

## B A B V TINGGI KRITIS

### V.1. PENJELASAN UMUM.

Pada bab ini kami membahas apa yang dinamakan tinggi kritis aliran dari suatu penampang saluran. Tinggi kritis ini terjadi keadaan kritis pada saluran tertutup dan saluran terbuka. Pembahasan kami disini adalah mengenai tinggi kritis pada saluran terbuka (open channel).

Sebagaimana kita ketahui bahwa air dapat mengalir akibat perbedaan tinggi. Disini berarti ada spesifik energi yang menurut rumus BERNOULLI adalah  $E = Y + V^2/2.g$  untuk saluran terbuka dimana perbedaan tekanan udara ( $p$ ) = 0.

Bila spesifik energi ( $E$ ) ini minimum maka akan terjadi suatu keadaan dimana tinggi air pada saluran terbuka sama dengan tinggi kritis saluran tersebut.

### V.2. METODE PERHITUNGAN.

$$\text{Energi } E = Y + V^2/2.g \quad [ 7.1 ]$$

dimana:

$\theta$  = dianggap mendekati 0 atau kecil sekali.

$\alpha$  = koefisien kecepatan dianggap sama dengan 1.

Kemudian rumus tersebut diubah dengan mensubstitusi  $V = Q/A$  maka didapat :

$$E = Y + Q^2/(2.g.A) \quad [ 7.1.1 ]$$

Untuk mendapatkan energi minimum maka  $E$  harus dideferensialkan ke  $Y$  (tinggi air), yang mana debit ( $Q$ ) adalah constant sesuai dengan hukum steady flow.

Diferensial  $E$  ke  $Y$  adalah :

$$\frac{dE}{dY} = 1 - \frac{Q^2}{g.A^3} \frac{dA}{dY} = 1 - \frac{V^2}{g.A} \frac{dA}{dY}$$

Diferensial dari penampang saluran  $dA$  dekat permukaan adalah sama dengan  $T.dY$ . Jadi  $dA/dY = T$  dan hydraulic depth  $D = A/T$  maka didapat :

$$\frac{dE}{dY} = 1 - \frac{V^2.T}{g.A} = 1 - \frac{V^2}{g.D} \quad [ 7.2 ]$$

Untuk mendapatkan spesifik energi yang minimum,  $dE/dY=0$  dari persamaan [ 7.2 ] didapat :

$$\frac{V^2}{2.g} = \frac{D}{2} \quad [ 7.3 ]$$

Hal tersebut merupakan kriteria untuk keadaan kritis dari suatu aliran. Maka didapatkan **angka FROUDE** :

$$F = \frac{V}{\sqrt{g.D.\cos \theta / \alpha}} \quad [ 7.4 ]$$

dimana :

$F$  = angka FROUDE, untuk keadaan kritis  $F = 1$

$V$  = kecepatan aliran.

$g$  = gravitasi

$D$  = hydraulic depth

$\theta$  = sudut kemiringan saluran

$\alpha$  = koefisien kecepatan.

Rumus tersebut diatas digunakan untuk menentukan angka FROUDE dengan kemiringan yang besar sehingga  $\cos \theta < 1$  dan koefisien kecepatan ( $\alpha$ ) diperhitungkan.

Dengan anggapan bahwa kemiringan saluran adalah kecil ( $\cos \theta \approx 1$ ) maka untuk menghitung tinggi kritis suatu saluran adalah sebagai berikut :

Syarat : angka FROUDE = 1

$$\text{Jadi : } V_c = \sqrt{g \cdot D / \alpha} \quad [ 7.5 ]$$

Disini yang dicari adalah tinggi saluran pada saat kecepatan sama dengan  $V_c$ , dimana :

$V_c$  = didapat dari debit saluran (Q) dibagi dengan luas area(A), yang mana A adalah fungsi dari tinggi dari saluran

g = gravitasi ( untuk S.I -->  $g = 9,8 \text{ m/det}^2$  )

= koefisien kecepatan

D = hydraulic depth (  $A/T$  )

yang mana A merupakan fungsi Y, T adalah fungsi Y

Untuk mengetahui keadaan kemiringan dari suatu saluran yang ada maka kami menggunakan rumus MANNING untuk mengetahui tinggi air (  $Y_n$  ) pada saat itu.

Rumus MANNING :

$$V_n = k/n \cdot R^{2/3} \cdot S_o^{1/2} \dots \dots \dots [ 7.6 ]$$

$V_n$  = kecepatan pada saluran tersebut, yang mana didapat dari  $Q/A$ . A adalah fungsi Y

n = koefisien kekasaran saluran.

(lihat tabel 5-5 hal 109 V.T.Chow)

R = jari - jari basah (  $R = A/P$  )

$S_o$  = kemiringan saluran

k = koefisien yang harus disesuaikan dengan satuan yang digunakan. Untuk satuan meter  $k = 1$ , sedangkan untuk satuan feet  $k = 1,49$

- Bila :
1.  $Y_n > Y_c$  atau  $S_o < S_c$  maka **kemiringan saluran adalah landai (mild slope)**
  2.  $Y_n = Y_c$  atau  $S_o = S_c$  maka **kemiringan saluran adalah kritis (critical slope)**
  3.  $Y_n < Y_c$  atau  $S_o > S_c$  maka **kemiringan saluran adalah curam (supercritical slope)**

### V.3. PENJELASAN & NOTASI PROGRAM

#### PENJELASAN PROGRAM

- Keterangan penggunaan program untuk perhitungan tinggi kritis [ 10 - 30 ]
- Pemilihan bentuk saluran yang ada yaitu :
  1. SEGITIGA SAMAKAKI.
  2. EMPAT PERSEGI PANJANG.
  3. TRAPESIUM SAMAKAKI.
  4. LINGKARAN.
  5. PARABOLA. [ 40 - 170 ]
- \* Program untuk perhitungan saluran penampang 1 / 2 / 3.
- Input data yang harus dimasukkan :
  - + satuan yang digunakan (FEET/METER)
  - + lebar saluran
  - + kemiringan talud.
  - + kekasaran saluran.
  - + debit
  - + grafitasi
  - + koefisien kecepatan. [180 - 300]
- Definisi fungsi - fungsi yang ada:
  - + FNA untuk fungsi luas penampang.
  - + FNT untuk fungsi lebar atas penampang.
  - + FND untuk fungsi hydraulic depth.
  - + FNR untuk fungsi jari-jari basah pangkat 0,667 [310 - 360]
- Perhitungan untuk tinggi normal dipakai cara Trial&Error dengan metode Approximate dengan delta =0,01 [360 - 510]
- Perhitungan untuk tinggi kritis dipakai cara Trial&Error dengan metode Approximate dengan delta =0,01 [520 - 670]
- Output pada pencetak & SELESAI [680 - 850]
- \*\* Program untuk perhitungan saluran penampang 4 (lingkaran)
  - Input data yang harus dimasukkan :
    - + satuan yang digunakan (FEET/METER)

- + diameter saluran
- + kemiringan talud.
- + kekasaran saluran.
- + debit
- + grafitasi
- + koefisien kecepatan. [880 - 970]
- Definisi fungsi - fungsi yang ada:
  - + FNA untuk fungsi luas penampang.
  - + FND untuk fungsi hydraulic depth.
  - + FNR untuk fungsi jari-jari basah pangkat 0,667 [980 -1000]
- Perhitungan tinggi normal dipakai cara Trial&Error dengan metode menambah harga teta sebesar 0 ddan delta = 0,1. [1010-1080]
- Perhitungan tinggi kritis dipakai cara Trial&Error dengan metode menambah harga teta sebesar 0 ddan delta = 0,1. [1090-1160]
- Output pada pencetak & SELESAI [1170-1380]
- \*\*\* Program untuk perhitungan saluran penampang 5 (parabola)
- program belum ada

## NOTASI -- NOTASI

VARIABEL BIASA

## \* UNTUK SALURAN DENGAN PENAMPANG

1. SEGITIGA SAMAKAKI.
2. EMPAT PERSEGI PANJANG.
3. TRAPESIUM SAMAKAKI.

$x$  = nomer pilihan saluran yang dikehendaki. (1/2/3)  
 $B$  = lebar saluran.  
 $P$  = kemiringan talud.  
 $So$  = kemiringan saluran.  
 $N$  = koefisien kekasaran saluran.  
 $Q$  = debit saluran.  
 $k$  = koefisien yang tergantung dari satuan yang dipakai  
 untuk feet  $k = 1,49$  untuk meter  $k = 1$ .  
 $G$  = grafitasi  
 $ALP$  = koefisien kecepatan.  
 $FNA(Y)$  = fungsi dari luas penampang.  
 $FNT(Y)$  = fungsi dari lebar atas dari penampang.  
 $FND(Y)$  = fungsi dari luas dibagi lebar atas penampang.  
 $FNR(Y)$  = fungsi dari jari-jari basah dipangkatkan  $2/3$   
 $V$  = kecepatan aliran dicari dari  $Q / FN A(Y)$   
 $W$  = kecepatan aliran dicari dari  $W = So^{.5} * FN R(Y) * (k/N)$   
 $Z$  = angka yang diharapkan mendekati  $Y$  dengan perbedaan  
 yang kecil yaitu  $0,01$   
 $Yn$  = tinggi air normal  
 $Vn$  = kecepatan air pada tinggi normal  
 $X$  = tinggi aliran untuk kecepatan kritis.  
 $Vl$  = kecepatan aliran dicari dari  $Q / FN A(X)$   
 $Wl$  = kecepatan aliran dicari dari  $Wl = SQR(G * FN D(X) / ALP)$ .  
 $Zl$  = angka yang diharapkan mendekati  $X$  dengan perbedaan  
 yang kecil yaitu  $0,01$   
 $Yc$  = tinggi air kritis  
 $Vc$  = keceepatan air kritis.

VARIABEL STRING

P\$ = pernyataan perhitungan tinggi normal  
 Pl\$ = pernyataan perhitungan tinggi kritis  
 H\$ = satuan untuk rumus MANNING (FEET/METER)  
 PA\$ = untuk pencetakan bentuk saluran.

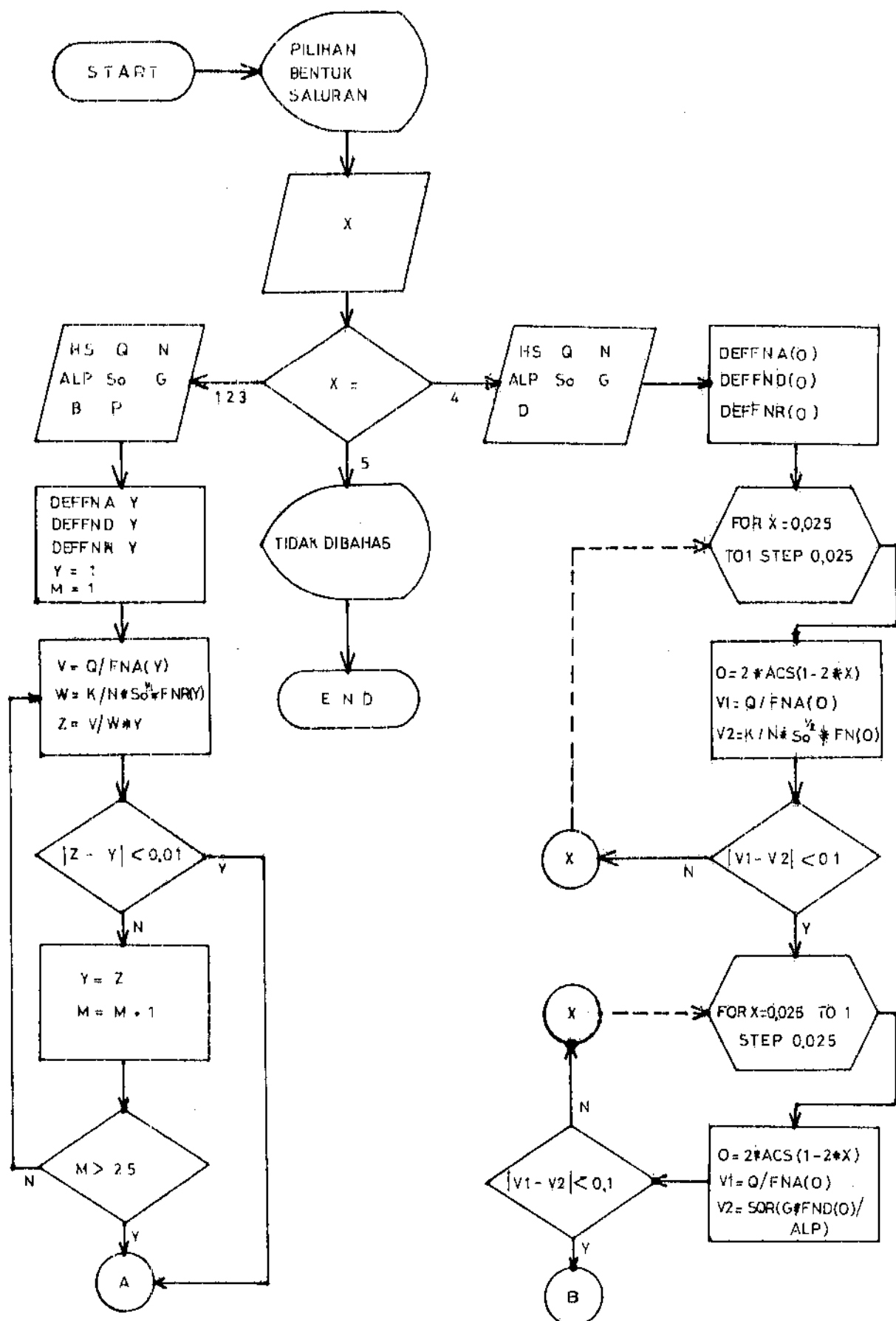
VARIABEL BIASA

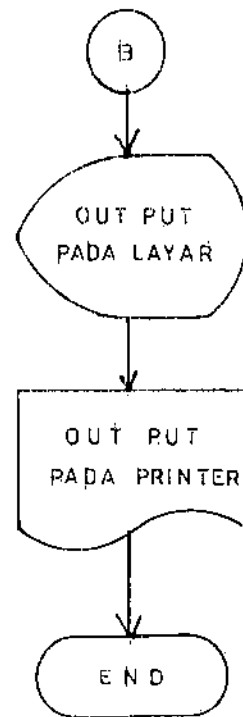
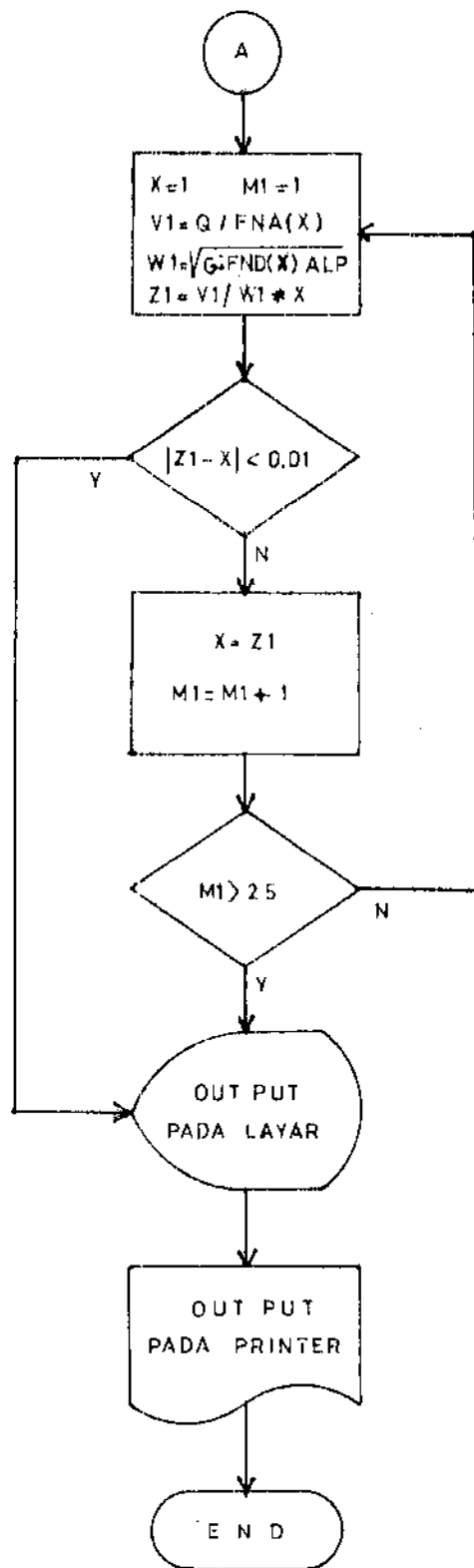
\*\* UNTUK SALURAN DENGAN PENAMPANG : LINGKARAN.

x = nomer pilihan saluran yang dikehendaki. (4)  
 B = diameter saluran.  
 So = kemiringan saluran.  
 N = koefisien kekasaran saluran.  
 Q = debit saluran.  
 k = koefisien yang tergantung dari satuan yang dipakai  
     untuk feet  $k = 1,49$  untuk meter  $k = 1$ .  
 G = grafitasi  
 ALP = koefisien kecepatan.  
 O = sudut teta yang terjadi pada keadaan normal.  
 FNA(O) = fungsi dari luas penampang.  
 FNT(O) = fungsi dari lebar atas dari penampang.  
 FND(O) = fungsi dari luas dibagi lebar atas penampang.  
 FNR(O) = fungsi dari jari-jari basah dipangkatkan  $2/3$   
 V1 = kecepatan aliran dicari dari  $Q / FN A(O)$   
 V2 = kecepatan aliran dicari dari  $W = So^{.5} * FN R(O) * (k/N)$   
 Yn = tinggi air normal  
 Vn = kecepatan air pada tinggi normal  
 X = perbandingan antara Y/D untuk mencari tinggi normal  
 o = sudut teta utk keadaan kritis  
 v1 = kecepatan aliran dicari dari  $Q / FN A(o)$   
 v2 = kecepatan aliran dicari dari  $W1 = SQR(G * FN D(o) / ALP)$ .  
 Yc = tinggi air kritis  
 Vc = kecepatan air kritis.  
 x = perbandingan antara Y/D utk mencari tinggi kritis.

VARIABEL STRING

H\$ = satuan untuk rumus MANNING (FEET/METER)  
 PA\$ = untuk pencetakan bentuk saluran.





## TINGGI KRITIS

```

10 'TINGGI KRITIS
20 CLS: CLEAR
30 REM : Mencari TINGGI KRITIS ( $Y_c$ ) & TINGGI NORMAL ( $Y_n$ ) UNTUK
SALURAN BERBENTUK: 1. SEGITIGA SAMAKAKI 2. EMPAT PERSEGI PANJANG
3. TRAPESIUM SAMAKAKI 4. LINGKARAN 5. PARABOLA
40 PRINT "BENTUK SALURAN ANDA: 1. SEGITIGA SAMAKAKI"
50 PRINT "2. EMPAT PERSEGI PANJANG"
60 PRINT "3. TRAPESIUM SAMAKAKI"
70 PRINT "4. LINGKARAN"
80 PRINT "5. PARABOLA"
90 INPUT "BENTUK SALURAN YANG ANDA KEHENDAKI NOMER ? ", x
100 IF x <= 5 AND x >= 1 THEN 120
110 PRINT " N O M E R   P I L I H A N   S A L A H": GOTO 20
120 ON x GOTO 130, 140, 150, 160, 170
130 PA$= "BENTUK SALURAN SEGITIGA SAMAKAKI" : GOTO 180
140 PA$= "BENTUK SALURAN EMPAT PERSEGI PANJANG" : GOTO 180
150 PA$= "BENTUK SALURAN TRAPESIUM SAMAKAKI": GOTO 180
160 PA$= "BENTUK SALURAN LINGKARAN": GOTO 870
170 PA$= "BENTUK SALURAN PARABOLA" : PRINT "PROGRAM BELUM ADA": E
ND
180 'INPUT DATA YANG ADA
190 PRINT PA$: PRINT
200 INPUT "Satuan Yang Digunakan ( FEET/ METER ) ", H$
210 IF H$ <> "FEET" AND H$ <> "METER" THEN 200
220 IF H$ = "METER" THEN K=1 : GOTO 240
230 K=1.49
240 INPUT "LEBAR SALURAN= B (B=0 UTK SEGITIGA) =", B
250 INPUT "KEMIRINGAN TALUD= P (P=0 UTK EMPAT P.P) =", P
260 INPUT "KEMIRINGAN SALURAN= So =", So
270 INPUT "KEKASARAN SALURAN = N =", N
280 INPUT "D E B I T= Q =", Q
290 INPUT "GRAVITASI = G =", G
300 INPUT "KOEFS KECEPATAN = ALPHA =", ALP
310 'DEFINISI FUNGSI-FUNGSI
320 DEFN A(Y)=B*Y+P*Y^2
330 DEFN T(Y)=B+2*Y*P
340 DEFN D(Y)=FN A(Y)/FN T(Y)

```

```

350 DEF FN R(Y)=(B*Y+(P*Y^2))^-.667/(B+2*Y*SQR(1+P^2))^-.667
360 'PERHITUNGAN TINGGI NORMAL
370 Y=1:M=1
380 LET V=Q/FN A(Y)
390 LET W= So^.5*FN R(Y)*(K/N)
400 Z=V/W*Y
410 IF ABS(Y-Z)<.01 THEN 470
420 LET Y=Z
430 M=M+1
440 IF M>25 THEN 460
450 GOTO 380
460 P$="NON CONVERGEN ":GOTO 480
470 P$="CONVERGEN "
480 PRINT P$
490 PRINT"TINGGI NORMAL = Yn =";Y
500 PRINT"KECEPATAN NORMAL = Vn =";V
510 PRINT"AREA = A =";FN A(Y);" M =";M
520 'PERHITUNGAN TINGGI KRITIS
530 X=1:M1=1
540 LET V1= Q/FN A(X)
550 LET W1=SQR(G*FN D(X)/ALF)
560 Z1=V1/W1*X
570 IF ABS(X-Z1)<=.01 THEN 630
580 LET X=Z1
590 LET M1=M1+1
600 IF M1>25 THEN 620
610 GOTO 540
620 F1$="NON CONVERGEN ": GOTO 640
630 F1$="CONVERGEN"
640 PRINT P1$
650 PRINT "TINGGI KRITIS = Yc =";X
660 PRINT"KECEPATAN KRITIS = Vc =";V1
670 PRINT "A R E A = Ac = ";FNA(X)
680 INPUT "OUTPUT PADA PRINTER (Y/T) ",U$
690 IF U$="T" THEN 1220
700 IF U$<>"Y" THEN 680
710 LPRINT CHR$(14);PA$;LPRINT:LPRINT CHR$(27);"E";"SATUAN YANG
DIPAKAI ADALAH ";H$

```

```

720 LPRINT:LPRINT
730 LPRINT"LEBAR SALURAN = B =";B
740 LPRINT"KEMIRINGAN TALUD= P =";P
750 LPRINT"KEMIRINGAN SALURAN=So=";So
760 LPRINT"KEKASARAN SALURAN = N=";N
770 LPRINT"DEBIT= Q =";Q
780 LPRINT"GRAFITASI= G =";G
790 LPRINT"KOEFS KECEPATAN =ALPHA =";ALP:LPRINT
800 LPRINTP$;LPRINT"TINGGI NORMAL = Yn =";Y
810 LPRINT "KECEPATAN NORMAL = Vn =";V
820 LPRINT "AREA = A =";FN A(Y);LPRINT
830 LPRINTP1$;LPRINT"TINGGI KRITIS = Yc =";X
840 LPRINT "KECEPATAN KRITIS = Vc =";V1
850 LPRINT"AREA KRITIS = Ac =";FN A(X) :END
860 REM: Mencari TINGGI KRITIS (Yc) & TINGGI NORMAL (Yn) UTK S
ALURAN BERBENTUK LINGKARAN
870 ANGLE 1
880 INPUT "Satuan Yang Digunakan ( FEET/ METER ) ",H$
890 IF H$<>"FEET"AND H$<>"METER"THEN 880
900 IF H$ ="METER"THEN K=1 :GOTO920
910 K=1.49
920 INPUT "DEBIT SALURAN = Q =",Q
930 INPUT "DIAMETER SALURAN = D (m) =",D
940 INPUT "KEMIRINGAN SALURAN = So =",So
950 INPUT "KEKASARAN SALURAN = N =",N
960 INPUT "GRAVITASI = G =",G
970 INPUT "KOEFS KECEPATAN =ALPHA =",ALP
980 DEFFN A(D) = .125*(D-SIN(D))*D^2
990 DEFFN R(D) = (.25*(1-SIN (D)/D)*D)^.667
1000 DEFFN D(D) = (.125*((D-SIN (D))/SIN (1/2*D)*D))
1010 FOR X=.025 TO 1 STEP 0.025
1020 D= 2*ACS(1-2*X)
1030 V1=Q/FN A(D) :V2= So^.5*(K/N)*FN R(D):A1=FN A(D)
1040 IF ABS (V1-V2)<=.1 THEN 1060
1050 NEXT X
1060 IF X>=1 THEN 1080
1070 Yn=X*D;PRINT "Yn=";Yn;"Vn=";V1;"SUDUT TETA (RAD) =" ;D :GOTO
1090

```

```

1080 PRINT "KOREKSI STEP KENAIKAN KOEFISIEN X ATAU ALIRAN TERTUT
UP"
1090 FOR x=.05 TO 1 STEP .01
1100 LET d=2*ACS(1-2*x):C=FN D(d)
1110 v1=Q/FN A(d):v2=SQR(C*G/ALP):A2=FNA(d)
1120 IF ABS(v1-v2)<=.1 THEN1150
1130 NEXT x
1140 IF x>=1 THEN 1160
1150 Yc=x*D:PRINT "Yc=";Yc;"Vc=";v1;"SUDUT TETA KRITIS (RAD) ="
o :GOTO 1170
1160 PRINT "KOREKSI STEP KENAIKAN KOEFISIEN X ATAU ALIRAN TERTUT
UP"
1170 INPUT "OUTPUT PADA PRINTER (Y/T) ";K$
1180 IF K$= "T"THEN END
1190 IF K$<>"Y" THEN1170
1200 LPRINTCHR$(27);"E":LPRINTCHR$(14);PA$:LPRINT:LPRINTCHR$(27)
;"G";
1210 LPRINT"SATUAN YANG DIGUNAKAN ADALAH ";H$:LPRINT
1220 LPRINT"DEBIT SALURAN = Q =" ;Q
1230 LPRINT"DIAMETER SALURAN = D =" ;D
1240 LPRINT"KEMIRINGAN SALURAN = So =" ;So
1250 LPRINT"KEKASARAN SALURAN = N =" ;N
1260 LPRINT"GRAVITASI = G =" ;G
1270 LPRINT"KEF KECEPATAN = ALPHA =" ;ALP:LPRINT:LPRINT
1280 LPRINT"UNTUK KETINGGIAN NORMAL"
1290 LPRINT"TINGGI NORMAL = Yn =" ;Yn
1300 LPRINT"LUAS NORMAL = An =" ;A1
1310 LPRINT"KECEPATAN = Vn =" ;V1
1320 LPRINT"SUDUT TETA NORMAL =" ;D :LPRINT:LPRINT
1330 LPRINT"UNTUK KETINGGIAN KRITIS"
1340 LPRINT"TINGGI KRITIS = Yc =" ;Yc
1350 LPRINT"LUAS KRITIS = Ac =" ;A2
1360 LPRINT"KECEPATAN = Vc =" ;v1
1370 LPRINT"SUDUT TETA KRITIS =" ;o
1380 END

```

Contoh soal : PERHITUNGAN TINGGI KRITIS & TINGGI NORMAL  
diambil dari buku **Open Channel Hydraulic**  
oleh **Ven Te Chow** chapter 10 halaman 250

Satuan : feet.

Debit : 400 cfs.

So : 0,0016

Grafitasi: 32,2 feet/det<sup>2</sup>

Untuk bentuk saluran TRAPESIUM SAMAKAKI

Lebar dasar saluran = 20 feet

Kemiringan talud = 2

Kekasaran saluran = 0,025

Koefisien kecepatan = 1,1

Dari chapter 4 halaman 69

Untuk bentuk saluran LINGKARAN

Diameter saluran = 3 feet.

Kekasaran saluran = 0,015

Koefisien kecepatan= 1

## BENTUK SALURAN LINGKARAN

SATUAN YANG DIGUNAKAN ADALAH FEET

DEBIT SALURAN =  $Q = 20$   
 DIAMETER SALURAN =  $D = 3$   
 KEMIRINGAN SALURAN =  $S_o = 0.0016$   
 KEKASARAN SALURAN =  $N = 0.015$   
 GRAVITASI =  $g = 32.2$   
 KOEF KECEPATAN =  $ALPHA = 1$

UNTUK KETINGGIAN NORMAL

TINGGI NORMAL =  $Y_n = 2.175$   
 LUAS NORMAL =  $A_n = 5.48871$   
 KECEPATAN =  $V_n = 3.64385$   
 SUDUT TETA NORMAL =  $4.07512$

UNTUK KETINGGIAN KRITIS

TINGGI KRITIS =  $Y_c = 1.44$   
 LUAS KRITIS =  $A_c = 3.35434$   
 KECEPATAN =  $V_c = 5.96242$   
 SUDUT TETA KRITIS =  $3.06157$

## BENTUK SALURAN TRAPESIUM SAMAKAKI

SATUAN YANG DIPAKAI ADALAH FEET

LEBAR SALURAN =  $B = 20$   
 KEMIRINGAN TALUD =  $P = 2$   
 KEMIRINGAN SALURAN =  $S_o = 0.0016$   
 KEKASARAN SALURAN =  $N = 0.025$   
 DEBIT =  $Q = 400$   
 GRAVITASI =  $g = 32.2$   
 KOEF KECEPATAN =  $ALPHA = 1.1$

NON CONVERGEN

TINGGI NORMAL =  $Y_n = 3.37084$   
 KECEPATAN NORMAL =  $V_n = 4.4953$   
 AREA =  $A = 90.1418$

CONVERGEN

TINGGI KRITIS =  $Y_c = 2.20662$   
 KECEPATAN KRITIS =  $V_c = 7.4252$   
 AREA KRITIS =  $A_c = 53.8706$