

STUDI ALTERNATIF PENGENDALIAN BANJIR SUNGAI TONDANO DI KOTA MANADO

Benjamin J.B. Nanlohy¹⁾, Rachmad Jayadi²⁾, Istiarto²⁾

¹⁾ Dinas Pengairan Kabupaten Minahasa, Jl. Husni Thamrin No. 44 Tondano, Minahasa, Manado.

²⁾ Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jalan Grafika No. 2 Yogyakarta 55281

ABSTRACT

Tondano River, along with its tributary Tikala River, is very potential to cause flood in Manado City. There were three big floods occurred in 1996, 2000 and 2005. In order to mitigate the damage risk due to flood, the controlling effort that can be applied soon in the field is required through short term flood control plan using structural measures. The feasible alternative plans should be evaluated to define the best plan based both on the hydraulics point of view and their effects on the river uses.

The study is carried out through the 5 year return period flood routing using the version 3.1 HEC-RAS software. The selected design flood hydrograph is obtained using Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph method by elaborating design rainfall derived from partially series rainfall data frequency analysis of Tondano and Tikala watersheds. Flow simulation is conducted in steps by modeling the hydrograph from Tikala River as the lateral inflow. The first simulation is carried out using bank full capacity discharge to define the flood characteristic and the critical sections. The second simulation is carried out for the design flood hydrograph using unsteady flow calculation on each plan to study the hydraulics feasibility. The study conducted herein is elaborated on water surface profile and velocity due to the plans affectivity to carry-off the flood discharge safely as well as the effect on river uses.

Based on the existing condition simulation, result shows two reach critical sections of the right bank and one reach critical section of the left bank Tondano River. The results of flood control simulation indicate that there are no significant differences on velocity among plans, but there are disparities on the capacity to carry off flood discharge safely with no overtopping. For the normalization plan, the overtopping is occurred along the critical section, whereas for both dike plan and combination of dike and normalization plan, no overtopping are occurred but the the critical sections are still existed. Revised plans for dike and combination of dike and normalization are equally effective in carrying off flood discharge securely, but have different effects on water utilization during low flow period. Referring to the study result, the best alternative is the revised dike plan.

KEYWORDS: *flood routing, hydraulics feasibility, effect on river uses.*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sungai Tondano memiliki fungsi vital sebagai sumber air utama untuk PDAM dan PLTA untuk kota Manado dan sekitarnya, dimana bagian hilirnya sepanjang ± 7 km melewati Kota Manado. Bersama dengan anak sungainya Sungai Tikala, sungai ini sangat potensial menyebabkan banjir di Kota Manado. Dalam dekade terakhir tercatat 3

kali banjir yang mengakibatkan kerugian besar pada tahun 1996, 2000 dan 2005.

Untuk mengurangi resiko terjadinya kerusakan dan kerugian akibat banjir dibutuhkan upaya pengendalian banjir yang dapat segera direalisasikan di lapangan, antara lain melalui penanganan jangka pendek dengan bangunan pengendali banjir atau pengendalian banjir secara struktural. Masalah yang dihadapi adalah bagaimana mendapatkan upaya penanganan yang efektif dengan dampak negatif yang minimal

terhadap kegiatan pemanfaatan sungai lainnya. Solusi yang bisa dilakukan adalah melalui kajian kondisi eksisting sungai dan karakteristik banjirnya untuk menentukan ruas-ruas sungai yang rawan banjir guna penetapan prioritas penanganan dan kajian terhadap alternatif rencana pengendalian banjir yang ada untuk menentukan rencana yang optimal. Penentuan rencana yang optimal dilakukan berdasarkan kelayakan hidraulika, dalam hal ini keamanan dalam mengalirkan debit banjir rancangan yang terkait dengan profil muka air dan kecepatannya, serta dampak rencana penanganan tersebut terhadap kegiatan pemanfaatan sungai.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini untuk menentukan ruas-ruas kritis di Sungai Tondano guna penentuan prioritas pembangunan dan mendapatkan alternatif pengendalian banjir yang terbaik berdasarkan hasil kajian beberapa alternatif yang ada. Hasil ini diharapkan bermanfaat sebagai masukan dan bahan pertimbangan bagi para pengambil keputusan dan pihak-pihak yang terkait dalam perencanaan dan pembangunan di Kota Manado, khususnya dalam upaya penanganan banjir.

Lingkup Penelitian

Lingkup penelitian dibatasi sebagai berikut ini.

1. Tinjauan dibatasi pada aspek hidrologi dan hidraulika.
2. Debit banjir rancangan untuk simulasi banjir dibatasi pada banjir kala ulang 5 tahun (Q_5).
3. Ruas Sungai Tondano yang ditinjau adalah dari sta 0+000 (muara sungai) sampai dengan sta 7+435 (batas hulu tinjauan) dengan panjang total 7.435 m.
4. Keberadaan Sungai Tikala dimodelkan sebagai *lateral inflow* ke ruas sungai tinjauan, sedangkan keberadaan drainase dan jembatan di sepanjang ruas tinjauan diabaikan.
5. Simulasi pemodelan aliran banjir dilakukan dengan *software* HEC-RAS versi 3.1 pada kondisi eksisting serta pada kondisi rencana

pengendalian dengan tanggul, normalisasi serta kombinasi tanggul dan normalisasi.

Kajian Pengendalian Banjir

Upaya pengendalian banjir

Untuk mengurangi besarnya kerugian akibat banjir, dapat dilakukan upaya pengendalian dengan bangunan (*structural method*) dan dengan pengaturan yang sifatnya tidak membuat bangunan fisik (*non structural method*). Pengendalian banjir secara struktural pada prinsipnya dilakukan dengan cara membangun struktur atau bangunan air yang dapat meningkatkan kapasitas pengaliran penampang sungai atau mengurangi debit banjir yang mengalir. Alternatif pengendalian banjir dipilih sesuai dengan situasi, kondisi dan kebijakan yang ada terutama menyangkut program penanganannya. Menurut Dyah Rahayu Pangesti (2005), alternatif ini antara lainnya adalah mencegah meluapnya banjir sampai ketinggian tertentu dengan tanggul atau merendahkan elevasi muka air banjir dengan normalisasi atau sudetan.

Penentuan debit banjir rancangan

Dalam kaitannya dengan rencana pembuatan bangunan air, besaran rancangan berupa debit banjir rancangan (*design flood*) harus didapatkan melalui kegiatan analisis hidrologi. Banjir rancangan adalah besarnya debit banjir kala ulang tertentu yang ditetapkan sebagai dasar penentuan kapasitas dan dimensi bangunan-bangunan hidraulik, sedemikian hingga kerusakan yang dapat ditimbulkannya baik langsung maupun tidak langsung oleh banjir tidak boleh terjadi selama besaran banjir tidak terlampaui (Sri Harto, 2000).

Debit banjir rancangan idealnya didapatkan dengan cara hidrograf satuan bilamana tersedia pasangan data debit dan hujan yang cukup. Bila pasangan data debit dan hujan tidak tersedia, debit banjir rancangan bisa ditentukan dengan menggunakan hidrograf satuan sintetik yang diturunkan berdasarkan andaian transformasi hujan menjadi hidrograf ditentukan oleh beberapa parameter fisik DAS yang bisa diukur. Menurut Sri Harto (2000), Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu yang dikembangkan di Jepang cukup baik untuk penggunaan

di Indonesia dengan koreksi pada debit puncak dan waktu capai puncaknya.

Penelusuran banjir

Penelusuran aliran adalah prosedur untuk menentukan waktu dan besaran aliran pada suatu titik pengaliran dengan menggunakan hidrograf yang diketahui atau diasumsikan dari satu atau lebih titik di hulunya. Jika aliran tersebut adalah aliran banjir, maka prosedurnya disebut penelusuran banjir (Chow, 1988). Penelusuran banjir secara hidraulik adalah salah satu cara penelusuran aliran yang memperhitungkan perubahan parameter kecepatan aliran dan debit sebagai fungsi dari tempat dan waktu. Hitungan penelusuran banjir secara hidraulik dilakukan dengan menggunakan *software* HEC-RAS. HEC-RAS adalah pemodelan sistem sungai yang disusun untuk menangani perhitungan hidraulik satu dimensi untuk sistem saluran alam maupun saluran buatan (HEC, 2002). Terkait penanggulangan banjir, model HEC-RAS digunakan untuk menentukan elevasi profil muka air dan kecepatan banjir sebagai dasar perencanaan bangunan pengendali banjir.

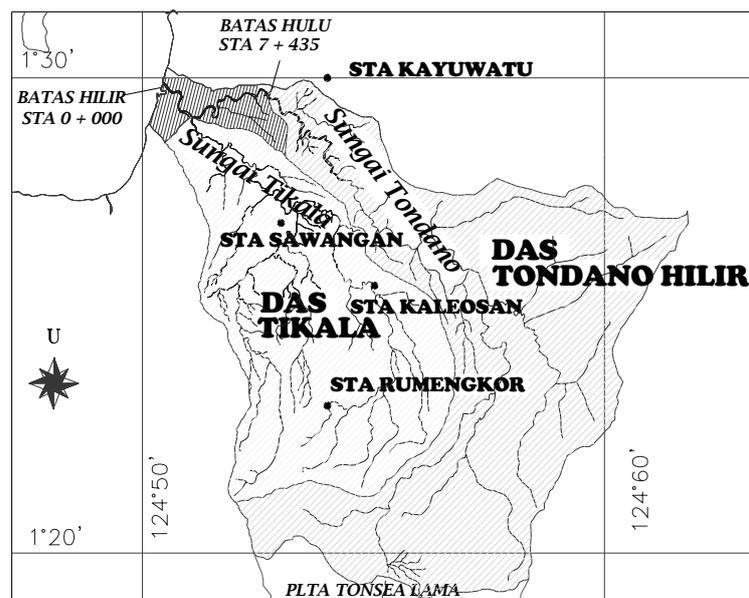
CARA PENELITIAN

Lokasi Penelitian

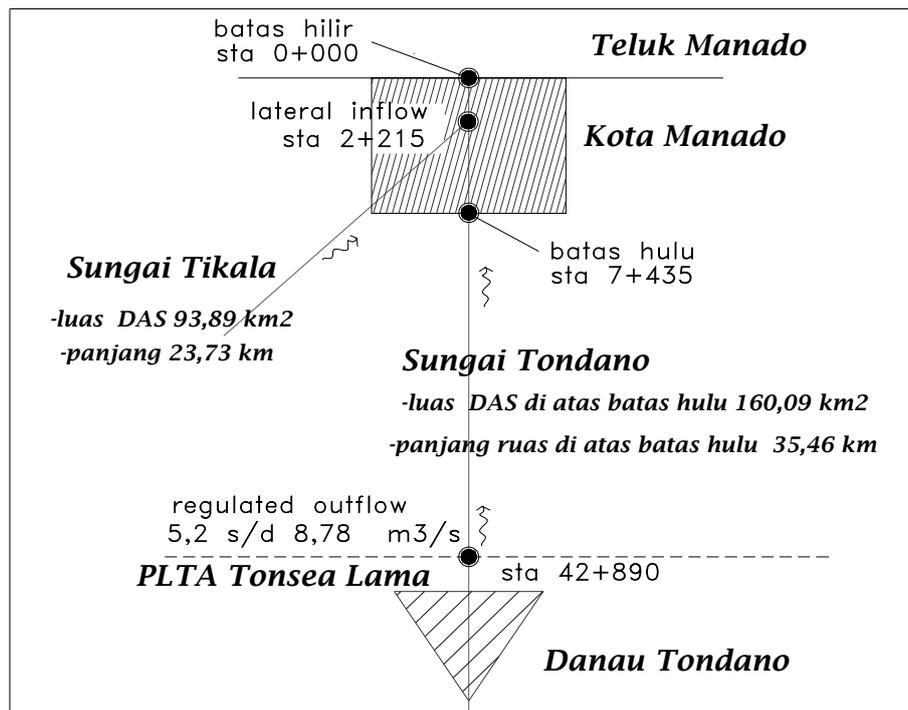
Lokasi penelitian berada di Kota Manado Propinsi Sulawesi Utara, yakni pada ruas hilir Sungai Tondano yang melewati kota hingga ke muara. Penelusuran hidraulik untuk analisis banjir dilaksanakan pada ruas tersebut dengan batas hulu sta 7+435 dan batas hilir sta 0+000. Analisis hidrologi untuk penentuan debit banjir rancangan dilakukan pada dua DAS terkait, yakni DAS Tondano Hilir dan DAS Tikala. Peta DAS Tondano Hilir dan DAS Tikala disajikan pada Gambar 1 dan skema sistem tinjauan disajikan pada Gambar 2.

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian terdiri dari dua bagian utama yakni analisis hidrologi dan analisis hidraulika. Analisis hidrologi meliputi perhitungan hujan rata-rata DAS, analisis frekuensi untuk penentuan hujan harian rancangan, perhitungan distribusi hujan jam-jaman dan perhitungan debit banjir rancangan dengan hasil akhir berupa hidrograf banjir kedua DAS yang diperhitungkan, yaitu DAS Tondano Hilir dan DAS Tikala.



Gambar 1. Peta DAS Tondano Hilir dan DAS Tikala.



Gambar 2. Skema sistem tinjauan.

Analisis hidraulika meliputi pemodelan sistem sungai, analisis sensitivitas koefisien Manning n , simulasi aliran untuk kondisi eksisting dan simulasi aliran pada beberapa alternatif rencana pengendalian banjir. Selanjutnya dilakukan kajian terhadap setiap hasil simulasi aliran alternatif untuk dapat dilakukan pemilihan alternatif penanganan banjir terbaik. Sebagai *input* untuk analisis hidraulika digunakan hidrograf banjir rencana kala ulang 5 tahun (Q_5) pada masing-masing DAS, data elevasi pasang surut di muara serta data geometrik sungai tiap alternatif dan rencana penanganan yang dikaji. Tahapan penelitian disajikan pada bagan alir seperti dapat dilihat pada Gambar 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidrologi

Hujan rata-rata DAS

Penentuan hujan DAS dilakukan dengan metode Poligon Thiessen menggunakan 4 stasiun hujan yang ada, yaitu 4 stasiun untuk DAS Tondano Hilir dan 3 stasiun untuk DAS Tikala, masing-masing dengan lama penga-

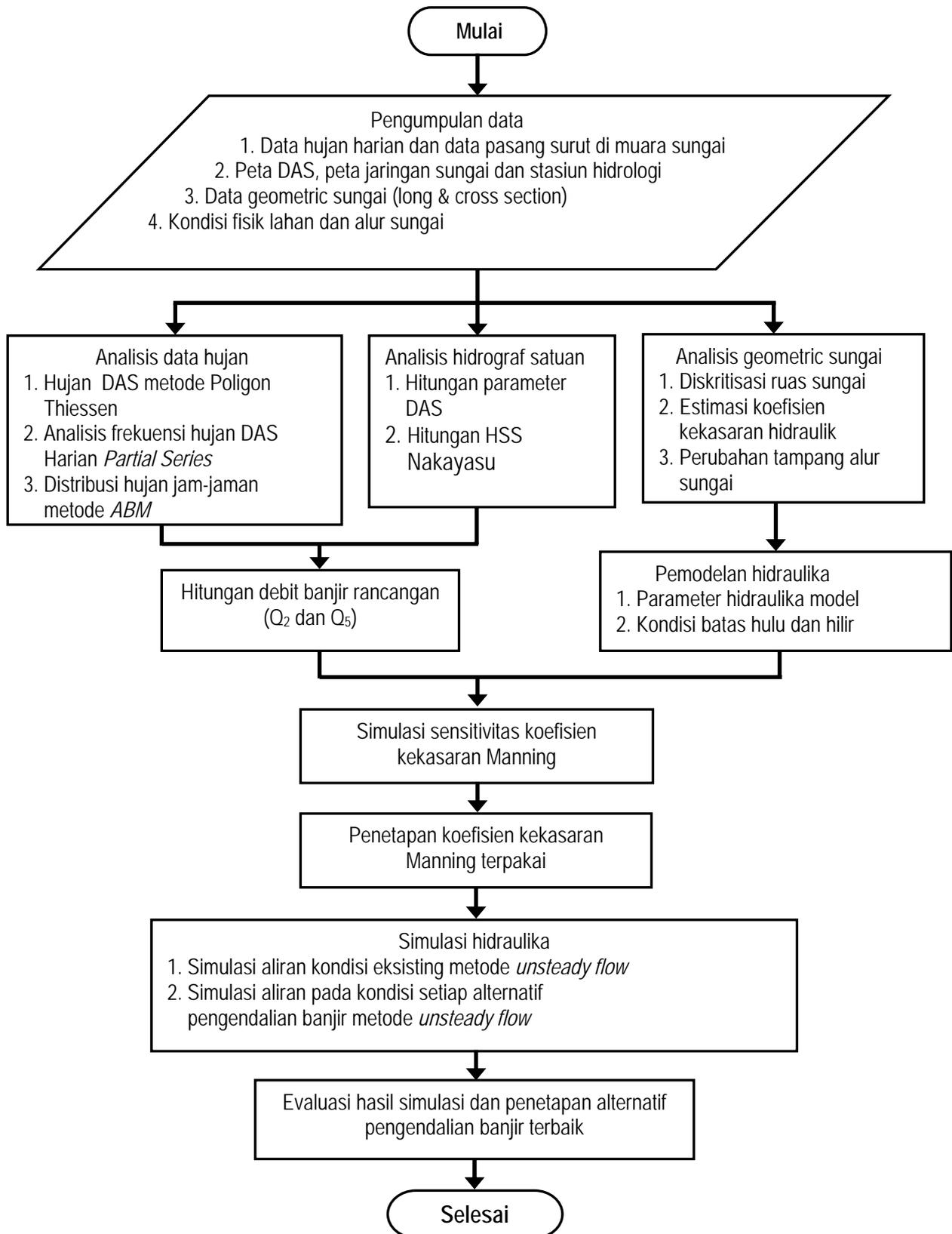
matan 9 tahun. Pada penelitian ini data hujan harian DAS diolah untuk menghasilkan hujan harian rancangan berupa data *partial series* sebanyak 20 nilai hujan DAS seperti disajikan pada Tabel 1.

Hujan rancangan

Hujan rancangan didapatkan dengan analisis frekuensi data *partial series* hujan rata-rata kedua DAS. Hujan rancangan untuk kala ulang 2, 5, 10, 20, 50 dan 100 tahun untuk masing-masing DAS dapat dilihat pada Tabel 2.

Distribusi hujan jam-jaman

Distribusi hujan jam-jaman dihitung dengan metode *Alternate Block Method* (ABM) menggunakan masukan data durasi hujan dan intensitas hujan. Durasi hujan dianggap sama dengan waktu konsentrasi yang dihitung dengan persamaan *Australian Rainfall Runoff*, sedangkan intensitas hujan dihitung dengan persamaan Mononobe. Hasil analisis durasi hujan dominan adalah 6 jam untuk DAS Tondano Hilir dan 5 jam untuk DAS Tikala. Gambar 4 menyajikan *hyetograph* distribusi hujan jam-jaman di kedua DAS.



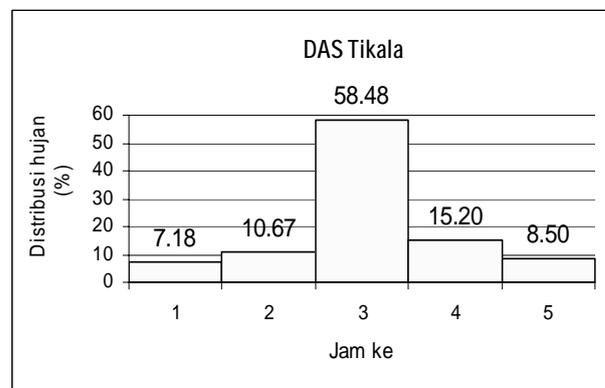
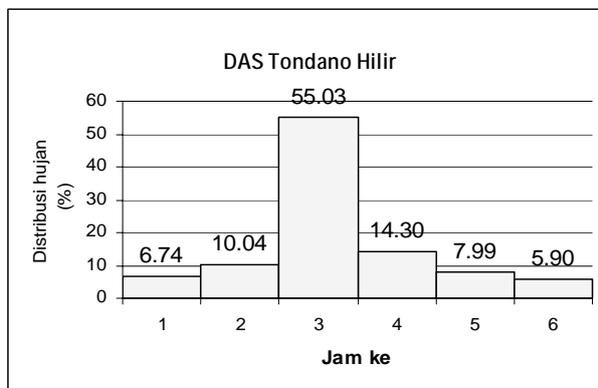
Gambar 3. Bagan alir penelitian.

Tabel 1. Data hujan DAS *partial series* (mm)

No.	DAS Tondano Hilir	DAS Tikala	No.	DAS Tondano Hilir	DAS Tikala
1	92,8	85,4	11	56,2	64,8
2	85,7	85,1	12	56,0	63,2
3	77,4	85,0	13	55,2	62,5
4	65,7	84,2	14	54,0	62,1
5	64,3	83,8	15	52,1	60,1
6	61,6	69,5	16	50,2	57,8
7	60,3	67,2	17	50,0	57,6
8	58,6	66,3	18	49,8	56,5
9	58,2	66,2	19	49,3	56,2
10	58,0	65,8	20	49,1	55,3

Tabel 2. Hujan rancangan

DAS	Curah hujan rancangan (mm) tiap kala ulang					
	2 th	5 th	10 th	20 th	50 th	100 th
Tondano Hilir	57,1	67,4	75,3	83,7	95,9	106,0
Tikala	65,9	75,6	82,1	88,2	96,3	102,5



Gambar 4. Distribusi hujan jam-jaman.

Debit banjir rancangan

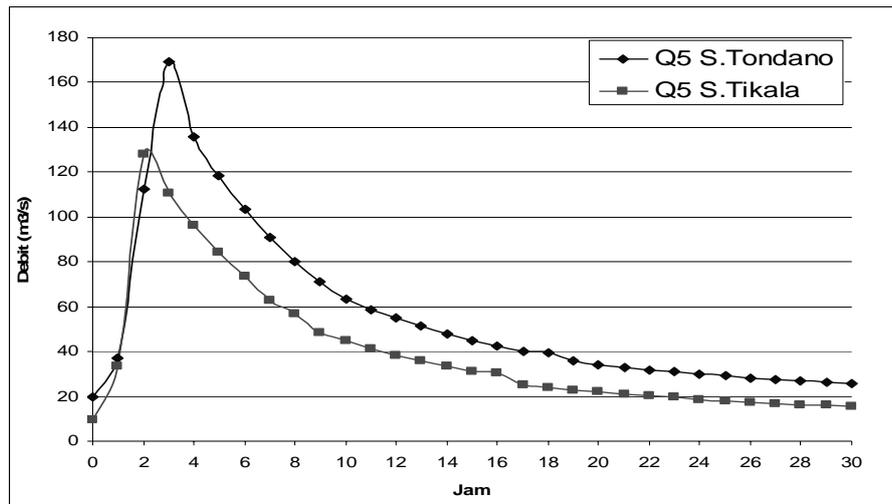
Indeks-phi untuk perhitungan hujan efektif dan aliran dasar untuk perhitungan debit banjir rancangan ditetapkan dengan persamaan HSS GAMA I. Indeks-phi DAS Tondano dan DAS Tikala berturut-turut sebesar 10,6 mm/jam dan 10,5 mm/jam, sedangkan aliran dasarnya 10,7 m³/s dan 9,7 m³/s. Khusus untuk Sungai Tondano aliran dasar mencakup debit keluaran PLTA di hulunya sebesar 8,8 m³/s, sehingga debit aliran dasar total sebesar 19,5 m³/s. Dengan menggunakan HSS

Nakayasu, didapatkan hidrograf banjir rancangan kala ulang 5 tahun (Q₅) seperti pada Gambar 5.

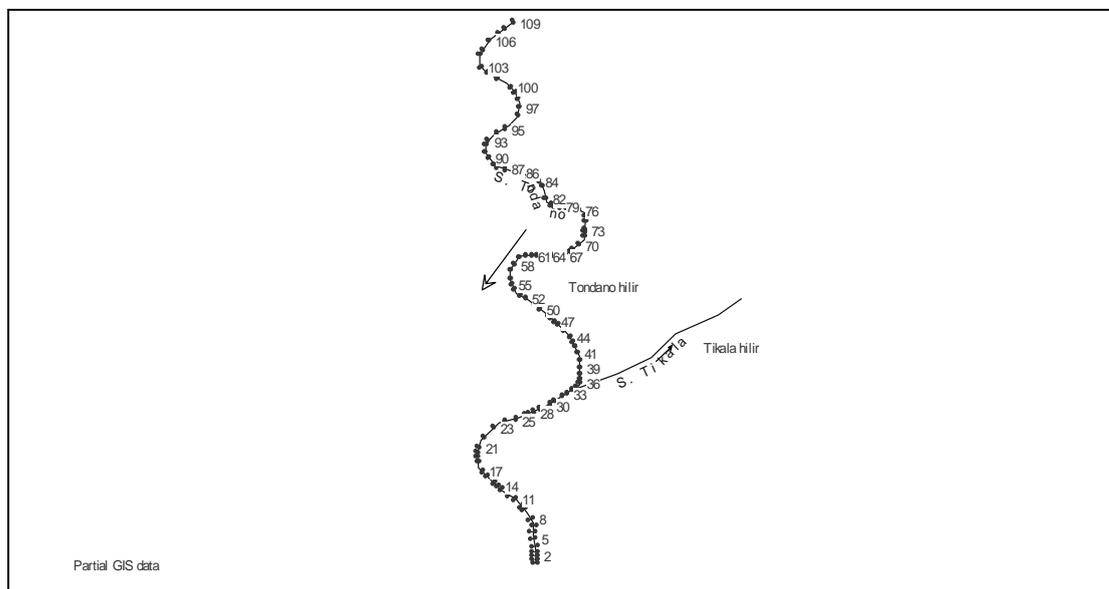
Analisis Hidraulika

Pemodelan sungai

Penelusuran hidraulik dilakukan pada ruas hilir Sungai Tondano. Ruas tersebut didiskritisasi menjadi 110 titik, yakni dari batas hilir di muara RS 0 (sta 0+000) sampai batas hulu RS 109 (sta 7+435) dengan *lateral inflow* dari Sungai Tikala pada pertemuannya di RS 33 (sta 2+215). Skema model sungainya disajikan pada Gambar 6.



Gambar 5. Hidrograf banjir rancangan DAS Tondano Hilir dan DAS Tikala.



Gambar 6. Skema model Sungai Tondano.

Analisis sensitivitas model

Analisis ini bertujuan menguji pengaruh ketidakpastian nilai parameter fisik model terhadap solusi yang didapatkan. Ketidakpastian ini disebabkan oleh penetapan nilai data tak terukur atau mengandung kesalahan pengukuran (ASCE, 1996). Pengaruhnya diperiksa melalui simulasi berulang dengan debit tetap menggunakan nilai parameter dengan *range* tertentu untuk dibandingkan dengan nilai parameter yang diuji. Pada kajian ini parameter yang diuji adalah koefisien kekasaran Manning (koefisien n).

Nilai koefisien n bervariasi sesuai kondisi sungai, dimana untuk dasar sungai alluvial nilai n berkurang bilamana debit dan kedalaman aliran

bertambah (ASCE, 1996). Untuk analisis sensitivitas digunakan dua *range* nilai n , masing-masing untuk simulasi debit rendah dan debit tinggi dengan pendekatan *steady flow*. Untuk debit rendah digunakan debit ekstrim rendah tahunan ($5 \text{ m}^3/\text{s}$) di kedua sungai dengan *range* n dari 0,035 sampai 0,045 (*range* standar untuk kondisi saluran alam berkelok-kelok, berceruk dan bertebing) untuk menguji nilai $n=0,040$ yang digunakan. Untuk debit tinggi digunakan debit puncak banjir Q_5 kedua sungai dengan *range* n dari 0,015 sampai 0,025 (*range* untuk *plane bed*) untuk menguji nilai $n=0,020$ yang digunakan dalam simulasi kondisi eksisting dan penanganan banjir.

Pengamatan terhadap elevasi muka air dan kecepatan aliran di titik pengamatan RS 99 di hulu dan RS 31 di hilir, menunjukkan kisaran maksimum elevasi muka air 11,4 % dari hasil nilai n uji untuk debit rendah dan 9,1 % untuk debit tinggi, sedangkan kisaran maksimum untuk kecepatan 10,5 % dari hasil nilai n uji untuk debit rendah dan 9,6 % untuk debit tinggi. Dari hasil ini dapat disimpulkan pengaruh adanya ketidakpastian dalam penggunaan parameter n tidak signifikan dalam solusi model, sehingga dapat digunakan untuk simulasi selanjutnya.

Hasil simulasi kondisi eksisting

Simulasi aliran dilakukan dengan pendekatan *steady flow* untuk menentukan *bankfull capacity* sungai dan memeriksa pengaruh pasang serta *lateral inflow*. Untuk penentuan *bankfull capacity* dan pengaruh *lateral inflow*, digunakan kedalaman normal sebagai syarat batas hilir dengan kemiringan garis energi diambil sama dengan kemiringan dasar saluran rata-rata 0,00043. Untuk pemeriksaan pengaruh pasang, digunakan elevasi pasang maksimal +2,50 m dan MSL +1,20 sebagai syarat batas hilir. Hasil simulasi untuk kondisi eksisting disajikan pada Gambar 7. Dari hasil simulasi kondisi eksisting didapatkan karakteristik banjir sebagai berikut ini.

1. Banjir disebabkan oleh *bankfull capacity* sungai yang kecil, yakni sebesar 87 m³/s yang setara dengan debit banjir tahunan akibat curah

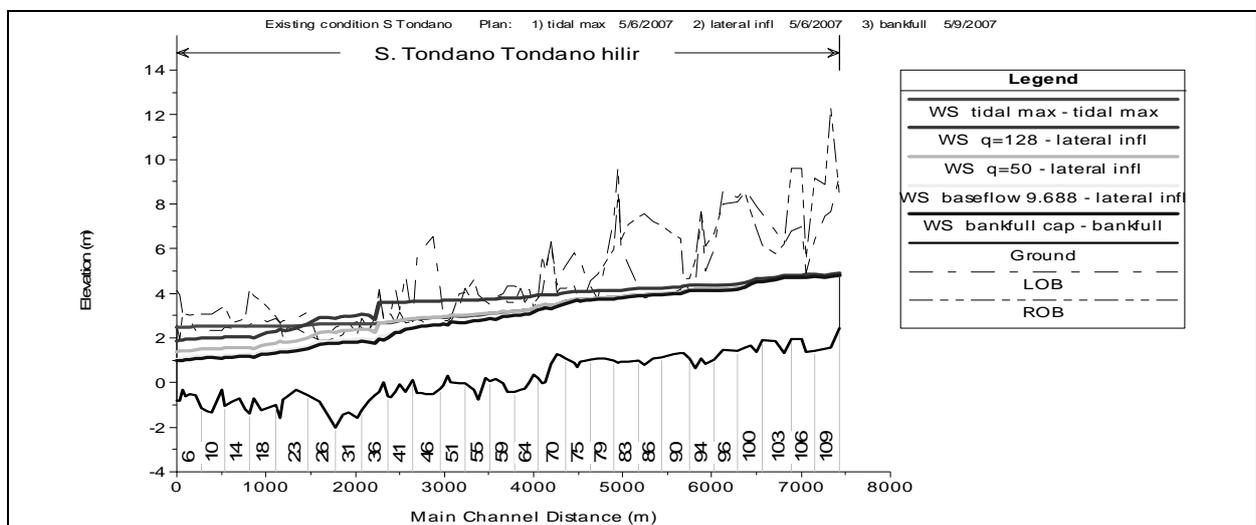
hujan 41 mm, sehingga terdapat ruas-ruas yang selalu tergenang setiap tahunnya.

2. Pada kondisi *bankfull capacity*, peningkatan *lateral inflow* Sungai Tikala di atas debit aliran dasarnya menyebabkan terjadinya limpasan di pertemuannya dengan Sungai Tondano dan akan berimbas hingga ke arah hulu akibat pengaruh *backwater* yang terbentuk jika debit terus meningkat.
3. Kondisi banjir yang ekstrim terjadi bila banjir di Sungai Tondano dan Sungai Tikala terjadi bersamaan dengan pasang maksimum.

Ruas sungai yang rawan banjir, dimana ruas paling rawan adalah RS 44 s/d RS 46, RS 72 s/d RS 73 dan RS 84 s/d RS 88, disajikan pada Tabel 3.

Hasil simulasi rencana pengendalian banjir

Simulasi rencana pengendalian banjir dilakukan dengan *unsteady flow* menggunakan hidrograf banjir Q₅ Sungai Tondano untuk syarat batas hulu, hidrograf banjir Q₅ Sungai Tikala untuk *lateral inflow* dan hidrograf pasang surut di muara untuk syarat batas hilir. Untuk mendapatkan kondisi banjir yang ekstrim, puncak hidrograf banjir Q₅ Sungai Tikala diset mundur 2 jam dan dipilih interval pasang surut yang memberikan elevasi pasang maksimum (+2,5 m). Untuk tujuan pengamatan, digunakan titik pengamatan RS 99 (sta 6+505) dan RS 31 (sta 2+080). Dari hasil simulasi untuk tiap rencana pengendalian didapatkan tingkat keamanan terhadap limpasan seperti pada Tabel 4.



Gambar 7. Profil elevasi muka air pada kondisi eksisting.

Tabel 3. Ruas rawan banjir di Sungai Tondano

Ruas sungai	Nomenklatur	Bantaran sungai	
RS 0 - RS 1	sta 0+000 - sta 0+032	-	kanan
RS 5 - RS 11	Sta 0+215 - sta 0+622	kiri	-
RS 20 - RS 23	sta 1+195 - sta 1+470	-	kanan
RS 24 - RS 32	sta 1+593 - sta 2+162	kiri	kanan
RS 40 - RS 46	sta 2+564 - sta 2+953	-	kanan
RS 47 - RS 49	sta 2+991 - sta 3+075	kiri	kanan
RS 72 - RS 73	sta 4+492 - sta 4+515	-	kanan
RS 84 - RS 88	sta 5+233 - sta 5+642	kiri	-
RS 90 - RS 91	sta 5+751 - sta 5+811	kiri	-

Tabel 4. Tingkat keamanan terhadap limpasan rencana pengendalian banjir

Rencana	Tingkat keamanan	Keterangan
Tanggul	Cukup	Tak melimpas, ada ruas rawan sepanjang 783 m
Normalisasi	Tidak aman	Limpasan sepanjang 2.761 m
Tanggul dan normalisasi	Cukup	Tak melimpas, ada ruas rawan sepanjang 783 m
Tanggul hasil revisi	Baik	Tidak ada limpasan dan ruas rawan
Tanggul dan normalisasi hasil revisi	Baik	Tidak ada limpasan dan ruas rawan

Berdasarkan hasil simulasi, tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada kecepatan maksimum tiap rencana. Perbandingan kecepatan tiap rencana pengendalian di titik pengamatan disajikan pada Tabel 5 di bawah ini.

Pemilihan alternatif rencana pengendalian banjir terbaik

Pemilihan alternatif terbaik dilakukan berdasarkan kelayakan hidraulika, dalam hal ini keamanan mengalirkan debit banjir rencana, melalui kajian elevasi muka air dan kecepatannya. Di samping itu, pemilihannya didasarkan juga pada pengaruh rencana penanganan terhadap kegiatan pemanfaatan sungai.

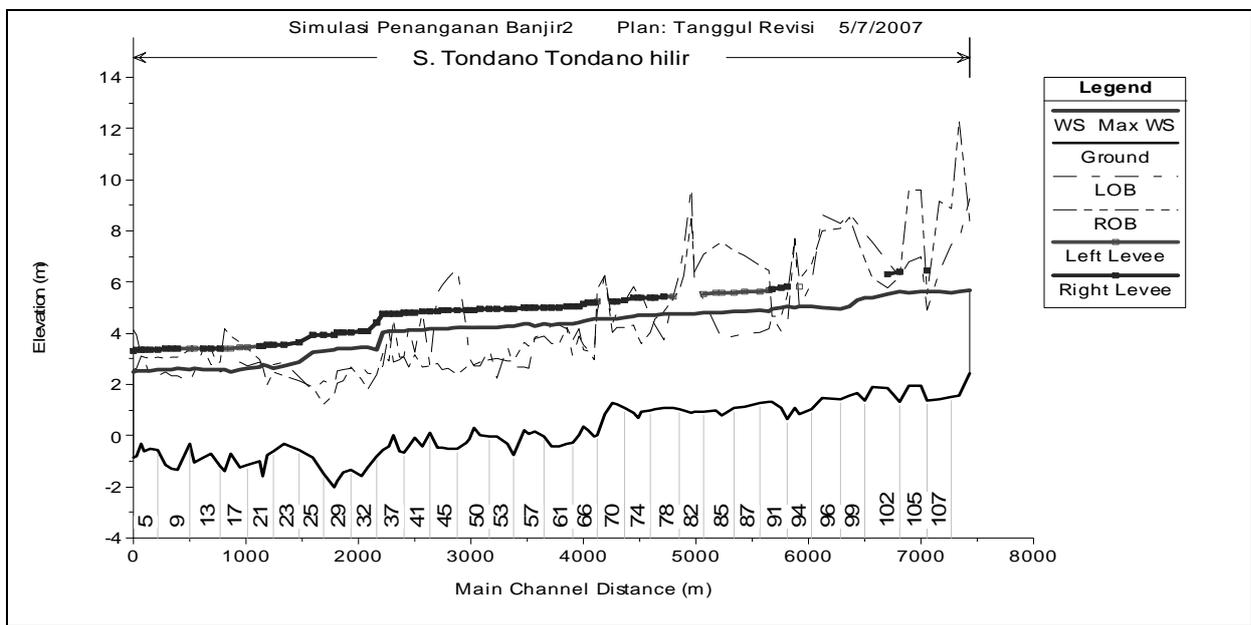
Dari hasil simulasi didapatkan rencana penanganan dengan normalisasi tidak aman terhadap limpasan, sedangkan pada rencana tanggul dan rencana kombinasi tanggul dan

normalisasi masih ada ruas rawan banjir serta elevasi tanggul di hulunya masih bisa diturunkan agar lebih ekonomis. Revisi terhadap rencana tanggul dilakukan dengan menaikkan elevasi tanggul +0,8 m di atas elevasi muka air banjir Q_5 dari RS 49 (sta 3+075) ke hilir dan menurunkannya pada elevasi yang sama di atas muka air banjir dari RS 49 ke hulu. Revisi terhadap rencana tanggul dan normalisasi dilakukan dengan menaikkan elevasi tanggul dari RS 25 (sta 1+692) ke hilir setinggi +0,8 m di atas muka air banjir Q_5 dan menurunkannya pada elevasi yang sama di atas muka air banjir dari RS 29 ke hulu. Hasil simulasi pada kedua rencana hasil revisi tersebut sama efektifnya dalam mengalirkan debit banjir rencana tanpa limpasan.

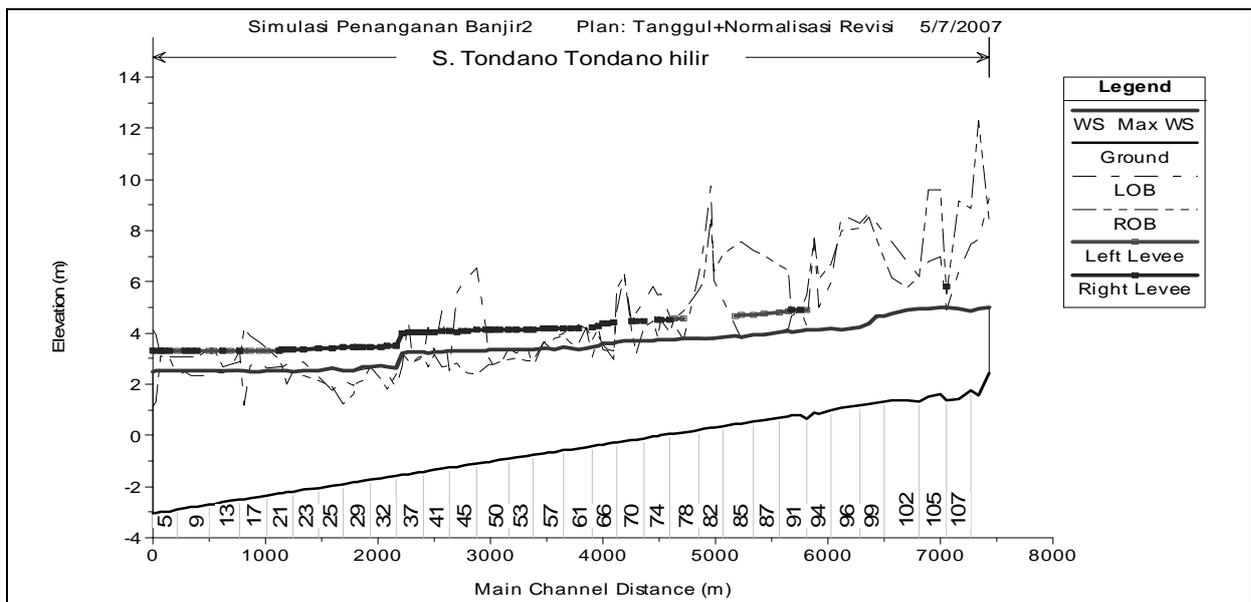
Profil muka air banjir untuk revisi rencana tanggul dan revisi rencana tanggul dan normalisasi disajikan berturut-turut pada Gambar 8 dan Gambar 9 berikut ini.

Tabel 5. Perbandingan kecepatan di titik pengamatan

Rencana	Kecepatan maksimum pada titik pengamatan (m/s)	
	RS 99 (sta 6+5050)	RS 31 (sta 2+080)
Tanggul	1,96	2,31
Normalisasi	2,36	2,25
Tanggul dan normalisasi	2,37	2,30
Tanggul hasil revisi	1,96	2,31
Tanggul dan normalisasi hasil revisi	2,37	2,30



Gambar 8. Profil elevasi muka air pada revisi rencana tanggul.



Gambar 9. Profil elevasi muka air pada revisi rencana tanggul dan normalisasi.

Untuk memeriksa pengaruh kedua alternatif di atas terhadap kegiatan pemanfaatan sungai, dilakukan simulasi aliran debit rendah dengan pendekatan *unsteady flow*. Pada periode debit rendah terjadi *backwater* hingga ke hulu akibat pengaruh arus pasang yang dapat menyebabkan intrusi air laut ke arah hulu. Dalam kaitannya dengan pemanfaatan sungai, terjadinya *backwater* yang dapat menyebabkan intrusi air laut ke arah hulu harus dikaji karena pada sta 4+500 sampai sta 5+000 terdapat *intake* untuk instalasi air bersih PDAM.

Dari hasil simulasi didapatkan, pada revisi rencana tanggul *backwater* terjadi hingga ke RS 55 (sta 3+514), sedangkan pada revisi rencana tanggul dan normalisasi *backwater* terjadi hingga ke RS 78 (sta 4+847). Dari segi pemanfaatan sungai untuk penyediaan air bersih, terjadinya *backwater* yang lebih jauh pada revisi rencana tanggul dan normalisasi akan lebih berisiko dibanding pada revisi rencana tanggul.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- Banjir di Sungai Tondano diakibatkan oleh *bankfull capacity* yang kecil ($87 \text{ m}^3/\text{s}$), serta pengaruh *backwater* akibat pasang naik dan *lateral inflow* Sungai Tikala, dimana kondisi yang ekstrim terjadi bila banjir di kedua sungai tersebut terjadi bersamaan dengan pasang maksimum.
- Ruas yang paling rawan banjir di Sungai Tondano adalah ruas RS 44 (sta 2+799) sampai RS 46 (sta 2+953), RS 72 (sta 4+492) sampai RS 73 (sta 4+515) dan RS 84 (sta 5+233) sampai (sta 5+642).
- Untuk banjir rencana Q_5 , pada rencana tanggul dan rencana kombinasi tanggul dan normalisasi tidak terjadi limpasan namun ada ruas rawan di hilir sepanjang 783 m, sedangkan pada penanganan dengan rencana normalisasi terjadi limpasan sepanjang 2,761 m, dan tidak ada limpasan pada penanganan dengan revisi rencana tanggul dan revisi rencana tanggul dan normalisasi.
- Untuk banjir rencana Q_5 , tidak terdapat perbedaan yang signifikan dari segi kecepatan maksimum pada tiap rencana, yakni berturut-turut di titik pengamatan RS 99 dan RS 31 sebesar 1,96 m/s dan 2,31 m/s pada rencana tanggul dan revisinya, 2,36 m/s dan 2,25 m/s pada rencana normalisasi serta 2,37 m/s dan 2,30 m/s pada kombinasi tanggul dan normalisasi serta revisinya.
- Dari segi pengaruh terhadap pemanfaatan sungai, pada revisi rencana tanggul terjadi *backwater* hingga ke RS 55 (sta 3+514) akibat pasang pada debit rendah, sedangkan pada revisi tanggul dan normalisasi terjadi *backwater* hingga ke RS 78 (sta 4+847), dimana yang terakhir lebih berisiko pada penyediaan air bersih karena intrusi air laut.
- Berdasarkan hasil kajian di atas ditetapkan alternatif terbaik adalah revisi rencana tanggul.

Saran

- Keberhasilan suatu rencana pengendalian banjir maupun bangunan hidraulik pada umumnya sangat ditentukan oleh informasi hidrologi, sehingga adanya ketidakpastian dalam penggunaan rumus-rumus empirik akibat keterbatasan data terukur perlu diminimalisir. Hal ini dapat diantisipasi melalui pembangunan jaringan hidrometri dan pembenahan sistem pendataan yang memadai agar didapatkan informasi hidrologi yang akurat seperti pasangan data debit dan hujan jam-jaman terukur yang antara lainnya dibutuhkan dalam penentuan indeks-phi, durasi dan distribusi hujan serta penentuan hidrograf banjir rancangan.
- Untuk meminimalisir resiko banjir di masa datang, perlu dilakukan upaya-upaya lanjutan untuk menurunkan puncak banjir Q_{10} (fase awal proyek baru setelah ada penanganan darurat) sebesar 13,2 % untuk Sungai Tondano dan 11,2 % untuk Sungai Tikala melalui penanganan non-struktur seperti pengaturan tata guna lahan di DAS Tondano Hilir dan DAS Tikala.
- Prioritas penanganan harus diberikan sesuai tingkat kerawananannya, yaitu pertama ke ruas-ruas paling kritis seperti dijelaskan pada kesimpulan 2, disusul ruas RS 0 (sta 0+000)

sampai RS 1 (sta 0+032), RS 5 (sta 0+215) sampai RS 11 (sta 0+622), RS 20 (sta 1+195) sampai RS 32 (sta 2+162), RS 40 (sta 2+564) sampai RS 43 (sta 2+746), RS 47 (sta 2+991) sampai RS 49 (sta 3+075), dan RS 90 (sta 5+751) sampai RS 91 (sta 5+811).

DAFTAR PUSTAKA

ASCE, 1996, *River Hydraulics*, ASCE Press, New York.

Chow, V.T., Maidment, M.R., and Mays, L.W., 1988, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York.

Diah Rahayu Pangesti, 2005, *Bahan Kuliah Debris and Flood Control*, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

HEC, 2002, *HEC RAS Application Guide*, US Army Corps of Engineers, Davis, California.

HEC, 2002, *HEC RAS Hydraulic Reference Manual*, US Army Corps of Engineers, Davis, California.

Sri Harto, Br., 2000, *Hidrologi: – Teori, Masalah dan Penyelesaian*, Nafiri, Yogyakarta.