

MODEL PENELUSURAN HUJAN-ALIRAN PADA SISTEM PERINGATAN DINI BANJIR

Sasmito¹, Lilik Hanifah², Ery Setiawan³, Hartana^{4*}

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

*Corresponding Author Email: sasmitosoekarno@unram.ac.id

ABSTRAK

Salah satu usaha mitigasi bencana banjir adalah evakuasi warga, yakni usaha memindahkan warga ke tempat yang lebih aman dari terjangkit gelombang banjir. Sayangnya evakuasi selalu mengalami keterlambatan karena berlangsung pada saat banjir telah mencapai tempat warga. Keadaan ini menyebabkan proses evakuasi tidak maksimal dan berpotensi menimbulkan banyak kerugian baik harta maupun jiwa. Proses evakuasi dapat dilaksanakan lebih awal apabila tersedia informasi tentang banjir yang akan terjadi. Penelitian ini bermaksud untuk membuat sistem yang dapat menyediakan informasi yang dibutuhkan dengan cara membuat Sistem Peringatan Dini Banjir (FEWS, Flood Early Warning System).

Penelitian ini merupakan lanjutan yang difokuskan untuk membuat model penelusuran hujan menjadi aliran banjir di sungai. Model ini berfungsi untuk memprediksi karakteristik banjir (lokasi, waktu, durasi, dan besar) dengan cara menelusuri mekanisme banjir mulai dari air hujan yang jatuh di permukaan bumi yang menampung hujan sampai menjadi aliran banjir di sungai. Penyusunan model menggunakan persamaan kontinuitas dan persamaan Sint Venant yang mempresentasikan mekanisme aliran air dalam saluran terbuka. Persamaan tersebut diselesaikan dengan metode numerik diferensi hingga skema implisit Preissmann. Algoritma hitungan menggunakan metode sapuan ganda (double sweep). Model yang tersusun selanjutnya diinstal dalam sistem peringatan dini banjir, yang secara otomatis dapat mensimulasi hujan-aliran sehingga menghasilkan informasi banjir yang diperlukan.

Dari hasil simulasi dengan data hipotetik, model dapat membuat simulasi hujan-aliran dan menghasilkan informasi karakteristik banjir yang diperlukan yakni lokasi yang diperkirakan terjadi banjir, waktu terjadi banjir, durasi (lama) banjir, dan besar banjir. Agar sistem ini bekerja secara real time diperlukan peralatan telemetri yang dapat menerima dan mengirimkan data dan informasi secara daring.

Keyword: Mitigasi Bencana, Evakuasi, Banjir, FEWS, Numerik

1. PENDAHULUAN

Salah satu usaha mitigasi bencana banjir adalah evakuasi korban. Evakuasi adalah usaha memindahkan korban banjir dari lokasi terdampak bencana ke tempat yang lebih aman. Agar proses evakuasi lancar mestinya evakuasi dilakukan sebelum terjadi banjir, namun sering kali evakuasi terlambat dilakukan yakni disaat banjir telah menerjang. Keterlambatan proses evakuasi menyebabkan evakuasi korban tidak maksimal dan berpotensi memperbesar kerugian.

Keterlambatan proses evakuasi dapat diatasi seandainya tersedia informasi tentang banjir terutama waktu kedatangan dan lokasinya. Berdasarkan informasi banjir tersebut maka evakuasi dapat dilakukan lebih dini sehingga kerugian dapat diminimalisir. Informasi tentang karakteristik banjir tersebut dapat diperkirakan melalui model penelusuran hujan-banjir yang menjadi satu kesatuan dengan sistem peringatan dini banjir. Oleh karena itu sangat penting dan mendesak dilakukan penelitian untuk membuat sistem peringatan dini banjir (flood early warning system, FEWS) untuk keperluan mitigasi bencana banjir. Penelitian ini difokuskan untuk menyusun perangkat lunak model penelusuran hujan-aliran yang merupakan lanjutan penelitian terdahulu [1]. Dari penelitian sebelumnya didapat komponen

perangkat keras berupa alat pencatat hujan otomatis (Automatic Rainfall Recorder, ARR) yang berfungsi dengan baik dan terpasang di halaman Fakultas Teknik Universitas Mataram. Komponen perangkat keras lain yakni alat pencatat tinggi muka air (Automatic Water Level Recorder, AWLR) juga sedang berlangsung. Kedua komponen ini merupakan komponen dasar yang diperlukan untuk menyusun sistem peringatan dini banjir.

Sistem peringatan dini banjir di Indonesia diawali dengan menggunakan elevasi muka air sebagai basis untuk deteksi banjir [3-5]. Sistem ini berhasil mendeteksi adanya banjir, namun informasi banjir yang dihasilkan dinilai lambat sehingga proses evakuasi mengalami keterlambatan. Dengan berkembangnya sistem informasi dan teknologi dikembangkan FEWS yang lebih maju di Jakarta yang dinamakan JFEWS [2]. Kelebihan dari JFEWS adalah dilengkapi dengan model penelusuran banjir SOBEK untuk menghasilkan informasi banjir. SOBEK adalah model buatan Deltares, Nederland. Model SOBEK merupakan paket program yang berlisensi sehingga harganya mahal, selain itu model ini susah untuk digabungkan dengan perangkat FEWS agar bisa berfungsi secara otomatis sehingga harus dilakukan secara manual. Penelitian yang sedang dilaksanakan berusaha mengembangkan FEWS dengan mengadopsi skema Tech4water [3] dan dilengkapi dengan model penelusuran hujan-aliran yang dikembangkan dalam penelitian ini. FEWS yang dihasilkan dari penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan FEWS yang lebih baik dan lebih murah dibanding FEWS sebelumnya, serta dapat menghasilkan informasi banjir lebih awal sehingga dapat membantu proses mitigasi bencana banjir.

2. METODE

2.1 Bahan

Dalam menyusun model penelusuran hujan-aliran diperlukan persamaan penentu (*governing equation*) yaitu:

Persamaan kontinuitas

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

Persamaan momentum

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\beta \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial z}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad \dots(2)$$

Dengan

A = tampang saluran tegak lurus aliran (m²)

g = percepatan gravitasi (m/dt²)

Q = debit aliran (m³/dt)

q = lateral inflow tiap m panjang (m²/dt)

S_f = kemiringan garis energi

x = jarak searah aliran (m)

z = elevasi muka air dari datum (m)

β = koefisien distribusi kecepatan

2.2 Solusi numerik

Solusi numerik persamaan (1) dan persamaan (2) menggunakan metode deferensi hingga (5) menghasilkan persamaan (3) dan persamaan (4).

$$A_0 \Delta z_{i+1} + B_0 \Delta Q_{i+1} = C_0 \Delta z_i + D_0 \Delta Q_i + G_0 \quad \dots (3)$$

$$A'_0 \Delta z_{i+1} + B'_0 \Delta Q_{i+1} = C'_0 \Delta z_i + D'_0 \Delta Q_i + G'_0 \quad \dots (4)$$

Dengan $A_0, B_0, C_0, D_0, G_0, A'_0, B'_0, C'_0, D'_0, G'_0$ adalah koefisien persamaan (3) dan Persamaan (4) yang didapat dari diskritisasi persamaan (1) dan persamaan (2).

Elevasi muka air dihitung dengan anggapan:

$$\Delta z_i = L_i \Delta z_{i+1} + M_i \Delta Q_{i+1} + N_i \quad \dots (5)$$

dengan,

$$L_i = \frac{A_0 D'_0 - A'_0 D_0}{C_0 D'_0 - C'_0 D_0} \quad \dots (6)$$

$$M_i = \frac{B_0 D'_0 - B'_0 D_0}{C_0 D'_0 - C'_0 D_0} \quad \dots (7)$$

$$N_i = \frac{D_0 G'_0 - D'_0 G_0}{C_0 D'_0 - C'_0 D_0} \quad \dots (8)$$

$$\text{Sehingga: } z_i^{n+1} = z_i^n + \Delta z_i \quad \dots (9)$$

Sedangkan debit pada setiap titik hitungan dicari dengan anggapan:

$$\Delta Q_{i+1} = E \Delta z_{i+1} + F_{i+1} \quad \dots (10)$$

Dengan,

$$E_{i+1} = \frac{L_i (C_0 + D_0 E_i) - A_0}{(B_0 - (C_0 + D_0 E_i) M_i)} \quad \dots (11)$$

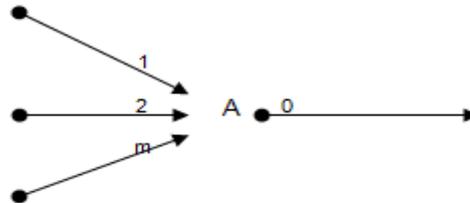
$$F_{i+1} = \frac{(C_0 + D_0 E_i) N_i + D_0 F_i + G_0}{(B_0 - (C_0 + D_0 E_i) M_i)} \quad \dots (12)$$

$$\text{Sehingga: } Q_{i+1}^{n+1} = Q_{i+1}^n + \Delta Q_{i+1} \quad \dots (13)$$

2.3 Solusi numerik pada pertemuan

Pada pertemuan sungai dipakai anggapan:

$$Q_0 + \Delta Q_0 = \sum_{i=1}^m (Q_i + \Delta Q_i) \quad \dots (14)$$



Gambar 1. Skema pertemuan sungai

Sehingga:

$$E_0 = \sum_{i=1}^m E_i \quad \dots (15)$$

$$F_0 = \sum_{i=1}^m (F_i + Q_i) - Q_0 \quad \dots (16)$$

2.4 Proses iterasi

Proses iterasi menggunakan cara sapuan ganda,

- Sapuan pertama dari hulu ke hilir, menghitung semua koefisien
- Sapuan kedua (balik), dari hilir ke hulu menghitung parameter aliran, debit (Q) dan elevasi muka air (z)

2.5 Model UFBR

Model penelusuran hujan-aliran yang didapat berupa perangkat lunak yang diberi nama UFBR (Unsteady Flow on Branch River). Jika seluruh perangkat dalam FEWS sudah terpasang, maka model ini akan diinstal kedalam sistem perangkat lunak FEWS. Model otomatis akan bekerja berdasarkan masukan data hujan dari perangkat AR yang mendeteksi adanya hujan. Selanjutnya UFBR akan membuat simulasi hujan-aliran untuk menghasilkan informasi aliran yang terjadi di lokasi-lokasi yang dikehendaki.

2.6 Validasi model

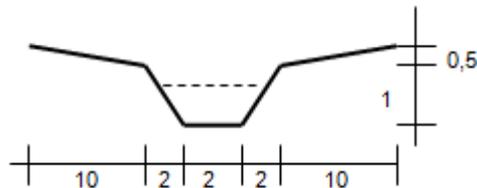
Sebelum model diaplikasikan dalam sistem, maka dilakukan validasi model. Validasi model dilakukan dengan membuat simulasi hujan-aliran pada suatu jaringan sungai hipotetik (Gambar 2.a dan Gambar 2.b) dengan menggunakan model UFBR, model ISIS, dan Mike11 [6]. Pada DAS sungai tersebut terjadi hujan yang menimbulkan hidrograf aliran pada tiga sub DAS 4, 5, 6 (Gambar 3). Dalam simulasi ini dipakai batas hilir berupa liku kalibrasi di node 1. Kemudian diamati hidrograf banjir yang terjadi pada titik C sejauh 9 km dari node 6. Selanjutnya diadakan komparasi parameter hidrograf yang diperoleh dari tiga simulasi tersebut.

Parameter yang dibandingkan adalah karakteristik hidrograf yang dihasilkan, berupa waktu puncak (t_p), debit puncak (Q_p) serta tinggi muka air puncak (Z_p).

Data yang dipakai untuk validasi model adalah sebagai berikut:

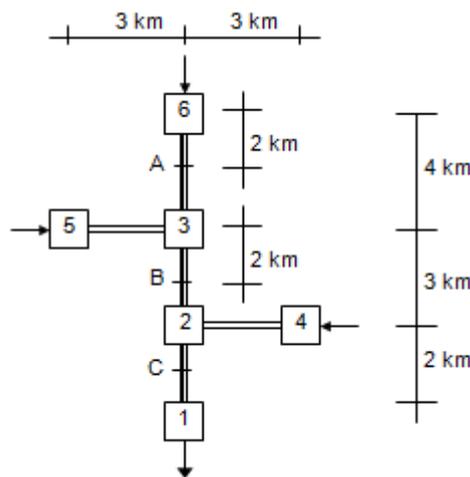
a. Data tampang sungai

Agar mudah dalam membuat simulasi tampang sungai dibuat seragam dengan ukuran seperti Gambar 2.a.



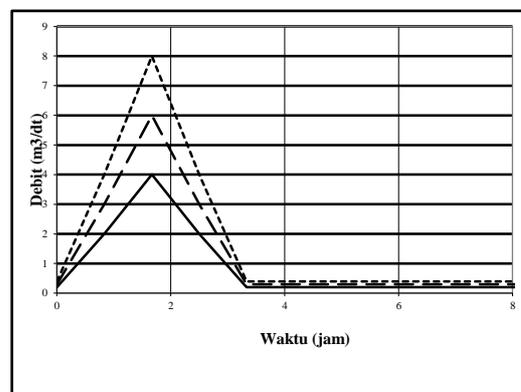
Gambar 2.a Penampang sungai

b. Data jaringan sungai



Gambar 2.a Denah jaringan sungai

c. Hidrograf banjir di sub-DAS 6, sub-DAS 5, dan Sub-DAS 4

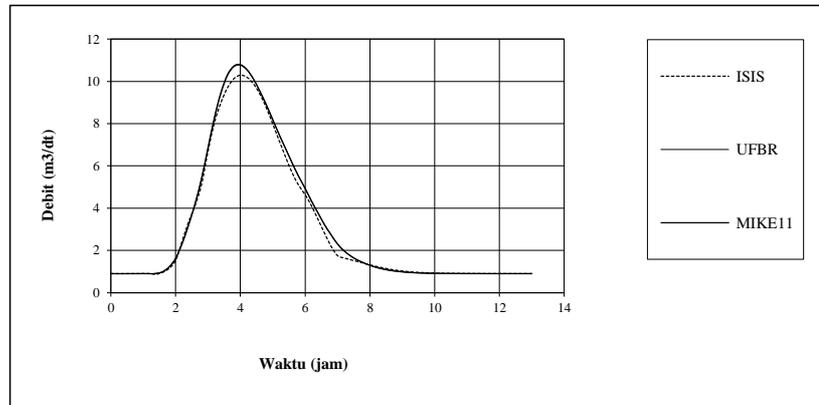


Gambar 3. Hidrograf masukan dari Sub-DAS 6, Sub-DAS 5, dan Sub-DAS 4

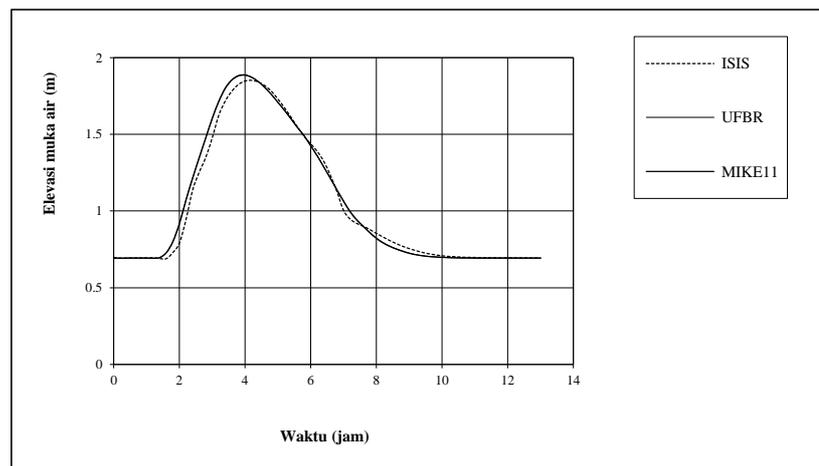
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Hasil simulasi disajikan dalam Gambar (3.a, dan 3.b) dan Tabel (1) berikut.



Gambar 3.a Hidrograf debit pada titik C (9 km dari node 6)



Gambar 3.b Hidrograf tinggi muka air pada titik C (9 km dari node 6)

Tabel 1. Perbandingan nilai t_p , Q_p antara UFBR vs ISIS, dan UFBR vs Mike11

Nama Model	t_p	Q_p	Δt_p UFBR vs ISIS (%)	ΔQ_p UFBR vs ISIS (%)
ISIS	4	10,75	-3,5	1,02
UFBR	3,86	10,86		
Mike11	4	9,62	-3,5	12,88
<i>Rerata</i>			-3,5	6,95

3.2 Pembahasan

Berdasarkan gambar 3.a diketahui bahwa terdapat perbedaan pada karakteristik hidrograf yang didapat dari setiap model. Jika perbedaan tersebut diperbandingkan terhadap model UFBR seperti tercantum pada Tabel 1, maka didapatkan:

- a. Diketahui ada perbedaan tentang karakteristik hidrograf hasil simulasi antara model yang diteliti (UFBR) dengan model pembanding (ISIS dan Mike11)
- b. Perbedaan tersebut meliputi debit puncak (Q_p) maupun waktu puncak (t_p), namun perbedaan tersebut cukup kecil. UFBR menghasilkan debit puncak lebih besar dari pada kedua model ISIS dan Mike11. Dengan rerata perbedaan cukup kecil yakni 6,95 %.
- c. Waktu puncak bervariasi, tetapi dapat disimpulkan waktu puncak UFBR lebih cepat tercapai dibanding ISIS dan Mike11, dengan rerata perbedaan 3,5 %.

Gambar 3.b dihasilkan dari simulasi penelusuran banjir pada sub DAS node 6, sub DAS node 5, dan sub DAS node 4. Gambar 3.b merupakan gambaran ketinggian muka banjir pada titik C yang berjarak 9 km dari node 6 yang merupakan titik outlet sub DAS node 6. Berdasarkan gambar 3.b dapat diketahui:

- a. Ketinggian muka banjir dan besarnya debit banjir dari waktu ke waktu pada titik C.
- b. Dari model UFBR diketahui waktu puncak banjir (t_p) sebesar 3,86 jam dan debit puncak banjir (Q_p) sebesar $10,86 \text{ m}^3/\text{s}$.
- c. Waktu yang tersedia untuk evakuasi (lead time) adalah waktu mulai hujan pada waktu $t = 0$ sampai dengan muka banjir mendekati mercu tanggul (+1,5 m). Atau tersedia waktu evakuasi selama 2,5 jam, sehingga dapat diantisipasi kapan mulai evakuasi dan kapan evakuasi harus dihentikan.

4. KESIMPULAN

Dari uraian tersebut dapat disimpulkan hasil penelitian sebagai berikut.

1. Model penelusuran menunjukkan hasil yang hampir sama dengan yang dihasilkan oleh model-model yang sudah berlaku.
2. Model dapat memprediksi karakteristik hidrograf banjir yang akan terjadi, sehingga dapat dipakai untuk model penelusuran hujan-aliran pada sistem peringatan dini banjir.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Universitas Mataram yang telah menyediakan dana PNBPN untuk menyelesaikan penelitian ini

6. DAFTAR REFERENSI

- 1) Sasmito, Setiawan E., Prajoko, E., Hartana, 2019, Flood Early Warning System: Development and Instalation Automatic Rainfall Recorder, "Proceeding International Conference on Science and Technology (ICST)", e-ISSN 2722-7375, Mataram
- 2) Ginting, S., Putuhena, W.M., 2014, Sistem Peringatan Dini Banjir Jakarta Jakarta-Flood Early Warning Sistem (J-FEWS), Jurnal Sumber Daya Air, Vol 10, No. 1, Mei 2014, pp 71-84
- 3) [Http: WWW.tech4water.com](http://WWW.tech4water.com) (diakses tanggal 5 Februari 2019)
- 4) Yunianto, M., Purnomo, F.A., et.all, 2016, "Smart EWS: Sebelas Maret Early Warning System Aplikasi Deteksi Dini Bencana Banjir Sungai Bengawan Solo Berbasis Android, Prosiding Seminar Nasional Geografi UMS".
- 5) Windarta, J., 2009, Pengembangan Sistem Peringatan Dini Banjir Kali Garang Semarang dengan Teknologi Informasi berbasis SMS dan Web, Disertasi Sekolah Pascasarjana, IPB
- 6) DHI, 2017, Mike11 Flow Model