

KAJIAN ALIRAN INLET SUDETAN SUNGAI CILIWUNG KE KANAL BANJIR TIMUR UNTUK PENGENDALIAN BANJIR JAKARTA

Rica Yunita¹, Moh. Sholichin², Tri Budi Prayogo²

¹Staf Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung-Cisadane, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang

²Dosen Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang
e-mail : ric4yunita@gmail.com

ABSTRAK: Sudetan Sungai Ciliwung ke Kanal Banjir Timur (KBT) merupakan salah satu cara untuk mengurangi banjir pada Sungai Ciliwung. Bangunan ini diharapkan mampu mengalihkan debit banjir sungai Sungai Ciliwung ke KBT sebesar $60 \text{ m}^3/\text{detik}$. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi hasil model fisik dengan melakukan perbandingan aliran pada model fisik terhadap perhitungan secara teoritis dan analisa satu dimensi menggunakan HEC-RAS. Perhitungan teoritis dilakukan dengan metode De Marchi, side weir, percabangan anak sungai dan aliran melalui pulau. Perhitungan melalui 4 metode dan hasil simulasi HEC-RAS didapatkan beberapa perbedaan terhadap debit, kecepatan dan tinggi muka air pada inlet *floodway* (sudetan) Sungai Ciliwung ke KBT namun tidak terlalu signifikan. Baik hasil uji model fisik maupun perhitungan teoritis dan simulasi HEC-RAS debit $60 \text{ m}^3/\text{detik}$ dapat terjadi apabila elevasi muka air di Sungai Ciliwung diatas +12,342 m.

Kata kunci: kapasitas debit, inlet sudetan, banjir, HEC-RAS

ABSTRACT: Ciliwung-East Flood Canal Shortcut is an effort to reduce the flood risk and impact to the Ciliwung River. This project is expected would be able to divert flood discharge from the Ciliwung River to the East Flood Canal by $60 \text{ m}^3/\text{sec}$. This Research has a purpose of evaluating the result of a physical model by doing some flow comparison to the calculation theoretically and one dimension analysis. The theoretical calculation was done by using De Marchi method, side weir, river confluence and flow through an island while the one dimension analysis using HEC-RAS. Calculation by four method and HEC-RAS simulation obtained some differences to discharge, flow rate and water level at the floodway inlet but not too significant. Based on the result of physical model test nor theoretical calculation and HEC-RAS simulation the $60 \text{ m}^3/\text{sec}$ discharge is able to reach within the condition of the Ciliwung River water level above +12,342 m.

Keywords : discharge capacity, inlet floodway, flood, HEC-RAS

Provinsi DKI Jakarta memiliki permasalahan kebencanaan yang komplek. Dengan luas $661,52 \text{ km}^2$, 40% atau 24.000 hektar merupakan dataran rendah dengan ketinggian rata-rata di bawah permukaan air laut. DKI Jakarta juga merupakan pertemuan sungai dari bagian Selatan dengan kemiringan dan curah hujan tinggi. Terdapat 13 sungai yang melewati dan bermuara ke Teluk Jakarta (BPBD DKI Jakarta, 2013). Secara alamiah,

kondisi ini memposisikan wilayah DKI Jakarta memiliki kerawanan yang tinggi terhadap banjir ditambah lagi dengan adanya faktor eksternal akibat ulah manusia.

Titik banjir yang sering menjadi masalah di Jakarta adalah Sungai Ciliwung terutama ruas Cawang – Pintu Air Manggarai. Untuk mengatasi banjir di Sungai Ciliwung berbagai cara ditempuh, salah satunya adalah dengan mengoptimalkan kapasitas Kanal Banjir Timur

(KBT) sehingga kemudian direncanakan pembangunan Sudetan Sungai Ciliwung ke Kanal Banjir Timur melalui Sungai Cipinang. Pembangunan ini dimaksudkan untuk mengalihkan sebagian debit banjir Sungai Ciliwung ke KBT sebesar $60 \text{ m}^3/\text{detik}$.

Pada tahun 2008 telah dilakukan perencanaan dan pemodelan fisik terkait pembangunan Sudetan ini oleh Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung-Cisadane, namun pada tahun 2014 terjadi review desain normalisasi Sungai Ciliwung dimana elevasi Sungai Ciliwung diturunkan lagi sekitar $\pm 83 \text{ cm}$ dari elevasi awal rencana normalisasi yang mengakibatkan sistem sudetan mengalami perubahan. Kemudian dilakukan kembali pemodelan fisik hidrolika pada tahun 2015.

Pemodelan fisik ini diperlukan untuk membuktikan apakah debit pengalihan yang ditentukan dalam kriteria desain yaitu $60 \text{ m}^3/\text{detik}$ dapat tercapai. Berdasarkan permasalahan di atas dan dikarenakan belum selesai terbangunnya prototip, untuk menguji keakuratan dan memvalidasi hasil model fisik maka akan dilakukan perbandingan hasil uji model fisik dengan hitungan teoritis dengan metode De Marchi, side weir, percabangan anak sungai dan aliran melalui pulau serta analisa satu dimensi dengan simulasi menggunakan HEC-RAS.

Tujuan dari studi ini adalah untuk mendapatkan perbandingan aliran yang terjadi di inlet sudetan Sungai Ciliwung ke Kanal Banjir Timur antara hasil uji model fisik dengan hasil perhitungan analitis dan simulasi HEC-RAS pada saat debit banjir Sungai Ciliwung 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun. Juga untuk mengetahui bagaimana kesesuaian antara hasil uji model fisik dengan perhitungan analitis dan hasil simulasi HEC-RAS.

METODOLOGI

Lokasi Studi

Lokasi Penelitian ini berada di Wilayah administrasi Jakarta Timur, Kecamatan Jatinegara meliputi Kelurahan Bidara Cina, Cipinang Cempedak, Cipinang Besar Selatan dan Cawang. Secara geografis berada dikisaran $106^\circ 49' 35''$ Bujur Timur dan $06^\circ 10' 37''$ Lintang Selatan.

Lokasi trase sudetan berada di wilayah Jakarta Timur. Daerah ini relatif berpenduduk padat pemukiman dan kawasan perumahan dengan jalur lalu lintas yang cukup padat. Selain berada

pada posisi jalur padat pemukiman, dan merupakan central bisnis.

Pengumpulan Data

Data yang digunakan adalah data sekunder, antara lain:

1. Potongan melintang dan memanjang Sungai Ciliwung yang telah dinormalisasi dan inlet sudetan Sungai Ciliwung ke KBT.
2. Debit banjir rancangan Sungai Ciliwung kala ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun berdasarkan Review Desain Normalisasi Kali Ciliwung tahun 2014.
3. Data hasil model tes hidrolika Sudetan Sungai Ciliwung Ke Kanal Banjir Timur.
4. Data pendukung lain yang relevan.



Gambar 1. Peta Lokasi Studi

Sumber : BBWS Ciliwung-Cisadane (2015)

Pengolahan Data

Adapun langkah-langkah pengerjaan studi, sebagai berikut:

1. Menganalisa hasil uji model fisik pada inlet Sudetan Sungai Ciliwung ke KBT.
2. Menghitung dan menganalisa kapasitas debit pada inlet sudetan (*floodway*) dengan metode De Marchi, metode side weir, percabangan anak sungai dan aliran melalui pulau.

Metode De Marchi

De Marchi memberikan konsep mengenai pelimpah samping dengan menganggap energy disepanjang side weir adalah konstan ($S_o = S_f$) seperti terlihat pada gambar 2, sehingga debit q diatas pelimpah per satuan panjang dengan tinggi w adalah:

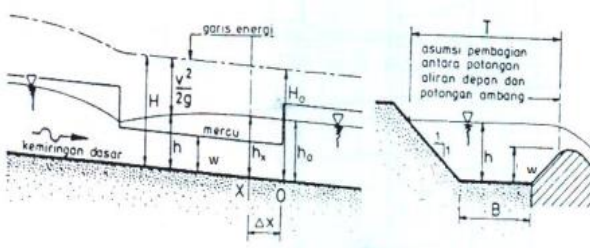
$$dQ_w = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} (h - w)^{3/2} \Delta x \quad (1)$$

C_d = koefisien debit
 h = tinggi air (m)

w = tinggi puncak pelimpah (m)
 g = percepatan gravitasi (m/det^2)

Tabel 1. Persamaan Koefisien Debit (C_d) untuk persamaan De Marchi

Sumber	Persamaan Koefisien Debit (C_d)
Nandesamoorthy (1972)	$C_d = 0,432 \left(\frac{2 - F_r^2}{1 + 2F_r^2} \right)^{0,5}$
Subramanya dkk (1972)	$C_d = 0,611 (1 - 3F_r^2)^{0,5}$
Yu-Tech (1972)	$C_d = 0,623 - 0,222F_r$
Hager (1987)	$C_d = 0,485 \left(\frac{2 + F_r^2}{2 + 3F_r^2} \right)^{0,5}$
Singh dkk (1994)	$C_d = 0,33 - 0,18F_r + 0,49 \left(\frac{w}{h_0} \right)$
Jalili dkk (1996)	$C_d = 0,71 - 0,41F_r + 0,22 \left(\frac{w}{h_0} \right)$
Borghei dkk (1999)	$C_d = 0,7 - 0,48F_r - 0,3 \left(\frac{w}{h_0} \right) + 0,06 \frac{L}{b}$
Emiroglu dkk (2014)	$C_d = \left[0,836 + \left(-0,035 + 0,39 \left(\frac{w}{h_0} \right)^{12,69} + 0,158 \left(\frac{L}{b} \right)^{0,59} + 0,049 \left(\frac{L}{h_0} \right)^{0,42} + 0,244 F_r^{2,125} \right)^{3,018} \right]^{5,36}$



Gambar 2. Sketsa Saluran dengan Pelimpah Samping
 Sumber: KP 04 (1986)

Untuk menentukan nilai koefisien debit (C_d) telah banyak dilakukan penelitian dan percobaan pada studi-studi sebelumnya. Nandesamoorthy dkk, Subramanya dkk, Yu-tech, Ranga Raju dkk, Hager, Cheong, Singh dkk, Jalili dkk, and Borghei dkk, Swamee dkk, Ghodsian, Bagheri dkk, memberikan persamaan koefisien debit (C_d) yang berbeda-beda (tabel 1). Koefisien debit ini tergantung pada parameter dimensi-sional (Fr , L/b , L/h_0 , h_0/w). Pada studi ini akan dilakukan perhitungan nilai C_d dengan menggunakan persamaan pada tabel 1.

Metode Side Weir

Raju (1989) melakukan percobaan pelimpah samping dengan sudut 90° terhadap saluran utama untuk aliran subkritis. Mencari nilai Q_2 dan Q_w yang tepat sehingga mendapatkan lebar pelimpah samping yang sesuai dengan hasil percobaan. Melalui rumus sebagai dibawah ini:

$$E = h + \frac{Q^2}{2gB^2h^2} \quad (2)$$

$$\phi_2 = \frac{2E-3W}{E-W} \sqrt{\frac{E-h}{h-W}} - 3\sin^{-1} \sqrt{\frac{E-h}{h-W}} \quad (3)$$

$$E_1/h_c = \frac{E_1}{3 \sqrt{\left(\frac{Q_1}{B_1} \right)^2 \frac{1}{g}}} \quad (4)$$

Dengan mempertimbangkan pengaruh panjang puncak pelimpah Raju menguraikan koefisien debit C_d .

$$C_d = (0,81 - 0,60F_1)K \quad (5)$$

Dimana K merupakan parameter yang mempertimbangkan pengaruh panjang puncak dengan nilai K sebagai berikut:

$$\text{untuk } (h_1 - W)/L \geq 2,0 \\ K = 1,0 \quad (6)$$

$$\text{untuk } (h_1 - W)/L < 2,0 \\ K = 0,80 + 0,10 (h_1 - W)/L \quad (7)$$

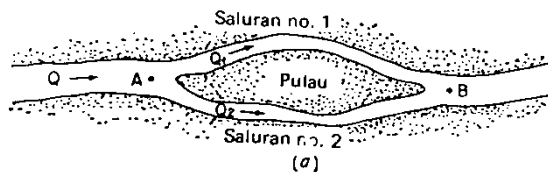
Metode Percabangan Anak Sungai

Metode percabangan anak sungai menggunakan metode tahapan standar. Metode tahapan standar ini sangat baik bila digunakan pada saluran alam. Pada tahapan standar, bila tidak mengetahui ketinggian air maka dapat menggunakan ketinggian air pada jarak yang cukup jauh, diatas atau di bawah penampang awal (Chow, 1997).

$$K = \frac{1,49 \times A \times R^{2/3}}{n} \quad (8)$$

Metode Aliran Melalui Pulau

Aliran yang melalui pulau haruslah dalam keadaan sub kritis dengan menentukan ketinggian muka air di Q_1 dan Q_2 , melalui lengkung debit maka dapat digambarkan perbandingan antara tinggi muka air keduanya.



Gambar 3. Sketsa Aliran Melalui Suatu Pulau

Sumber: Chow,1997

Perhitungan air melalui pulau dalam studi ini dikonsentrasikan pada Q_{hulu} . Sehingga nilai $Q_{\text{hulu}} = Q_1 + Q_2$ dengan rumus debit sebagai berikut (Chow, 1997):

$$Q = K\sqrt{S} \quad (9)$$

dengan:

$Q = \text{debit (m}^3/\text{det)}$

K = faktor bilangan murni bentuk saluran

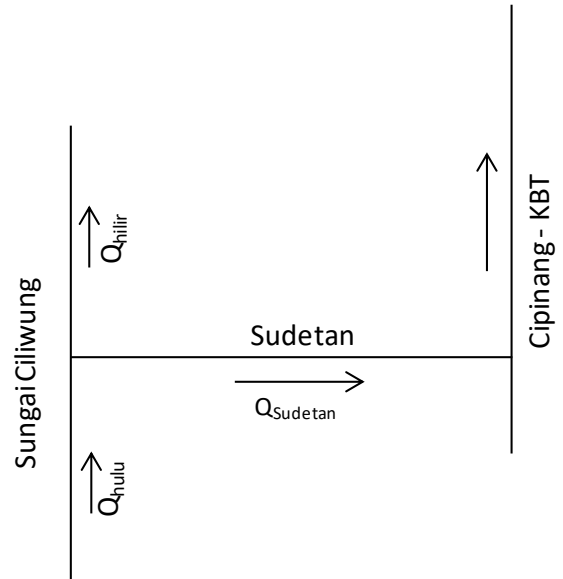
S = kemiringan dasar saluran

3. Melakukan simulasi dan analisa hidrolika pada inlet sudetan dengan menggunakan bantuan software HEC-RAS (*Hydrologic Engineers Center's River Analysis Sistem*). Dari simulasi ini akan diketahui debit yang masuk ke inlet, kecepatan yang terjadi serta elevasi muka air.
4. Melakukan uji kesesuaian antara model fisik dengan perhitungan analitis dan simulasi HEC-RAS dengan menggunakan uji statistik yaitu analisis regresi, *Mean Absolut Error* (MEA), *coefficient Performance* (Cp), dan *Root Mean Square Error* (RMSE).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Model Fisik

Pemodelan fisik Sudetan Sungai Ciliwung Ke Kanal Banjir Timur ini dilakukan oleh Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung-Cisadane. Dari hasil uji model fisik dilakukan sebanyak 4 seri dari seri-0 sampai seri-3. Seri-3 merupakan penyempurnaan dari seri-0 sampai seri-2 dengan hasil sebagai berikut:



Gambar 4. Sketsa Sungai Ciliwung Ke KBT

Tabel 2. Hasil Uji Model Fisik Seri-3

Tr	Debit Ciliwung hulu	Debit di Inlet Sudetan	Elevasi inlet Sudetan
Tahun	(m ³ /det)	(m ³ /det)	(+ m)
2	301	29	10,40
5	400	51	11,49
10	452	59	11,68
25	509	74	12,17
50	547	79	12,47
100	572	81	12,70

Sumber: BBWS Ciliwung-Cisadane, 2015.

Analisa Kapasitas Debit Inlet secara Analitis

Metode De Marchi

Salah satu metode untuk mengetahui debit aliran pada *side weir* secara analitis adalah dengan menggunakan persamaan De Marchi. De Marchi mengasumsikan bahwa energi spesifik yang terjadi di sepanjang pelimpah samping adalah konstan. Metode ini dapat dipakai apabila aliran yang terjadi adalah subkritis.

Persamaan De Marchi sensitif terhadap parameter koefisien debit. Dari perhitungan

dengan menggunakan beberapa persamaan pada tabel 1 didapatkan koefisien debit (C_d) yang bervariasi (tabel 3).

Dari tabel 4 diketahui perhitungan dengan menggunakan persamaan koefisien debit (C_d)

Emiroglu dkk memiliki nilai debit yang paling mendekati hasil model fisik. Didapatkan kesalahan relatif terhadap model fisik yaitu 0,728% sampai 6,171%.

Tabel 3. Nilai Koefisien Debit (C_d)

Persamaan C_d	Nilai Koefisien Debit (C_d)					
	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{25}	Q_{50}	Q_{100}
Nandesamoorthy (1972)	0,555	0,553	0,552	0,551	0,549	0,550
Subramanya dkk (1972)	0,574	0,573	0,574	0,571	0,570	0,570
Yu-Tech (1972)	0,559	0,557	0,557	0,556	0,556	0,555
Hager (1987)	0,467	0,466	0,466	0,466	0,465	0,466
Singh dkk (1994)	0,611	0,566	0,549	0,532	0,521	0,516
Jalili dkk (1996)	0,446	0,463	0,469	0,474	0,477	0,483
Borghei dkk (1999)	0,369	0,391	0,400	0,408	0,412	0,420
Emiroglu dkk (2014)	0,412	0,411	0,397	0,397	0,396	0,396

Tabel 4. Hasil Perhitungan Debit di Inlet Sudetan dengan Beberapa Persamaan C_d

Persamaan C_d	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{25}	Q_{50}	Q_{100}
	m^3/det	m^3/det	m^3/det	m^3/det	m^3/det	m^3/det
Nandesamoorthy (1972)	34	59	72	87	98	105
Subramanya dkk (1972)	34	60	74	90	101	108
Yu-Tech (1972)	34	59	73	88	99	106
Hager (1987)	29	52	64	78	87	94
Singh dkk (1994)	36	60	72	85	95	101
Jalili dkk (1996)	28	52	64	78	90	96
Borghei dkk (1999)	25	45	57	71	80	87
Emiroglu dkk (2014)	27	48	57	69	80	83

Metode Side Weir

Perhitungan perencanaan dimensi *side weir* dengan lebar inlet *floodway* (sudetan) 16 meter dan lebar bersih 12 meter, untuk mencari nilai Q_2 dan Q_w yang tepat sehingga lebar *floodway* (sudetan) sesuai dengan percobaan.

Tabel 5. Tabel Perhitungan Debit di inlet dengan metode Side weir

Tr	Debit Ciliwung Hulu	Debit Ciliwung Hilir	Debit Inlet Sudetan
	m^3/det	m^3/det	m^3/det
2	301	273	28
5	400	350	50
10	452	388	64
25	509	440	69
50	547	470	77
100	572	490	82

Dengan menggunakan persamaan (2) sampai dengan persamaan (7) diatas dan dengan mengasumsikan harga W dan L dan $E1 = E2 = E3$, didapatkan Q_w untuk kala ulang 2,

5, 10, 25, 50 dan 100 tahun adalah seperti pada tabel 4. Kesalahan relatif yang terjadi untuk debit *floodway* (sudetan) hasil perhitungan terhadap model fisik adalah berkisar antara 1,235% sampai 8,475%.

Metode Percabangan Anak Sungai

Floodway (sudetan) dianggap sebagai anak sungai, sehingga diibaratkan adanya percabangan antara induk sungai Ciliwung dan anak sungai yaitu *floodway* (sudetan). Aliran yang terjadi dalam percabangan anak sungai ini harus bersifat subkritis. Jumlah debit pada percabangan anak sungai dan hulu sungai sama dengan debit sama dengan debit pada hilir sungai. Untuk menentukan ketinggian muka air pada Sungai Ciliwung dan *floodway* (sudetan) didapatkan dari lengkung debit. Percabangan anak sungai dengan sungai utama akan menghasilkan ketinggian muka air yang sama atau mendekati pada percabangan kedua sungai tersebut. Berdasarkan perhitungan

tersebut didapatkan nilai Q dan ketinggian muka air dipercabangan sungai. Metode percabangan anak sungai menggunakan metode tahapan standar. Dengan perhitungan melalui metode percabangan anak sungai ini

Tabel 6. Debit dan Elevasi Sungai Ciliwung dan Inlet Sudetan dengan Metode Percabangan Anak Sungai

Tr	Debit Ciliwung Hulu	Debit Ciliwung Hilir	Debit Inlet Sudetan
	m ³ /det	m ³ /det	m ³ /det
2	301	274	27
5	400	352	48
10	452	393	59
25	509	439	70
50	547	469	78
100	572	488	84

Dari metode percabangan anak sungai didapatkan elevasi muka air Ciliwung Hulu, inlet *floodway* (sudetan) dan Ciliwung Hilir. Pada saat Q₂ elevasi Sungai Ciliwung Hulu +10,96; elevasi Sungai Ciliwung Hilir +10,63 dan elevasi inlet *floodway* (sudetan) +10,67. Pada saat Q₅ elevasi Ciliwung Hulu +11,78; elevasi Ciliwung Hilir +11,33 dan elevasi inlet *floodway* (sudetan) +10,32. Pada saat Q₁₀ elevasi Sungai Ciliwung Hulu +12,21; elevasi Sungai Ciliwung Hilir +11,66 dan elevasi inlet *floodway* (sudetan) +10,62. Pada saat Q₂₅ elevasi Ciliwung Hulu +12,69; elevasi Ciliwung Hilir +12,03 dan elevasi inlet *floodway* (sudetan) +12,01. Pada saat Q₅₀ elevasi Ciliwung Hulu +13,02; elevasi Ciliwung Hilir +12,29 dan elevasi inlet *floodway* (sudetan) +12,26. Pada saat Q₁₀₀ elevasi Ciliwung Hulu +13,22; elevasi Ciliwung Hilir +12,45 dan elevasi inlet *floodway* (sudetan) +12,41.

Metode Aliran Melalui Pulau

Perhitungan aliran melalui pulau adalah dengan mencari perpotongan nilai ketinggian muka air pada suatu titik saat percabangan akibat melalui pulau.

Kasus ini terjadi pada Sungai Ciliwung hulu terhadap percabangan aliran Sungai Ciliwung hilir dan *floodway* (sudetan).

$$Q_{\text{hulu}} = Q_{\text{hilir}} + Q_{\text{sudetan}}$$

Metode aliran melalui pulau hampir sama dengan metode percabangan anak sungai, metode ini juga menggunakan metode tahapan standar (*standar step method*). Mula-mula dimisalkan debit Q₁ dan Q₂ untuk aliran yang

didapatkan kesalahan relatif debit inlet hasil perhitungan terhadap model fisik berkisar antara 1,242% sampai 6,819%.

Melalui perhitungan didapatkan hasil sebagai berikut:

terbagi tersebut sedemikian rupa sehingga jumlah debit ini sama dengan Q. Lalu menghitung profil-profil aliran dikedua saluran melalui setiap sisi ke titik A dimana aliran terpecah dua (gambar 3).

Tabel 7. Debit dan Elevasi Sungai Ciliwung dan Inlet *Floodway* (Sudetan) dengan Metode Aliran Melalui Pulau

Tr	Debit Ciliwung Hilir	Debit Ciliwung Hulu	Debit Inlet Sudetan
	m ³ /det	m ³ /det	m ³ /det
2	302,092	275,075	27,017
5	401,213	353,071	48,142
10	452,277	393,043	59,234
25	509,763	439,406	70,356
50	548,463	470,156	78,307
100	573,433	488,894	84,539

Berdasarkan perhitungan *standart step method* pada percabangan yang telah dilakukan maka dapat diketahui Q_{hulu}. Hasil perhitungan disajikan dalam tabel 6. Dengan metode ini didapatkan kesalahan relatif debit di hulu Sungai Ciliwung (Q_{hulu}) hasil perhitungan terhadap Q_{hulu} model fisik berkisar antara 0,061% sampai 0,363%.

Simulasi HEC-RAS

Hasil Running HEC-RAS Debit Banjir

Rancangan Kala Ulang 2 tahun

Untuk debit banjir rancangan kala ulang 2 tahun (Q₂= 301 m³/detik) didapatkan debit yang masuk ke sudetan sebesar 31 m³/detik dengan tinggi muka air +10,62m. Elevasi dititik pertemuan yaitu untuk Sungai Ciliwung di hulu sudetan (STA 5+750) +10,67m sedangkan elevasi sungai ciliwung di hilir sudetan (STA 5+700) +10,64m dengan debit 271 m³/detik. Kecepatan pada inlet 1,41 m/detik. Profil muka air dapat dilihat pada gambar 5.

Hasil Running HEC-RAS Debit Banjir

Rancangan Kala Ulang 5 tahun

Untuk debit banjir rancangan kala ulang 5 tahun (Q₅= 400 m³/detik) didapatkan debit yang masuk ke sudetan sebesar 52 m³/detik dengan tinggi muka air +11,26m. Elevasi dititik pertemuan yaitu untuk Sungai Ciliwung

di hulu sudetan (STA 5+750) +11,30m sedangkan elevasi sungai ciliwung di hilir sudetan (STA 5+700) +11,30m dengan debit 348 m³/detik. Kecepatan pada inlet 1,65 m/detik. Profil muka air dapat dilihat pada gambar 5.

Hasil Running HEC-RAS Debit Banjir Rancangan Kala Ulang 10 tahun

Untuk debit banjir rancangan kala ulang 10 tahun ($Q_{10} = 452 \text{ m}^3/\text{detik}$) hasil simulasi HECRAS didapatkan debit yang masuk ke sudetan sebesar 61 m³/detik dengan tinggi muka air +11,47m. Elevasi titik pertemuan yaitu untuk Sungai Ciliwung di hulu sudetan (STA 5+750) +11,64m sedangkan elevasi sungai ciliwung di hilir sudetan (STA 5+700) +11,64m dengan debit 391 m³/detik. Kecepatan yang terjadi pada inlet 1,64 m/detik. Profil muka air dapat dilihat pada gambar 5.

Hasil Running HEC-RAS Debit Banjir Rancangan Kala Ulang 25 tahun

Hasil simulasi HEC-RAS untuk debit banjir rancangan kala ulang 25 tahun ($Q_{25}=509 \text{ m}^3/\text{detik}$) didapatkan debit yang masuk ke sudetan sebesar 70 m³/detik dengan tinggi muka air +11,82m. Elevasi titik pertemuan yaitu untuk Sungai Ciliwung di hulu sudetan (STA 5+750) 12,00m sedangkan elevasi sungai ciliwung di hilir sudetan (STA 5+700)

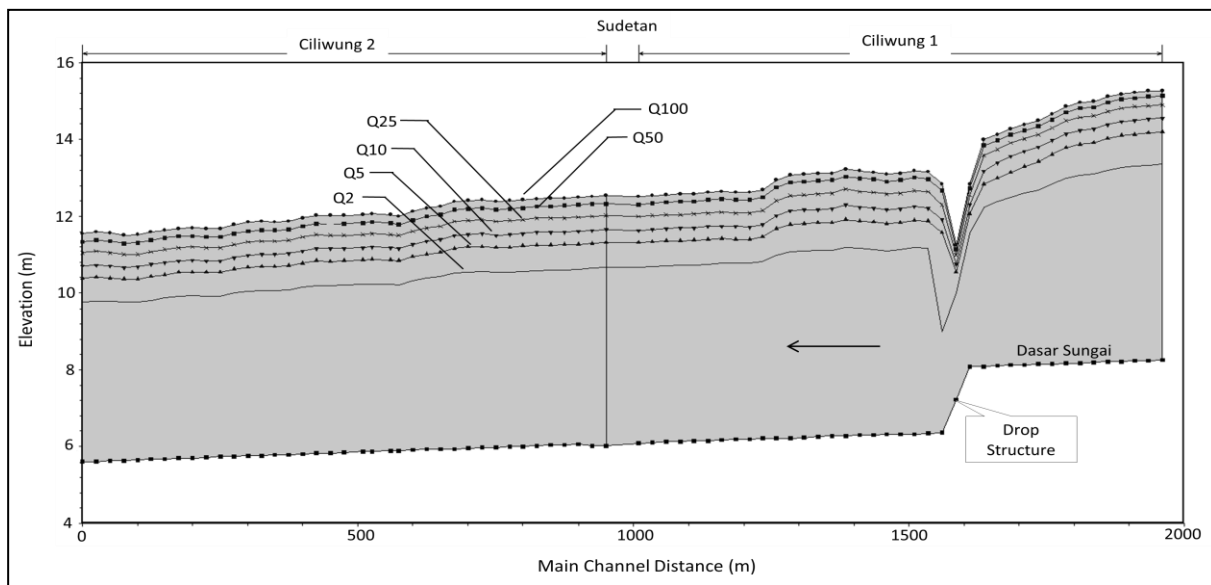
+12,00m dengan debit 439 m³/detik. Kecepatan yang terjadi pada inlet 1,64 m/detik. Profil muka air dapat dilihat pada gambar 5.

Hasil Running HEC-RAS Debit Banjir Rancangan Kala Ulang 50 tahun

Untuk debit banjir rancangan kala ulang 50 tahun ($Q_{50} = 547 \text{ m}^3/\text{detik}$) didapatkan debit yang masuk ke sudetan sebesar 79 m³/detik dengan tinggi muka air +12,16m. Elevasi titik pertemuan yaitu untuk Sungai Ciliwung di hulu sudetan (STA 5+750) +12,31m sedangkan elevasi sungai ciliwung di hilir sudetan (STA 5+700) +12,31m dengan debit 468 m³/detik. Kecepatan pada inlet 1,64 m/detik. Profil muka air dapat dilihat pada gambar 5.

Hasil Running HEC-RAS Debit Banjir Rancangan Kala Ulang 100 tahun

Untuk debit banjir rancangan kala ulang 100 tahun ($Q_{100} = 572 \text{ m}^3/\text{detik}$) debit yang masuk ke sudetan sebesar 85 m³/detik dengan tinggi muka air +12,38m. Elevasi titik pertemuan yaitu untuk Sungai Ciliwung di hulu sudetan (STA 5+750) +12,51m sedangkan elevasi sungai ciliwung di hilir sudetan (STA 5+700) +12,52m dengan debit 487 m³/detik. Kecepatan yang terjadi pada inlet 1,65 m/detik. Profil muka air dapat dilihat pada gambar 5.

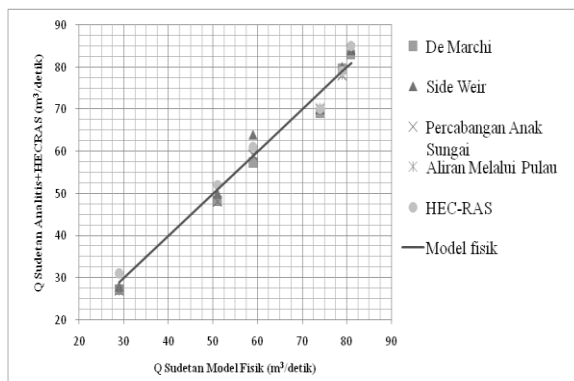


Gambar 5. Profil Muka Air Sungai Ciliwung kala ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun

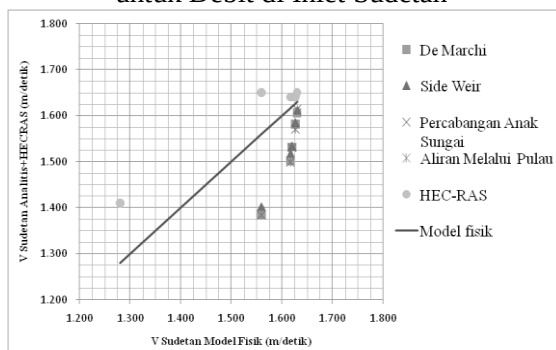
Evaluasi Hasil Hitungan Analitis & Simulasi HEC-RAS terhadap Hasi Uji Model Fisik

Dari hasil analisis yang dilakukan didapatkan kesalahan relatif debit inlet sudetan terhadap model fisik dengan menggunakan perhitungan analisis berkisar antara 0,233% sampai 8,475% sedangkan HEC-RAS kesalahan relatif yang terjadi berkisar antara 0 % sampai 6,897% seperti yang terlihat pada gambar 6.

Kesalahan relatif untuk kecepatan pada inlet *floodway* (sudetan) terhadap model fisik dengan menggunakan perhitungan analisis berkisar antara 0,998% sampai 13,102% sedangkan analisa dengan menggunakan alat bantu HEC-RAS kesalahan relatif yang terjadi berkisar antara 0,820% sampai 10,156% (gambar 7).



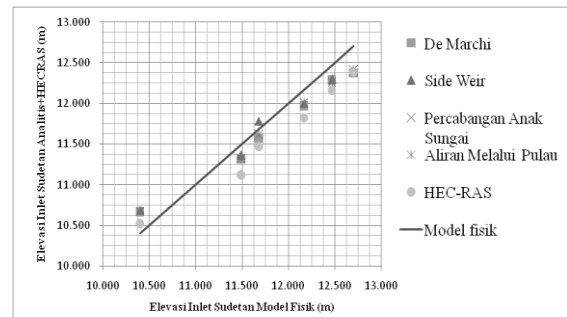
Gambar 6. Grafik Perbandingan Perhitungan Analitis dan HEC-RAS terhadap Model Fisik untuk Debit di Inlet Sudetan



Gambar 7. Grafik Perbandingan Perhitungan Analitis dan HEC-RAS terhadap Model Fisik untuk Kecepatan di Inlet Sudetan

Sedangkan kesalahan relatif yang didapat untuk elevasi muka air pada inlet *floodway* (sudetan) berkisar antara 0,544% sampai 2,581% sedangkan analisa dengan menggunakan alat bantu HEC-RAS kesalahan

relatif yang terjadi berkisar antara 1,154% sampai 3,220% (gambar 8).



Gambar 8. Grafik Perbandingan Perhitungan Analitis dan HEC-RAS terhadap Model Fisik untuk Elevasi Muka Air di Inlet Sudetan

Dalam pembuatan model baik secara analitis, satu dimensi maupun pemodelan fisik selalu ada tingkat ketidakpastian dan pemahaman (*level of uncertainty and understanding*). Webber (1971) mengatakan bahwa tentang adanya ketidakpastian dalam membuat desain yang efisien dalam model hidrolis. Ketika model dibuat, ada berbagai kondisi spesifik di mana model akan paling akurat dan kondisi saat model mungkin memiliki lebih banyak ketidakpastian.

Untuk mengetahui kesesuaian model analitis dan HEC-RAS terhadap uji model fisik, digunakan Analisis regresi, *Mean Absolut Error* (MEA), *Coeffisient Performance* (C_p), dan *Root Mean Square Error* (RMSE).

Analisis Regresi

Analisis regresi adalah analisis yang membahas hubungan dua variable atau lebih. Dalam studi ini yaitu debit, kecepatan dan elevasi muka air hasil model fisik dengan debit, kecepatan dan elevasi muka air hasil hitungan analitis dan simulasi HECRAS.

Derajat hubungan tersebut umumnya dinyatakan secara kuantitatif sebagai koefisien korelasi. Nilai koefisien korelasi berkisar antara $-1,0 < R < 1,0$.

Berdasarkan uji kolerasi dengan analisis regresi didapatkan hasil sebagaimana terdapat pada tabel 8.

Untuk analisa regresi apabila nilai R^2 mendekati 1, model semakin memiliki hubungan yang baik. Dari tabel 8 diketahui nilai R^2 yang didapatkan berkisar antara 0,988 sampai 0,998 sehingga masuk kedalam kriteria

hubungan langsung positif baik. Dari ke-5 metode yang digunakan secara umum simulasi HEC-RAS memiliki hasil yang paling baik.

Tabel 8. Hasil Analisa Regresi Pada Inlet dengan berbagai Metode Hitungan Analitis dan HECRAS

Metode	Nilai R ²		
	Debit	Kecepatan	Elevasi
De Marchi	0,994	0,989	0,998
Side Weir	0,990	0,990	0,998
Percabangan Anak Sungai	0,993	0,988	0,998
Aliran Melalui Pulau	0,993	0,988	0,998
HEC-RAS	0,993	0,994	0,998

Mean Absolute Error (MAE)

Mean Absolute Error (MAE) digunakan untuk mendeskripsikan kesalahan rata-rata dari kesalahan absolut dalam sebuah pemodelan.

$$MAE = n^{-1} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (10)$$

MAE = Nilai Mean Absolute Error (MAE)

n = Jumlah periode waktu data

e_i = Kesalahan pada periode waktu i

Kriteria dari evaluasi ini adalah semakin kecil nilai MAE yang didapatkan, maka semakin baik hubungan yang dihasilkan dan sebaliknya.

Perhitungan nilai Mean Absolute Error (MAE) secara keseluruhan dapat dilihat di lampiran sedangkan rekapitulasinya disajikan pada tabel 9 berikut ini:

Tabel 9. Nilai Mean Absolute Error (MAE) untuk Perhitungan Analitis dan Simulasi HEC-RAS terhadap Hasil Model Fisik

Metode	Nilai MAE		
	Debit	Kecepatan	Elevasi
De Marchi	2,295	0,101	0,212
Side Weir	2,500	0,091	0,194
Percabangan Anak Sungai	2,204	0,104	0,195
Aliran Melalui Pulau	2,159	0,104	0,195
HEC-RAS	2,295	0,049	0,280

Dari hasil perhitungan evaluasi model dengan menggunakan metode MAE (tabel 9) dapat disimpulkan bahwa untuk perhitungan debit pada inlet sudetan dengan metode aliran

melalui pulau memiliki hasil yang paling baik, untuk kecepatan dan elevasi muka air simulasi HEC-RAS memiliki hasil yang paling baik.

Coefficient Performance (Cp)

Coefficient Performance (Cp) berfungsi mengevaluasi perbedaan prosedur statistik prediksi hidrologi aliran air yaitu besaran debit uji model fisik dengan hasil perhitungan analitis dan simulasi HEC-RAS. Kriteria untuk masing-masing nilai Cp dapat dilihat pada tabel 9. berikut.

Hasil perhitungan didapatkan nilai Cp untuk debit pada inlet sudetan berkisar antara 0,0169 sampai 0,0244, berdasarkan tabel 10 maka untuk setiap metode perhitungan dan analisa HEC-RAS masuk kedalam kriteria sempurna. Untuk kecepatan pada inlet sudetan didapatkan nilai Cp berkisar antara 0,315 sampai 0,439, masuk kedalam kriteria bagus. Untuk elevasi muka air pada inlet sudetan didapatkan nilai Cp berkisar antara 0,119 sampai 0,189, sehingga masuk kedalam kriteria sempurna.

Tabel 10. Kriteria Nilai Coefficient Performance (Cp)

No.	Cp	Keterangan
1.	0.00 - 0.30	Sempurna
2.	0.30 - 0.50	Bagus
3.	0.50 - 0.70	Rata-rata
4.	0.70 - 1.00	Jelek
5.	> 1.00	Prediksi lebih jelek daripada pengamatan

Sumber : Hambali, 2008 dalam Sulfandi 2015

Root Mean Square Error (RMSE)

Salah satu indikator statistik yang umum digunakan untuk mengukur seberapa dekat hasil simulasi dengan hasil pengukuran adalah dengan menggunakan Root Mean Square Error (RMSE). RMSE merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi nilai hasil dari pengamatan/ pengukuran terhadap nilai sebenarnya atau nilai yang dianggap benar. Nilai RMSE menyatakan seberapa tepat perbandingan antara debit hasil simulasi atau perhitungan dengan model fisik. Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai RMSE adalah sebagai berikut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N [\hat{X}_i - X_i]^2 \right]} \quad (11)$$

dengan:

$\hat{X}_i$ = Hasil perhitungan/pemodelan
 X_i = Data model fisik
 N = Jumlah data

Semakin besar nilai RMSE, hasil estimasi model yang dihasilkan semakin tidak tepat bila dibandingkan dengan pengamatan dan sebaliknya bila nilai RMSE mendekati nol maka estimasi model semakin baik.

Dari hasil perhitungan evaluasi model dengan menggunakan metode *Root Mean Square Error* (RMSE) didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 11. Nilai RMSE untuk Perhitungan Analitis dan Simulasi HEC-RAS terhadap Hasil Model Fisik

Metode	Nilai RMSE		
	Debit	Kecepatan	Elevasi
De Marchi	2,657	0,115	0,223
Side Weir	2,972	0,104	0,209
Percabangan Anak Sungai	2,570	0,119	0,209
Aliran Melalui Pulau	2,531	0,119	0,209
HEC-RAS	2,531	0,066	0,209

Dari hasil evaluasi metode perhitungan diatas (metode De Marchi, side weir, percabangan anak sungai, aliran melalui pulau dan simulasi HEC-RAS) dengan beberapa uji statistik (Analisis regresi, *Mean Absolut Error*, *Coeffisient Performance*, dan *Root Mean Square Error*) di atas diketahui bahwa simulasi HEC-RAS memiliki hasil yang paling baik bila dibanding metode lain karena hasil simulasi HEC-RAS memiliki hasil yang paling mendekati dengan uji model fisik baik debit, kecepatan maupun elevasi muka air.

Dan secara hitungan analitis maupun simulasi HEC-RAS debit 60 m³/detik dapat tercapai sesuai kriteria perencanaan. Debit 60 m³/detik terjadi pada saat elevasi muka air Sungai Ciliwung berada di atas +12,342.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil uji statistik yang dilakukan terhadap parameter debit, kecepatan dan elevasi muka air di inlet sudetan diketahui bahwa parameter debit memiliki hasil yang

paling mendekati model fisik dengan kala ulang 50 tahun.

2. Secara umum metode dengan menggunakan simulasi HEC-RAS memiliki hasil yang paling mendekati dengan uji model fisik bila dibanding metode lain karena memiliki kesalahan relatif rata-rata paling kecil dan secara uji statistik untuk debit, kecepatan dan elevasi muka air masuk kedalam kriteria yang paling baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Penanggulangan Bencana Daerah Provinsi DKI Jakarta. (2016). *Rencana Penanggulangan Bencana Provinsi DKI Jakarta*. Jakarta: BPPD DKI Jakarta.
- Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung – Cisadane. (2015). *Laporan Pemodelan Fisik Hidrolika-2 Pembangunan Sudetan Sungai Ciliwung Ke Kanal Banjir Timur*. Jakarta: BBWS Ciliwung– Cisadane.
- Bagheri, S., A.R. Kabiri-Samani, M. Heidarpour. (2004). Discharge coefficient of rectangular sharp-crested side weirs, Part I: Traditional weir equation. *Elsevier Flow Measurement and Instrumentation*. 35 (2014) 109-115.
- Borghai, M., M.R. Jalili, M. Ghodsian. (1999). Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow. *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*. 125(10) : 1051–6.
- Cheong, H. F. (1991). Discharge coefficient of lateral diversion from trapezoidal channel. *ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 117(4): 321–33.
- Chow, V., (1997). *Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydraulics)*. Cetakan Keempat. Jakarta: Erlangga.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1986). *Standar Perencanaan Irigasi, Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan, KP-04*. Jakarta.
- Emiroglu, M.E., Agaccioglu, H., Kaya, N., (2011). Discharging capacity of rectangular side weir in straight open channels, *Elsevier Flow Measurement and Instrumentation*. 22 (2011) 319–330.
- Ghodsian, M. Supercritical flow over rectangular side weir. (2003). *Canadian Journal of Civil Engineering*. 30(3): 596–600.
- Hager, W. H. Lateral outflow over side weirs. (1987). *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*. 113(4):491–504.

- Jalili MR, S.M. Borghei. (1996). Discussion of 'Discharge coefficient of rectangular side weir. *ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 122(2): 132.
- Ranga Raju, K.G. (1986). *Aliran Melalui saluran Terbuka*. Terjemahan Oleh Y. P. Pangaribuan. Jakarta: Erlangga.
- Sulfandi. (2015). Studi Pengaruh Perubahan Tataguna Lahan Di DAS Mamasa terhadap Usia Guna Waduk PLTA Bakaru. *Tesis*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Webber, N. B., (1971). *Fluid Mechanics for Civil Engineers*. London: Chapman and Hall.