

PERBANDINGAN MODEL ALIRAN BANJIR UNSTEADY FLOW DAN STEADY FLOW PADA SUNGAI NGOTOK RING KANAL

Gilang Idfi

Abstrak: Permodelan aliran banjir pada suatu sungai biasa dimodelkan dengan aliran satu dimensi. Banjir merupakan salah satu bentuk aliran unsteady flow yang dapat disimulasikan dengan program HEC-RAS. Hasil permodelan unsteady flow sering terjadi error dikarenakan analisis program yang tidak stabil. Kestabilan model dipengaruhi oleh alur sungai, kemiringan dasar sungai yang curam dan perubahan penampang melintang dari sungai. Karena dalam peramalan banjir dibutuhkan data debit maksimal dan muka air banjir maksimal, maka model aliran steady flow sering digunakan sebagai alternatif untuk perhitungan peramalan banjir. Penelitian kali ini bertujuan untuk membandingkan kelebihan dan kekurangan dari model aliran banjir steady flow dan unsteady flow. Lokasi penelitian di Sungai Ngotok Ring Kanal, Kabupaten Mojokerto. Permodelan hidrologi menggunakan program bantu HEC-HMS sedangkan permodelan hidrolika menggunakan program bantu HEC-RAS. Hasil permodelan yang dihasilkan menunjukkan bahwa profil elevasi muka air dari model steady flow memiliki kecenderungan lebih tinggi dari elevasi muka air yang dihasilkan oleh model unsteady flow. Waktu yang dibutuhkan untuk simulasi model unsteady flow lebih lama dari model steady flow. Elevasi muka air rata-rata yang dihasilkan oleh model unsteady flow adalah +27.17 m, sedangkan untuk model steady flow adalah +29.62 m.

Kata-kata kunci: *Steady flow, Unsteady flow, Banjir*

Abstract: *One-dimensional flow is often used as a flood simulation. Flood is a type of unsteady flow that can be simulated using HEC-RAS. The result of this model sometimes refers to error due to the unstable analysis program. The stability of the program is affected by the river geometric, the slope of the river bed, and the cross-section characteristic of the river. In the step of flood forecasting, it requires the maximum discharge data and maximum of the water level. The steady flow model is an alternative way to simulate the flood flow. This study aimed to compare the advantages and the disadvantages of steady flow and unsteady flow modeling. Ngotok River, Mojokerto was selected as the case study location. The hydrology modeling was conducted by using the HEC-HMS, and HEC-RAS was equipped for the hydraulic modeling. The result of this study shows that the water level from the steady model is higher than the unsteady model. The time consumption to analyze the unsteady model is longer than the steady model. The average flood water level from the unsteady model is +27.17 m and the steady model is +29.62 m.*

Keywords: *Steady flow, Unsteady flow, Flood*

Kapasitas alir dari suatu sungai diharapkan mampu menampung debit banjir yang melintas. Untuk mendapatkan model perencanaan yang optimal, maka diperlukan metode perhitungan dan analisis yang mendekati kondisi eksisting. Model simulasi perencanaan dengan menggunakan software

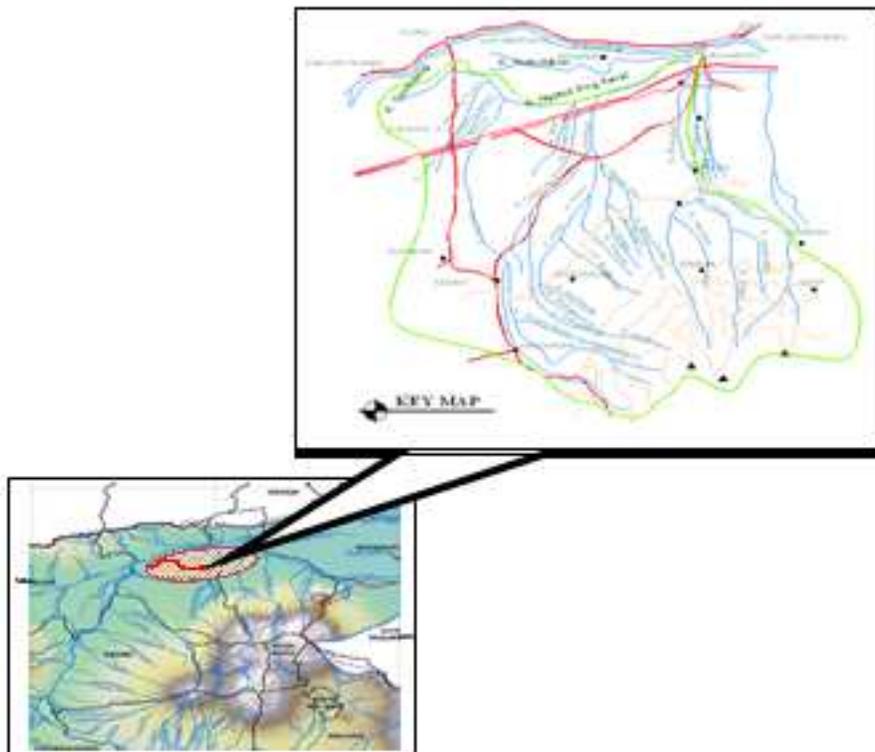
sering digunakan dalam simulasi perencanaan banjir dengan metode unsteady flow maupun steady flow. Software yang biasa digunakan untuk menganalisis banjir adalah HEC-RAS. Metode unsteady flow merupakan permodelan dengan komponen aliran yang tidak tetap dan berubah menurut fungsi jarak dan waktu. Se-

dangkan steady flow merupakan permodelan dengan komponen aliran yang tetap sama di setiap tempat dan waktunya. Pada permodelan unsteady flow sering dijumpai kesulitan dalam kestabilan model. Hal ini dikarenakan pada permodelan tersebut komponen inputan lebih banyak, sebagai contoh data potongan melintang sungai, data debit dan kondisi batas di bagian hulu dan hilir sungai. Ketika permodelan unsteady flow pada HEC-RAS terjadi kendala, biasanya para engineer menggantinya dengan permodelan steady flow. Penggunaan model analisis banjir unsteady flow dan steady flow mempunyai perbedaan hasil. Pada penelitian ini, hasil berbeda diperoleh pada elevasi muka air banjir dari kedua model tersebut. Menurut (Istarto, 2014), simulasi aliran tidak permanen dilakukan untuk melakukan penelusuran banjir (flood routing) di sungai. Jika hanya ingin memperkirakan muka air banjir di sungai, dapat dilakukan dengan model aliran permanen. Dengan catatan elevasi muka air yang dihasilkan melebihi daripada seharusnya (over estimate).

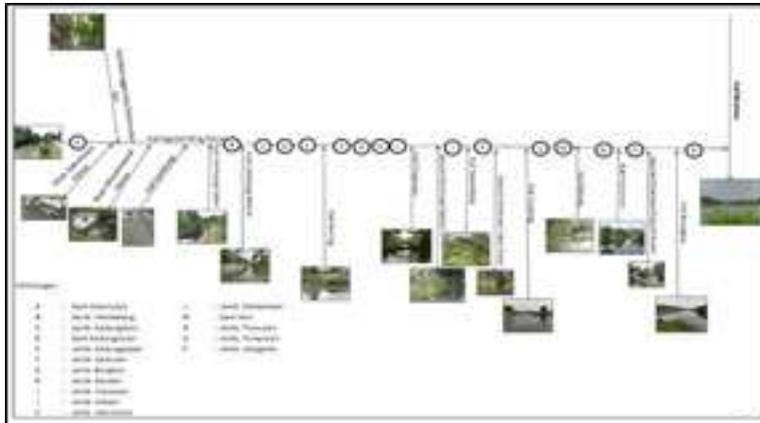
Apabila simulasi banjir yang dihasilkan dengan unsteady flow kurang stabil, maka simulasi dapat dialihkan ke steady flow. Pada aliran unsteady flow harus diubah ke bentuk diskrit (finite difference approximation) untuk memecahkannya, sehingga ada beberapa bentuk error.

LOKASI PENGAMATAN

Wilayah untuk penelitian dipilih adalah Sungai Ngotok Ring Kanal yang berada di wilayah Kabupaten Mojokerto dan Kabupaten Jombang dengan panjang sungai ± 26 km dengan lebar dasar sungai berkisar antara 30 m sampai dengan 60 m dan bermuara di Sungai Brantas. Sungai Ngotok dipilih karena dasar kemiringan dari sungai ini landai dari bagian hulu sampai bagian hilir sehingga diharapkan model alirannya stabil. Kondisi batas hulu (upstream boundary condition) adalah hidrograf debit banjir rencana yang diinputkan pada potongan melintang dengan nomor 267 dan inputan batas hilir adalah elevasi muka air di Sungai Brantas pada potongan 1 (muara Sungai Ngotok). Wilayah penelitian dan geometrik Sungai Ngotok dapat dijelaskan pada gambar 1 dan gambar 2 berikut :

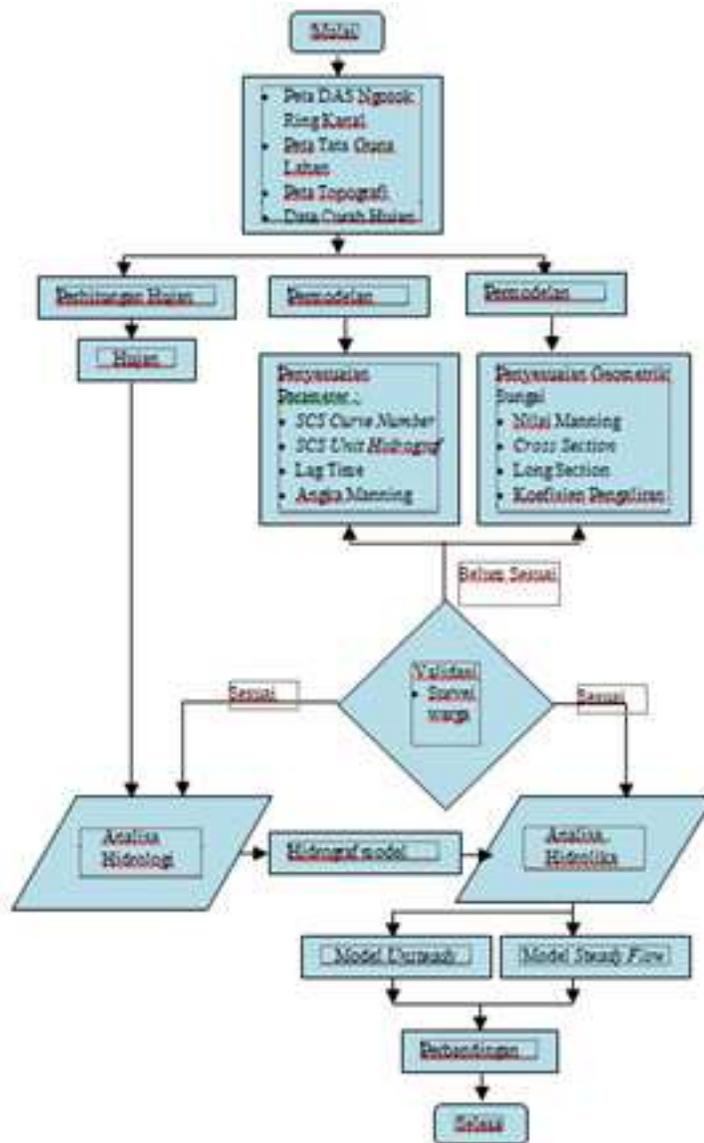


Gambar 1. Lokasi Sungai Ngotok



Gambar 2. Geometrik Sungai Ngotok

METODE



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Gambar 3 menunjukkan diagram alir dari penelitian. Data pendukung penelitian yang diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Brantas (2015) yaitu peta DAS Ngotok, peta topografi, peta tata guna lahan, data curah hujan, dan data geometrik sungai. Perhitungan hujan rencana menggunakan metode Thiessen Polygon. Menurut Suripin (2004), Thiessen Polygon dibentuk dengan menarik garis tegak lurus pada tengah-tengah tiap garis. Data untuk perhitungan hujan rencana diambil selama 20 tahun dari periode tahun 1995 sampai dengan tahun 2014. Analisis hidrologi pada penelitian ini menggunakan program bantu HEC-HMS versi 4.1 dengan metode Soil Conservation Service (SCS). Metode SCS beranggapan bahwa hujan yang menghasilkan limpasan merupakan fungsi dari hujan kumulatif, tata guna lahan, jenis tanah serta kelembaban. Model perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^m}{P - I_a + S} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

- Pe = hujan kumulatif pada waktu ke t
- P = waktu konsentrasi hujan (jam)
- Ia =kehilangan mula-mula (initial loss)
- S = kemampuan menyimpan maksimum

Hubungan antara nilai kemampuan penyimpanan maksimum dengan nilai dari karakteristik daerah aliran sungai (DAS) yang diwakili oleh nilai Curve Number (CN) adalah sebagai berikut:

$$S = \frac{1000 - 10CN}{CN} \text{ (English Unit)} \dots \dots \dots (2)$$

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN} \text{ (Metric Unit)} \dots \dots \dots (3)$$

Permodelan hidraulika aliran satu dimensi steady flow dan unsteady flow menggunakan HEC-RAS bersi 4.1. HEC-RAS dalam menyelesaikan hitungan aliran permanen untuk menghitung elevasi muka air di sepanjang penampang melintang dan memanjang sungai. Aliran tidak permanen pada HEC-RAS digambarkan dengan persamaan matematis, yang dikenal sebagai persamaan St. Venant. Menurut Istarto (2014), persamaan St. Venant

terdiri dari persamaan kontinuitas (prinsip konversi massa) dan persamaan momentum. Faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas dan akurasi perhitungan numerik pada permodelan HEC-RAS unsteady flow, antara lain :

- Penempatan potongan melintang harus tepat untuk menggambarkan perubahan geometri penampang sungai. Dasar saluran yang curam sangat berpengaruh terhadap penentuan jarak potongan melintang. Dasar saluran yang curam memerlukan potongan melintang yang lebih banyak atau bisa dikatakan jarak antar potongan melintang lebih rapat. Jarak potongan melintang yang terlalu dekat juga tidak baik, karena program akan membaca terdapat perubahan dasar saluran secara tiba-tiba.
- Pemilihan interval waktu komputasi yang tidak terlalu panjang dan tidak terlalu pendek. Bila interval waktu terlalu panjang, maka akan terjadi peredaman gelombang banjir sehingga puncak gelombang banjir menjadi lebih rendah. Namun jika waktu terlalu pendek maka program tidak stabil karena perubahan perhitungan waktu seakan-akan terjadi secara tiba-tiba.
- Penurunan dasar saluran yang secara tiba-tiba menyebabkan model melewati kedalaman yang kritis dan mengurangi stabilitas. Peletakan struktur inline (bendung) dengan faktor peredaman yang tepat mampu membuat model lebih stabil.

HASIL

Permodelan Hidrologi

Sebelum menampilkan hasil dari penelitian, model harus dikalibrasi untuk mengetahui apakah model yang dibangun sesuai dengan kejadian di lapangan. Dikarenakan data debit eksisting dan data Automatic Water Level Recorder (AWLR) tidak ada pencatatan lapangan, maka kalibrasi dilakukan dengan melakukan survei kepada warga di sekitar Sungai Ngotok Ring Kanal untuk mengetahui perilaku aliran sungai Ngotok Ring Kanal. Perilaku aliran meliputi, ketinggian air, bila

terjadi banjir lokasi mana saja yang tergenang termasuk ketinggian kenangan yang terjadi.

Gambar 4a, 4b, 4c dan 4d menunjukkan bahwa survei dilakukan untuk mengkalibrasi model yang dibangun pada tanggal 29 Oktober 2016. Desa Pesantren, Kecamatan Tembelang, Kabupaten Jombang pada saat hujan turun, kapasitas alir pada Sungai Ngotok di daerah tersebut tidak mampu menampung debit air yang ada sehingga terjadi luapan yang menggenangi daerah persawahan dan permukiman sekitar. Daerah ini berada di bagian hulu Sungai Ngotok. Menurut informasi dari penduduk sekitar, setiap tahun rumahnya tergenang setinggi betis orang dewasa. Pada saat dilakukan survei tersebut, pada hari kemarinnya terjadi hujan sehingga ketinggian air pada Kali Ngotok sudah sebatas tanggul kiri dan kanan yang berbatasan langsung dengan area persawahan dan perumahan penduduk. Dari permodelan HEC-HMS, didapat hidrograf debit rencana sebagai input data permodelan hidraulika menggunakan HEC-RAS. Debit rencana pada hulu Sungai Ngotok Ring Kanal digunakan sebagai input untuk model aliran unsteady flow.

Dalam penelitian ini, debit digunakan dengan periode ulang 25 tahunan. Data hidrologi untuk model aliran steady flow yang digunakan adalah debit maksimum. Model aliran steady flow pada HEC-RAS berdasarkan fungsi waktu diasumsikan sebagai aliran permanen, berdasarkan fungsi ruang menjadi aliran berubah beraturan (*gradually varied flow*) dan saat menemui struktur hidraulik/struktur melintang sungai, maka akan menjadi aliran berubah secara tiba-tiba (*rapidly varied flow*). Apabila input data aliran hanya terdapat pada hulu sungai, aliran yang terjadi adalah aliran konstan. Sebagai pendekatan aliran steady flow terhadap aliran unsteady flow pada fungsi ruang, diperlukan data tambahan debit berupa peredaman debit dari hasil hidrologic routing pada beberapa potongan melintang. Pada HEC-HMS, titik-titik untuk memberikan input berupa debit disimbolkan dengan junction. Pada setiap pertemuan anak-anak sungai dengan sungai utama diwakili oleh junction. Pada setiap hulu anak sungai diinputkan hidrograf rencana sebagai inputan debit yang mengalir ke sungai utama. Skema ini dapat dilihat pada gambar 5.



(a)



(b)

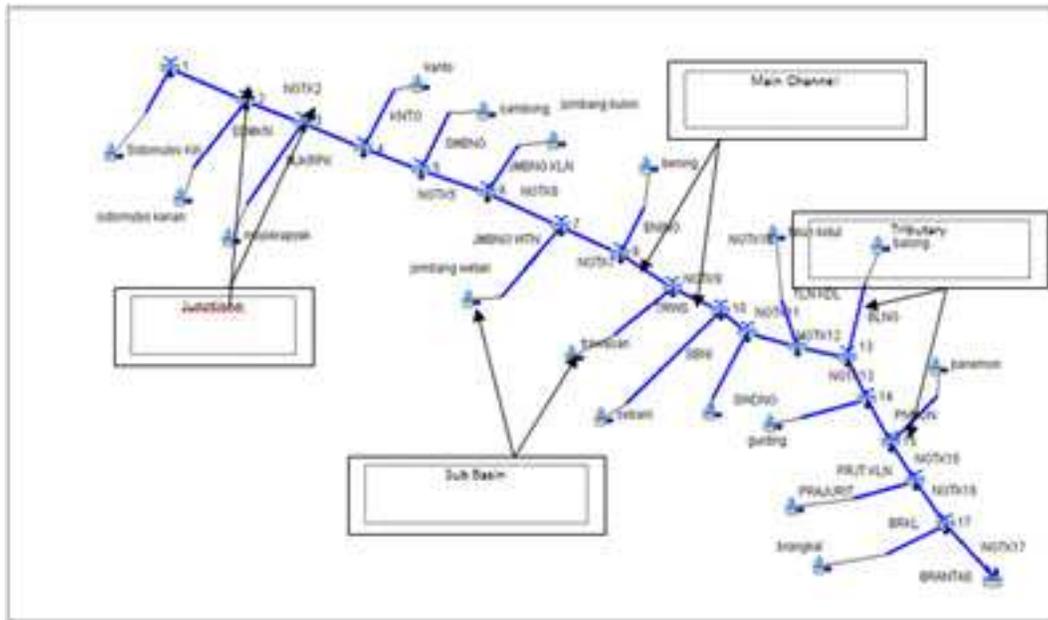


(c)



(d)

Gambar 4. Survei Penduduk



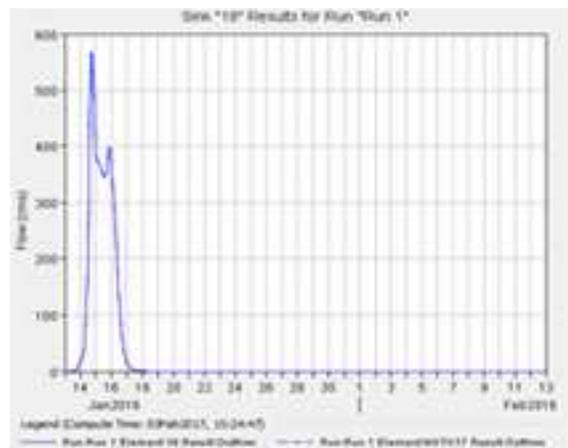
Gambar 5. Skema Permodelan Hidrologi HEC_HMS

Ada 17 anak sungai yang bermuara di Sungai Ngotok Ring Kanal. Junction pada HEC-HMS digambarkan sebagai potongan melintang HEC-RAS. Pada tabel 1 disajikan letak junction dan debit maksimum yang diinputkan.

Tabel 1. Debit Maksimal sebagai Hasil Model HEC-HMS untuk inputan Steady flow

Anak Sungai	Junction	Debit maks (m3/s)
Balong	283	24.35
Bening	291	58.37
Brangkal	275	497.12
Gunting	281	272.73
Jombang Kulon	295	60.76
Jombang Wetan	293	55.34
Konto	297	30.15
Mojokrapyak	299	30.06
Panemon	279	42.27
Prajuritkulon	277	14.64
Sambong	305	64.26
Sawedang	287	47.51
Sidomulyo Kanan	301	8.3
Sidomulyo Kiri	303	6.05
Sebani	307	24.2
Talun Kidul	285	8.56
Trawasan	289	58.41

Pada gambar 4 disajikan hasil perhitungan debit rencana berupa hidrograf banjir yang terjadi pada system geometric Sungai Ngotok.

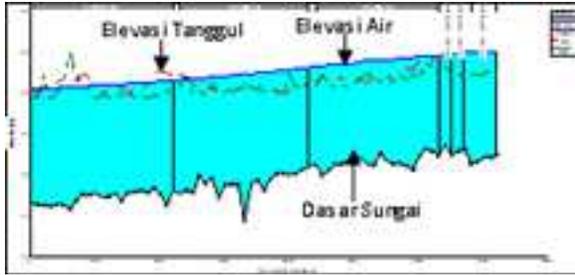


Gambar 6. Hidrograf Banjir Rencana

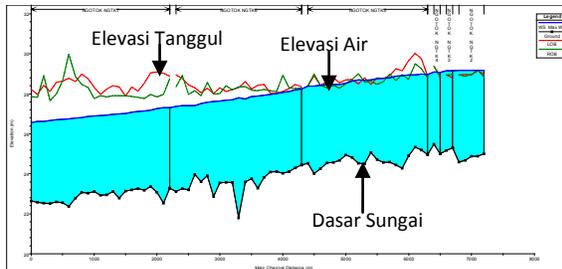
Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa debit puncak banjir yang terjadi 566.72 m3/s. Junction yang diamati berada di muara Sungai Ngotok yaitu di Junction 18.

Permodelan Hidrolika

Pada permodelan hidrolika yang menghasilkan elevasi muka air yang ada di Sungai Ngotok, akan dikalibrasi dengan data survei yang telah dilakukan kepada penduduk disekitar Sungai Ngotok. Permodelan ini dilakukan dengan 2 kondisi yaitu pada saat keadaan steady flow dan unsteady flow. 2 hasil model ini dapat dilihat pada gambar 7 dan gambar 8 berikut:



Gambar 7. Hasil Model Steady flow



Gambar 8. Hasil Model Unsteady flow

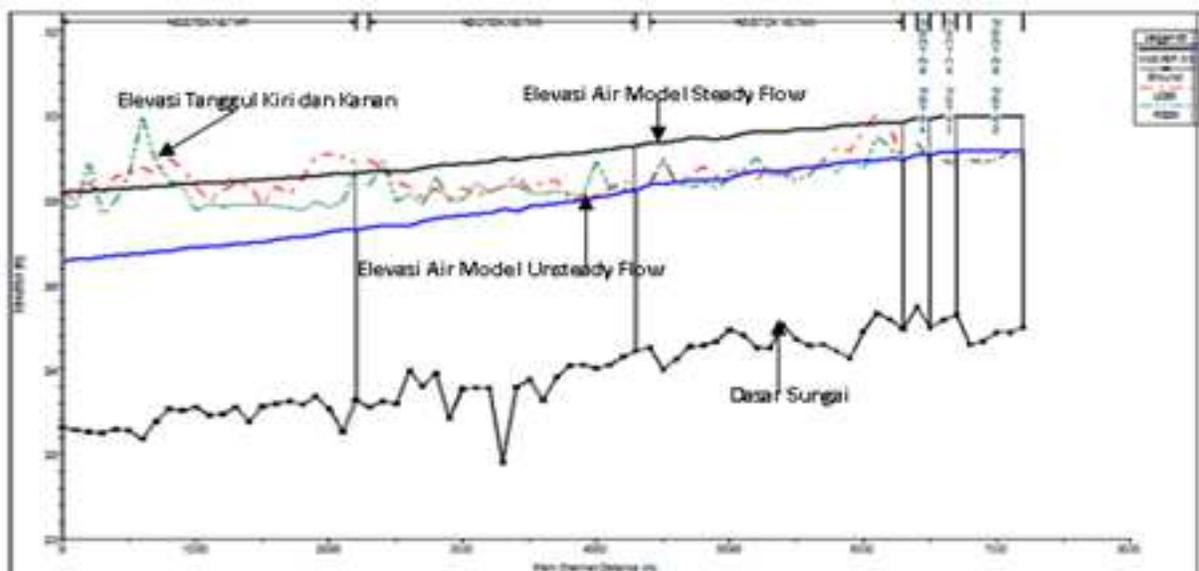
Dari gambar 7 dan 8 dapat dijelaskan bahwa pada ruas Sungai Ngotok di bagian hulu terjadi genangan baik pada model steady flow maupun unsteady flow. Hal ini dapat dilihat dari elevasi muka air yang digambarkan dengan garis warna biru berada diatas elevasi tanggul kiri maupun kanan sungai yang digambarkan dengan garis hijau dan merah. Permodelan ini juga sesuai dengan data survei yang dilakukan, bahwa pada ruas bagian hulu dari Sungai Ngotok terjadi genangan, sehingga model yang telah dibangun sudah sesuai dengan keadaan eksisting.

Perbandingan model Steady flow dan Unsteady flow

Perbandingan elevasi muka air pada permodelan steady flow dan unsteady flow dapat dilihat pada gambar 9. Dapat dilihat bahwa, hasil yang ditampilkan pada permodelan steady flow menghasilkan elevasi muka air yang lebih tinggi dibandingkan elevasi muka air yang ditampilkan oleh model unsteady flow. Permodelan geometri system sungai unsteady flow dan steady flow dapat dijadikan dalam satu model. Inputan data aliran maupun boundary conditions terdapat perbedaan. Pada model steady flow, input berupa debit maksimal dimasukkan pada ruas bagian hulu dari sungai. Pada permodelan unsteady flow boundary condition dimasukkan hidrograf banjirnya.

Waktu analisis untuk model unsteady flow membutuhkan waktu lebih lama daripada model steady flow. Pada penelitian ini waktu yang dibutuhkan untuk menganalisis permodelan steady flow adalah 1.39 detik, sedangkan unsteady flow adalah 2.53 detik.

Pada studi kali ini, untuk menghindari error pada model simulasi steady flow, perlu dilakukan interpolasi untuk data cross section dari sungai, sehingga jarak pengamatan lebih rapat antara potongan 1 dengan potongan lain. Pada studi kali ini jarak antar potongan adalah 5 m. Hasil dari perbandingan model steady flow dan unsteady flow dapat dilihat pada tabel 2.



Gambar 9. Perbandingan Hasil Model aliran Steady Flow dan Unsteady Flow

Tabel 2. Hasil Permodelan Steady Flow dan Unsteady Flow

Bahan Pembahasan	Model Unsteady Flow	Model Steady Flow
Metode	Berupa aliran berubah beraturan, kecuali di tempat yang terdapat struktur hidraulik seperti gorong-gorong, siphon, jembatan dan bendungan. Persamaan yang dipakai adalah persamaan momentum atau empiris bukan persamaan energi	Berupa aliran tak permanen tak seragam dengan analisis perhitungan menggunakan persamaan kekekalan massa dan persamaan momentum
Data yang diperlukan untuk permodelan	Geometrik dan potongan melintang penampang sungai. Sebisa mungkin data potongan melintang yang didapat lebih banyak, sehingga menghindari error	Geometrik dan potongan melintang penampang sungai.
Data yang diperlukan untuk inputan aliran	Bagian Hulu : hidrograf banjir rencana Bagian Hilir : data pasang surut air laut/sungai/ tempat bermuara	Bagian Hulu : Debit maksimal rencana Bagian Hilir : data pasang surut air laut/sungai/tempat bermuara
Pengaruh Kestabilan	Besaran debit, bentuk penampang, geometrik sungai	Tidak ada
Waktu simulasi	Q25 = 2.53 detik	Q25 = 1.39 detik
Elevasi Muka air	Rata-rata = +27.17 m	Rata-rata = +29.62 m

SIMPULAN DAN SARAN

Perbandingan model aliran satu dimensi steady flow dan unsteady flow dengan menggunakan program bantu HEC-RAS 4.1 dapat disimpulkan bahwa :

- Pada permodelan hidrologi dengan menggunakan program HEC-HMS, data yang harus dipersiapkan adalah data hujan, luasan DAS, peta topografi dan peta tata guna lahan.
- Pada permodelan hidrolika dengan menggunakan program HEC-RAS, data yang harus dipersiapkan adalah data geometrik sungai/saluran berupa potongan melintang dan data inputan.
- Pada permodelan aliran satu dimensi steady flow data inputan aliran dibagian hulu berupa debit rencana maksimum dan bagian hilir berupa inputan pasang surut air laut/sungai/tempat bermuara. Sedangkan pada unsteady flow, data inputan bagian hulu berupa hidrograf banjir rencana dan inputan bagian hilir adalah data pasang surut air laut/sungai/tempat bermuara.
- Pada lokasi studi kali ini tidak ada data debit Automatic Water Level Records (AWLR), sehingga data kalibrasi yang digunakan adalah berupa data survei penduduk tentang letak dan ketinggian genangan.
- Dari segi lama waktu simulasi, permodelan steady flow membutuhkan waktu yang lebih cepat yaitu sekitar 1.39 detik, sedangkan

permodelan unsteady flow membutuhkan waktu sekitar 2.53 detik.

- Perubahankarakteristik geometrik pada setiap ruas sungai untuk permodelan unsteady flow sangat berpengaruh terhadap kestabilan model, sedangkan untuk steady flow tidak terpengaruh perubahan karakteristik geometrik sungai.
- Pada permodelan steady flow, profil elevasi muka air yang dihasilkan cenderung lebih tinggi daripada profil elevasi muka air yang dihasilkan oleh permodelan unsteady flow. Nilai rata-rata elevasi muka air pada model steady flow adalah +29.62 m, sedangkan pada model unsteady flow adalah +27.17 m, sehingga ada perbedaan rata-rata elevasi muka air dari kedua model ini adalah +1.45 m.
- Untuk memudahkan dalam pengumpulan data riwayat banjir, sebaiknya dipasang alat Automatic Water Level Records (AWLR) pada sungai-sungai yang mempunyai potensi rawan banjir oleh pihak terkait.
- Dalam peramalan perhitungan banjir di suatu sungai, keakuratan hasilnya sangat bergantung kepada ketersediaan data yang ada, sehingga kualitas dan kuantitas data dibutuhkan dalam hal ini. Sistem pengumpulan dan perekaman data-data hidrologi dan hidrolika sangat membantu sekali untuk ketepatan dalam perhitungan.

- Perlu dilakukan kajian lebih mendalam tentang pengaruh dari pengambilan jarak potongan melintang sungai sebagai inputan pada program terhadap kestabilan dari model.

DAFTAR RUJUKAN

- P.T.S.R. Nusantara, "SID Normalisasi Kali Ngotok Ring Kanal di Kabupaten Mojokerto", edited by R.B. Antara, (Balai Besar Wilayah Sungai Brantas, Mojokerto, 2009), pp.23-24
- S. Harto, Analisa hidrologi (PT Gramedia Utama, Jakarta, 1993), pp.9-10
- C.D. Soemarto, Hidrologi Teknik (Erlangga, Jakarta, 1987), pp.11-12
- Anggrahini, Hidrolika Saluran Terbuka (CV. Citra Media, Surabaya, 1997), pp.14-15
- V. T. Chow, Hidrolika saluran Terbuka (Erlangga, Jakarta, 1992), pp.46-47
- W.H. Graf, Fluvial Hydraulic (John Wiley & Sons, New York, 1997), pp.55-56
- Jansen, Bendegon, Berg, Vries and Zanen, Principle of River Engineering The Non-Tidal Aluvial River, (Uitgevers Maatsschappij, Delft, 1979), pp.13-14
- Lensley, Ray, Franzini and Joseph, Teknik Sumber Daya Air Jilid II, (CV. Citra Media, Surabaya, 1991), pp.65-66
- E. Suhartanto, Panduan HEC-HMS dan Aplikasinya di Bidang Teknik Sumber Daya Air (CV Citra, Malang. 2008), pp.12-13
- B. Triatmojo . Hidrologi Terapan (Beta Offset, Yogyakarta, 2008), pp.30-31
- V.Rijn and C. Leo, Principles of Fluid Flow and Surface Waves in Rivers, Estuaries, Seas and Ocean (Delft Hydraulic, Delft, 1990), pp.23-24
- U.S. A Engineering, HEC-RAS User Manual (Davis, California, 2008), pp.4-5
- A.T. Oktaga and Suripin, Perbandingan Hasil Permodelan Aliran Satu Dimensi Unsteady dan Steady flow pada Banjir Kota 21, 2570-2582 (2015).
- R. F. Luciana, Edijatno and F. Sofia, Analisis Sistem Drainase Saluran Kupang Jaya Akibat Pembangunan Apartemen Puncak Bukit Golf di Kota Surabaya 1, 1-5 (2013).
- R. Wiganti, Soedarsono and T. Mutia, Analisis Banjir Menggunakan Software HEC-RAS 4.1.0 (Studi Kasus Sub-DAS Ciberang HM 0+00-HM 34+00) 5, 2-13 (2016).
- R. F. Luciana, "Analisis Kebutuhan Kolam Tampungan pada Sistem Drainase Kampus ITS Surabaya," Master Thesis, ITS, 2015.

