

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peristiwa bencana banjir merupakan fenomena yang sering terjadi ketika musim penghujan tiba. Berdasarkan Data Informasi Bencana Indonesia (DIBI), salah satu bencana yang paling sering terjadi serta cenderung terus meningkat disetiap tahunnya ialah banjir. Banjir merupakan peristiwa debit aliran air sungai yang tidak bisa lagi ditampung oleh alur sungai dikarenakan debit air melebihi batas normal yang biasanya diakibatkan hujan yang turun di suatu tempat tertentu dan terjadi secara terus menerus sehingga air meluap keluar serta menggenangi wilayah di sekitarnya (Paimin *et.al.*, 2009). Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat sebanyak 2.461 kejadian bencana alam yang terjadi di Indonesia mulai dari 1 Januari hingga 18 November 2021. Dari jumlah kejadian bencana tersebut 42% merupakan bencana banjir dan salah satu daerah di Sulawesi Selatan yang sering mengalami banjir yaitu Kabupaten Maros (BNPB, 2021).

Banjir dapat disebabkan oleh 2 faktor yaitu: 1). Faktor alam seperti curah hujan, erosi dan sedimentasi, topografi dan geofisik sungai, kapasitas sungai dan drainase yang tidak memadai, penurunan tanah, kerusakan bangunan pengendali banjir, dan sebagainya; 2). Faktor manusia seperti perubahan tata guna lahan, pembuangan sampah, kawasan kumuh disepanjang sungai, perencanaan sistem pengendalian banjir tidak tepat, dan sebagainya (Razikin *et al.*, 2017).

DAS Maros memiliki luas wilayah 731,20 Km² dengan Sebagian besar lahan DAS Maros merupakan Hutan, lahan pertanian, perkebunan dan pemukiman. Bagian hilir DAS Maros terbentuk menjadi daerah dataran rendah pesisir pantai barat Sulawesi Selatan, serta sebagian besar daerahnya berupa daerah rawa dan pasang surut, dimana kawasan ini telah menjadi kawasan dataran banjir. DAS Maros memiliki siklus banjir tahunan yang disebabkan oleh intensitas hujan yang tinggi dan buruknya kondisi sungai serta tidak diimbangi dengan penyerapan air yang baik sehingga menimbulkan bencana banjir (Hermawan *et.al.*, 2021). Saat musim hujan terjadi Kabupaten Maros menjadi daerah yang sering terjadi bencana banjir hal ini pastinya sangat dipengaruhi oleh faktor hidrometeorologi dan kondisi fisik pada wilayah yang ada (Marasabessy *et.al.*, 2020).

Peningkatan pengelolaan sistem hidrologi pada dasarnya ditujukan pada kawasan Daerah Aliran Sungai yang menjadi prioritas sebab memberikan dampak paling besar di wilayah tersebut. DAS Maros merupakan salah satu DAS dengan klasifikasi DAS untuk dipulihkan sebagaimana tercantum dalam Peraturan Daerah Provinsi Sulawesi Selatan, No. 10 Tahun 2015 tentang pengelolaan DAS (BNPB, 2019). Dalam memahami kondisi hidrologi, banyak model yang dapat dimanfaatkan diantaranya yaitu pemodelan *Hydrologic Engineering System-River Analysis System* (HEC-RAS). Pada HEC-RAS alur sungai dan data penampang sungai hasil pengukuran topografi mampu melakukan prediksi waktu dan besar debit puncak yang mengakibatkan banjir serta volume limpasan pada suatu sungai dengan cepat dibandingkan model hidrologi lainnya.

Olehnya itu dengan memanfaatkan pemodelan HEC-RAS pada penelitian ini akan dilakukan simulasi kejadian banjir di DAS Maros, sehingga diharapkan hasil dari simulasi ini dapat mengevaluasi dan menilai kinerja DAS berdasarkan indikator Koefisien Regim Aliran (KRA) yang nantinya akan menjadi dasar dalam upaya pengelolaan pada DAS secara proporsional, sehingga dapat memberikan arahan kebijakan pengelolaan DAS untuk meminimalisir terjadinya banjir.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mensimulasikan banjir menggunakan pemodelan HEC-RAS dan mengetahui besarnya debit banjir di Daerah Aliran Sungai Maros, serta mengetahui kinerja DAS berdasarkan Koefisien Regim Aliran (KRA).

1.3 Landasan Teori

1.3.1 Definisi DAS

Undang-undang Nomor 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air, menyatakan bahwa Daerah Aliran Sungai adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya yang berperan menampung, menyimpan, serta mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau ataupun ke laut secara alami, yang batas di daratnya ialah pemisah topografis serta batasan di laut hingga dengan wilayah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. Halim (2014), menjelaskan bahwa DAS ialah ekosistem alam yang dibatasi oleh punggung bukit. Air hujan yang jatuh di wilayah tersebut nantinya akan mengalir pada sungai- sungai yang bermuara ke laut ataupun ke danau. Pada Daerah Aliran Sungai terdapat 2 wilayah ialah wilayah pemberi air (hulu) serta wilayah penerima air (hilir). Kedua wilayah ini berhubungan serta mempengaruhi unit ekosistem Wilayah Aliran Sungai. Adapun fungsi DAS ialah sebagai areal penangkapan air (*catchment area*), penyimpan air (*water storage*) serta penyalur air (*distribution water*).

DAS merupakan suatu megasistem kompleks yang meliputi sistem fisik (*physical systems*), sistem biologis (*biological systems*), dan sistem manusia (*human system*). Setiap sistem dan sub-sub sistem di dalamnya saling berinteraksi, peranan tiap-tiap komponen dan hubungan antar komponen ini sangat menentukan kualitas ekosistem suatu DAS. Gangguan terhadap salah satu komponen ekosistem akan dirasakan oleh komponen lainnya dengan sifat dampak yang berkelanjutan. Keseimbangan ekosistem DAS akan terjamin apabila kondisi timbal balik antar komponen berjalan dengan baik dan optimal (Kartodihardjo, 2008).

Daerah Aliran Sungai (DAS) dikatakan sehat apabila memiliki kemampuan untuk menyediakan kebutuhan semua ekosistem yang digunakan sebagai ukuran seberapa baik kegiatan pengelolaan sumber daya mampu menyeimbangkan kebutuhan dan fungsi ekologi serta integritas dalam Daerah Aliran Sungai. DAS dengan daya dukung yang buruk akan mengakibatkan wilayah tersebut menjadi rawan akan terjadinya bencana alam seperti banjir, longsor maupun kekeringan. Selain itu dapat memberikan dampak negatif bagi kondisi sosial ekonomi masyarakat. Menurut Sucipto (2007), upaya pengelolaan Daerah Aliran Sungai harus

dilakukan secara optimal melalui pemanfaatan sumberdaya alam secara berkelanjutan. Pengelolaan DAS juga perlu mempertimbangkan aspek sosial, ekonomi, budaya, dan kelembagaan yang beroperasi di dalam dan di luar daerah aliran sungai yang bersangkutan (Asdak, 2010).

1.3.2 Karakteristik DAS

Banjir terjadi diakibatkan oleh kondisi maupun fenomena alam seperti topografi dan curah hujan, kondisi geografis wilayah serta aktivitas manusia yang berakibat pada perubahan tata ruang ataupun alih fungsi lahan di sesuatu daerah (Rosyidie, 2013). Bencana banjir memiliki beberapa klasifikasi karakteristik lahan yang sangat mempengaruhi kawasan rawan banjir. Karakteristik DAS yang berpengaruh besar pada aliran permukaan sebagai berikut:

1. Luas dan Bentuk DAS

Laju dan volume aliran permukaan akan semakin bertambah besar dengan bertambahnya luas DAS, tetapi apabila aliran permukaan tidak dinyatakan sebagai jumlah total dari DAS, melainkan sebagai laju dan volume per satuan luas, maka besarnya akan berkurang dengan bertambahnya luas DAS. Ini berkaitan dengan waktu yang diperlukan air untuk mengalir dari titik terjauh sampai pada titik kontrol (waktu konsentrasi) dan juga penyebaran atau intensitas hujan yang terjadi. Bentuk DAS mempunyai pengaruh pada pola aliran dalam suatu sungai. Pengaruh bentuk DAS terhadap aliran permukaan dapat ditunjukkan dengan memperhatikan hidrograf-hidrograf yang terjadi pada dua buah DAS yang memiliki bentuk berbeda, namun mempunyai luas yang sama dan menerima hujan dengan intensitas yang sama. Bentuk DAS memanjang dan sempit akan cenderung menghasilkan laju aliran permukaan yang lebih kecil dibandingkan dengan DAS yang berbentuk melebar atau melingkar. Hal ini terjadi dikarenakan waktu konsentrasi DAS yang memanjang lebih lama dibandingkan dengan DAS melebar, sehingga terjadinya konsentrasi air di titik kontrol lebih lambat yang akan berpengaruh pada laju dan volume aliran permukaan.

2. Topografi

Tampaknya rupa muka bumi atau topografi seperti kemiringan lahan, keadaan dan kerapatan parit dan/atau saluran serta bentuk-bentuk cekungan lainnya mempunyai pengaruh terhadap laju volume aliran permukaan. DAS dengan kemiringan yang curam disertai parit/saluran yang rapat akan menghasilkan laju dan volume aliran permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan DAS yang landai dengan parit yang jarang dan adanya cekungan-cekungan. Pengaruh kerapatan parit, yaitu panjang parit per satuan luas DAS pada aliran permukaan ialah memperpendek waktu konsentrasi, sehingga memperbesar laju aliran permukaan

3. Tata Guna Lahan

Karakteristik penggunaan lahan akan berpengaruh terhadap laju infiltrasi dan pembentukan runoff. Penggunaan lahan berkaitan dengan kegiatan manusia pada bidang lahan tertentu, atau pemanfaatan lahan oleh manusia untuk tujuan tertentu. Penggunaan lahan seperti untuk pemukiman, hutan lindung, tegalan sawah irigasi, lahan industri dan sebagainya. Lahan yang banyak ditanami oleh vegetasi maka air hujan akan banyak diinfiltrasi dan lebih banyak waktu yang ditempuh oleh limpasan untuk sampai ke sungai sehingga kemungkinan banjir lebih kecil daripada daerah yang tidak ditanami oleh vegetasi. Sedangkan, tutupan lahan seperti pemukiman yang dominan beton dan aspal, jika tidak dilengkapi dengan saluran drainase yang baik akan berpotensi menjadi daerah rawan banjir (Husna, 2019).

4. Jenis Tanah

Jenis tanah merupakan faktor yang penting untuk menentukan daerah rawan banjir. Tanah dengan tekstur sangat halus memiliki peluang banjir yang tinggi, sedangkan tekstur yang kasar memiliki peluang banjir yang rendah. Hal ini disebabkan semakin halus tekstur tanah menyebabkan air aliran permukaan yang berasal dari hujan maupun luapan sungai sulit untuk meresap ke dalam tanah, sehingga terjadi penggenangan.

1.3.3 Debit Aliran Sungai

Debit aliran adalah laju aliran (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai persatuan waktu dalam sistem satuan, besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m^3/s). Debit aliran biasanya ditunjukkan dalam bentuk hidrograf aliran. Hidrograf aliran adalah suatu perilaku debit sebagai respon adanya perubahan karakteristik biogeofisik yang berlangsung dalam suatu DAS (oleh adanya kegiatan pengelolaan DAS) dan/atau adanya perubahan (frekuensi musiman atau tahunan) pada iklim lokal (Asdak, 2010).

Menurut Susilowati (2007), Debit aliran sungai dapat berasal dari beberapa sumber air, yaitu:

1. Aliran permukaan atas, yaitu aliran yang melintas di atas permukaan tanah menuju saluran sungai atau disebut aliran permukaan di atas lahan (*Overland flow*)
2. Aliran Bawah Permukaan, yaitu aliran permukaan ini merupakan sebagian dari aliran permukaan yang disebabkan oleh bagian presipitasi yang berinfiltrasi ke dalam tanah dan bergerak secara lateral melalui horizon-horizon tanah bagian atas menuju sungai (*Interflow*)
3. Aliran Permukaan Langsung, yaitu bagian aliran permukaan memasuki sungai secara langsung setelah curah hujan. Aliran ini sama dengan kehilangan presipitasi atau biasa disebut dengan hujan efektif (*Direct runoff*)

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap debit aliran pada suatu DAS, yaitu terdiri dari faktor meteorologi dan karakteristik suatu DAS. Faktor-faktor meteorologi yang berpengaruh pada debit aliran sungai terutama adalah karakteristik hujan, yang meliputi:

1. Intensitas hujan
Pengaruh intensitas hujan pada aliran permukaan sangat tergantung pada proses laju infiltrasi, sehingga akan terjadi limpasan permukaan yang sejalan dengan peningkatan intensitas curah hujan, dengan demikian peningkatan ini tidak selalu sebanding dengan peningkatan intensitas hujan karena terjadinya penggenangan di permukaan tanah. Intensitas hujan akan berpengaruh pada debit maupun volume aliran permukaan.
2. Durasi hujan
Total pada aliran permukaan dari suatu hujan akan berkaitan langsung antara durasi hujan dengan intensitas hujan tertentu.
3. Distribusi curah hujan
Distribusi curah hujan yang terjadi mempengaruhi hujan dengan daerah pengaliran. Distribusi hujan yang merata pada seluruh daerah aliran, intensitasnya akan berkurang apabila curah hujannya hanya sebagian dari daerah aliran. Berkurangnya distribusi curah hujan membuat laju dan volume aliran permukaan menjadi lambat. Sebaliknya, laju dan volume aliran permukaan akan mencapai nilai maksimum apabila hujan turun secara merata diseluruh daerah aliran.

1.3.4 Sistem Hidrologi

Air merupakan sumberdaya alam esensial, yang sangat penting dan dibutuhkan oleh manusia dan makhluk hidup lainnya. Dengan adanya air, maka bumi menjadi planet dalam tata surya yang memiliki kehidupan (Kodoatie dan Sjarief, 2002). Air bertransformasi melalui daur hidrologi. Sebagai sistem hidrologi, Daerah Aliran Sungai (DAS) menerima input berupa curah hujan dan kemudian akan memprosesnya sesuai dengan karakteristiknya menjadi aliran. Hujan yang jatuh dalam suatu DAS sebagiannya akan jatuh pada permukaan vegetasi, permukaan tanah atau badan air. Sebagian besar dari hujan yang jatuh akan kembali ke atmosfer melalui evaporasi serta transpirasi (Triatmodjo, 2009).

Hujan yang mencapai pada permukaan tanah sebagian akan tertahan di permukaan tanah dan sebagian lagi akan mengalami infiltrasi. Air yang terinfiltrasi akan naik lagi ke permukaan oleh gaya kapilaritas, bergerak secara horizontal sebagai *inter flow* atau mengalami perkolasi secara vertikal ke lapisan akuifer yang juga mengalir sebagai *base flow*. Air yang tidak tertahan di permukaan tanah dan juga tidak terinfiltrasi akan menjadi *overland flow*. Pada akhirnya ketiga aliran ini nantinya masuk ke dalam sungai sebagai aliran sungai atau debit sungai. Dengan demikian sungai merupakan titik gabungan antara *overlandflow*, *interflow*, *baseflow* dan air hujan yang langsung jatuh pada badan sungai (Triatmodjo, 2009).

Menurut (Tchakerian, 2015), konsep dasar dari hidrologi adalah siklus hidrologi yang digambarkan dalam suatu skala ruang dan waktu yang berbeda. Secara global siklus hidrologi merupakan proses yang secara terus menerus menghubungkan air di atmosfer dengan air yang ada di darat maupun di laut. Pergerakan air dari ruang satu ke yang lain terjadi melalui tiga fase, misalnya pergerakan air dari permukaan tanah ke atmosfer terjadi dalam fase uap (penguapan dan kondensasi), fase cair yaitu hujan dan fase padat yaitu salju.

1.3.5 Banjir

Indonesia memiliki curah hujan yang tinggi dengan perubahan cuaca dan iklim yang tidak menentu, kondisi ini akan mengakibatkan Indonesia rawan mengalami bencana hidrometeorologi salah satunya yaitu banjir. Bencana banjir sendiri merupakan kondisi dimana pada daerah yang secara topografis dan geomorfologis bersifat kering (bukan daerah rawa) tergenang oleh air yang terjadi akibat tingkat drainase tanah yang telah jenuh dalam menampung air dan kemampuan infiltrasi air ke dalam tanah yang sudah mencapai batas maksimum (Novaliadi & Hadi, 2013). Biasanya banjir terjadi pada daerah-daerah yang memiliki topografi lebih rendah (cekungan), dengan tingkat curah hujan daerah yang cukup tinggi. Disamping itu dapat pula disebabkan oleh limpasan air permukaan (*run off*) yang meluap karena volumenya yang melebihi kapasitas sistem drainase atau sistem aliran sungai. Umumnya banjir sering terjadi di daerah perkotaan akibat dari perubahan penggunaan lahan yang tidak didukung dengan tata kelola saluran air yang baik.

Pengendalian banjir perlu dilakukan untuk mencegah serta mengurangi kerugian yang ditimbulkan akibat terjadinya banjir. Komponen-komponen pokok dalam upaya pengendalian banjir yaitu terdiri dari manajemen sumber daya air, manajemen tata ruang, manajemen ancaman bencana, dan manajemen kawasan pesisir. Secara umum terdapat dua jenis pengendalian, yaitu pengendalian banjir secara struktural (reboisasi lahan, pembangunan infrastruktur bangunan pengendali aliran, kanalisasi dan lainnya) serta pengendalian banjir non-struktural yang meliputi pengendalian tata ruang, peningkatan kesadaran masyarakat, serta pemetaan daerah rawan banjir (Hamdani *et al.*, 2014).

Terdapat tiga faktor yang sangat berpengaruh terhadap kejadian banjir, yaitu:

1. Elemen meteorologi, yaitu intensitas, distribusi, frekuensi dan lamanya hujan berlangsung.
2. Karakteristik DAS, yaitu luas DAS, kemiringan lahan, ketinggian, dan kadar air tanah).
3. Faktor manusia yang memiliki pengaruh terhadap alih fungsi lahan yang dapat menurunkan kemampuan tanah untuk menyerap dan menahan air yang akhirnya memperbesar peluang terjadinya aliran permukaan (*run off*) juga erosi.

1.3.6 Sistem informasi geografis

Menurut Riyanto (2010), Sistem informasi geografis (SIG) adalah kumpulan yang terorganisir dari perangkat keras komputer, perangkat lunak, data geografis, metode, dan personil yang dirancang secara efisien untuk memperoleh, menyimpan, memperbaharui, memanipulasi, menganalisis, dan menampilkan semua data bentuk informasi yang bereferensi geografis. Pada dasarnya, teknologi berbasis satelit ini menyajikan informasi secara aktual dan juga akurat. SIG merupakan suatu sistem informasi tentang pengumpulan dan pengolahan data serta penyampaian informasi dalam koordinat ruang, baik itu secara manual maupun digital.

Aplikasi SIG sendiri digunakan dalam berbagai keperluan informasi keruangan, selama data yang digunakan memiliki referensi geografi. Pada pengelolaannya, SIG digunakan untuk melakukan pengolahan data peta digital yang memiliki sistem koordinat sendiri. Sistem koordinat di Indonesia terdiri dari sistem koordinat geografis dan juga sistem koordinat *Universal Transverse Mercator* (UTM). Pada koordinat geografis, bumi dibagi menurut garis khayal atau biasa disebut dengan garis lintang (*latitude/paralel*) dan garis bujur (*longitude/meridian*). Pada sistem koordinat UTM permukaan bumi dibagi sebanyak 60 bagian zona bujur. Pada wilayah Indonesia sendiri terdapat sembilan zona yaitu zona 46-54 (Gandasasmita *et al.*, 2003). SIG memiliki 2 jenis data yang berbeda, yaitu data vektor dan data raster. Data vektor merupakan data yang tidak memiliki bentuk dan ketentuan, dimana data ini terbagi lagi menjadi tiga bagian yaitu *point*, *line*, dan *polygon*. Data vektor menggunakan koordinat x dan y ketika menampilkan data spasial. Sedangkan data raster merupakan informasi data yang terdiri dari satuan piksel yang memiliki kolom serta baris tertentu, seperti data hasil citra satelit maupun *Digital Elevation Model* (DEM). Data raster merupakan hal yang penting dalam penerapan GIS.

1.3.7 Pemodelan Hidrologi

1.3.7.1 HEC-RAS

Pada tahun 1995 *Hidrologic Engineering Center* (HEC) *U.S. Army Corps of Engineering* mengembangkan HEC-RAS yang merupakan perangkat lunak non-komersial. Program ini didesain untuk menghitung profil muka air yaitu untuk aliran tetap (*steady flow*) dan aliran tidak tetap (*unsteady flow*) pada saluran alami atau buatan manusia. HEC-RAS memiliki tujuan utamanya untuk menghitung elevasi muka air pada lokasi tampang melintang (*cross-section*) yang diteliti sepanjang sungai atau aliran untuk nilai aliran (*flow values*) tertentu. Hitungan profil dilakukan pada *cross-section* dengan kondisi awal yang diketahui atau diperkirakan yang kemudian dilanjutkan ke arah hulu untuk tipe aliran *subcritical* dan ke arah hilir untuk tipe aliran *supercritical* (Bedient *et al.*, 1992).

HEC-RAS (*Hidrologic Engineering Centre- River Analysis System*) adalah perangkat lunak yang dirancang sebagai alat peramalan debit banjir pada suatu sungai dengan konsep lump model. Perangkat lunak ini mampu melakukan prediksi waktu dan besar debit puncak serta volume limpasan pada suatu sungai dengan cepat dan tidak membutuhkan data input yang terlalu rumit. Model ini hanya

membutuhkan data input seperti data debit, data curah hujan, luasan DAS serta sedikit parameter yang memfasilitasi regionalisasi untuk mensimulasikan aliran pada *node* yang tidak tersedia pada alat ukur debit (Istriarto, 2012).

Perangkat lunak HEC-RAS ini memberikan kemudahan dengan tampilan grafisnya. Kondisi air sungai dalam pengaruh hidrologi dan hidroliknya, serta penanganan sungai lebih lanjut sesuai kebutuhan dapat ditelusuri. Secara umum perangkat lunak ini juga menyediakan fungsi-fungsi sebagai berikut seperti manajemen file, input data dan pengeditan, analisa hidraulika, dan keluaran (tabel, grafik dan gambar) (Wigiati *et al.*, 2016).

Penggunaan Model HEC-RAS dimaksudkan untuk mengetahui kapasitas alur dan profil muka air sungai terhadap banjir dengan kala ulang tertentu, sehingga tinggi muka air maksimum yang terjadi dapat diketahui sepanjang sungai yang ditinjau. HEC-RAS memiliki empat komponen model satu dimensi (Putra *et al.*, 2019).

- a) Hitungan profil muka air aliran permanen,
- b) Simulasi aliran tak permanen,
- c) Hitungan transpor sedimen, dan
- d) Hitungan kualitas air

Pemetaan banjir menggunakan HEC-RAS bertujuan untuk mengetahui aliran sungai termasuk aliran *steady flow* atau *unsteady flow* berdasarkan data tinggi muka air terhadap debit aliran dan data debit terbesar yang didapat dari *rating curve*. Program HEC-RAS ini dapat diaplikasikan untuk pemetaan geometri sungai. Data potongan melintang diasumsikan ke daerah yang terdekat dengan muara sungai, pada kolom *cross section* terdapat dua buah data yang dimasukkan berupa elevasi tanah dan data stasiun (Mandagi, 2017).

1.3.8 Kriteria dan Indikator Fungsi Hidrologi

Kriteria dan indikator kuantitatif dibutuhkan dalam mempelajari fungsi hidrologi DAS. Kriteria dan indikator yang ditetapkan berdasarkan pemahaman kuantitatif hujan yang terbagi menjadi evapotranspirasi, aliran sungai dan perubahan penutupan serta pola penggunaan lahan sesuai dengan karakteristik lokal. Kinerja DAS diperoleh berdasarkan nilai standar evaluasi yang sesuai dengan Peraturan Menteri Kehutanan Nomor 61 tahun 2014 tentang Monitoring dan Evaluasi Pengelolaan DAS. Untuk memperoleh data dan gambaran yang menyeluruh mengenai perkembangan kinerja DAS dapat digunakan beberapa indikator yaitu:

1. Koefisien Regim Aliran (KRA)

Koefisien regim Aliran (KRA) adalah perbandingan antara debit maksimum (Q_{maks}) dengan debit minimum (Q_{min}) di dalam suatu DAS. Jika kisaran nilai limpasan pada musim penghujan (air banjir) yang terjadi besar, maka nilai KRA menunjukkan angka yang tinggi pula, sedangkan pada musim kemarau aliran air yang terjadi sangat kecil atau menunjukkan kekeringan. Secara tidak langsung kondisi tersebut menunjukkan bahwa daya resap pada lahan di DAS kurang mampu untuk menahan dan menyimpan air hujan yang jatuh dan air limpasannya banyak yang masuk ke dalam sungai dan terbuang ke laut

sehingga ketersediaan air di DAS musim kemarau sedikit. Adapun rumus dari KRA sebagai berikut:

$$KRA = \frac{Q_{maks}}{Q_{min}}$$

Ket :

Q maks (m^3 /det) = debit harian rata-rata (Q) tahunan tertinggi

Q min (m^3 /det) = debit harian rata-rata (Q) tahunan terendah

Tabel 1. Klasifikasi Nilai KRA

No.	Nilai KRA	Kelas	Bobot
1.	$KRA \leq 20$	Sangat rendah	0,5
2.	$20 < KRA \leq 50$	Rendah	0,75
3.	$50 < KRA \leq 80$	Sedang	1
4.	$80 < KRA \leq 110$	Tinggi	1,25
5.	$KRA > 110$	Sangat Tinggi	1,5

Sumber: Permenhut No. 61 tahun 2014

2. Koefisien Limpasan (C)

Koefisien Limpasan (C) dapat dihitung dengan menggunakan metode cook, dimana koefisien limpasan diperoleh melalui penggabungan beberapa karakteristik fisik DAS yang terdiri dari topografi, infiltrasi tanah, vegetasi dan simpanan permukaan. Masing-masing karakteristik fisik mempunyai nilai klasifikasi dan bobot yang berbeda, namun apabila masing-masing parameter terdiri dari beberapa klasifikasi tutupan lahan dalam suatu DAS maka perhitungan dapat dilakukan sebagai berikut:

$$C = \frac{C1A1 + C2A2 + CnAn}{A1 + A2 + A3}$$

Ket :

C : Koefisien limpasan

C1, 2, n : Koefisien aliran parameter

A1, 2, n : Luas parameter

Tabel 2. Klasifikasi Koefisien Limpasan (C) Tahunan

No	Nilai C	Kelas	Bobot
1	<0,25	Baik	1
2	0,26-0,50	Sedang	3
3	0,51-1,0	Jelek	5

3. Persentase Penutupan vegetasi (PPV)

Persentase penutupan lahan oleh vegetasi adalah untuk mengetahui persentase penutupan lahan dari luas lahan bervegetasi permanen yang ada di DAS.

$$PPV = \frac{LPV}{Luas\ DAS} \times 100 \%$$

Keterangan :

LPV = luas lahan yang bervegetasi permanen (ha)

Luas DAS = luas DTA atau DAS yang menjadi sasaran (ha)

Tabel 3. Klasifikasi Nilai PPV

No	Nilai PPV (%)	Kelas	Bobot
1.	PPV > 80	Sangat Baik	0,5
2.	60 < PPV ≤ 80	Baik	0,75
3.	40 < PPV ≤ 60	Sedang	1
4.	20 < PPV ≤ 40	Buruk	1,25
5.	PPV ≤ 20	Sangat buruk	1,5

Sumber: Permenhut No. 61 tahun 2014

4. Kesesuaian Penggunaan Lahan (KPL)

Kesesuaian penggunaan lahan DAS adalah untuk mengetahui kesesuaian penggunaan lahan dengan rencana tata ruang wilayah (RTRW) dan atau zona kelas kemampuan lahan dan yang ada di DAS. Penilaian indikator pengelolaan lahan (PL) adalah tingkat pengelolaan lahan dan vegetasi di DAS, merupakan perkalian antara faktor penutupan lahan/pengelolaan tanaman (C) dengan faktor praktek konservasi tanah/pengelolaan lahan (P).

$$PL = C \times P$$

$$CxP = \sum (A_i \times CP_i) / A$$

Ket :

CP = Nilai tertimbang pengelolaan lahan dan tanaman pada DAS tertentu

CP_i = Nilai pengelolaan lahan dan tanaman pada unit lahan ke i

A_i = Luas unit lahan ke i (ha) pada DAS tertentu

A = Luas DAS (ha)

Tabel 4. Klasifikasi Nilai KPL

No	Nilai KPL (%)	Kelas	Bobot
1.	$\leq 0,10$	Sangat rendah	0,5
2.	$0,10 < CP \leq 0,30$	Rendah	0,75
3.	$0,30 < CP \leq 0,50$	Sedang	1
4.	$0,50 < CP \leq 0,7$	Tinggi	1,25
5.	$CP > 0,7$	Sangat tinggi	1.5

Sumber: Permenhut No. 61 tahun 2014

5. Indeks Penggunaan Air (IPA)

Perbandingan antara kebutuhan air dengan persediaan air yang ada di DAS

$$IPA = \frac{\text{Kebutuhan}}{\text{Persediaan}}$$

Keterangan:

Kebutuhan air (m^3) = Jumlah air yang dikonsumsi untuk berbagai keperluan/penggunaan lahan selama satu tahun.

Persediaan air (m^3) = Dihitung dengan cara langsung, yaitu dari hasil pengamatan volume debit (Q , m^3).

Tabel 5. Klasifikasi Nilai IPA

No.	Nilai IPA (%)	Kelas	Bobot
1.	$IPA \leq 0,25$	Sangat rendah	0,5
2.	$0,25 < IPA \leq 0,50$	Rendah	0,75
3.	$0,50 < IPA \leq 0,75$	Sedang	1
4.	$0,75 < IPA \leq 1,00$	Tinggi	1,25
5.	$IPA > 1,00$	Sangat tinggi	1.5

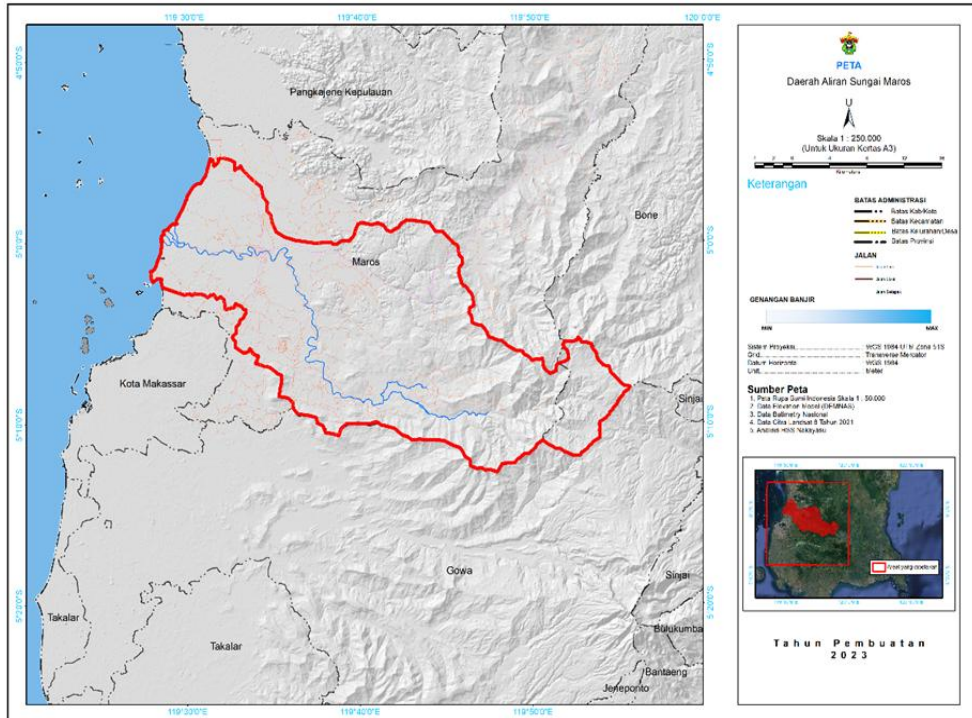
Sumber: Permenhut No. 61 tahun 2014

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Daerah Aliran Sungai Maros, Kabupaten Maros pada bulan Januari 2023 - selesai. Analisis data dilakukan di Laboratorium GIS dan Perencanaan Tata Guna Lahan, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin.



Gambar 1. Peta lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Daerah Aliran Sungai Maros yang secara geografis terletak pada $04^{\circ}55'20''$ - $05^{\circ}13'45''$ LS dan $119^{\circ}28'10''$ - $119^{\circ}56'20''$ BT. Secara administrasi terletak pada tiga kabupaten yakni Kabupaten Maros, Kabupaten Gowa dan Kabupaten Bone. Sebagian besar wilayah DAS ini berada pada wilayah Kabupaten Maros dengan persentase luasan sebesar 91,12% dan selebihnya merupakan bagian hulu DAS yang berada pada Kabupaten Gowa dan Bone dengan persentase luasan masing-masing sebesar 8,85% dan 0,03% dari luas total DAS sebesar 731,20 km².

2.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat komputer atau laptop (dilengkapi *software ArcGIS, HEC-RAS dan Microsoft Office*), *Receiver GPS*, kamera digital, dan alat tulis. Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

Tabel 6. Bahan Penelitian

No.	Jenis	Kegunaan	Sumber
1.	Data DEM Nasional	Digunakan untuk menghasilkan peta topografi pada <i>HEC-RAS</i>	Badan Informasi Geospasial (BIG)
2.	Peta Batas DAS	Digunakan sebagai batas lokasi DAS	Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.304 Tahun 2018 tentang Penetapan Peta DAS
3.	Peta Administrasi	Digunakan untuk mengetahui lokasi penelitian	Badan Pusat Statistik (BPS) Tahun 2019
4.	Peta Penutupan Lahan	Digunakan untuk nilai manning <i>HEC-RAS</i>	<i>United States Geological Survey</i> (USGS)
5.	Data Curah Hujan Tahun 2012-2021	Digunakan sebagai bahan analisis model <i>HEC-RAS</i>	diperoleh dengan mengunduh data satelit merra (<i>power.larc.nasa.gov</i>)

2.3 Metode Pelaksanaan Penelitian

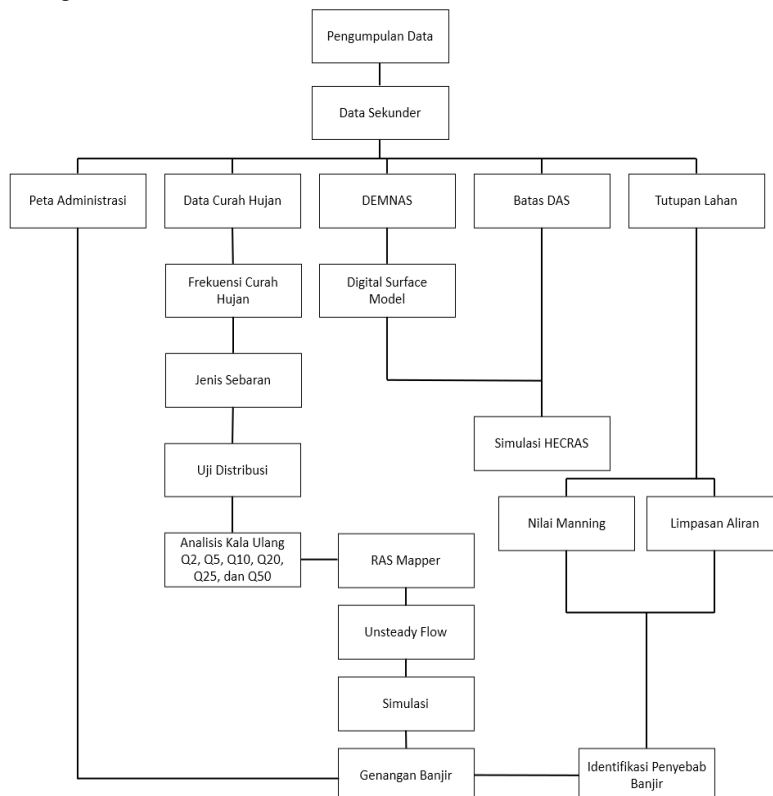
Mekanisme penelitian dalam pemodelan simulasi banjir di DAS Maros menggunakan model *Hydrologic Engineering System-River Analysis System (HEC-RAS)* untuk menggambarkan daerah yang tergenang banjir meliputi:

1. Pengumpulan data, data yang dikumpulkan ialah data DEM (*Digital Elevation Model*), peta batas DAS, peta batas administrasi, peta tutupan lahan, dan curah hujan. Data tersebut akan digunakan sebagai bahan analisis untuk mensimulasikan banjir
2. Menganalisis hidrologi dengan mengolah data curah hujan yang diperoleh dengan mengunduh data satelit merra (*power.larc.nasa.gov*), selanjutnya menentukan parameter statistik (Sd, Cs, dan Cv) untuk pemilihan metode distribusi frekuensi curah hujan yaitu, metode normal, log normal, log person tipe III, dan gumbel yang sesuai untuk digunakan pada DAS Maros. Setelah mendapatkan satu metode distribusi frekuensi curah hujan yang memenuhi syarat, selanjutnya adalah menguji keakuratan hasil metode tersebut dengan menggunakan metode Chi-Kuadrat dan Smirnov-Kolmogrov.
3. Menghitung distribusi hujan pada setiap jam dengan menggunakan metode *mononobe* dan menghitung hujan rencana dengan periode periode ulang.
4. Periode ulang yang digunakan yaitu periode ulang 2 tahun, periode ulang 5 tahun, periode ulang 10 tahun, periode ulang 20 tahun, periode ulang 25 tahun dan periode ulang 50 tahun. Hasil dari perhitungan hujan rencana digunakan untuk menghitung parameter-parameter HSS Nakayasu untuk mengetahui debit banjir rancangan.

5. Melakukan simulasi banjir menggunakan software *HEC-RAS* dari data hasil perhitungan debit aktual tahun 2021 dan banjir rancangan periode periode ulang 2 tahun, periode ulang 5 tahun, periode ulang 10 tahun, periode ulang 20 tahun, periode 25 tahun dan periode ulang 50 tahun.
6. Melakukan analisa nilai KRA sebagai indikator penyebab banjir.

2.4 Kerangka Penelitian

Penelitian ini didasari bahwa menurunnya kualitas DAS dipengaruhi oleh beberapa faktor. Pertambahan penduduk dapat meningkatkan pembangunan wilayah yang akhirnya menyebabkan kebutuhan akan lahan semakin meningkat. Perubahan penggunaan lahan yang tidak memperhatikan aspek konservasi tanah dan air dapat menyebabkan kerusakan pada DAS, seperti erosi hingga terbentuknya lahan kritis yang memberikan dampak pada terganggunya debit air. Pendekatan pengelolaan DAS dengan tujuan untuk menurunkan debit pada musim hujan dan menaikkan debit di musim kemarau dapat dilakukan untuk menangani masalah erosi. Caranya adalah dengan memperbesar infiltrasi atau memperbesar jumlah air hujan yang masuk ke dalam tanah di seluruh kawasan DAS. Dalam penggunaan dan pemanfaatan lahan dibutuhkan suatu perencanaan penutupan lahan yang dapat diterapkan untuk menghindari bertambahnya lahan kritis. Adapun kerangka pikir penelitian dapat dilihat pada bagan berikut:



Gambar 2. Kerangka Penelitian

2.5 Analisis Data

2.5.1 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi didahului dengan menganalisis data curah hujan minimal 10 tahun terakhir dari beberapa stasiun penakar hujan untuk menentukan curah hujan tahunan maksimum dan selanjutnya menganalisis frekuensi untuk menentukan besar hujan rancangan. Menurut Handajani (2005), untuk menentukan besar hujan rancangan biasanya digunakan empat macam distribusi yaitu Normal, Log Normal, Gumbel, dan Log Pearson Type III.

2.5.1.1 Analisis Distribusi Frekuensi Curah Hujan Rancangan

a. Distribusi Normal

Distribusi Normal Analisis frekuensi curah hujan menggunakan persamaan distribusi normal sebagai berikut:

$$X_T = X + k \cdot S_x \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

X_T = Variabel yang diekstrapolasikan, yaitu besarnya curah hujan rencana untuk periode T tahun

$$X = \text{Harga rata-rata dari data} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

k = Variabel Reduksi

$$S_x = \text{Standar Deviasi} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}}}{n-1}$$

b. Distribusi Log Normal

Analisis Frekuensi curah hujan menggunakan persamaan distribusi log normal sebagai berikut:

$$\log X_T = \log X + k \cdot S_x \log X \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

$\log X_T$ = Variabel yang diekstrapolasikan, yaitu besarnya curah hujan rancangan untuk periode ulang T tahun.

$$\log X = \text{Harga rata-rata dari data} = \frac{\sum_{i=1}^n \log(x_i)}{n}$$

$$S_x \log X = \text{Standar Deviasi} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\log x_i^2 - \log \sum_{i=1}^n x_i)}}{n-1}$$

k = Variabel Reduksi

c. Distribusi Gumbel

Analisis Frekuensi curah hujan menggunakan persamaan distribusi gumbel sebagai berikut:

$$X_T = X + K \cdot S_x \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

X_T = Variabel yang diekstrapolasikan, yaitu besarnya curah hujan rencana untuk periode T tahun

$$X = \text{Harga rata-rata dari data} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

k = Variabel Reduksi

$$Sx = \text{Standar Deviasi} = \sqrt{\frac{\sum_1^n x_i^2 - \sum_1^n x_i}{n-1}}$$

Untuk menghitung variabel reduksi E.J. Gumbel mengambil harga :

$$K = \frac{YT - Yn}{Sn} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

YT = Variabel Reduksi sebagai fungsi dari periode ulang T tahun

Yn = Variabel Reduksi sebagai fungsi dari banyak data (N)

Sn = Standar Deviasi sebagai fungsi dari banyak data (N)

d. Distribusi Log Pearson III

Analisis Frekuensi curah hujan menggunakan persamaan distribusi log pearson III sebagai berikut:

$$XT = Xr + KT \cdot Sd \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

XT = Perkiraan curah hujan dalam periode ulang T tahun (mm/hari)

Xr = Nilai rata-rata curah hujan

Sd = Standar Deviasi

KT = Faktor frekuensi

nilai KT ini tergantung dari koefisien kemencengan (*skewness*) dan probabilitasnya. Adapun persamaannya sebagai berikut:

$$\text{Nilai rata-rata} : \overline{\text{Log } X} = \sqrt{\text{Log } X = \frac{\sum \text{Log } x}{n}} \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{Standar Deviasi} : Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } Xi - \text{log } \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{Koefisien Kepencengan} : Cs = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (\text{log } Xi - \text{log } \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} \dots\dots\dots (8)$$

Dimana :

S_d = Standar Deviasi

n = Jumlah data pengamatan

Cs = Koefisien Kepencengan

Penentuan jenis distribusi frekuensi curah hujan rancangan dengan mencocokkan parameter statistik dengan syarat masing masing distribusi. Parameter statistik untuk penentuan jenis distribusi dapat dilihat pada tabel 7 berikut:

Tabel 7. Parameter Statistik untuk Penentuan Jenis Distribusi

Jenis Distribusi	Syarat
Normal	Cs = 0
	Ck = 3
Log Normal	Cs = 3Cv+Cv ³
	Ck = Cv ⁸ +6Cv ⁶ +15Cv ⁴ +16Cv ² +3
Gumbel	Cs = 1,14
	Ck = 5,4
Log Pearson III	Jika tidak ada parameter yang terpenuhi

2.5.1.2 Uji Distribusi Probabilitas Curah Hujan Rencana

Uji Distribusi Probabilitas Curah Hujan Rencana bertujuan untuk mengetahui kebenaran antara hasil pengamatan dengan metode distribusi yang diharapkan atau yang diperoleh secara teoritis serta mengetahui apakah kebenaran hipotesis tersebut diterima atau ditolak untuk digunakan pada perhitungan selanjutnya (Triatmodjo, 2009).

a. Uji Chi- Kuadrat

Uji chi-kuadrat merupakan metode pengujian hipotesis terhadap dua perbedaan yaitu data sampel dan distribusi probabilitas (Upomo & Kusumawardani, 2016). Uji- chi kuadrat dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$X_h = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots \dots \dots (9)$$

Dimana:

X_h^2 = Nilai Chi-Kuadrat terhitung

E_i = Frekuensi (banyak pengamatan) yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya

O_i = Frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama

k = Jumlah sub kelompok dalam satu grup.

Derajat kebebasan dapat dihitung dengan persamaan:

$$DK = K - (a + 1) \dots \dots \dots (10)$$

Dimana:

DK = Derajat Kebebasan

K = Banyaknya Kelas

a = Jumlah Parameter

Menurut McCuen (2003) dalam Upomo & Kusumawadani (2016) jika nilai rerata dan deviasi standar digunakan dalam perhitungan, maka terdapat dua parameter. Sehingga nilai α untuk uji chi kuadrat adalah 2. Tetapi jika nilai rerata dan deviasi standar didapatkan dari penelitian atau data sebelumnya maka nilai α untuk uji chi kuadrat adalah 0.

b. Uji Kolmogorov – Smirnov

Uji kolmogorov-smirnov merupakan metode pengujian yaitu perbedaan maksimum. Uji kolmogorov-smirnov dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$D = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \dots\dots\dots (11)$$

Dimana :

$\bar{x}$ = Nilai X rata-rata

n = Jumlah data

X_i = Angka ke-i pada data

2.5.1.3 Analisis Debit Banjir Rencana HSS Nakayasu

HSS Nakayasu berdasarkan teori hidrograf satuan yang menggunakan hujan efektif (bagian dari hujan total yang menghasilkan limpasan langsung). Perhitungan debit banjir rancangan dengan metode HSS Nakayasu menggunakan persamaan sebagai berikut (Sriyono, 2012):

$$Q_p = \frac{A.R_o}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \dots\dots\dots (12)$$

$$T_p = t_g + 0,8 T_r \dots\dots\dots (13)$$

$$T_g = 0,21 L^{0,7} \quad (L < 15 \text{ km}) \dots\dots\dots (14)$$

$$T_g = 0,4 + 0,58 L \quad (L < 15 \text{ km}) \dots\dots\dots (15)$$

$$T_r = 0,75 T_g \dots\dots\dots (16)$$

$$\alpha = \frac{0,47(AL)^{0,25}}{T_g} \dots\dots\dots (17)$$

$$T_{0,3} = a \cdot T_g \dots\dots\dots (18)$$

$$Q_t = \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} \cdot Q_p \dots\dots\dots (19)$$

Dimana:

Q_p = Debit puncak banjir (m³/det)

R_o = Hujan satuan (mm) = 1 (tetapan)

A = Luas DAS (Km²)

T_p = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (mm)

$T_{0,3}$ = Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak (jam).

T_g = Waktu konsentrasi (jam)

T_r = Satuan waktu hujan (jam)

a = Parameter hidrograf, bernilai antara 1,5 - 3,0

Q_t = Debit pada saat T jam (m^3/det)

L = Panjang sungai (Km)

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu adalah:

- a. Pada kurva naik, $0 \leq t \leq T_p$

Maka:

$$Q_t = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \dots\dots\dots (20)$$

- b. Pada kurva turun, $T_p \leq t < (T_p + T_{0,3})$ Maka:

$$Q_t = Q_p \cdot 0,3 \left[\frac{t-T_p}{T_{0,3}} \right] \dots\dots\dots (21)$$

- c. Pada kurva turun, $(T_p + T_{0,3}) \leq t < (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

Maka:

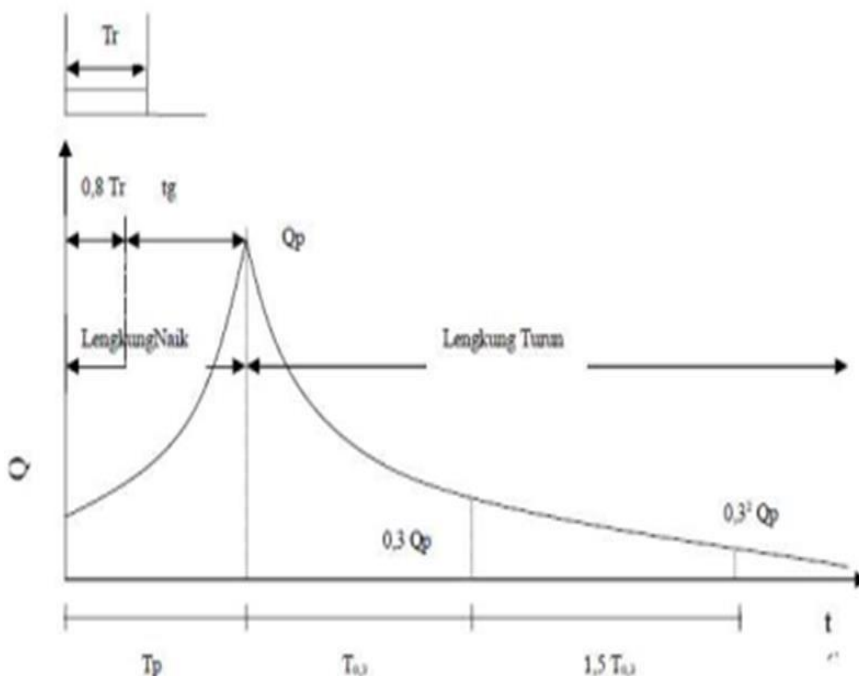
$$Q_t = Q_p \cdot 0,3 \left[\frac{t-T_p+0,5 T_{0,3}}{1,5 T_{0,3}} \right] \dots\dots\dots (22)$$

- d. Pada kurva turun, $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$ Maka:

$$Q_t = Q_p \cdot 0,3 \left[\frac{t-T_p+0,5 T_{0,3}}{2 T_{0,3}} \right] \dots\dots\dots (23)$$

Dimana,

Q_t = Debit pada saat 1 jam (m^3/det)



Gambar 3. Model Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu

2.5.2 Simulasi Model HEC-RAS

Simulasi model HEC-RAS dijalankan dengan mengatur periode waktu dan besaran waktu keluaran data yaitu harian, bulanan, atau tahunan. Pada penelitian ini *run* HEC-RAS dijalankan pada priode harian. Adapun tahapan dalam simulasi yaitu:

1. Penyiapan data terrain di *Ras Mapper* bertujuan untuk membuat image dan sistem proyeksi dengan memasukkan data terrain di ras mapper, adapun yang dihasilkan adalah image yang sudah terproyeksi dengan daerah penelitian.
2. Penyiapan area aliran 2 dimensi bertujuan untuk membuat mesh dengan mendigitasi disekitar daerah aliran sungai membentuk poligon tertutup. Untuk menentukan ukuran Mesh di *generate computation point on regular interval with all breakline*, point yang dihasilkan dari proses ini adalah mesh dengan jumlah cell bergantung dari ukuran grid yang akan dimasukkan.
3. Penyiapan *boundary condition* bertujuan untuk membuat batasan di hulu dan di hilir dalam simulasi dengan menggunakan SA/2D area BC *line* yang dihasilkan dari proses ini adalah *upstream* dan *downstream*.
4. Pengisian nilai *manning* menggunakan data tutupan lahan.
5. Pemilihan skenario aliran bertujuan untuk menentukan skenario yang akan digunakan untuk simulasi. Pada penelitian ini digunakan skenario *unsteady flow* (aliran tak permanen).
6. Pemasukan data *unsteady flow* berupa data debit sungai.
7. Proses running tujuannya untuk melakukan simulasi, adapun yang dihasilkan ada model genangan yang akan terjadi.

2.5.3 Indikator Penyebab Banjir

Berdasarkan *output* yang dihasilkan dari Model HEC-RAS, dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi kualitas DAS. Sehingga dari kondisi tersebut dapat dinilai, kenapa DAS tersebut sering mengalami banjir. Identifikasi penyebab banjir dilakukan dengan metode sistem evaluasi dan penilaian kinerja di setiap sub DAS yang terbentuk dari hasil analisis pemodelan HEC-RAS Sesuai dengan Permenhut No. 61 tahun 2014. Metode sistem evaluasi dan penilaian kinerja DAS untuk melihat penyebab banjir berdasarkan indikator sebagai berikut:

Koefisien Regim Aliran

$$KRA = \frac{Q_{maks}}{Q_{min}}$$

Ket:

Q_{maks} (m^3 / det) = debit harian rata-rata (Q) tahunan tertinggi

Q_{min} (m^3 / det) = debit harian rata-rata (Q) tahunan terendah

Tabel 8. Klasifikasi Nilai KRA

No.	Nilai KRA	Kelas	Bobot
1.	$KRA \leq 20$	Sangat rendah	0,5
2.	$20 < KRA \leq 50$	Rendah	0,75
3.	$50 < KRA \leq 80$	Sedang	1
4.	$80 < KRA \leq 110$	Tinggi	1,25
5.	$KRA > 110$	Sangat Tinggi	1,5

Sumber: Permenhut No. 61 tahun 2014