

## KARAKTERISTIK ALIRAN ANAK SUNGAI KETANDAN, DAS BEDADUNG

Entin Hidayah, Wiwik Yunarni, Anik Ratnaningsih

Email: *entin\_hidayah@yahoo.com*

### ABSTRAK

Rezim aliran sangat penting dalam mempertahankan integritas sistem ekologi sungai. Kajian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi antara debit dan rejim hidrolika pada anak sungai Ketandan memberikan kontribusi pemahaman hidrolis saluran. Pendekatan yang digunakan dalam kajian ini adalah (1) menentukan parameter kekasaran manning sebagai kontrol terhadap debit hasil pengukuran, (2) melakukan simulasi debit sebagai input pada sungai Ketandan untuk meninjau kondisi rejim aliran yang terjadi. Proses perhitungan ini menggunakan alat bantu HEC-RAS dengan asumsi alirannya steady. Hasil kajian menunjukkan bahwa nilai kekasaran manning yang sesuai sebesar 0,045. Kondisi aliran kritis terjadi di kemiringan saluran yang curam untuk debit banjir yang kecil, selain itu terjadi di hulu dan hilir bendung. Banjir terjadi pada penampang melintang sungai mulai dengan debit banjir rencana periode ulang 2 tahunan.

**Kata Kunci :** rejim hidrologi, rejim aliran, karakteristik, sungai.

### PENDAHULUAN

Sungai Ketandan merupakan anak sungai Rembangan. Di bagian hilir sungai ini mempunyai kontribusi untuk mensuplai irigasi dan *recharge* kota Jember. Area irigasi yang diairi oleh anak sungai ini meliputi daerah irigasi Ketandan seluas 30 ha, dan 5 ha dan *recharge* spool kota membutuhkan debit sebesar 0,2 m<sup>3</sup>/det. Dalam menjalankan fungsinya anak sungai tersebut mendapat suplai air dari anak sungai Rembangan. Namun demikian, sungai ini memiliki bentuk aliran yang berkelok-kelok dengan kemiringan sungai yang terjal dan di beberapa tempat terjadi penggerusan dasar saluran. Perubahan tinggi hujan sepanjang tahun akan menyebabkan terjadinya fluktuasi debit yang akan memicu perubahan rejim aliran.

Rejim aliran dipengaruhi oleh bentuk cross-sectional tidak teratur, berubah kedalaman, kekasaran saluran dan Perbedaan kecepatan ini secara pasti akan menghasilkan mekanisme perpindahan massa dan momentum lateral, yang dapat sangat mengurangi kapasitas saluran pembuangan (Lai et. al., 2008).

### TINJAUAN PUSTAKA

#### Diskripsi Model Hidrolika

Modul aliran stabil (*steady-flow*) dalam model HEC-RAS mampu menggambarkan profil aliran permukaan untuk aliran superkritis, subkritis, dan rejim aliran campuran dalam jangkauan sungai tunggal atau sistem saluran (USACE, 2010).

Profil penampang melintang pada dua section aliran dapat digunakan sebagai dasar perhitungan persamaan energi yang diformulasikan dalam persamaan berikut.

$$Z_{b1} + d_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_{b2} + d_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_e \dots\dots\dots(1)$$

persamaan ini ditinjau pada suatu potongan melintang 1 dan 2 dengan  $Z_{b1}$ ,  $Z_{b2}$  adalah elevasi dasar saluran (m),  $d_1$ ,  $d_2$  adalah kedalaman saluran (m),  $V_1$ ,  $V_2$  adalah kecepatan rata-rata aliran (m<sup>2</sup>/det),  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  adalah koefisien pembobotan kecepatan dan  $h_e$  adalah kehilangan energi (m). Persamaan (1) diselesaikan dengan prosedur iteratif. Persamaan energi yang berlaku untuk aliran seragam dan secara lambat laun bervariasi kondisi arusnya. Situasi ini menandakan bahwa garis-arus sejajar, dengan distribusi tekanan pada saluran yang ditinjau adalah hidrostatis dan saluran tersebut prisma dengan kemiringan saluran yang kecil.

Kehilangan energi yang terjadi adalah sebagai berikut pada persamaan (2).

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} - \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} \right| \dots\dots\dots(2)$$

Dimana  $L$  adalah panjang saluran pada debit yang ditinjau (m),  $\bar{S}_f$  adalah gesekan kemiripan saluran,  $C$  adalah koefisien kontraksi dan ekspansi. Panjang saluran pada debit yang ditinjau dapat dihitung dengan persamaan (3).

$$L = \frac{L_{lob}\bar{Q}_{lob} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rob}\bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana  $L_{lob}, L_{ch}, L_{rob}$  adalah panjang saluran yang ditinjau untuk aliran pada overbank kiri, saluran utama, dan overbank kanan dan  $\bar{Q}_{lob}, \bar{Q}_{ch}, \bar{Q}_{rob}$  adalah debit rata-rata antara penampang melintang pada overbank kiri, saluran utama, dan overbank kanan.

Gesekan kemiripan saluran untuk jangkauan dihitung dengan menggunakan persamaan (4).

$$S_f = \left[ \frac{Q_1 + Q_2}{\frac{A_1 R_1^{\frac{2}{3}}}{n} + \frac{A_2 R_2^{\frac{2}{3}}}{n}} \right] \dots\dots\dots(4)$$

Dimana  $n$  adalah koefisien kekasaran manning (det/m<sup>1/3</sup>),  $Q_1, Q_2$  debit pada potongan melintang (m<sup>3</sup>/det).  $A_1, A_2$  adalah luas penampang basah (m<sup>2</sup>),  $R_1, R_2$ , adalah jari jari hidrolis penampang basah (m).

Arus kontraksi atau ekspansi akibat perubahan yang terjadi pada lintasan saluran adalah disebabkan oleh kehilangan energi antara dua penampang yang ditinjau. HECRAS mengasumsikan bahwa kontraksi aliran terjadi ketika *head* kecepatan meningkat ke arah hilir, dan ekspansi terjadi ketika puncak kecepatan menurun (USACE, 2010).

Untuk memverifikasi rejim aliran perlu diketahui kedalaman kritis pada penampang melintang saluran yang dihubungkan dengan kesetimbangan elevasi. Total kehilangan energi pada penampang melintang saluran disefinisikan oleh persamaan (5)

$$H = WS + \frac{aV^2}{2g} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana  $H$  adalah total *head* energi,  $WS$  adalah elevasi permukaan air dan  $(aV^2)/2g$  adalah *head* kecepatan. Elevasi permukaan air dalam kondisi kritis jika total *head* energi minimum (energi spesifik yang

terjadi minimum untuk penampang melintang yang dialiri).

Dalam aliran 1-D, *steady-state*, analisis aliran berubah lambat laun kondisi alirannya dipengaruhi oleh efek gravitasi. Pengaruh gravitasi pada kondisi aliran diwakili oleh rasio gaya inersia terhadap gaya gravitasi (Chow, 1959). Rasio gaya inersia terhadap gaya gravitasi disebut bilangan Froude ( $Fr$ ) dan disajikan dalam Persamaan (6).

$$Fr = \frac{\bar{v}}{\sqrt{gH_D}} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana  $Fr$  = bilangan Froude;  $g$  = kecepatan gravitasi (9,8 m/det<sup>2</sup>);  $H_D$  = kedalaman hidrolis (m); dan

$\bar{v}$  = rata-rata kecepatan pada penampang melintang yang ditinjau (m/det).

Kedalaman hidrolis,  $H_D$ , didefinisikan dengan persamaan (7) sebagai berikut.

$$H_D = \frac{A}{w} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana  $A$  adalah luas penampang melintang saluran (m<sup>2</sup>),  $w$  lebar atas penampang sepanjang permukaan air (m).

**METODE PENELITIAN**

**Lokasi Penelitian dan Data Geometri**

Penelitian akan dilakukan di Sub DAS Ketandan yang merupakan anak anak sungai Rembangan seperti gambar 1. DAS ini memiliki luas (±8.82 km<sup>2</sup>), tata guna lahannya berupa kebun seluas 1,448 km<sup>2</sup>, pemukiman seluas 1,076 km<sup>2</sup>, sawah irigasi seluas 2,677 km<sup>2</sup>, sawah tadah hujan seluas 1,366 km<sup>2</sup>. Kemiringan sungai rata-rata pada DAS ini adalah 0,0249. Berdasarkan data penggunaan lahan tersebut didapatkan bilangan curve number sebesar 77,199.

Pada hilir sungai ini terdapat bendung Ketandan yang digunakan untuk mengairi daerah irigasi Ketandan seluas 26 ha (Ketandan 5), selain itu terdapat pelimpah samping untuk memenuhi penyaluran air ke spool kota (Ketandan 4) sebesar 1 m<sup>3</sup>/det. Selain itu terdapat sungai kecil yang bermuara di anak sungai utama ini yaitu Ketandan 1, dan sudetan dari anak sungai Rembangan (Ketandan 3).

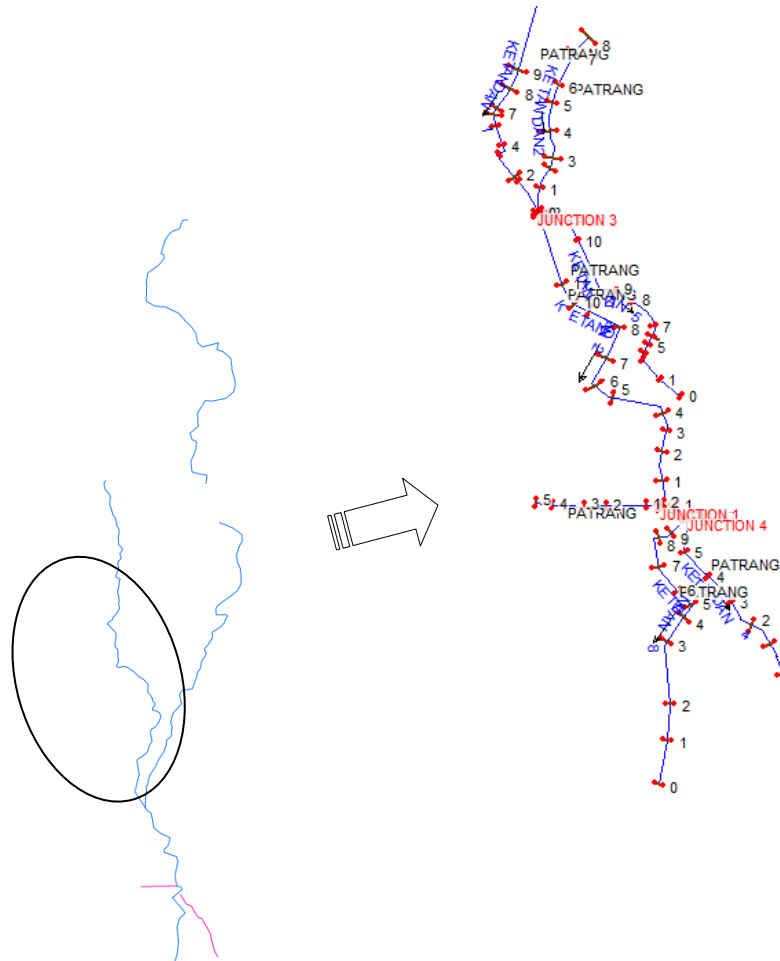
Pada sungai utama beberapa lokasi memiliki kemiringan pada penampang memanjang yang terjal terutama pada sungai Ketandan 1 dan Ketandan 8 seperti terdapat pada tabel 8. Adapun bentuk penampang

melintang sungai utamanya tidak beraturan

dikarenakan saluran alam.

DAS anak sungai Ketandan

Skema HEC-Ras bagian hilir anak sungai Ketandan



Gambar1. Lokasi Penelitian

### Pemodelan Hidrologi

Setelah identifikasi geometri saluran selesai, maka dibutuhkan data hidrologi (debit) sebagai simulasi banjir di saluran. Program HEC-RAS v.4.1 digunakan untuk pemodelan hidrologi. Pemodelan HEC-RAS membutuhkan data debit yang akan dimasukkan di hulu saluran.

Debit banjir rancangan yang digunakan untuk inputan model adalah periode ulang 2, 5, dan 100 tahunan yang diperoleh dari hasil pemodelan hujan aliran single event dengan program HEC-HMS. Data hujan yang digunakan untuk mengestimasi banjir adalah data hujan maksimum histori selama 12 tahun mulai dari tahun 2001 dan 2012 hasil pencatatan pos penakar hujan Patrang yang berjarak 50 m dari muara anak sungai. Pada

perhitungan hujan rancangan ini distribusi hujan yang digunakan adalah menggunakan distribusi normal, log-normal, gumbel dan log-pearson III. Kesesuaian distribusi diuji dengan metode *Chi-Square* dan Smirnov-Kolmogorov. Kontrol parameter model HEC-HMS ini menggunakan data debit banjir hasil pengukuran di Dam Ketandan dan data hujan pada waktu yang sama.

### Pemodelan Hidrolika

Pemodelan aliran di sungai ini menggunakan program HEC-RAS dengan untuk 1 dimensi mengasumsikan bahwa kondisi alirannya *steady*, dan berubah lambat laun sesuai persyaratan bahwa kemiringan saluran lebih kecil dari 1:10 (USACE, 2010). Selain itu sesuai dengan

persamaan (1) bahwa untuk perhitungan steady flow ini ketergantungan terhadap waktu tidak diikutkan.

Sesuai dengan tujuan paper adalah untuk mengecek rejim aliran. Dalam mengecek rejim aliran ini dapat menggunakan bilangan Froude. Aliran dikatakan kritis jika nilai bilangan froudenya lebih besar 0,94 sampai dengan 1 dan jika lebih dari 1 dikatakan superkritis. Batasan bilangan froude diambil 0,94 ini untuk mengantisipasi kondisi penampang saluran yang tidak beraturan yang menyebabkan hasil perhitungan HECRAS tidak akurat. (USACE, 2010)

**Kalibrasi Koefisien Kekasaran Manning’s (n)**

Untuk menentukan kesesuaian aliran yang mengalir di sungai Ketandan ini dikontrol dengan mengkalibrasi nilai kekasaran manning. Proses kalibrasi dilakukan dengan menyesuaikan besar debit hasil pengukuran di penampang melintang untuk masing-masing sekmen sungai terhadap debit hasil running program HEC-RAS. Data debit yang digunakan untuk kalibrasi koefisien kekasaran Manning, 'n', di anak sungai Ketandan menggunakan data debit hasil pengukuran current meter. Pengukuran dilakukan di semua section saluran yang ditinjau dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data debit hasil pengukuran current meter

No	River	RS	Debit pengukuran (m3/dt)	Kemiringan Saluran
1	Ketandan 1	10	0.12	0,012
2	Ketandan 2	8	0.39	0,007
3	Ketandan 3	5	0.00	0,002
4	Ketandan 4	6	0.19	0,009
5	Ketandan 5	12	0.07	0,001
6	Ketandan 6	2	0.25	
7	Ketandan 7	1	0.37	
8	Ketandan 8	10	0.24	0,015

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Banjir Rancangan di anak sungai Ketandan**

Hasil uji kesesuaian distribusi hujan berdasarkan metode Chi-Square didapatkan nilai Chi kritisnya sebesar 5,991. Distribusi yang diterima adalah NORMAL (dengan nilai 4,667), GUMBEL (dengan nilai 4,583), dan LOG-PEARSON III (dengan nilai 4,667) karena nilai Chi kuadratnya lebih kecil dari Chi kritis. Sedangkan berdasarkan uji Smirnov-Kolmogorov didapatkan d-kritik sebesar 0,380 untuk derajat kepercayaan 5% sehingga seluruh ditribusi dapat diterima karena nilainya semuanya lebih kecil dari d-kritis. Dari ketiga distribusi tersebut yang dipilih sebagai dasar prediksi hujan rancangan adalah metode Gumbel. Dari tabel 2.2 didapatkan hasil curah hujan dengan metode Gumbel dengan kala ulang 2 tahun adalah 80,386 mm, kala ulang 5 tahun adalah 95,345 mm, dan kala

ulang 100 tahun adalah 136,261mm. Setelah dilakukan pemodelan HEC-HMS diperoleh debit puncak untuk banjir rancangan kala ulang 2 tahun sebesar 6,5 m<sup>3</sup>/det, 5 tahun sebesar 8,5 m<sup>3</sup>/det, dan 100 tahun sebesar 15 m<sup>3</sup>/det.

**Kalibrasi Debit.**

Berdasarkan hasil pengukuran debit pada masing-masing penampang melintang sungai utama maupun percabangannya didapatkan hasil seperti pada tabel 1. Selanjutnya hasil penyesuaian antara tinggi muka air pengukuran terhadap tinggi muka air hasil running didapatkan nilai n sebesar 0,045.

Tingginya nilai manning ini disebabkan oleh adanya hambatan aliran alam. Hubungan hambatan aliran telah disajikan dalam koefisien Manning yang berasal dari faktor gesekan dari hambatan aliran di sungai yang menunjukkan sifat kompleks.

Bentuk sungai yang berkelok-kelok dan dasar saluran yang berbatu ini merupakan penyebab rendahnya kecepatan alitan dan tingginya nilai manning.

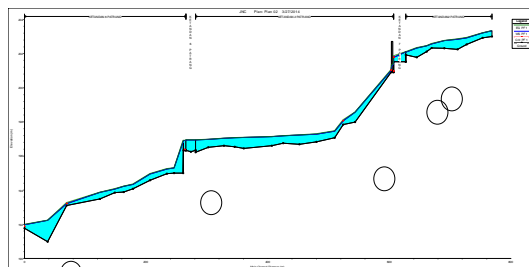
**Simulasi model**

Simulasi model ini menggunakan 4 perlakuan debit yaitu debit hasil pengukuran pada tabel 1, debit banjir rancangan periode ulang 2 tahunan, 5 tahunan dan 100 tahunan pada sungai utama. Hasil running menunjukkan bahwa untuk debit pengukuran current meter didapatkan 5 lokasi kondisi kritis (gambar 2.a) yang dilingkari yaitu pada lokasi hilir dan hulu bendung Ketandan, 2 pada lokasi yang mempunyai kemiringan sungai curam dan diatas pelimpah spool kota. Untuk debit banjir periode ulang 2 dan 5 tahunan, kondisi permukaan airnya kritis didapatkan 4 titik lokasi yang mempunyai kondisi kritis (gambar 2.b dan 2.c ) yang dilingkari yaitu pada lokasi hilir dan hulu bendung Ketandan, dan diatas pelimpah spool kota dan di sungai paling hilir. Untuk debit banjir periode ulang 100 tahunan, kondisi permukaan airnya kritis didapatkan 3 titik

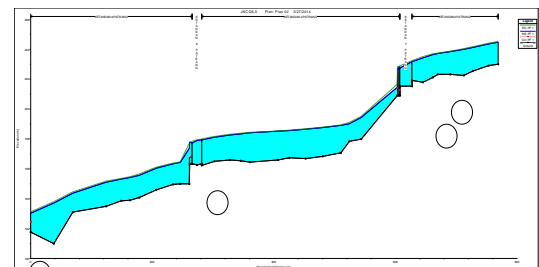
lokasi yang mempunyai kondisi kritis (gambar 1.b) yang dilingkari yaitu pada lokasi hulu bendung Ketandan, dan diatas pelimpah spool kota dan di sungai paling hilir.

Pada kondisi aliran dasar dengan debit yang kecil, aliran kritis lebih banyak yang terjadi. Sebaliknya pada kondisi debit yang besar kondisinya skimming flow, aliran kritis yang terjadi berkurang. Kondisi kritis di penampang saluran ini terjadi disebabkan oleh kemiringan saluran yang terlalu curam sehingga perbedaan tinggi muka airnya antara 2 penampang saluran yang ditinjau lebih besar dari dari 0,003 m. Selain itu lebar permukaan air yang terlalu lebar atau kemiringan sungai yang terlalu datar. Kecepatan aliran kritis ini akan menyebabkan terjadinya gerusan di dasar saluran yang secara lambat laun menyebabkan agradasi.

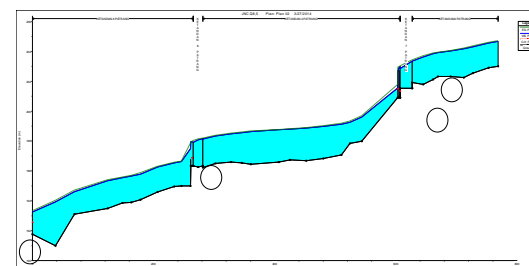
Sedangkan kondisi kritis di hulu atau di hilir bendung maupun pelimpah ini disebabkan oleh adanya energi spesifik yang lebih besar dari 1,5 kedalaman kritis, selain itu luas penampang basah yang dihasilkan terlalu besar.



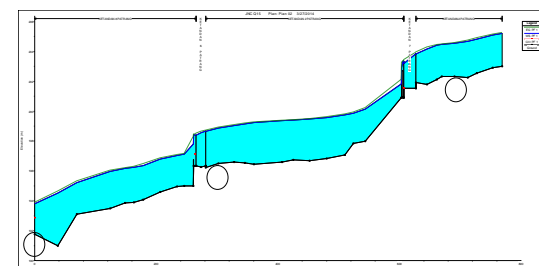
a. debit hasil pengukuran current meter tahunan



b. debit banjir rancangan periode ulang 2



c. debit banjir rancangan periode ulang 5 tahunan

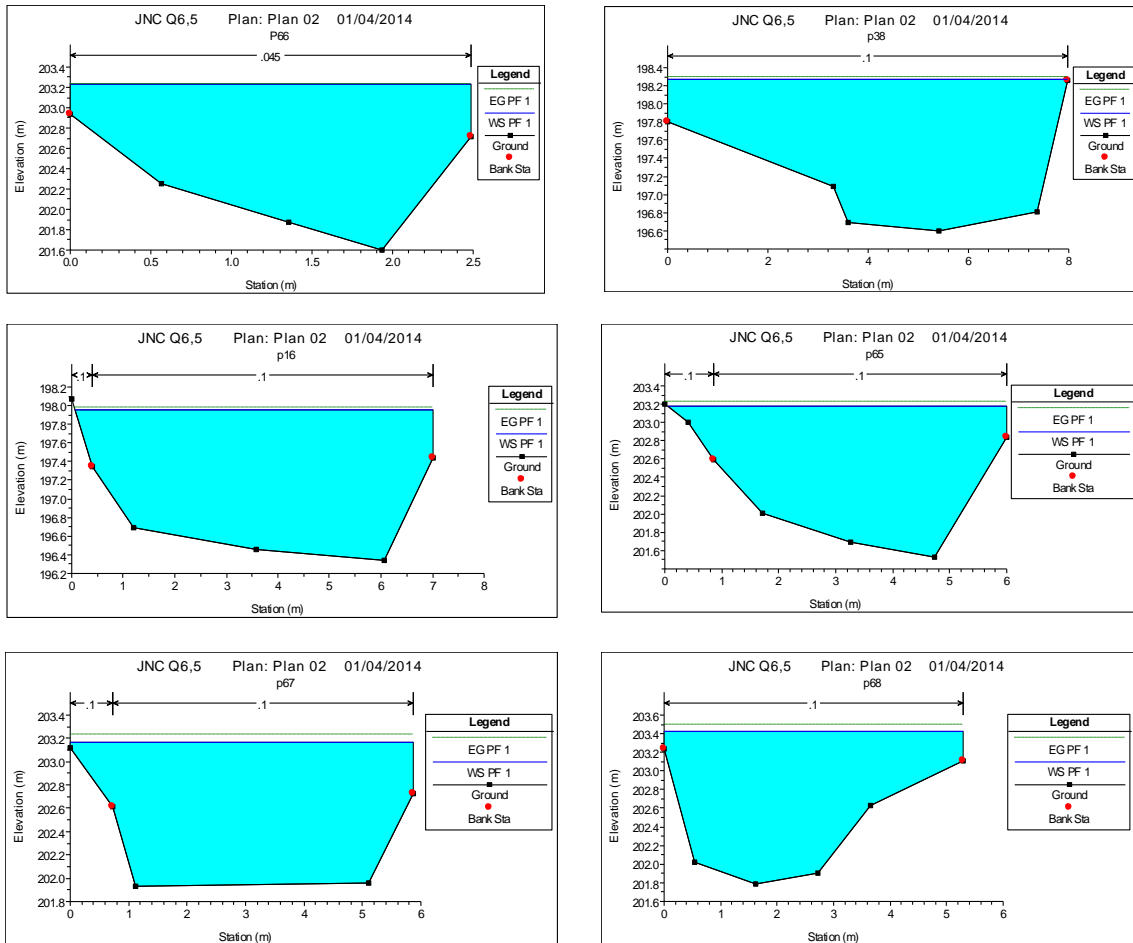


d. debit banjir rancangan periode ulang 100 tahunan

Gambar 2. Hasil running untuk berbagai perlakuan debit

Kondisi banjir terjadi di beberapa tempat untuk debit banjir 2 tahunan terjadi pada saluran Ketandan 1, 2, 6, dan 7 seperti yang terjadi pada gambar 3. Kondisi ini

disebabkan oleh adanya aliran balik dari pembendungan atau penampang memanjang saluran yang terlalu datar serta pada pertemuan saluran.



Gambar 3. Penampang melintang yang terjadi banjir pada Ketandan 1, 2, 6, dan 7

### KESIMPULAN

Berdasarkan penilaian data topografi di bagian hilir anak sungai Ketangan dan hasil simulasi banjir, dapat disimpulkan sebagai berikut. Hasil monitoring debit didapat nilai koefisien kekasaran Manning di sepanjang sungai  $n = 0,045$  yang cocok untuk simulasi banjir masa mendatang.

Selanjutnya, hasil simulasi hidrolis model didapatkan beberapa kondisi kritis di sepanjang sungai tersebut sehingga menyebabkan gerusan di beberapa tempat yaitu Ketandan 2 dan Ketandan 8 karena kemiringan saluran yang curam. Selain itu untuk debit 2 tahunan juga sudah terjadi banjir.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Chow, V.T., 1959. *Open channel Hydraulic*, McGraw-Hill Book, New York USA
- Lai S. H., Nabil B, law P L., Aminuddin,A. G., Nor A. Z., Mah Y. S., 2008, *A study of hydraulic characteristics for flow in equatorial rivers, Intl. J. River Basin Management*, Vol. 6, No. 3 (2008), pp. 213–223
- Myers, W.R.C., Lyness, J.F. and Cassells, J. (2001). "*Influence of Boundary on Velocity and Discharge in Compound Channels*," *Journal of Hydraulic Research*, 39(3), 311–319.
- U.S. Army Corps of Engineers. (2010). *HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, Version 4.1*, Hydrologic Engineering Center, Davis, California, USA.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*