

**STUDI NILAI KEKASARAN KOEFISIEN MANNING
KALI WRATI DI KABUPATEN PASURUAN**

Iwan Wahjudijanto

Program Studi Teknik Sipil

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jatim

ABSTRAK

Koefisien *Manning* sangat berpengaruh terhadap kecepatan dan debit yang mengalir disaluran, dan apabila menentukan besarnya nilai koefisien tidak tepat maka debit dan kecepatan aliran tidak sesuai dengan kondisi di lapangan.

Studi ini dilakukan pengukuran kecepatan aliran dengan menggunakan *Curent Meter* di beberapa tempat dengan pengukuran waktu yang sama, ketinggian muka air serta pengambilan sedimen *Bed Load*. Hasil pengambilan sampel sedimen sepanjang Kali Wrati dan pengukuran kecepatan dengan menggunakan *Curent meter* dimaksudkan untuk mendapatkan koefisien *Chezy (C)* yang nantinya digunakan untuk kalibrasi disepanjang sungai tersebut. Pengukuran kecepatan dan pengambilan sampel sedimen ada 4 titik yaitu: P111, P137, P230 dan WR7A.

Dari hasil pengukuran kedalaman dilapangan dengan hasil *running HEC-RAS* mempunyai harga kedalaman yang mendekati sama, maka untuk mentukan harga *Manning* dalam pemodelan perlu diuji *Metode Nash*. Harga koefisien *Manning* yang digunakan dalam pemodelan *Hec-Ras 4.1* berikutnya adalah data koefisien *Manning* (dari perhitungan *Manning* Ekiwalen ($n=0,026$ s/d $0,028$)) mempunyai uji *Nash (E) = 0,89* mendekati angka 1. Pada segmen I kekasaran *Manning* $n=0,026$, pada segmen II kekasaran *Manning* $n=0,027$, segmen III kekasaran *Manning* $n=0,027$ dan segmen IV kekasaran *Manning* $n=0,028$.

Kata Kunci: kekasaran *Manning*, kecepatan aliran dan debit.

PENDAHULUAN

Pada tingkat pengetahuan sekarang ini didalam menentukan besarnya nilai Koefisien kekasaran *Manning* berdasarkan jenis kekasaran seperti misalnya tanah berumput, dinding saluran dari pasangan batu, saluran dari pasangan bata dan lain sebagainya. Koefisien *Manning* sangat berpengaruh terhadap kecepatan dan debit yang mengalir disaluran, dan apabila menentukan besarnya nilai koefisien tidak tepat maka akan terjadi aliran yang tidak sesuai di lapangan.

Untuk menentukan nilai Koefisien kekasaran *Manning* dalam studi ini mengambil contoh di Kali Wrati yang mempunyai panjang sungai 11 Km dan nilai koefisien kekasaran penampang bermacam-macam. Studi ini dilakukan pengukuran kecepatan aliran dengan menggunakan *Current meter* di beberapa tempat dengan pengukuran waktu yang sama, ketinggian muka air serta pengambilan sedimen *Bed Load*.

Untuk menganalisa tinggi muka air Wrati menggunakan bantuan progam *HEC-RAS*. Dengan bantuan program ini diharapkan dapat mengetahui perubahan tinggi muka air di sepanjang kali Wrati dengan nilai koefisien *Manning* yang benar..

Oleh sebab pentingnya penelitian koefisien kekasaran *Manning* di sepanjang kali Wrati, maka penulis mengajukan penelitian berjudul “Studi Nilai Kekasaran Koefisien *Manning* Kali Wrati di Kabupaten Pasuruan”

TINJAUAN PUSTAKA

Kontinuitas dari aliran tidak tetap

Hukum kekelan masa pada suatu pias tertentu menyatakan bahwa aliran pada suatu pias akan sama dengan perubahan tampungan yang terjadi didalam pias tersebut.

Aliran yang masuk ke dalam pias (Q_{masuk}) akan dinyatakan sebagai:

$$Q - \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \dots\dots\dots(1)$$

Sedangkan aliran yang keluar pias (Q_{keluar}) dinyatakan sebagai berikut:

$$Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta X}{2} \dots\dots\dots(2)$$

Dan perubahan tampungannya adalah:

$$\frac{\partial A}{\partial t} \Delta X \dots\dots\dots(3)$$

dengan :

Q = debit aliran (m^3/dt)

ΔX = perubahan jarak memanjang sungai (m)

∂A = perubahan luas penampang (m^2)

t = waktu (detik)

Dengan mengasumsikan ΔX kecil, perubahan masa yang terjadi pada pias adalah:

$$\rho \frac{\partial A}{\partial t} \Delta X = \rho \left(\left(Q - \frac{\partial Q \Delta X}{\partial x \cdot 2} \right) - \left(Q + \frac{\partial Q \Delta X}{\partial x \cdot 2} \right) + Q_1 \right) \dots\dots(4)$$

Dengan Q_1 adalah aliran air lateral yang masuk ke dalam pias dan ρ adalah rapat masa air.

Dengan menyederhanakan dan membagi semua ruas dengan $\rho \Delta x$, maka akan diperoleh persamaan kontinuitas.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0 \dots\dots\dots(5)$$

Dengan q_1 adalah aliran lateral per unit panjang

Persamaan Momentum

Hukum kekekalan momentum diturunkan dari hukum *Newton II*, yaitu:

$$\sum F_x = \frac{dM}{dt} \dots\dots\dots(6)$$

dengan :

F_x = resultan semua gaya luar yang bekerja pada suatu pias

dM = perubahan momentum

dt = perubahan waktu

Koefisien kekasaran Manning (n)

Pada saluran sederhana,kekasaran sepanjang keliling basah dapat dibedakan dengan jelas pada setiap bagian keliling basah, tetapi kecepatan rata-rata dapat dihitung dengan rumus aliran seragam tanpa harus membagi-bagi penampang tersebut. Misalnya suatu saluran persegi panjang dengan dasar kayu dan dinding kaca akan memiliki nilai-nilai n yang berbeda untuk dasar dan dindingnya. Rumus *Manning* untuk saluran semacam ini, kadang-kadang

perlu menghitung nilai n ekuivalen untuk keseluruhan keliling basah dan memasukan nilai ekuivalen ini untuk menghitung aliran bagi seluruh penampang.

Untuk penentuan kekasaran ekuivalen, luas basah dimisalkan dibagi menjadi N bagian dengan keliling basah masing-masing $P_1, P_2, P_3, \dots, P_N$ dan koefisien kekasaran $n_1, n_2, n_3, \dots, n_N$ yang telah diketahui *Horton (6)* dan *Einstein (7,8)* menganggap bahwa setiap bagian dari luas memiliki kecepatan rata-rata yang sama, yang juga sama dengan kecepatan rata-rata untuk penampang keseluruhan, yaitu $V_1 = V_2 = \dots = V_N = V$. Berdasarkan anggapan ini, koefisien kekasaran ekuivalen dapat diperoleh dengan persamaan berikut ini:

$$n = \left(\frac{\sum_{i=1}^N P_i n_i^{2/3}}{P} \right)^{3/2} \dots\dots\dots(7)$$

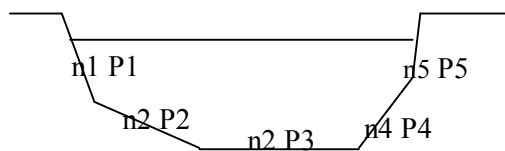
dengan :

P_1, P_2, \dots, P_N = keliling basah seksion 1, seksion 2 dan seksion N

P = Keliling basah total = $P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N$

n = koefisien *Manning* ekuivalen

n_1, n_2, \dots, n_N = koefisien kekasaran *Manning* seksion 1, 2, ... dan N



Gambar 1. Potongan Melintang dengan Berbagai-bagai Kekasaran Manning

Koefisien Chezy (C)

Koefisien *Chezy* dihitung dari data pengukuran yang dilakukan di lapangan, pada Kali Wrati.

Perumusan yang digunakan:

a. Aliran licin hidraulik ($u_* K_s / v \leq 5 : Z_o = 0,11 v / u_*$)

$$C = 18 \log \left(\frac{12 R}{3.33 v} \right) \dots\dots\dots(8)$$

b. Aliran kasar hidraulik ($u_* K_s / v > 70 : Z_o = 0,033 K_s$)

$$C = 18 \log \left(\frac{12 R}{K_s} \right) \dots\dots\dots(9)$$

c. Aliran kasar hidraulik
 $(u_* K_s / v \leq 5 : Z_o = \frac{0,11 v}{u_*} + 0,033 K_s)$

$$C = 18 \log \left(\frac{12 R}{K_s + 3,3 \frac{v}{u_*}} \right) \dots\dots\dots(10)$$

dengan :

- C = Koefisien *Chezy* (m^{0.5} / dt)
- U* = Kecepatan geser dasar saluran (m/dt)
- R = jari-jari hidraulik (m)
- v = kekentalan masa cair (m²/dt)

Pada perhitungan awal diasumsikan aliran kasar hidraulik dengan nilai K_s (angka kekasaran ekivalen Nikuradse) yang tergantung tipe kekasaran dasar saluran sebagai berikut:

- dasar dari pasir rata : K_s = 3. D₉₀ (mm)
- dasar dari gundukan pasir : K_s = ½ tinggi gundukan (mm)
- dasar kerikil rata : K_s = D₉₀ (mm)
- dasar dari beton : 0,001 – 0,01 m

Pemodelan dengan Menggunakan HEC-RAS

HEC-RAS adalah merupakan sebuah paket program analisis hidroulik yang terintegrasi, dimana pengguna dimudahkan dengan system *Graphical User Interface* (GUI). *HEC-RAS* mempunyai kemampuan untuk melakukan perhitungan profil permukaan air *steady*, aquase dan *unsteady* serta dilengkapi dengan analisis transportasi sedimen dan desain bangunan air.

Dalam penelitian ini analisis yang digunakan adalah analisis aliran satu dimensi (1D) untuk aliran quasi *unsteady* dimana kedalaman dan kecepatan aliran dari suatu tempat ke tempat lainnya berubah menurut waktu. Analisis ini banyak dilakukan dalam perencanaan perbaikan sungai dan penanggulangan banjir terutama dalam menentukan elevasi puncak tanggul dan daerah genangan, elevasi jembatan dan sebagainya. Aliran banjir disungai adalah aliran tidak mantap, sehingga analisa profil muka air disepanjang sungai dilakukan berdasarkan aliran tidak mantap (*unsteady*).

HEC-RAS terdiri dari tiga komponen analisis hidrolika satu dimensi (1D) yaitu perhitungan profil aliran, simulasi aliran dan perhitungan transport sedimen.

Dasar kuncinya adalah ketiga komponen tersebut menggunakan data geometri umum yang mewakili serta perhitungan hidraulika.

Input data yang diperlukan dalam *HEC-RAS* antara lain:

- Model sungai / saluran.
- Data *cross section* penampang sungai atau saluran(dimensi saluran, elevasi).
- Koefisien *Manning* (n).
- Data debit banjir rencana (Q_{rencana}).
- Data tambahan lain-lain (bilamana terdapat bangunan air lainnya. Data pompa, pintu air, pelimpah, jembatan, bending dll).

Data-data tersebut dimasukan agar diperoleh kesimpulan informasi sungai yang dibahas. Mulai data genangan air, dimensi saluran dan kapasitas sungai bisa diketahui.

METODE

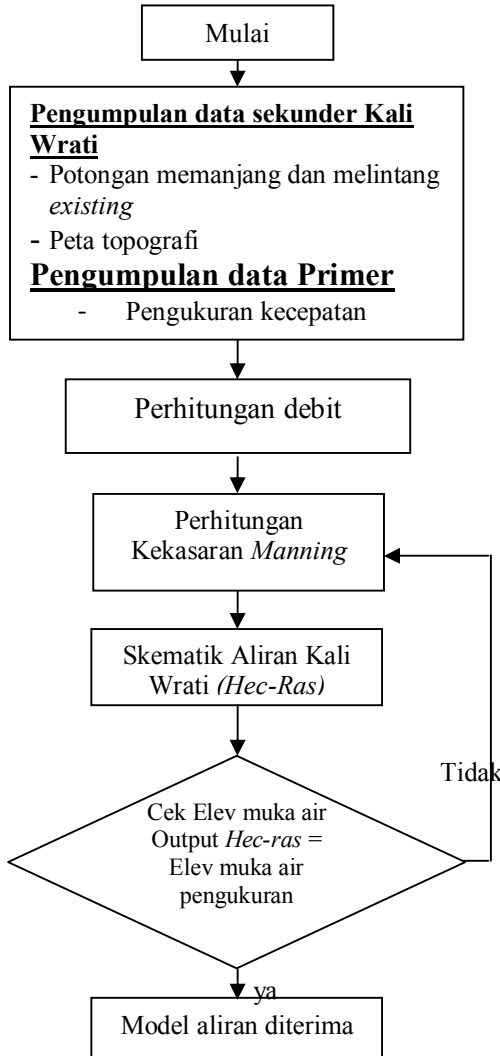
Sistematik Pelaksanaan Penelitian

Langkah-langkah yang diperlukan untuk menyusun penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur
2. Pengumpulan data–data, baik data primer maupun data sekunder.
 Data sekunder: potongan memanjang, potongan melintang, peta topografi
 Data primer: Pengukuran kecepatan aliran dan elevasi muka air di kali Wrati yang dilakukan di 3 lokasi yaitu di Gondanglegi, Kedungringin dan Kedungboto dan pengambilan sedimen dasar sungai (*Bed Load*)
3. Skematis model sungai kali Wrati
4. Menentukan angka kekasaran *Manning*
5. Perumusan pemodelan elevasi muka air sungai pada kondisi existing menggunakan Metode *HEC-RAS*.
6. Untuk menguji pemodelan tersebut sudah layak apa belum, maka perlu uji model.
7. Apabila pengujian model tersebut menghasilkan bentuk elevasi muka air yang sesuai dengan kondisi yang ada, maka perumusan model dapat digunakan. Sebaliknya jika pemodelan menyimpang dari kondisi yang ada, maka perlu dilakukan perbaikan-perbaikan kekasaran *Manning*.
8. Setelah mendapatkan pemodelan yang sesuai, maka untuk mengecek kekokohan model tersebut dengan cara

mengaplikasikan model tersebut di Kali Wrati.

Langkah-langkah pelaksanaan penelitian ini secara sistematis dapat dilihat pada Gambar 2 .

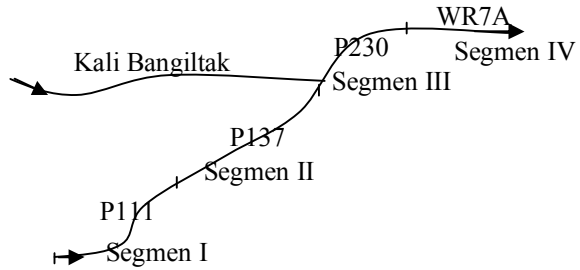


Gambar. 2. Diagram Alur pelaksanaan penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN
Perhitungan koefisien Manning

Hasil pengambilan sampel sedimen sepanjang Kali Wrati dan pengukuran kecepatan dengan menggunakan *Current meter* dimaksudkan untuk mendapatkan koefisien *Chezy* (C) yang nantinya digunakan untuk kalibrasi disepanjang sungai tersebut. Pengukuran kecepatan dan pengambilan sampel sedimen ada 4 titik yaitu: P111, P137, P230 dan WR7A.

Kali Wrati terdiri dari dari empat *segment* pengamatan yaitu : *Segment* I (P0 s/d P133), segmen II (P134 s/d P192) Segmen III (P193 s/d 249) dan *segment* IV(WR4B s/d WR7A). Pengambilan sampel sedimen ada 4 titik yaitu: P111, P137, P230 dan WR7A.



Gambar 3. Pengukuran Kecepatan dan Pengambilan Sedimen

Hasil analisa sedimen pada Gambar 4 sampai Gambar 7 menunjukkan bahwa gradasi di dasar sungai Kali Wrati berjenis pasir, maka persamaan yang digunakan dalam analisa koefisien *Chezy* sebagai berikut:

$$C = 18 \log \frac{12 R}{3 \times D_{90}} \dots\dots\dots(11)$$

Perhitungan koefisien *Manning* (n) didapat dari harga koefisien *Chezy* Contoh perhitungan:
Diketahui Pada titik P111 dengan data sebagai berikut:

- Debit pengukuran dilapangan = 9,76 m³/dt
- Luas penampang basah A = 12,86 m²
- Keliling basah P = 15,23 m
- Jari-jari hidrolis R = A/P = 0,844 m
- Diameter butir lolos ayakan 90% (D₉₀) = 1,8 mm = 0,0018 m
- koefisien *Chezy* didapat dari hasil analisa sedimen dengan persamaan

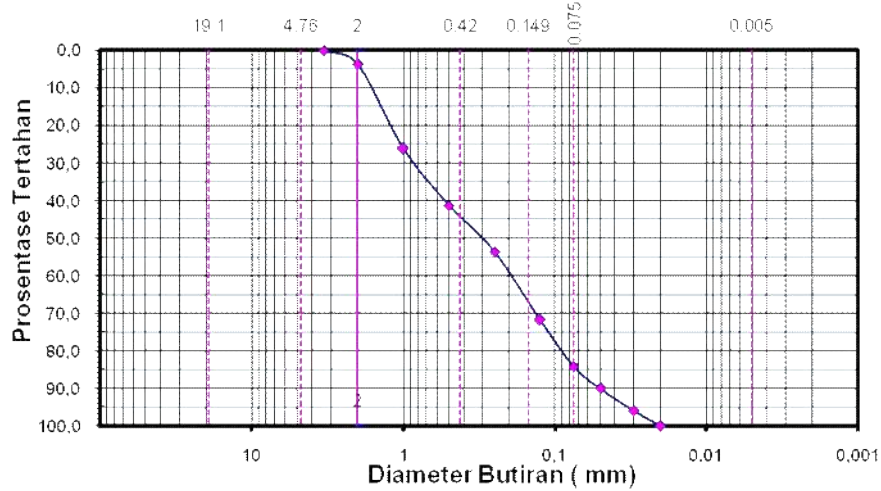
$$C = 18 \log \frac{12 R}{3 \times D_{90}}$$

$$C = 18 \log \left(\frac{12 \times 0,844}{3 \times 0,0018} \right) = 58,92$$

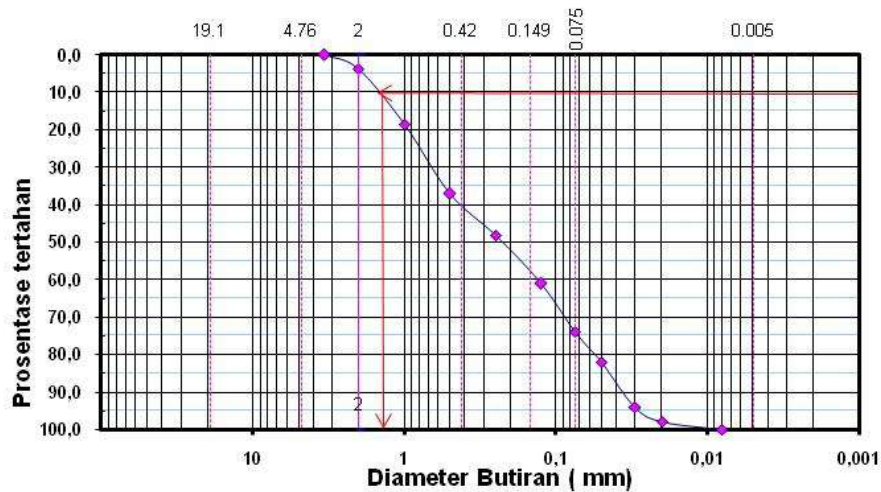
$$n = \frac{1}{C} \times R^{1/6} = \frac{1}{58,92} \times 0,844^{1/6} = 0,0165$$

Harga D_{90} didapat dari hasil analisa saringan *bed load*, hasil analisa sedimen dapat dilihat pada Gambar 4 sampai 7.

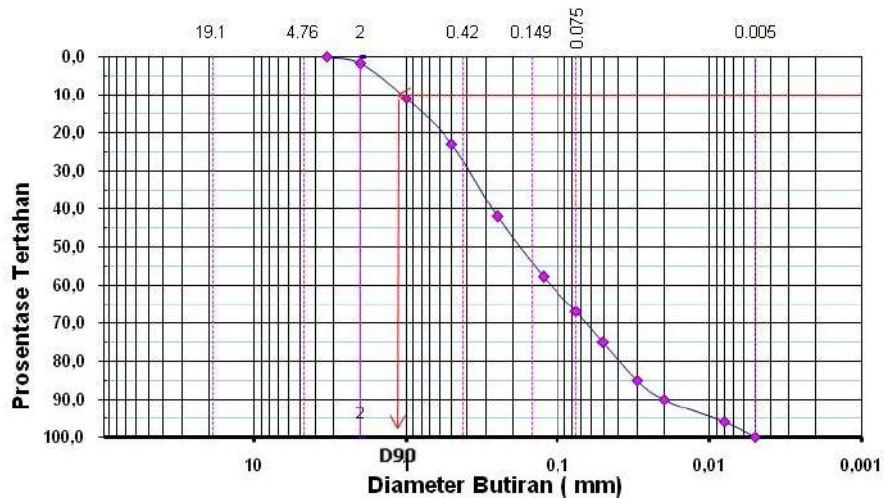
Hasil perhitungan analisa *Chezy* dan *Manning* pada masing-masing titik dapat dilihat pada Tabel 1.



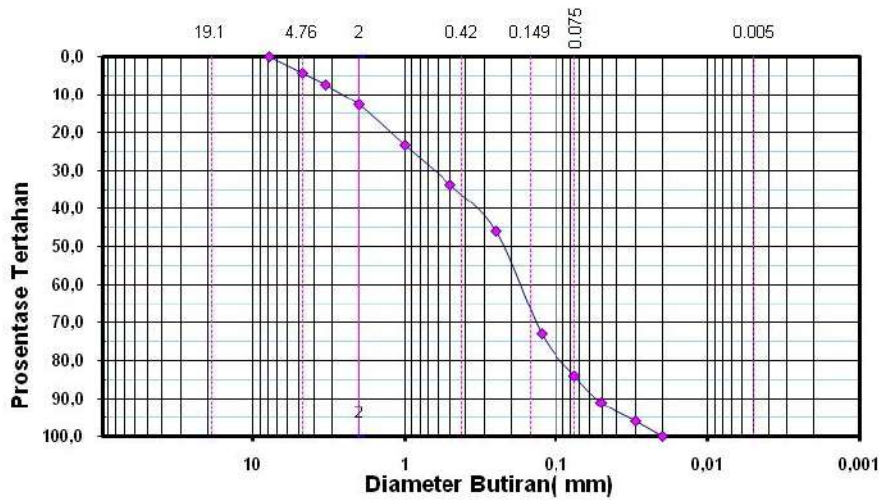
Gambar 4. Hasil Analisa Sedimen *Bed Load* Kali Wrati P111



Gambar 5. Hasil Analisa Sedimen *Bed Load* Kali Wrati P130



Gambar 6. Hasil Analisa Sedimen *Bed Load* Kali Wrati P230



Gambar 7. Hasil Analisa Sedimen *Bed Load* Kali Wrati WR7A

Tabel 1 Perhitungan Koefisien *Chezy* dan *Manning*

TITIK	Tinggi muka air (m)	Q m ³ /dt	A (m ²)	P (m)	R (m)	3xD90 (m)	C m ^{1/2} /dt	n
P111	0,9	9,76	12.85	15,23	0.84	0.0054	58.9	0.0165
(P137)	1.7	21.05	21.56	15.95	1.35	0.0045	64.0	0.0164
(P244)	1.7	18.09	26.40	19.70	1.34	0.0033	66.4	0.0160
WR7A	1.25	21.93	20.75	23.34	0.89	0.0078	56.4	0.0174

Tabel 2 Perhitungan Koefisien *Manning Ekuivalen (n)*

Titik	P1 (m) n1	P2 (m) n2	P3 (m) n3	P4 (m) n4	P5 (m) n5	P6 (m) n6	n Ekuivalen
P111	1,98 n= 0,03	5,6 n= 0,03	6,3 n= 0,03	2,3 n= 0,03	-	-	0,026
P137	3,98 n= 0,03	3,2 n= 0,024	6,15 n= 0,024	3,5 n= 0,03	2,9 n= 0,03	-	0,027
P244	3,05 n= 0,03	6,03 n= 0,03	4,8 n= 0,024	6,3 n= 0,024	3,9 n= 0,003	1,5 n= 0,03	0,027
WR7A	3,98 n= 0,03	4,42 n= 0,03	5,2 n= 0,03	11 n= 0,024	1,08 n= 0,003		0,028

Kali Wrati mempunyai bentuk penampang yang tidak beraturan, koefien *Manning* dapat dihitung sebagai berikut:

Pada patok P111 diketahui:

- Keliling (P₁) = 1,98 m, n₁ = 0,030
 - Keliling basah P₂ = 5,6m, n₂ = 0,024
 - Keliling basah P₃ = 6.3 m, n₃ = 0,024
 - Keliling basah P₄ = 2,28m, n₄ = 0,030
- n = 0,026

Harga Koefisien *Manning* yang berdasarkan bentuk penampang yang tidak beraturan Kali Wrati dapat dilihat pada Tabel 2.

Kalibrasi pada Kali Wrati Kondisi Eksisting

Parameter *Manning* dipilih karena nilai (n) *Manning* sangat berpengaruh terhadap perubahan debit. Pada penelitian ini nilai koefisien *Manning* yang digunakan ada dua harga *Manning* yaitu harga *Manning* pengukuran diameter butiran (0.016 s/ 0.018) dan harga *Manning* ekuivalen (0,026 s/d 0,028) karena pada lokasi penelitian penampangnya masih dari tanah liat dan sebagian pasngan.

Dengan kondisi sungai Kali Wrati yang tidak teratur maka dalam kalibrasi diperlukan kecermatan dalam memperkirakan nilai *n* sehingga dalam kalibrasi diperoleh elevasi muka air dilokasi pengamatan yaitu *section I*, *section II*, *Section III* dan *section IV* sesuai dilapangan. Berdasarkan hasil kalibrasi diketahui bahwa koefisien *Manning* di sepanjang sungai Kali Wrati besarnya sangat bervariasi.

Dari Tabel 3 hasil pengukuran kedalaman dilapangan dengan hasil *running*

mempunyai harga kedalaman yang mendekati sama, maka untuk menentukan harga *Manning* dalam pemodelan perlu diuji *Metode Nash* (hasil pengukuran kedalaman muka air dilapangan dengan hasil *running*). Hasil *running I* dengan koefisien *Manning* dari harga *Chezy* dapat dilihat pada Tabel 4 dan hasil *running II* koefisien *Manning* dari nilai ekuivalen (*n* ekuivalen) dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 3. Tinggi Muka Air Pengukuran dan Tinggi Muka Air Perhitungan

Patok	Debit (m ³ /dt)	Koefisien <i>Manning</i> dari <i>Chezy</i>	Koefisien <i>Manning</i> <i>Ekivalen</i>	Kedalaman Pengukur (m)	Kedalaman hasil <i>running I</i> (m)	Kedalaman hasil <i>running II</i> (m)
P111	9,76	0,016	0,026	1	0,85	1,09
P137	15,16	0,0164	0,1027	2,2	1,8	2,1
P244	18,10	0,0160	0,027	2,1	1,75	1,93
WR7A	21.93	0,0174	0,028	1,25	1,31	1,4

Tabel 4. Uji Nash Hasil *Running I* (Koefisien *Manning* dari Hasil *Chezy*)

Kedalaman Muka Air Pengukuran H_{sim} (m)	Kedalaman Muka Air Hasil <i>Running</i> H_{obs} (m)	$(H_{sim}-H_{obs})$ (m)	$(H_{sim}-H_{obs})^2$ (m) ²	$(H_{obs}-\overline{H_{obs}})^2$ (m) ²
1	0,85	0,15	0,02	0,07
2,20	1,80	0,40	0,16	1,50
2,10	1,75	0,35	0,12	1,38
1,25	1,31	-0,06	0,00	0,54
Jumlah	5,71	0.84	0.31	0.59
$E = 1 - \left(\frac{\sum (H_{sim} - H_{obs})^2}{\sum (H_{obs} - \overline{H_{obs}})^2} \right)$ $E = 0,48$				

Tabel 5. Uji Nash Hasil *Running II* (Koefisien *Manning* *Ekivalen*)

Kedalaman Muka Air Pengukuran H_{sim} (m)	Kedalaman Muka Air Hasil <i>Running</i> H_{obs} (m)	$(H_{sim}-H_{obs})$ (m)	$(H_{sim}-H_{obs})^2$ (m) ²	$(H_{obs}-\overline{H_{obs}})^2$ (m) ²
1	1,09	-0,09	0,01	0,29
2,20	2,10	0,10	0,01	0,22
2,10	1,93	0,17	0,03	0,09
1,25	1,40	-0,15	0,02	0,05
Jumlah	6,52	0,03	0,07	0,66
$E = 1 - \left(\frac{\sum (H_{sim} - H_{obs})^2}{\sum (H_{obs} - \overline{H_{obs}})^2} \right)$ $E = 0,89$				

Harga koefisien *Manning* yang digunakan dalam pemodelan *HEC-RAS 4.1* berikutnya adalah data koefisien *Manning* hasil *running* II ($n=0,026$ s/d $0,028$), karena mempunyai uji *Nash* (E) = $0,89$ mendekati angka 1.

KESIMPULAN

Dari hasil analisa dengan bantuan program *HEC-RAS 4.1* dapat disimpulkan: Kali Wrati pada segmen I kekasaran *Manning* $n=0,026$ tinggi muka air pengukuran 1m dan tinggi muka air *running* 1,09 m, pada *Segment* II kekasaran *Manning* $n=0,027$ hasil tinggi muka air pengukuran 2,2 m dan hasil *running* 2, pada *Segment* III kekasaran *Manning* $n=0,027$ dan hasil tinggi muka air pengukuran 2,1 m dan hasil *running* 1,93 pada *Segment* IV kekasaran *Manning* $n=0,028$ dan hasil tinggi muka air pengukuran 1,25 m dan hasil *running* 1,4 m.

DAFTAR PUSTAKA

Anggrahini, 1997, *Hidrolika Saluran Terbuka*, CV. Citra Media, Surabaya.
 Chow, Ven Te, 1992, *Hidrolika saluran Terbuka*, Erlangga, Jakarta.
 Jansen, Bendegon, Berg, Vries dan Zanen, 1979, *Principle of River Engineering The Non-Tidal Aluvial River*, Delft Uitgevers Maatsschappij.
 Lensley, Ray K. dan Franzini, Joseph B., 1991, *Teknik Sumber Daya Air Jilid II* diterjemahkan oleh Djoko Sasongko. Surabaya, Penerbit.

PT. Cipta Surya Wahana, 2009, *SID Normalisasi Kali Bangiltak, Kali wrati dan Kali kedunglarangan di Kabupaten Pasuruan*, Laporan Antara.
 Prawito Edi, 2009, *Pengaruh Pembuatan Short Cut terhadap Perubahan Dasar Sungai Studi Kasus Sungai Widas Kab. Ngamjuk*, Program Pasca Sarjana PSTS ITS, Surabaya
 Shidarti Theresia Sri, 1999, *Studi Perubahan Aliran Sungai Akibat Adanya Pengalihan Sebagian Banjir Melalui Sudetan Dengan Menggunakan Model Matematik Duflow Studi Kasus K.Welang*. Program Pasca Sarjana PSTS ITS, Surabaya
 Tirtamarina Aulia, 2011, *Studi kondisimuka air pada pertemuan kali Bangiltak dan Kedunglarangan untuk mengatasi permasalahan genangan di Kab. Pasuruan*, Program Pasca Sarjana PSTS ITS, Surabaya.
 USACE, 2000, *Hydrologic Modelling System HEC-HMS Technical Reference manual*, Maret 2000. <http://www.hec.usace.army.mil>.
 US Army Corp of Enginneering, 2008, *HEC-RAS User Manual*, Davis, California.
 Van Rijn, Leo C., 1990, *Principles of Fluid Flow and Surface Waves in Rivers, Estuaries, Seas and Ocean*, Delft Hydroulik.