

## Tata cara perhitungan tinggi muka air sungai dengan cara pias berdasarkan rumus Manning

*“ Copy standar ini dibuat oleh BSN untuk Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum dalam rangka Penyebarluasan, Pengenalan dan Pengaplikasian Standar, Pedoman, Manual (SPM) Bidang Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil ”*

## Daftar isi

Daftar isi.....	i
Prakata .....	ii
Pendahuluan.....	iii
1 Ruang lingkup.....	1
2 Acuan normatif.....	1
3 Istilah dan definisi .....	1
4 Ketentuan dan persyaratan .....	3
4.1 Data .....	3
4.2 Titik awal hitungan .....	4
4.3 Penanggung jawab .....	4
5 Rumus perhitungan .....	4
6 Cara perhitungan .....	8
6.1 Sungai alur tampang tunggal.....	8
6.2 Sungai alur tampang ganda.....	9
7 Pelaporan .....	10
Lampiran A Bagan alir perhitungan TMA (informatif) .....	11
Lampiran B Tabel-tabel (informatif) .....	12
Lampiran C Tabel daftar deviasi teknis dan penjelasannya (informatif) .....	15

## Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang 'Tata cara perhitungan tinggi muka air sungai dengan cara pias berdasarkan rumus Manning merupakan penyempurnaan dan penggabungan dari SNI 03-2830-1992, Metode perhitungan tinggi muka air sungai dengan cara pias berdasarkan rumus Manning dan SNI 03-3444-1994, Tata cara perhitungan tinggi muka air sungai tampang ganda dengan cara pias berdasarkan rumus Manning. Penyusunan tata cara ini dilandasi belum ada metode perhitungan tinggi muka air sungai yang lengkap. Adapun perubahan dari standar ini adalah judul, penambahan istilah dan definisi, penambahan dan revisi beberapa materi mengenai persyaratan dan ketentuan serta cara pengujian, penjelasan rumus, pembuatan bagan alir, perbaikan gambar dan pembuatan contoh formulir.

Standar ini disusun oleh Panitia Teknis Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil pada Sub Panitia Teknik Bidang Sumber Daya Air melalui Gugus Kerja Pendayagunaan Sumber Daya Air Bidang Sungai.

Tata cara penulisan disusun mengikuti Pedoman Standardisasi Nasional 08:2007 dan dibahas pada forum rapat konsensus pada tanggal 23 November 2006 di Bandung dengan melibatkan para nara sumber, pakar dan lembaga terkait.

## Pendahuluan

Aliran air mempunyai gerakan yang sangat dinamis, sulit diramalkan sebelumnya, hal tersebut disebabkan banyak faktor yang mempengaruhi. Banyak kegagalan usaha pengendalian banjir disebabkan oleh kesalahan dalam mengantisipasi kenaikan tinggi muka air banjir.

Perhitungan tinggi muka air secara manual adalah suatu usaha untuk dapat mengetahui perubahan tinggi muka air akibat dari perubahan debit atau adanya perubahan tampang lintang sungai dengan tujuan desain yang dilakukan dapat lebih tepat dan sesuai dengan perencanaan, sehingga kegagalan bangunan-bangunan air pasca konstruksi dapat dihindarkan.

Standar ini dapat digunakan oleh para perencana dan praktisi pengelola sungai.

*“ Copy standar ini dibuat oleh BSN untuk Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum dalam rangka Penyebarluasan, Pengenalan dan Pengaplikasian Standar, Pedoman, Manual (SPM) Bidang Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil ”*

## Tata cara perhitungan tinggi muka air sungai dengan cara pias berdasarkan rumus Manning

### 1 Ruang lingkup

Standar ini menetapkan tata cara perhitungan tinggi muka air sungai dengan cara pias berdasarkan rumus Manning untuk mendapatkan tinggi muka air sepanjang daerah hitungan tertentu berdasarkan debit yang telah ditentukan.

Tata cara ini meliputi ketentuan dan persyaratan serta cara perhitungan. Pendekatan dalam perhitungan dilandasi dengan anggapan: aliran tetap tidak seragam; aliran berubah lambat laun; aliran sub-kritik; dan penampang sungai dapat terdiri alur sungai saja atau alur sungai dengan bantaran serta memperhitungkan adanya bangunan sungai.

### 2 Acuan normatif

SNI 03-1724, *Tata cara perencanaan umum dan analisis hidrologi dan hidraulik untuk desain bangunan di sungai.*

SNI 03-2414, *Tata cara perhitungan debit sungai dan saluran terbuka dengan alat ukur arus dan pelampung.*

SNI 03-2415, *Tata cara perhitungan debit banjir.*

### 3 Istilah dan definisi

Istilah dan definisi yang berkaitan dengan standar ini adalah sebagai berikut.

#### 3.1

##### **aliran sub-kritis**

aliran yang kecepatan alirannya lebih kecil dari kecepatan rambat gelombang, sehingga jika terjadi genangan perubahan di hilir akan mempengaruhi keadaan di hulu, atau aliran yang nilai bilangan Froude nya lebih kecil dari satu.

#### 3.2

##### **aliran kritis**

aliran yang kecepatan alirannya sama dengan kecepatan rambat gelombang, sehingga perubahan di hulu maupun di hilir tidak mempengaruhi keadaan di hilir maupun di hulu, atau aliran yang nilai bilangan Froude nya sama dengan satu (Lihat Rumus 2)

#### 3.3

##### **aliran super-kritis**

adalah aliran yang kecepatan alirannya lebih besar dari kecepatan rambat gelombang, sehingga perubahan di hulu maupun di hilir tidak mempengaruhi keadaan di hilir maupun di hulu, atau aliran yang nilai bilangan Froude nya lebih besar dari satu.

#### 3.4

##### **aliran tetap tidak seragam berubah lambat laun**

suatu aliran dengan debit tetap pada penampang basah yang berubah sepanjang aliran secara lambat laun.

**3.5**

**perhitungan cara pias**

suatu sistem perhitungan matematik untuk menghitung suatu fungsi dalam potongan-potongan vertikal dengan jarak tertentu, sesuai dengan ketelitian yang diinginkan.

**3.6**

**ruas sungai**

panjang sungai tertentu dimana tidak ada bangunan melintang sungai yang mengakibatkan perubahan tinggi muka air, seperti: bendung, bendung penahan sedimen, dan bangunan terjunan, serta dianggap tidak ada perubahan debit selama waktu penelusuran.

**3.7**

**alur sungai**

cekungan sungai di bawah bantaran.

**3.8**

**bantaran sungai**

lahan pada kedua sisi sungai sepanjang palung, dihitung dari tepi alur sungai sampai dengan kaki tanggul sebelah dalam.

**3.9**

**daerah hitungan**

ruas atau ruas-ruas sungai tertentu yang akan dihitung tinggi muka airnya dengan memperhitungkan adanya bangunan di sungai.

**3.10**

**jari-jari hidraulik**

hasil bagi antara luas penampang basah dan keliling basah.

**3.11**

**keliling basah**

panjang sisi penampang melintang sungai yang bersinggungan dengan air.

**3.12**

**koefisien kekasaran**

koefisien yang menggambarkan kekasaran alur atau palung yang besarnya tergantung pada beberapa faktor, antara lain konfigurasi dasar sungai, material dasar dan tebing sungai, vegetasi, bentuk alur dan debit.

**3.13**

**lengkung debit**

kurva yang menggambarkan hubungan antara tinggi muka air dan debit sungai atau saluran terbuka.

**3.14**

**penampang basah**

penampang melintang aliran air.

**3.15**

**tinggi muka air sungai**

elevasi muka air pada suatu penampang melintang sungai terhadap suatu datum tertentu.

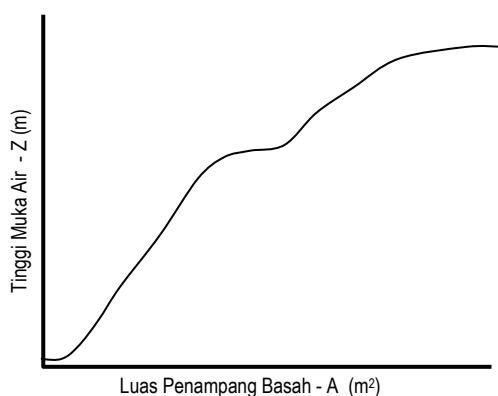


## 4 Ketentuan dan persyaratan

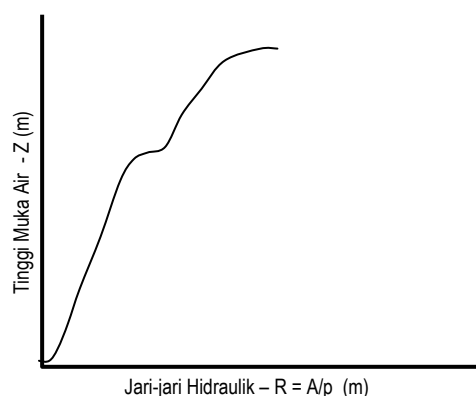
### 4.1 Data

Data yang harus tersedia dalam perhitungan tinggi muka air sungai ini meliputi:

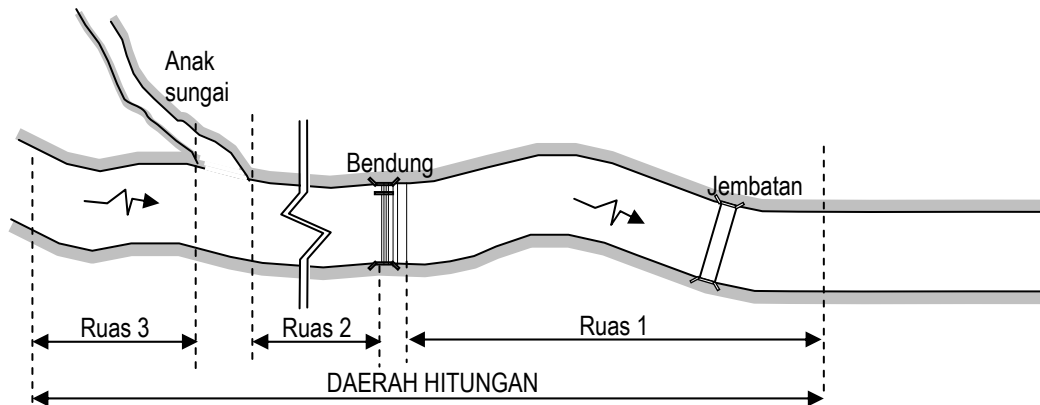
- a) Penampang melintang sungai, yang berupa tabel atau grafik penampang melintang sungai (Gambar 1) yang menunjukkan:
  - 1) Hubungan antara tinggi muka air sungai dan luas penampang basah.
  - 2) Hubungan antara tinggi muka air sungai dan jari-jari hidraulik.
- b) Penampang memanjang sungai, yang terdiri dari penampang melintang sungai yang jaraknya ditentukan sesuai dengan:
  - 1) Ketelitian yang diinginkan pada perencanaan.
  - 2) Ketelitian yang diinginkan di dekat titik awal hitungan.
  - 3) Situasi sungai, untuk bagian sungai yang lurus lebih besar dari bagian belokan dari data penampang memanjang sungai dapat diketahui kemiringan sungai antar tampang lintang
- c) Koefisien kekasaran alur sungai.
- d) Debit sungai, yang berupa debit yang tetap terhadap waktu (langgeng semu).
- e) Daerah hitungan yang memuat, (lihat Gambar 2):
  - 1) Ruas atau ruas-ruas sungai.
  - 2) Pertemuan dan percabangan sungai.
  - 3) Bangunan melintang sungai seperti: bendung, dam penahan sedimen.
- f) Penampang melintang tambahan, apabila terjadi penyempitan alur karena bangunan di sungai seperti: pangkal jembatan, pilar jembatan, krib atau penyempitan tebing setempat.
- g) Pengamatan lapangan, antara lain kondisi geometri, vegetasi, material alur dan bantaran, sehingga dapat digunakan untuk memperkirakan nilai kekasaran Manning.



**Gambar 1a** Contoh grafik hubungan TMA dengan luas penampang basah (A)



**Gambar 1b** Contoh grafik hubungan TMA dengan jari-jari hidraulik (R=A/p)



**Gambar 2 Contoh daerah hitungan**

## 4.2 Titik awal hitungan

Perhitungan tinggi muka air sungai ini dimulai untuk aliran sub-kritik dari hilir ke hulu sedang untuk aliran super-kritik dari hulu ke hilir, dengan menetapkan suatu titik tertentu sebagai titik awal hitungan yang dapat berupa:

- a) Badan air seperti laut, danau dan waduk.
- b) Bangunan di sungai seperti bendung atau dam penahan sedimen, penetapan tinggi muka air dihitung dengan rumus peluapan yang berlaku.
- c) Pos duga air yang mempunyai lengkung debit dan berada di hilir daerah hitungan.
- d) Titik awal sembarang, jika tidak ada titik acuan seperti pada a), b) dan c) di atas dengan memperhatikan:
  - 1) Tinggi muka air awal sembarang tidak boleh lebih rendah daripada tinggi muka air kritik.
  - 2) Jarak antara titik awal sembarang dengan daerah hitungan harus cukup jauh, sehingga kesalahan di titik awal sembarang dapat diredam.

## 4.3 Penanggung jawab

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam pelaksanaan ini adalah :

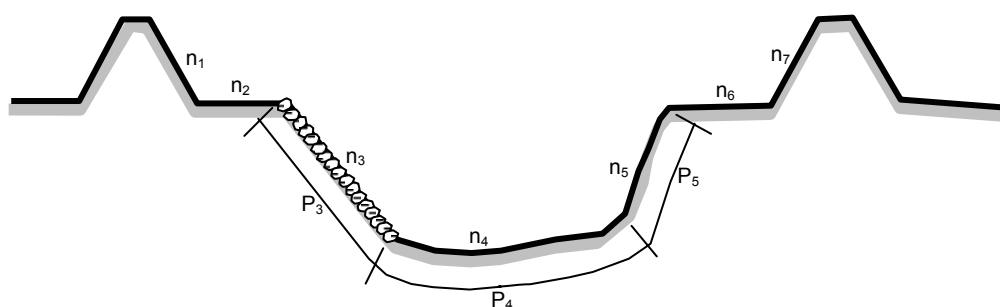
- a) Kemampuan petugas dan pengawas harus kompetensi.
- b) Nama penguji, pengawas dan penanggung jawab harus tertulis dengan jelas, dan disertai paraf atau tanda tangan dan tanggal yang jelas.

## 5 Rumus perhitungan

Rumus-rumus perhitungan yang digunakan untuk menghitung tinggi muka air sungai, meliputi:

- a) Rumus untuk menghitung koefisien kekasaran Manning, adalah sebagai berikut.

Contoh penampang melintang sungai dengan nilai kekasaran Manning yang berbeda-beda bisa dilihat pada Gambar 3



**Gambar 3** Contoh penampang melintang sungai dengan kekasaran Manning yang berbeda-beda

$$n_{ek} = \frac{\sum_{i=1}^k (n_i^{3/2} \cdot P_i)^{2/3}}{P_{total}} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$P_{total} = \sum_{i=1}^k P_i$$

dengan pengertian:

- $n_{ek}$  adalah koefisien kekasaran Manning ekuivalen
- $P_{total}$  adalah keliling basah total (m)
- $n_i$  adalah koefisien kekasaran Manning pada bidang ke-i
- $P_i$  adalah keliling basah pada bidang ke-i (m)
- $k$  adalah jumlah bidang singgung, dimana sebagai perkiraan awal nilai koefisien kekasaran Manning pada setiap bidang singgung dapat diambil seperti pada Tabel B.1 (lihat Lampiran B)

- b) Rumus untuk menghitung tinggi air kritik, adalah sebagai berikut.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot d}} = 1 \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$h_{kr} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad \dots \dots \dots (3)$$

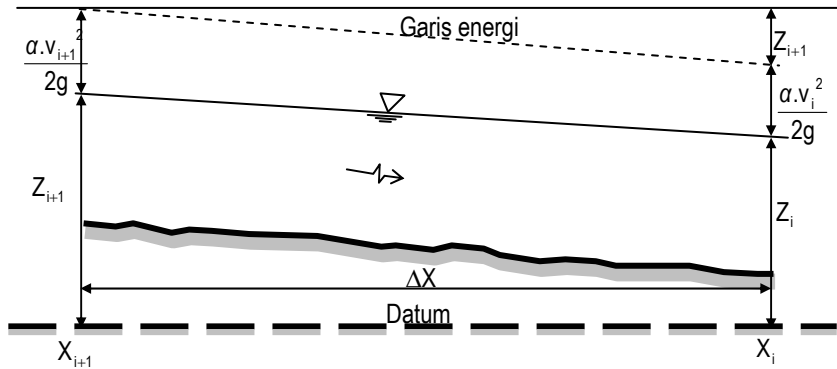
dengan pengertian:

- $Fr$  adalah bilangan Froude
- $q$  adalah debit satuan, debit dibagi lebar muka air sungai ( $m^3/s/m'$ )
- $h_{kr}$  adalah tinggi air kritik (m)
- $v$  adalah kecepatan aliran air rata-rata (m/s)
- $g$  adalah percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )
- $d$  adalah kedalaman aliran (m)

- c) Untuk sungai tampang tunggal

- 1) Rumus aliran tetap tidak seragam berubah lambat laun yang diturunkan dari persamaan energi dan rumus Manning, seperti berikut.

Garis energi antara  $X_{i+1}$  dan  $X_i$ , bisa dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Garis energi tampang tunggal

$$Z_{i+1} = Z_i - \frac{Q^2}{2g} \left[ \frac{1}{A_{i+1}^2} - \frac{1}{A_i^2} \right] + S \cdot \Delta X \dots \dots \dots (4)$$

dengan pengertian:

- Q adalah debit (m<sup>3</sup>/s)
- Z<sub>i+1</sub> adalah tinggi muka air dari datum pada penampang X<sub>i+1</sub> (m)
- Z<sub>i</sub> adalah tinggi muka air dari datum pada penampang X<sub>i</sub> (m)
- A<sub>i+1</sub> adalah luas penampang basah X<sub>i+1</sub> (m<sup>2</sup>)
- A<sub>i</sub> adalah luas penampang basah X<sub>i</sub> (m<sup>2</sup>)
- ΔX adalah jarak antara penampang X<sub>i+1</sub> dan X<sub>i</sub> (m)
- S adalah kemiringan garis energi rata-rata
- g adalah percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)
- α adalah koefisien energi untuk keperluan praktis dapat digunakan nilai 1,15 < α < 1,50

- 2) Kemiringan garis energi rata-rata antar penampang melintang X<sub>j</sub> dan X<sub>j+1</sub> seperti berikut.

$$\bar{S} = \frac{1}{2} \left[ \frac{n_{i+1}^2 \cdot Q^2}{A_{i+1}^2 \cdot R_{i+1}^{4/3}} + \frac{n_i^2 \cdot Q^2}{A_i^2 \cdot R_i^{4/3}} \right] \dots \dots \dots (5)$$

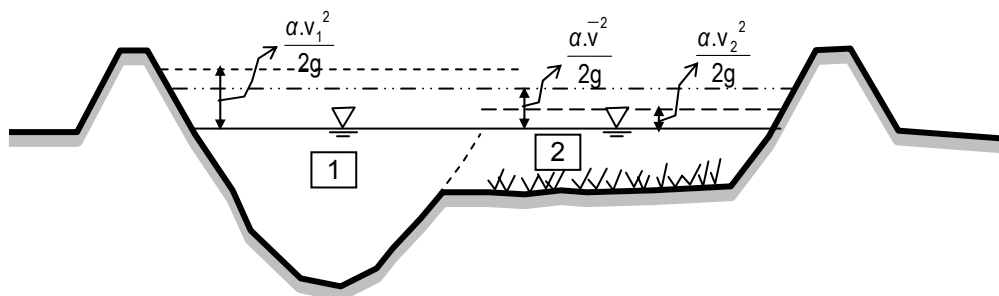
dengan pengertian:

- $\bar{S}$  adalah kemiringan garis energi rata-rata X
- n<sub>i+1</sub> adalah koefisien kekasaran Manning pada penampang X<sub>i+1</sub>
- n<sub>i</sub> adalah koefisien kekasaran Manning pada penampang X<sub>i</sub>
- R<sub>i+1</sub> adalah jari-jari hidraulik pada penampang X<sub>i+1</sub> (m)
- R<sub>i</sub> adalah jari-jari hidraulik pada penampang X<sub>i</sub> (m)

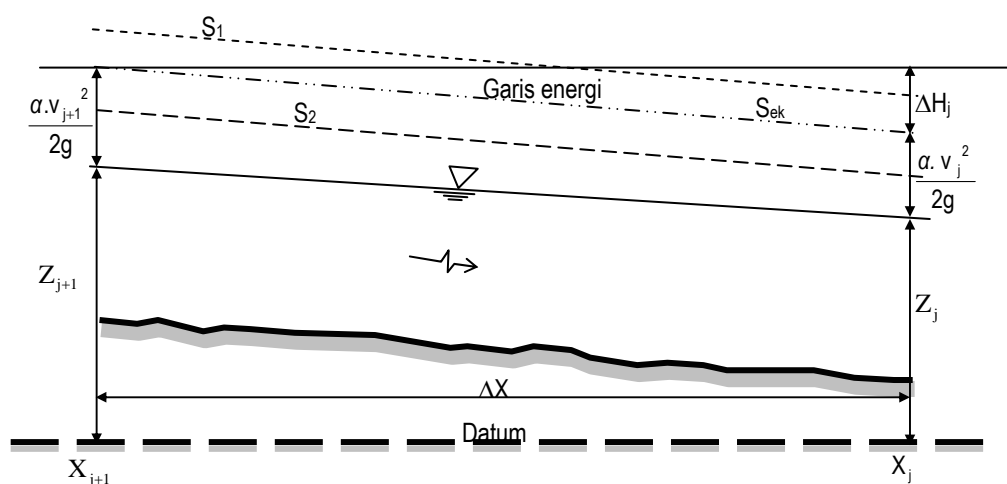
- d) Untuk sungai tampang ganda:

- 1) Rumus untuk menghitung kemiringan garis energi ekivalen dan pembagian debit yang lewat alur dan bantaran dengan pendekatan sebagai berikut.

Penampang sungai dengan tampang ganda bisa dilihat pada Gambar 5 sedangkan garis-garis energi antara penampang melintang  $X_j$  dan  $X_{j+1}$  bisa dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5 Sungai dengan tampang ganda



Gambar 6 Garis energi tampang ganda

$$S_{ek} = S_j = S_{j+1} + S_k \dots\dots\dots (6)$$

$$Q = \sum_{j=1}^k Q_j \dots\dots\dots (7)$$

$$S_{ek}^{1/2} = \frac{Q}{\left( \sum_{j=1}^k \frac{A_j}{n_j} R_j^{2/3} \right)} \dots\dots\dots (8)$$

$$Q_j = \frac{A_j}{n_j} R_j^{2/3} \times S_{ek}^{1/2} \dots\dots\dots (9)$$

dengan pengertian:

$S_{ek}$  adalah kemiringan garis energi ekuivalen

$Q$  adalah debit ( $m^3/s$ )

$A$  adalah luas penampang basah ( $m^2$ )

$n$  adalah koefisien kekasaran Manning

$R$  adalah jari-jari hidraulik (m)

$\alpha$  adalah koefisien energi untuk keperluan praktis dapat digunakan nilai  $1,15 < \alpha < 1,50$

" Copy standar ini dibuat oleh BSN untuk Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum dalam rangka Penyebarluasan, Pengenalan dan Pengaplikasian Standar, Pedoman, Manual (SPM) Bidang Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil "

- 2) Kemiringan garis energi rata-rata antar penampang melintang  $X_j$  dan  $X_{j+1}$  seperti berikut.

$$\bar{S}_{ek} = \frac{1}{2} \{ (S_{ek})_j + (S_{ek})_{j+1} \} \dots\dots\dots (10)$$

dengan pengertian:

- $\bar{S}$  adalah kemiringan garis energi rata-rata
- $(S_{ek})_j$  adalah kemiringan garis ekivalen pada penampang melintang ke-j
- $(S_{ek})_{j+1}$  adalah kemiringan garis ekivalen pada penampang melintang ke-j+1

- 3) Rumus aliran tetap tidak seragam berubah lambat laun yang diturunkan dari persamaan energi dan rumus Manning, seperti berikut.

$$Z_{j+1} = Z_j - \frac{1}{2g} \left[ \sum_{j+1}^k \left( \frac{Q_j^2}{A_j^2} \right)_{j+1} - \sum_{j+1}^k \left( \frac{Q_j^2}{A_j^2} \right)_j \right] + \bar{S} \Delta X \dots\dots\dots (11)$$

dengan pengertian:

- $Z_{j+1}$  adalah tinggi muka air pada penampang melintang ke- j+1 (m)
- $Z_j$  adalah tinggi muka air pada penampang melintang ke- j (m)
- k adalah jumlah bagian penampang basah dengan nilai n yang berbeda
- $Q_j$  adalah debit pada bagian penampang basah ke-j ( $m^3/s$ )
- $A_j$  adalah luas penampang basah penampang ke-j ( $m^3/s$ )
- S adalah kemiringan garis energi rata-rata
- $\Delta X$  adalah jarak tampang lintang  $X_j$  dengan  $X_{j+1}$
- g adalah percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

- e) Verifikasi hasil perhitungan

Verifikasi hasil-hasil perhitungan tinggi muka air sungai dapat dilakukan dengan membandingkan pembacaan tinggi muka air untuk debit yang sama, pada lengkung debit di pos duga air yang terletak di daerah hitungan, dengan cara menyesuaikan nilai koefisien Manning. Hal-hal yang perlu diperhatikan antara lain:

- 1) Pos duga air dan penampang sungai terikat pada datum yang sama.
- 2) Pada debit-debit besar yang tidak terbaca pada grafik lengkung debit, penyesuaian lengkung debit, penyesuaian nilai koefisien Manning dapat dilakukan pada debit kecil yang terukur.

**6 Cara perhitungan**

**6.1 Sungai alur tampang tunggal**

Perhitungan tinggi muka air untuk alur tampang tunggal dilakukan tahapan perhitungan tinggi muka air sungai sebagai berikut.

- a) Tentukan tinggi muka air ( $Z_i$ ) pada penampang melintang ( $X_i$ ) sebagai titik awal hitungan, seperti pada sub pasal 4.2.
- b) Hitung luas penampang basah ( $A_i$ ) dan keliling basah ( $P_i$ ) alur dari grafik atau tabel pada sub pasal 4.1 kemudian hitung jari-jari hidrauliknya ( $R_i$ )
- c) Taksir nilai koefisien kekasaran Manning ( $n_i$ ), sesuai Tabel B.1 pada Lampiran B.

- d) Tentukan sembarang tinggi muka air ( $Z_{i+1}$ ) pada penampang melintang  $X_{i+1}$  yang berjarak  $X$  terhadap  $X_{i+1}$ .
- e) Hitung besarnya ( $A_{i+1}$ ); ( $P_{i+1}$ ); ( $R_{i+1}$ ) dan ( $n_{i+1}$ ) seperti butir b) pada penampang melintang  $X_{i+1}$ .
- f) Hitung kemiringan garis energi rata-rata ( $S$ ) antara penampang  $X_{i+1}$  dan  $X_i$ , dengan menggunakan rumus (5).
- g) Hitung tinggi muka air ( $Z_{i+1}$ ) dengan memasukkan nilai-nilai yang didapat kedalam persamaan (4).
- h) Bandingkan nilai ( $Z_{i+1}$ ) yang didapat dari hitungan pada butir f) dengan ( $Z_{i+1}$ ) pada awal pada butir d).
- i) Ulangi langkah pada butir d) sampai butir h) dengan menggunakan nilai ( $Z_{i+1}$ ) yang didapat pada butir g) sebagai nilai ( $Z_{i+1}$ ) pada butir d) sampai didapat selisih ( $\Sigma$ ) dengan ketelitian sesuai kebutuhan.
- j) Lakukan langkah-langkah perhitungan di atas untuk penampang-penampang melintang berikutnya dengan menggunakan nilai ( $Z_{i+1}$ ) pada butir h) yang sudah benar menjadi tinggi muka air awal seperti pada butir a).
- k) Lakukan kalibrasi hasil-hasil perhitungan tinggi muka air sungai yang didapat dari perhitungan di atas apabila pada daerah hitungan terdapat pos duga air yang dilengkapi lengkung debit, sebagai berikut.
  - 1) Bandingkan hasil perhitungan tinggi muka air sungai pada lokasi pos duga air dengan yang terbaca pada lengkung debit untuk debit yang sama.
  - 2) Sesuaikan nilai koefisien kekasaran Manning sehingga diperoleh selisih tinggi muka air dengan ketelitian sesuai kebutuhan.

## 6.2 Sungai alur tampang ganda

Perhitungan tinggi muka air untuk alur tampang tunggal dilakukan tahapan perhitungan tinggi muka air sungai sebagai berikut:

- a) Tentukan tinggi muka air ( $Z_j$ ) pada penampang melintang ( $X_j$ ) sebagai titik awal hitungan, seperti pada sub pasal 4.2.
- b) Hitung luas penampang basah ( $A_j$ ) dan keliling basah ( $P_j$ ) alur dan bantaran dari grafik atau tabel pada butir a) sub pasal 4.1 kemudian hitung jari-jari hidrauliknya ( $R_j$ ).
- c) Taksir nilai koefisien kekasaran Manning ( $n_j$ ) alur dan bantaran seperti Tabel A.1 pada Lampiran A.
- d) Hitung kemiringan garis energi ekivalen ( $S_{ek}$ ) dengan rumus (8), kemudian hitung besarnya debit alur dan bantaran dengan rumus (9).
- e) Tentukan sembarang tinggi muka air ( $Z_{j+1}$ ) pada penampang melintang  $X_{j+1}$  yang berjarak  $\Delta X$  terhadap  $X_j$  kemudian lakukan langkah-langkah hitungan seperti pada butir b) sampai d).
- f) Hitung besarnya ( $A_{j+1}$ ); ( $P_{j+1}$ ); ( $R_{j+1}$ ) dan ( $n_{j+1}$ ) seperti butir 2) pada penampang melintang  $X_{j+1}$ .
- g) Hitung kemiringan garis energi rata-rata ( $S$ ) antara penampang  $X_{j+1}$  dan  $X_j$ , dengan menggunakan rumus (10).
- h) Hitung tinggi muka air ( $Z_{j+1}$ ) dengan memasukkan nilai-nilai yang didapat kedalam persamaan (11).

- i) Bandingkan nilai ( $Z_{j+1}$ ) yang didapat dari hitungan pada butir h) dengan ( $Z_{j+1}$ ) pada awal pada butir e).
- j) Ulangi langkah-langkah hitungan pada butir e) sampai butir i) dengan menggunakan nilai ( $Z_{j+1}$ ) yang didapat pada butir h) sebagai nilai ( $Z_{j+1}$ ) pada butir e) sampai didapat selisih ( $\Sigma$ ) dengan ketelitian sesuai kebutuhan.
- k) Lakukan langkah-langkah perhitungan seperti di atas untuk penampang-penampang melintang berikutnya dengan menggunakan nilai ( $Z_{j+1}$ ) pada butir h) yang sudah benar menjadi tinggi muka air awal seperti pada butir a)
- l) Lakukan kalibrasi hasil-hasil perhitungan tinggi muka air sungai yang didapat dari perhitungan di atas apabila pada daerah hitungan terdapat pos duga air yang dilengkapi lengkung debit, sebagai berikut.
  - 1) Bandingkan hasil perhitungan tinggi muka air sungai pada lokasi pos duga air dengan yang terbaca pada lengkung debit untuk debit yang sama.
  - 2) Sesuaikan nilai koefisien kekasaran Manning sehingga diperoleh selisih tinggi muka air dengan ketelitian sesuai kebutuhan.

## **7 Pelaporan**

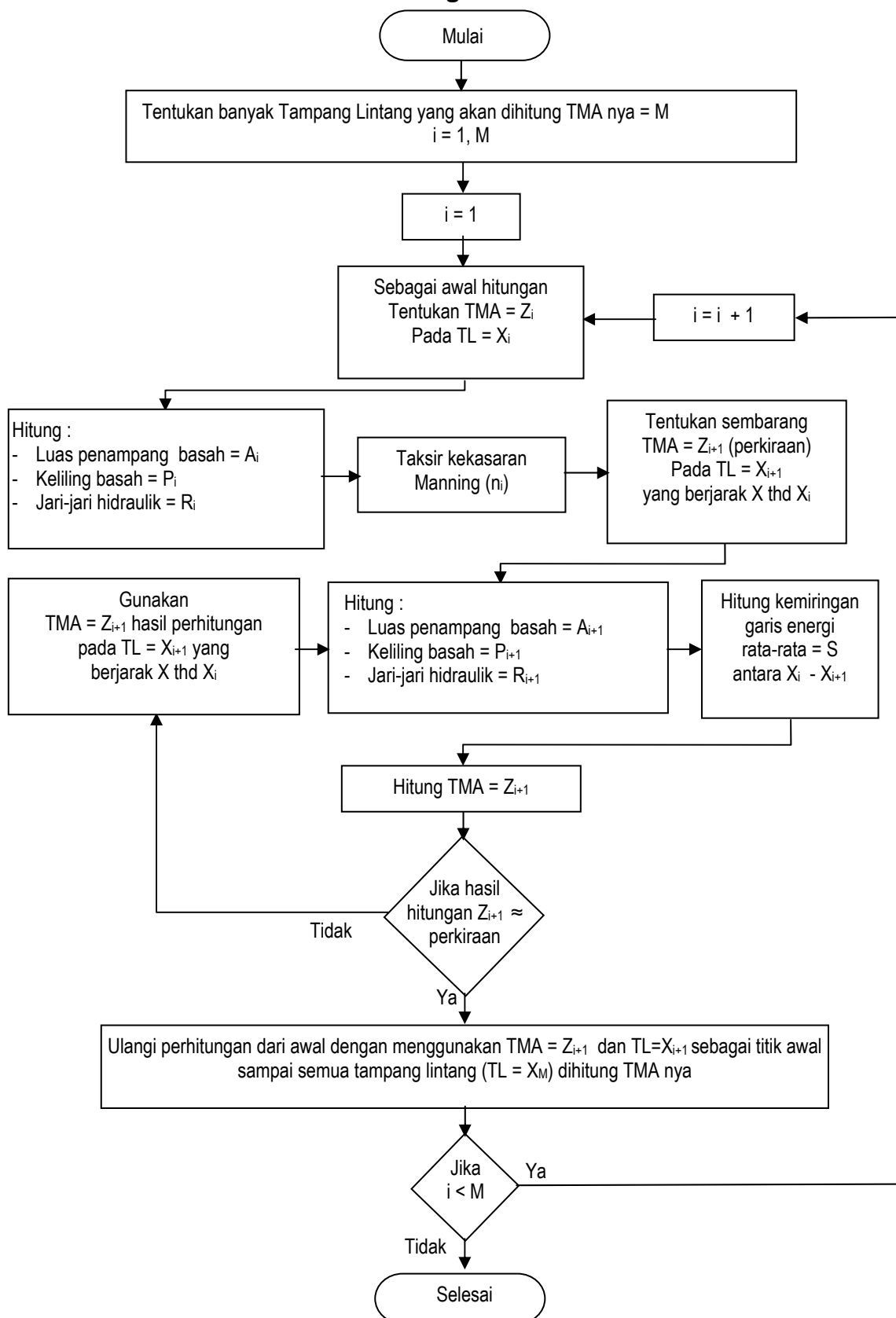
Hasil perhitungan tinggi muka air sungai, dibuat laporan sebagai berikut.

- 1) lokasi / nama sungai;
- 2) daerah hitungan;
- 3) tanggal penghitungan;
- 4) nama petugas dan penanggung jawab.



**Lampiran A**  
(normatif)

**Bagan alir**



" Copy standar ini dibuat oleh BSN untuk Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum dalam rangka Penyebarluasan, Pengenalan dan Pengaplikasian Standar, Pedoman, Manual (SPM) Bidang Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil "

**Gambar A.1** Bagan alir perhitungan tinggi muka air sungai

**Lampiran B**  
(informatif)

**Tabel-tabel**

**Tabel B.1 Kekasaran dinding alur sungai berdasarkan Manning**

No.	Kondisi dan tipe alur	Kekasaran Manning		
		Minimum	Normal	Maksimum
<b>A. Sungai Kecil (lebar muka air banjir &lt; 30 m)</b>				
<b>I. Mengalir pada dataran rendah</b>				
1.	Alur bersih, lurus, elevasi muka air penuh, tidak ada celah atau bagian yang dalam (kedung)	0,025	0,030	0,033
2.	Sama seperti diatas tetapi lebih banyak batu dan rumput/tanaman	0,030	0,035	0,040
3.	Alur bersih, melingkar, dengan bagian dalam dan dangkal	0,033	0,040	0,045
4.	Sama seperti diatas, tetapi lebih banyak batu dan rumput/tanaman	0,035	0,045	0,050
5.	Sama seperti diatas, tetapi elevasi muka air lebih rendah, dan lebih banyak perubahan kemiringan dan lebar	0,040	0,048	0,055
6.	Sama seperti diatas, tetapi lebih banyak batu	0,045	0,050	0,060
7.	Penggal sungai dengan aliran pelan, penuh rumput, dengan kolam yang dalam	0,050	0,070	0,080
8.	Alur banyak rumput, alur-alur yang dalam, atau lintasan banjir dengan tegakan pohon dan semak	0,075	0,100	0,150
<b>II. Sungai pegunungan, pada alur tidak ada vegetasi, tebing sungai curam, pohonan semak pada tebing tenggelam saat muka air tinggi</b>				
1.	Dasar sungai: krikil, krakal, dengan beberapa batu-batu besar	0,030	0,040	0,050
2.	Dasar sungai : krakal dengan batu-batu besar	0,040	0,050	0,070
<b>B. Bantaran banjir</b>				
<b>I. Bantaran untuk padang gembalaan (padang rumput), tanpa semak belukar</b>				
1.	Rumput rendah	0,025	0,030	0,035
2.	Rumput tinggi	0,030	0,035	0,050
<b>II. Bantaran untuk tegalan</b>				
1.	Tidak ada tanaman	0,020	0,030	0,040
2.	Tanaman dewasa ditanam berderet	0,025	0,035	0,045
3.	Tanaman dewasa ditanam tidak berderet	0,030	0,040	0,050
<b>III. Bantaran ditumbuhi semak belukar</b>				
1.	Semak jarang, rumput lebat	0,035	0,050	0,070
2.	Semak dan pohon jarang	0,040	0,060	0,080
3.	Semak sedang sampai lebat	0,070	0,100	0,160
<b>IV. Bantaran dengan pohon-pohon</b>				
1.	Pohon ditanam rapat, pohon lurus	0,110	0,150	0,200
2.	Tanah yang dibersihkan dengan tunggu tanaman, yang tidak tumbuh	0,030	0,040	0,050
3.	Sama seperti diatas, tetapi tunggu kayu ditumbuhi daun lebat	0,050	0,060	0,080
4.	Tegakan pohon rapat, pohon yang rendah sedikit, sedikit semak belukar, tinggi muka air banjir dibawah ranting pohon	0,080	0,100	0,120
5.	Sama seperti diatas, tetapi tinggi muka air banjir mencapai ranting pohon	0,100	0,120	0,160
<b>C. Sungai Besar (lebar muka air banjir &gt; 30 m). Nilai n lebih rendah dari sungai kecil pada kondisi yang sama, sebab tebing sungai relatif lebih kecil dari luas tampang basah, sehingga tahanan geser lebih kecil</b>				
<b>I. Mengalir pada dataran rendah</b>				
1.	Bagian yang teratur tanpa batu-batu besar, dan semak	0,025	--	0,060
2.	Bagian yang tidak teratur dan kasar	0,035	--	0,100

**Tabel B.2 Contoh perhitungan tinggi muka air sungai alur tunggal dengan cara pias berdasarkan rumus Manning**

Nama Sungai : Bengawan Solo  
 Daerah hitungan : Km 48,80 – Km 50,00  
 Tanggal : 16 Januari 1989

Q= 2.500 m<sup>3</sup>/s

Jarak Kumulatif (Km)	Tinggi muka air H <sub>i</sub> (m)	Luas penampang basah A (m <sup>2</sup> )	Jari-jari Hidraulik R (m)	Koef. Manning n	Kemiringan Garis Energi S (* 10 <sup>-4</sup> )	Kemiringan Garis Energi rata-rata S (* 10 <sup>-4</sup> )	Beda Jarak ΔX (m)	Tinggi muka air Z <sub>i+1</sub> (m)	Selisih Z <sub>i+1</sub> -Z <sub>i</sub> (m)
48,480	<b>94,120</b>	1110	5,867	0,030	4,314				
48,700	94,150	992	6,230	0,030	4,986	4,650	220	94,157	0,007
48,700	<b>94,157</b>	991	6,229	0,030	4,998	4,656	220	94,157	0,000
49,170	94,600	750	5,450	0,030	10,426	7,712	470	94,277	0,323
49,170	94,277	700	4,650	0,030	14,790	9,894	470	94,296	0,019
49,170	94,296	710	4,700	0,030	14,173	9,586	470	94,300	0,004
49,170	<b>94,300</b>	715	4,720	0,030	13,897	9,448	470	94,302	0,002
49,500	94,500	725	5,250	0,030	11,728	12,813	330	94,740	0,240
49,500	94,740	740	5,300	0,030	11,116	12,506	330	94,754	0,014
49,500	94,754	745	5,310	0,030	10,940	12,418	330	94,759	0,005
49,500	<b>94,759</b>	746	5,320	0,030	10,883	12,390	330	94,760	0,001
50,000	95,900	710	5,100	0,030	12,711	11,797	500	95,289	0,389
50,000	95,289	725	5,220	0,030	11,818	11,351	500	95,293	0,004
50,000	<b>95,293</b>	727	5,240	0,030	11,694	11,288	500	95,293	0,000

Dihitung oleh : Umar Santoso  
 Diperiksa : Ir. Bagus Arman.  
 Penanggung jawab : Ir. Budi Kesowo, M. Eng.

**Tabel B.3 Contoh perhitungan tinggi muka air sungai alur ganda dengan cara pias berdasarkan rumus Manning**

Nama Sungai : Bengawan Solo  
 Daerah hitungan : Pelangwot - Babat  
 Tanggal : 16 Januari 1989

Q= 1.000 m<sup>3</sup>/s

Jarak Kumulatif (Km)	Tinggi muka air Z <sub>j</sub> (m)	Nomor bagian penampang	Luas penampang basah A <sub>j</sub> (m <sup>2</sup> )	Jari-jari Hidraulik R <sub>j</sub> (m)	Koef. Manning n	Kemiringan Garis Energi Ekuivalen S <sub>ek</sub> (* 10 <sup>-4</sup> )	Debit bagian penampang Q <sub>j</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Kemiringan Garis Energi rata-rata S (* 10 <sup>-3</sup> )	Beda Jarak ΔX (m)	Tinggi muka air Z <sub>j+1</sub> (m)	Selisih Z <sub>j+1</sub> -Z <sub>j</sub> (m)
5.000	<u>4,61</u>	1	625	4,10	0,019	0,130	960,28	-	-	-	-
		2	60	2,30	0,030		39,72				
7397,4	<u>4,85</u>	1	608	4,02	0,019	0,137	947,41	0,134	2397,4	4,92	0,07
		2	76	2,36	0,030		52,59				
	<u>4,92</u>	1	640	4,18	0,019	0,116	941,63	0,123		4,91	0,02
		2	88	2,51	0,030		58,37				
9985,8	<u>5,20</u>	1	650	4,20	0,019	0,113	948,00	0,114	2588,4	5,22	0,02
		2	80	2,48	0,030		52,00				
12793,5	<u>5,50</u>	1	640	4,18	0,019	0,118	949,83	0,115	2807,7	5,52	0,02
		2	76	2,46	0,030		50,17				
15532,0	<u>5,80</u>	1	630	4,14	0,019	0,125	956,54	0,121	2738,5	5,83	0,03
		2	65	2,40	0,030		43,46				
	<u>5,83</u>	1	640	4,17	0,019	0,119	953,90	0,118		5,82	0,01
		2	70	2,43	0,030		46,10				
18604,9	<u>6,20</u>	1	625	4,15	0,019	0,126	967,91	0,122	3072,9	6,20	0,00
		2	50	2,25	0,030		32,09				
21642,4	<u>6,60</u>	1	630	4,11	0,019	0,130	970,87	0,128	3037,5	6,59	0,01
		2	45	2,22	0,030		29,13				
24571,3	<u>7,00</u>	1	628	4,10	0,019	0,132	972,08	0,131	2928,9	6,98	0,02
		2	43	2,21	0,030		27,92				
27544,9	<u>7,30</u>	1	610	4,03	0,019	0,140	962,41	0,136	2973,6	7,40	0,10
		2	55	0,28	0,030		37,59				
	<u>7,40</u>	1	625	4,09	0,019	0,129	955,70	0,131		7,39	0,01
		2	66	2,36	0,030		44,30				
30398,6	<u>7,76</u>	1	620	4,07	0,019	0,133	960,02	0,131	2853,7	7,77	0,01
		2	60	2,28	0,030		39,98				

Dihitung oleh : Saryanto, ST  
 Diperiksa : Ir. Bambang Rahardjo, M. Eng  
 Penanggung jawab : Ir. Parikesit, M. Sc.

**Lampiran C**  
(informatif)

**Tabel daftar deviasi teknis dan penjelasannya**

No.	Materi	Sebelum	Revisi
1	Judul	Metode perhitungan tinggi muka air sungai dengan cara pias berdasarkan rumus Manning dan Tata cara perhitungan tinggi muka air sungai tampang ganda dengan cara pias berdasarkan rumus Manning	Tata cara perhitungan tinggi muka air sungai dengan cara pias berdasarkan rumus Manning
2	Format	Sudah ada	Tetap
3	Istilah dan definisi	Sudah ada	Penambahan istilah dan definisi karena penggabungan dari 2 SNI yaitu <b>SNI 03-2830-1992</b> dan <b>SNI 03-3444-1994</b>
4	Ketentuan dan persyaratan	Sudah ada tetap masih kurang lengkap	Penambahan beberapa materi dari <b>2 SNI</b> yaitu SNI 03-2830-1992 dan SNI 03-3444-1994
5	Bagan alir	Sudah ada	Perbaiki bagan alir sesuai koreksi (Lampiran A)
6	Tabel	Sudah ada, tapi kurang lengkap	Penambahan tabel Kekasaran dinding alur sungai berdasarkan Manning (Lampiran B)