Jenis bahan	Minimum	Harga n normal	Maksimum
1	Beton			
	• Gorong-gorong lurus dan bebas dari kotoran	0.010	0.011	0.013
	• Gorong-gorong dengan lengkungan dan sedikit kotoran/gangguan	0.011	0.013	0.014
	• Beton dipoles • Saluran pembuang dengan bak control	0.011	0.012	0.014

Lanjutan Tabel 2

No	Tipe Saluran dan Jenis bahan	Minimum	Harga n normal	Maksimum
		0.013	0.015	0.017
2	Tanah, lurus dan seragam			
	• Bersih baru	0.016	0.018	0.020
	• Bersih telah melapuk	0.018	0.022	0.025
	• Berkrikil	0.022	0.025	0.030
	• Berumput pendek, sedikit tanaman pengganggu	0.022	0.027	0.033
3	Saluran alam			
	• Bersih baru	0.025	0.030	0.033
	• Bersih dan berkelok-kelok	0.033	0.040	0.045
	• Banyak tanaman pengganggu	0.050	0.070	0.080
	• Dataran banjir berumput pendek-tinggi	0.025	0.030	0.035
	• Saluran di belukar	0.035	0.050	0.070

Sumber: Bambang Triatmojo, 2003.

4. Penelusuran Aliran

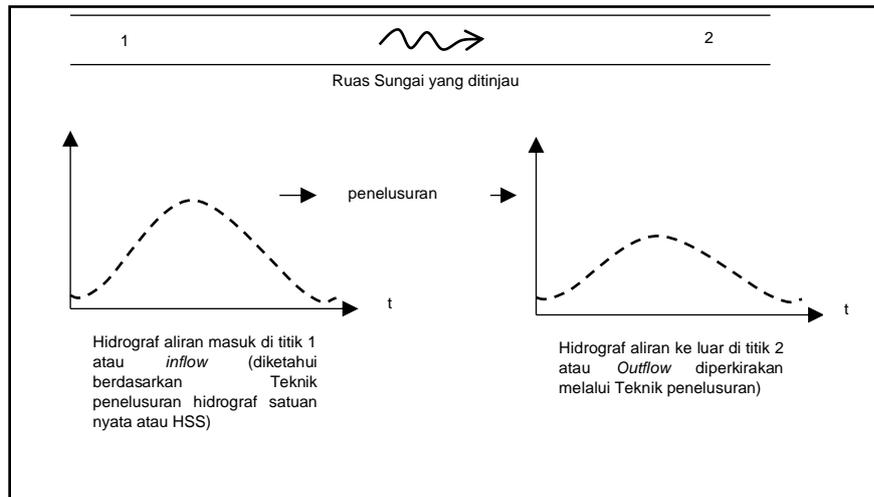
Penelusuran Aliran adalah prosedur untuk menentukan waktu dan debit aliran (hidrograf aliran) di suatu titik pada aliran berdasarkan hidrograf yang diketahui di sebelah hulu. Apabila aliran tersebut adalah banjir maka prosedur tersebut dikenal dengan penelusuran banjir. Penelusuran aliran ini banyak dilakukan dalam studi pengendalian banjir, dimana perlu dilakukan analisis perjalanan/penelusuran banjir di sepanjang sungai atau

di suatu waduk. Dengan penelusuran banjir ini apabila hidrograf di bagian hulu sungai atau waduk diketahui maka akan dapat dihitung bentuk hidrograf banjir di bagian hilirnya (Triatmodjo, 2008). Pengendalian banjir telah menjadi isu yang mendesak dalam rangka membangun landasan bagi lingkungan hidup yang sehat dan kegiatan ekonomi (Arafat dkk, 2015).

Ada dua macam penelusuran aliran yaitu penelusuran hidrologis dan penelusuran hidraulis. Pada penelusuran hidrologis dicari hidrograf debit di suatu titik di hilir besar hidrograf di hulu. Penelusuran secara hidrologis dapat berupa penelusuran waduk dan penelusuran sungai. Pada penelusuran hidraulis dicari hidrograf debit di beberapa titik di sepanjang aliran (Triatmodjo, 2008). Berdasarkan profil tinggi muka air pada setiap penampang sungai, maka dapat diketahui seberapa jauh risiko banjir (tinggi muka air banjir dan kisaran limpasan) yang mungkin terjadi.

1. Penelusuran Hidrologis (*Hydrological Routing*)

Dalam teknik penelusuran hidrologis, aliran atau debit atau debit rencana dinyatakan sebagai fungsi waktu untuk satu titik sepanjang sungai (lihat Gambar 2).



Gambar 2 Sketsa Teknik Penelusuran Aliran Sungai

Persamaan pengatur yang digunakan dalam penelusuran hidrologis adalah persamaan kontinuitas dan tampungan. Dalam penelusuran hidrologis dikenal beberapa model penelusuran diantaranya, *Muskingum Method*, Penelusuran Kolam Datar (*Level Pool Reservoir*), dan Penelusuran Waduk (*Linear Reservoir*) (Marfirah, 2019).

2. Penelusuran Hidraulik (*Hydraulic Routing*)

Konsep yang digunakan dalam pengelolaan sungai sebagai upaya pencegahan banjir salah satunya dengan konsep *hydraulic engineering* (Firdaus dkk, 2020).

Ketika Perhitungan aliran bervariasi baik dalam waktu maupun ruang maka jenis penelusuran banjir itu disebut *Hydraulic Routing*. Karena kemampuan komputasinya atas

ruang dan waktu, prosedur ini menjadi populer untuk penelusuran banjir (Mays, 2002).

Dalam teknik penelusuran hidraulik, aliran atau debit atau debit rencana dinyatakan sebagai fungsi ruang dan waktu serentak untuk banyak titik sepanjang sungai. Persamaan pengatur yang dipergunakan dalam penelusuran hidraulik adalah persamaan kontinuitas dan momentum. Nilai unsur-unsur aliran di saluran atau sungai, seperti kedalaman, kecepatan, dan debit umumnya bersifat tidak tetap atau selalu berubah ditinjau dari segi waktu dan tempat (*unsteady and non uniform flow*, aliran tidak *steady* dan tidak seragam). Beberapa faktor yang menyebabkan kondisi aliran seperti itu, antara lain (Marfirah, 2019):

1. Perubahan kemiringan memanjang, perubahan penampang melintang, perubahan trase, dan pertemuan atau percabangan sungai.
2. Adanya konstruksi bangunan, seperti: pilar jembatan, bendung, bendungan, krib, sudetan.
3. Adanya aliran samping (baik pengurangan maupun penambahan aliran), dan pengaruh pasang surut.

Teknik penelusuran yang diperlukan dalam penelusuran aliran yang selalu berubah terhadap waktu dan tempat adalah teknik penelusuran yang persamaan pengaturnya dapat menjangkau perubahan aliran secara serentak di beberapa tempat (terdistribusi)

sepanjang saluran atau sungai dalam waktu yang bersamaan. Beberapa model penelusuran hidraulik yaitu model *Kinematic Wave*, model *Diffusion Wave*, dan model *Dynamic Wave* (Marfirah, 2019).

5. Penelusuran Banjir Hidrolik

Hydraulic Routing dilakukan melalui persamaan kontinuitas serta persamaan momentum gerak aliran tidak stabil, Per.1 dan per.2. (Subramanya, 2009).

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$S_f = S_o - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} \quad (2)$$

Dimana t adalah waktu, x adalah jarak saluran, y adalah kedalaman aliran, v adalah rata-rata kecepatan penampang, A adalah daerah, Q adalah Debit, g adalah percepatan karena gravitasi, S_f adalah kemiringan gesekan, S_o kemiringan dasar, $\frac{\partial y}{\partial x}$ adalah gradien longitudinal dari profil air, $\frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x}$ adalah kemiringan akselerasi konvektif dan $\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t}$ adalah kemiringan akselerasi lokal. Besarnya Ketentuan lain biasanya sangat kurang dibandingkan dengan kemiringan S_o .

Persamaan kontinuitas dan momentum satu dimensi ini dipresentasikan oleh Barre de Saint-Venant (1871) yang terkenal sebagai persamaan St. Venant. Mengabaikan semua masa lain dalam persamaan

gelombang kinematik kecuali masa gradien tekanan $\frac{\partial y}{\partial x}$, persamaan gelombang difusi menjadi pers. 3.

$$S_f = S_o - \frac{\partial y}{\partial x} \quad (3)$$

Waktu tekanan gradien memainkan peran penting dalam permodelan perambatan gelombang dan efek penyimpanan dalam saluran untuk kemiringan sedikit dan hidrograf naik dan turun. Persamaan Gelombang difusi mensimulasikan dengan baik, sebagian besar gelombang banjir yang bergerak di saluran sungai yang landai memiliki beberapa difusi fisik (Boroughset dkk, 2002).

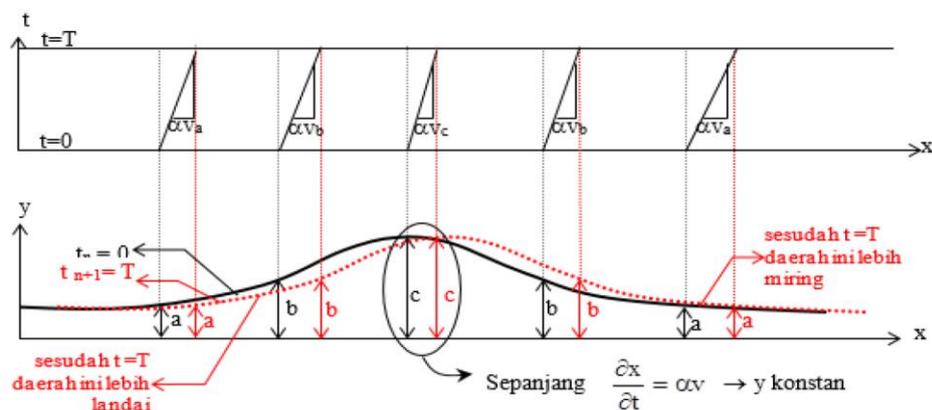
Persamaan gelombang dinamis penuh adalah persamaan tersebut, yang menggunakan semua masa dalam persamaan momentum. Penerapannya lebih sering dalam analisis keretakan bendungan karena melawan efek air yang diabaikan oleh model lainnya (Boroughs dkk, 2002). Solusi persamaan tersebut lebih canggih, mereka menggunakan pemodelan numerik melalui Teknik komputasi tingkat tinggi menggunakan algoritma beda hingga implisit dan eksplisit. Jika tidak, dapat diselesaikan melalui metode karakteristik (Chin, 2000). Selain Teknik-teknik pemodelan ini, seseorang juga dapat menggunakan perangkat lunak yang mensimulasikan persamaan momentum melalui skema numerik yang berbeda, yang biasa digunakan adalah HEC-RAS satu dimensi (*Hydraulic Engineering Centre's-River Analysis System*) atau MIKE 11 (DHI) untuk melakukan perhitungan hidrolika aliran sungai stabil dan tidak stabil (Singh, 2017).

$$\frac{Dy}{Dt} = \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial x}{\partial t} \frac{\partial y}{\partial x} = 0 \quad (10)$$

Dimana $\frac{\partial x}{\partial t} = \frac{5}{3}v = c$ (*celerity*)

Karena $\frac{Dy}{Dt} = 0$, maka sepanjang $\frac{\partial x}{\partial t} = \frac{5}{3}v$, kedalam y konstan.

Gelombang Kinematik hanya menyebabkan pergeseran gelombang dari waktu $t_n = 0$ ke waktu $t_{n+1} = T$. Puncak gelombang setelah waktu t_{n+1} tidak akan melebihi puncak gelombang pada waktu t_n . Gelombang *kinematic* umumnya terjadi pada daerah atas (*upland*) karena lebar dasar saluran umumnya lebih kecil dibanding di daerah hilir (*lowland*), namun mempunyai S_o yang lebih besar (Pusat Pendidikan dan Pelatihan SDA dan Konstruksi, 2017).



Gambar 3 Perambatan (propagation) gelombang kinematic dari $t_n=0$ sampai $t_{(n+1)}=T$

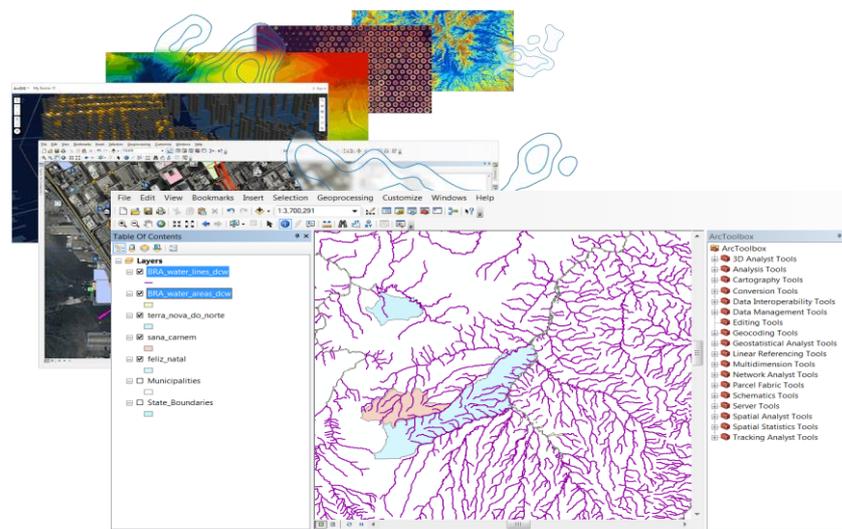
6. ARC-GIS

Arc-Gis merupakan *software* yang dikembangkan oleh ESRI (*Environment Science & Research Institue*). *Software* yang terdiri dari produk perangkat lunak system informasi geografis (SIG). SIG mempunyai

kemampuan untuk menghubungkan berbagai data pada suatu titik tertentu di bumi, menggabungkannya, menganalisa dan akhirnya memetakan hasilnya. Data yang akan diolah pada SIG merupakan data spasial yaitu sebuah data yang berorientasi geografis dan merupakan lokasi yang memiliki sistem koordinat tertentu, sebagai dasar referensinya. Sehingga aplikasi SIG dapat menjawab beberapa pertanyaan seperti; lokasi, kondisi, trend, pola dan pemodelan. Kemampuan inilah yang membedakan SIG dari sistem informasi lainnya.

Arc-Gis mempunyai beberapa komponen perangkat lunak SIG seperti, *ArcReader*, dan *Arcgis desktop* (*ArcView*, *Arcmap*, *ArcEditor*, dan *ArcInfo*, dan *ArcCatalog*).

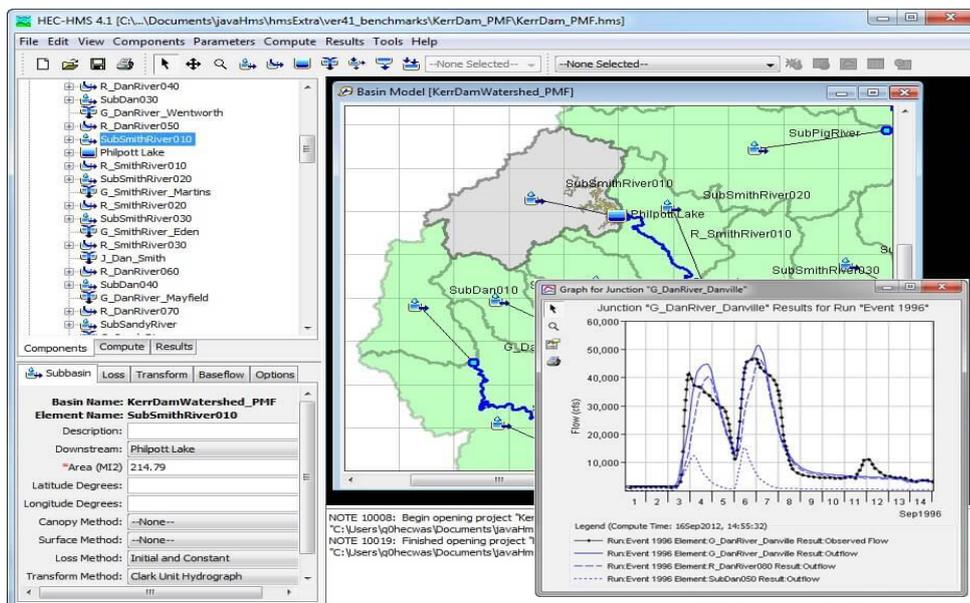
Untuk kebutuhan Keairan ArcGis seringkali digunakan untuk membuat delinasi DAS, pembuatan delinasi DAS mengambil dasar dari data DEM (*Digital Elevation Model*) yang dapat diperoleh dari ekstraksi data citra satelit. Tampilan Aplikasi ARC-GIS dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Tampilan Aplikasi ARC-GIS

7. HEC-HMS

HEC-HMS merupakan *software* yang dikembangkan oleh *U.S Army Corps of Engineering*. *Software* ini digunakan untuk berbagai analisa hidrologi dengan mensimulasikan proses curah hujan dan limpasan langsung (*run off*) dari sebuah wilayah sungai. HEC-HMS di desain untuk bisa diaplikasikan dalam area geografik yang sangat luas untuk menyelesaikan masalah, meliputi suplai air daerah pengaliran sungai, hidrologi banjir, dan limpasan air di daerah kota kecil ataupun kawasan tangkapan air alami. Hidrograf satuan yang dihasilkan dapat digunakan langsung ataupun digabungkan dengan *software* lain yang digunakan dalam ketersediaan air, drainase perkotaan, ramalan dampak urbanisasi, desain pelimpah, pengurangan kerusakan banjir, regulasi penanganan banjir, dan sistem operasi hidrologi (*U.S Army Corps of Engineering, 2001*).



Sumber : <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>

Gambar 5 Tampilan Aplikasi HEC-HMS

Salah satu cara untuk mengetahui debit banjir dalam lingkup studi Daerah Aliran Sungai (*Watershed*) yang luas adalah dengan menggunakan model HEC-HMS (*Hydrologic Modelling System*) yang digunakan secara umum dalam bidang Teknik Sipil terutama dalam konsentrasi keairan. Program HEC-HMS merupakan piranti yang baik dalam menyelesaikan perhitungan debit banjir yang bersumber dari data series hujan pada stasiun dan kurun waktu tertentu. Tampilan Aplikasi HEC-HMS dapat dilihat pada Gambar 5.

Software HEC-HMS (*Hydrologic Modelling System*) ini dirancang untuk menghitung proses hujan–aliran dari suatu sistem DAS. HEC-HMS ini merupakan pengembangan program HEC-1. Dalam HEC-HMS terdapat fasilitas kalibrasi, kemampuan simulasi model distribusi, model kontinyu dan kemampuan membaca data GIS.

Konsep dasar perhitungan dari model HEC–HMS adalah data hujan sebagai input air untuk satu atau beberapa sub daerah tangkapan air (*sub basin*) yang sedang dianalisa. Jenis datanya berupa intensitas, volume, atau kumulatif volume hujan. Setiap sub basin dianggap sebagai suatu tandon yang non linier dimana inflownya adalah data hujan. Aliran permukaan, infiltrasi, dan penguapan adalah komponen yang keluar dari *sub basin* (Darsono, 2006). Adapun Metode-metode pada HEC-HMS dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Metode Simulasi pada HEC-HMS

No	Model	Metode
1	<i>Precipitation</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>User hyetograph</i> • <i>User gage weighting</i> • <i>Inverse-distance gage Gridded precipitation Frequency storm Standard project storm</i>
2	<i>Volume runoff</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Initial and constant-rate</i> • <i>SCS curve number</i> • <i>Gridded SCS curve number</i> • <i>Green and Ampt</i> • <i>Deficit and constant rate Soil moisture accounting</i> • <i>Gridded SMA</i>
3	<i>Direct runoff</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>User-soecified unit hydrograph (UH)</i> • <i>Clark's UG</i> • <i>Snyder's UH</i> • <i>SCS UH</i> • <i>Modclark</i> • <i>Kinematic wave</i>
4	<i>Baseflow</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Constant Monthiy</i> • <i>Exponential recession</i> • <i>Linear reservoir</i>
5	<i>Routing</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Kinematic wave</i> • <i>Lag</i> • <i>Modified puls</i> • <i>Muskingum</i> • <i>Muskingum-cunge standard section</i> • <i>Muskingum-cunge 8-point section</i>

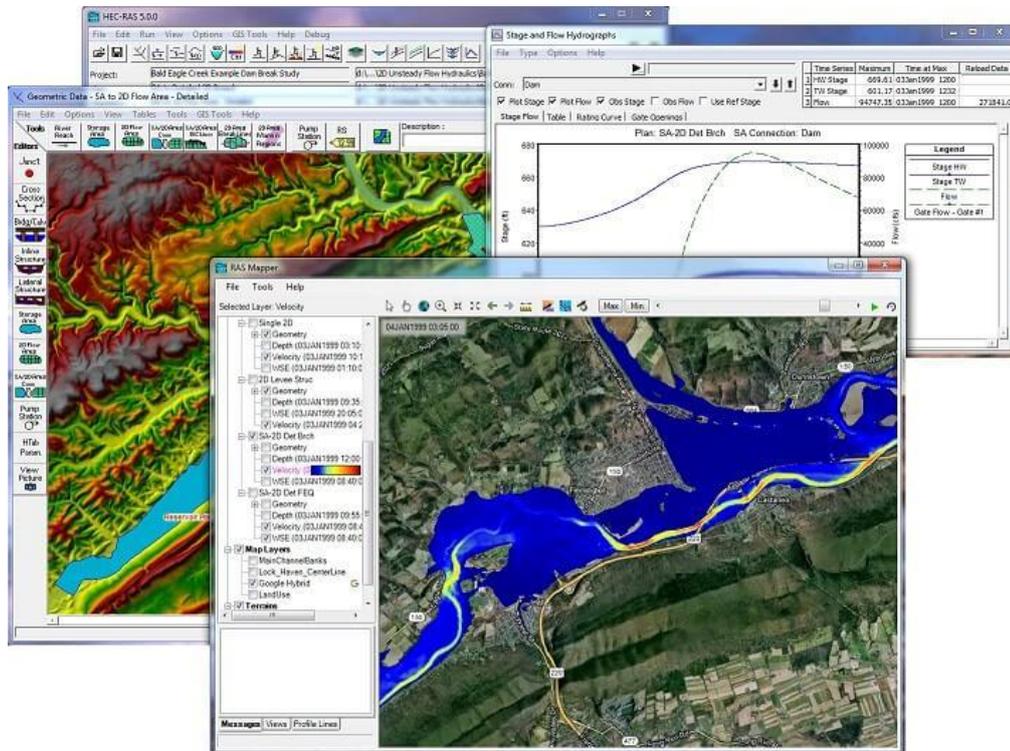
Sumber: U.S Army Corps of Engineering, 2000.

Untuk pemodelan DAS, model HEC-HMS berisi empat komponen: (1) *Basin Component*, (2) *Meteorological Component*, (3) *Control specification*, dan (4) *Input data component (time series, paired data dan gridded data)* (Ouédraogo dkk, 2018).

8. HEC-RAS

HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai, River Analysis System (RAS), yang dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) yang merupakan satu divisi di dalam *Institute for Water Resources* (IWR), di bawah *US Army Corps of Engineers* (USACE). HEC-RAS merupakan model satu dimensi aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteady one-dimensional flow model*). HEC-RAS versi terbaru saat ini, Versi 4.1, beredar sejak Januari 2010. HEC-RAS memiliki empat komponen model satu dimensi: 1) hitungan profil muka air aliran permanen, 2) simulasi aliran tak permanen, 3) hitungan transpor sedimen, dan 4) hitungan kualitas air. Satu elemen penting dalam HEC-RAS adalah keempat komponen tersebut memakai data geometri yang sama, *routine* hitungan hidraulika yang sama, serta beberapa fitur desain hidraulik yang dapat diakses setelah hitungan profil muka air berhasil dilakukan (Istiarto, 2014).

HEC-RAS merupakan merupakan program aplikasi yang mengintegrasikan fitur *graphical user interface*, analisis hidraulik, manajemen dan penyimpanan data, grafik, serta pelaporan (Istiarto, 2014). Adapun tampilan HEC-RAS yang telah terintegrasi RAS-MAPPER dapat dilihat pada Gambar 6.

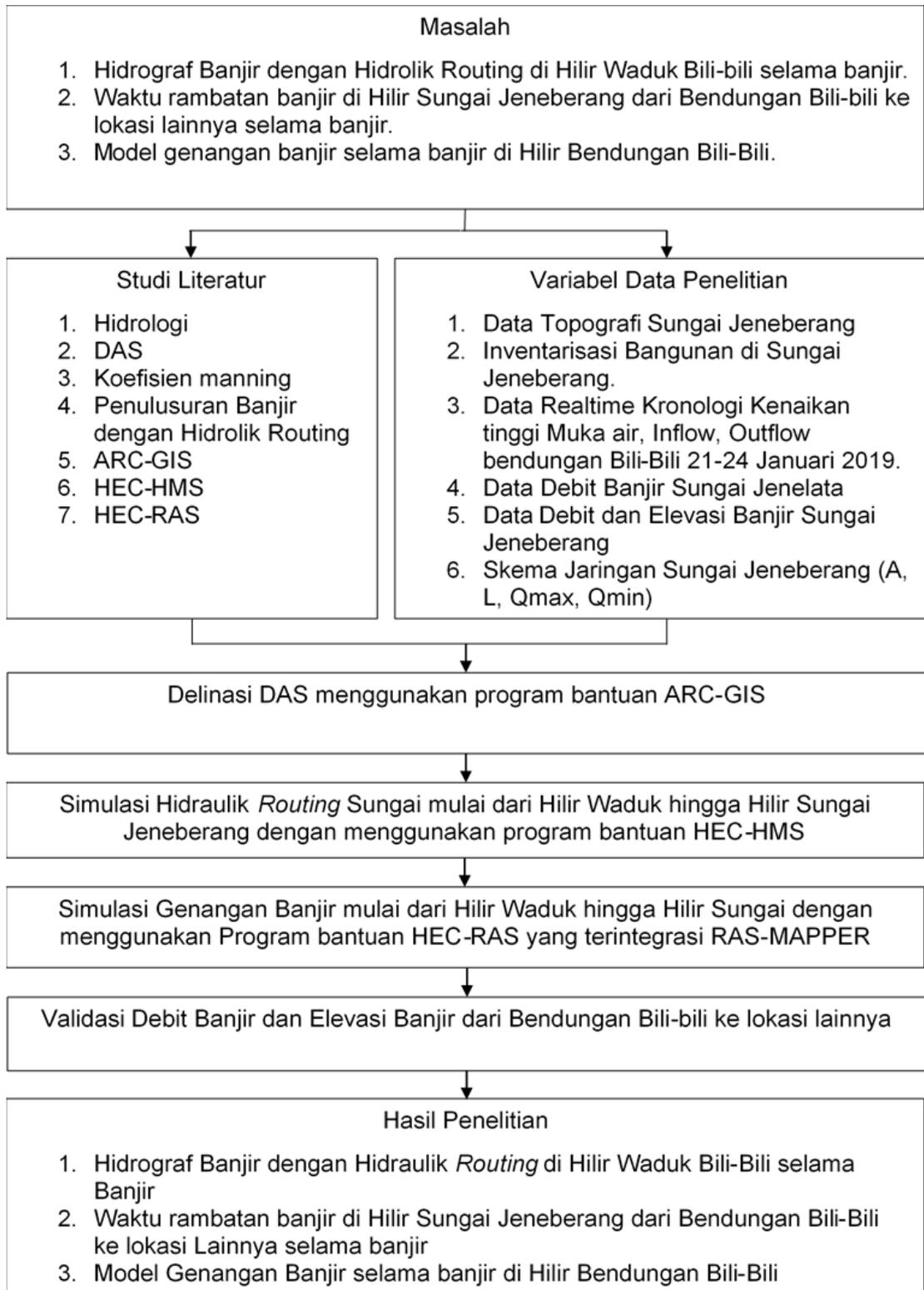


Sumber : <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

Gambar 6 Tampilan Aplikasi HEC-RAS Yang Telah Terintegrasi RAS-MAPPER

Pada HEC-RAS, kebutuhan input data terdiri dari tiga bagian utama yaitu *Plan data*, *Geometry data* dan *Flow data*. Persyaratan tersebut harus dipenuhi sebelum menjalankan simulasi. Data rencana merupakan langkah awal dalam melakukan simulasi (Romali dkk, 2018).

C. KERANGKA PIKIR PENELITIAN



Gambar 7 Kerangka Pikir Penelitian