BAB II
KAJIAN PUSTAKA

2.1. Loncatan Hidrolis

Loncatan hidrolis terjadi bilamana aliran superkritis berubah menjadi aliran sub kritis pada jarak dan kedalaman tertentu. Aliran superkritis akan mengalami loncatan untuk sampai pada kedalaman aliran yang merupakan pertamuan dua jenis aliran tersebut yang dinamakan kedalam konjugasi. Pada umumnya loncatan hidrolis disertai dengan kenaikan permukaan air secara mendadak dan kehilangan tinggi energi yang cukup besar.

Pada loncatan hidrolis sendiri terjadi beberapa fenomena, yang berpengaruh disini adalah panjang loncatan, kedalaman awal, kedalaman konjugasi dan bilangan Froude.

Dalam loncatan hidrolis akan terjadi golakan air di permukaan yang terjadi pada awal loncatan dan berakhir pada ujung loncatan. Di sinilah proses kehilangan energi terjadi. Hal ini dapat terjadi karena dalam peristiwa ini berlaku hukum kekekalan energi, dimana terjadi energi yang dilepaskan menjadi energi panas pada gelombang permukaan yang terjadi.

Penerapan loncatan hidrolis pada saluran terbuka adalah sebagai berikut:

1. Peredam/ pemecah energi pada bendungan, bendung dan bangunan hidrolis lainnya, sehingga gerusan dan pengikisan yang terjadi di hilir saluran dapat dicegah.
2. Untuk meninggikan muka air di saluran irigasi dan untuk pemenuhan kebutuhan air lainnya, hal ini juga dapat mengimbangi tekanan ke atas *(uplift)* pada dasar apron bendung dan sebagai pertimbangan dalam perencanaan ketebalannya.
3. Dapat juga dimanfaatkan untuk pencampuran bahan kimia pada instalasi pengolahan air minum.

Pada peristiwa hidrolis komponen dasar yang berpengaruh pada perhitungan energi adalah momentum. Pada saluran segi empat, horizontal tanpa gesekan, persamaan momentum yang terjadi adalah (Subramanya, 1986: 190):

$$\frac{1}{2}\gamma . y_1{}^2 - \frac{1}{2}\gamma . y_2{}^2 = \beta_2 \rho . q V_2 - \beta_1 \rho . q V_2 \quad \text{...} \quad (2\text{-}1)$$

dengan:

γ = berat jenis air (kg/ m^3)

y = kedalaman air (m)

β = koefisien koreksi momentum

ρ = rapat massa air (kg/m^3)

q = debit persatuan lebar saluran (m^3/dt/m)

V = kecepatan aliran (m/dt)

Dengan mengambil β = 1.0, persamaam tersebut dapat disederhanakan menjadi:

$$\frac{q^2}{g}\left(\frac{1}{y_1}-\frac{1}{y_2}\right)=\frac{1}{2}\left(y_2{}^2-y_1{}^2\right) \quad (2\text{-}2)$$

$$\frac{y_2}{y_1}=\frac{1}{2}\left(\sqrt{1+8F_1{}^2}-1\right) \quad (2\text{-}3)$$

dengan:

q = debit persatuan lebar (m^3/dt/m)

g = percepatan gravitasi (m/dt^2)

y_1 = kedalaman aliran di awal loncatan (*initial depth*) (m)

y_2 = kedalaman aliran di akhir loncatan (*conjugate depth*) (m)

F_1 = bilangan Froude yang terjadi di bagian hulu

2.2. Jenis Loncatan Hidrolis

Pada seluran segi empat dengan pintu sorong, loncatan hidrolis akan terbentuk karena terjadi pertemuan antara aliran superkritis mulai dari bawah pintu sampai awal loncatan dengan aliran subkritis di hilir saluran. Loncatan hidrolis yang terjadi dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis menurut:

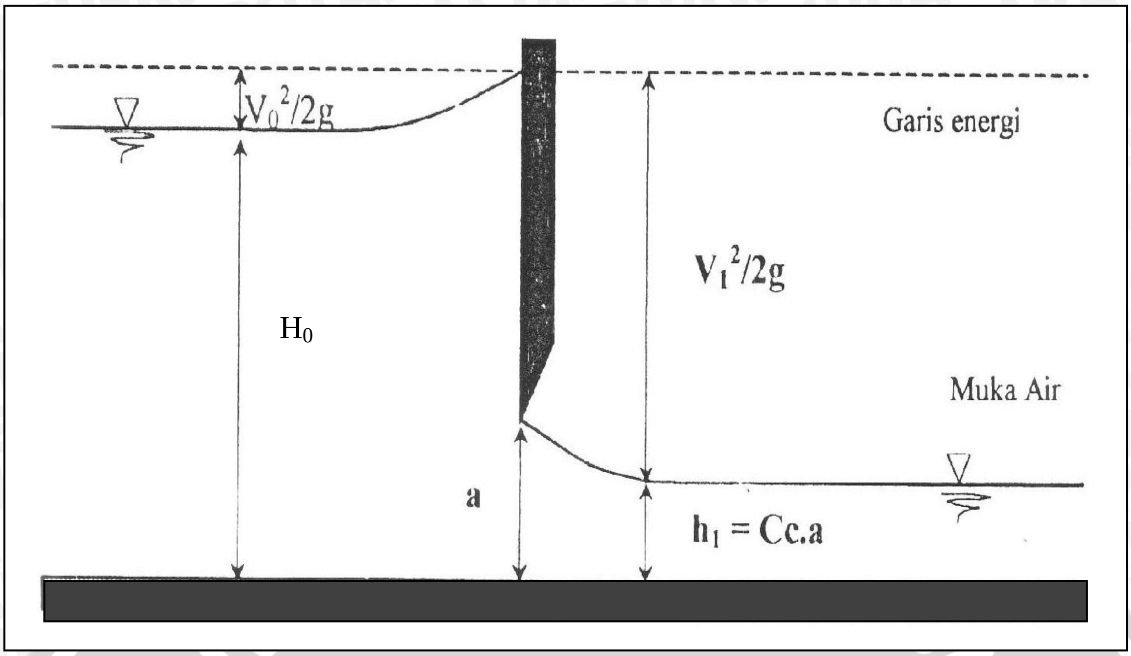
1. Kondisi aliran di hilir pintu
2. Bilangan Froude

2.2.1. Loncatan hidrolis menurut kondisi aliran di hilir pintu

Berdasarkan jenis aliran yang terbentuk di hilir pintu sorong, loncatan hidrolis terdiri dari (Raju, 1981:171)

a. Loncatan bebas

Loncatan bebas yang terbentuk pada saluran segiempat di hilir pintu sorong terjadi jika kedalaman konjugasi yang terbentuk lebih kecil daripada kedalaman muka air di hilir/ akhir loncatan (*tail water*). Profil aliran tepat di hilir pintu akan membentuk kurva M_3. Kondisi aliran pada pintu jenis ini tidak dipengaruhi oleh loncatan, sehingga aliran melalui pintu dapat juga disebut aliran bebas.



Gambar 2.1. Kondisi Aliran Bebas
Sumber: Subramanya, (1986:251)

Kondisi aliran bebas pada pintu (*free flow*) dicapai pada keadaaan dimana aliran pada hulu pintu sub kritis, sedangkan aliran di hilir pintu adalah superkritis. Persamaan debit aliran yang melewati pintu sorong ditentukan sebagai berikut ini (Subramanya, 1986:252)

$$q = C_d . a . \sqrt{2g(H_0 - C_c . a)} \quad \text{.......... (2-4)}$$

dengan:

q	= debit persatuan lebar	(m^3/ dt/ m)
C_d	= koefisien debit	
a	= tinggi bukaan pintu	(m)
g	= percepatan gravitasi	(m/dt^2)
H_0	= tinggi muka air di hilir pintu	(m)
C_c	= koefisien konstraksi	

Dengan mengabaikan kehilangan tinggi energi antara penampang 1 dan penampang 2 pada suatu saluran segiempat (Gambar 2.1) persamaan energi dapat ditulis sebagai : (Subramanya, 1982:252)

$$H_0 + \frac{V_0^2}{2.g} = h_1 + \frac{V_1^2}{2.g} \quad \text{.......... (2-5)}$$

Debit per satuan lebar dapat diketahui dengan rumus kontinuitas sebagai berikut:

$$q = H_0 . V_0 = h_1 . V_1 = C_c . a . V_1 \quad \text{.......... (2-6)}$$

Dengan mensubtitusikan Persamaan (2-6) maka debit per satuan lebar yang melalui pintu pada kondisi bebas dirumuskan sebagai beikut:

$$q = \frac{C_c}{\sqrt{1+\frac{C_c \cdot a}{h_0}}} \cdot a\sqrt{2\,g\,H_0} = C_d \cdot a\sqrt{2\,g\,H_0} \quad \text{.......... (2-7)}$$

Persamaan di atas dapat juga dirumuskan sebagai berikut:

$$q = C_d \cdot a\sqrt{2\,g\,(H_0 - C_c \cdot a)} \quad \text{.......... (2-8)}$$

Akibar dari bukaan pintu menimbulkan "*vena contracta*" di hilir sehingga kedalaman air di hilir pintu:

$$h_1 = C_c \cdot a \quad \text{.......... (2-9)}$$

dengan:

q = debit per satuan lebar (m^3/dt)

h_1 = tinggi muka air di hilir pintu (m)

V_1 = kecepatan aliran di hilir pintu (m/dt)

a = tinggi bukaan pintu (m)

g = percepatan gravitasi (m/dt^2)

C_c = koefisien konstraksi

C_d = koefisien debit

Dari Persamaan (2-9) dapat diketahui untuk mendapatkan nilai koefisien debit dapat dirumuskan:

$$C_d = \frac{C_c}{\sqrt{1+\frac{C_c \cdot a}{h_0}}} \quad \text{.......... (2-10)}$$

Koefisen konstraksi (C_C) dapat ditentukan dengan mengetahui debit aliran (Q) dan kecepatan aliran di bawah pintu (V_1) dengan persamaan:

$$Q = C_c\, a.\, B.\, V_1 \quad \text{.......... (2-11)}$$

atau

$$C_c = \frac{Q}{a.B.V_1} \quad \text{.......... (2-12)}$$

dengan:

a = tinggi bukaan pintu (m)

B = lebar pintu (m)

b. Loncatan tenggelam

Loncatan tenggelam terjadi jika dalam kondisi yang sama dengan loncatan bebas di atas kedalaman air di akhir loncatan (*tail water*) lebih besar atau mengalami kenaikan sehingga menjadi lebih besar daripada kedalaman aliran di awal loncatan. Kehilangan energi yang terjadi pada loncatan jenis ini lebih kecil daripada kehilangan energi yang terjadi pada loncatan bebas.

Kondisi aliran tenggelam (*submerged flow)* dicapai bila kedalaman air di hilir pintu:

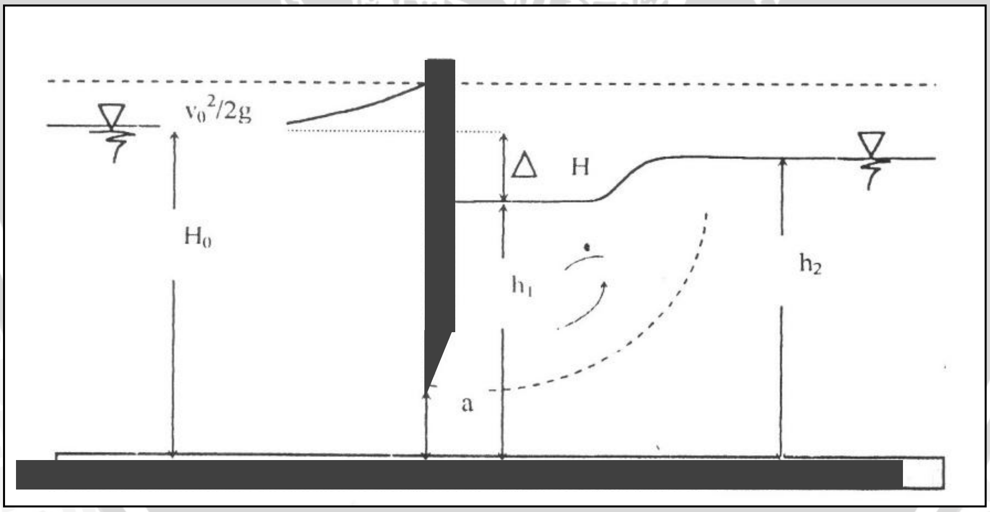
$H_1 > C_c . a$

Untuk menentukan debit yang melalui pintu pada kondisi aliran tenggelam digunakan persamaan (Subramanya,1986:256),

$$q = C_{d} \, . \, a\sqrt{2\,g\,(H_0 - H_1)} \quad \text{(2-13)}$$

dengan:

q	= debit per satuan lebar	(m^3/dt)
C_d	= koefisien debit	
a	= tinggi bukaan pintu	(m)
g	= percepatan gravitasi	(m/dt^2)
H_0	= tinggi muka air di hulu pintu	(m)
H_1	= tinggi muka air di hilir pintu	(m)



Gambar 2.2. Aliran melalui pintu pada kondisi tenggelam *(submerged flow)*
Sumber: Subramanya, (1986:255)

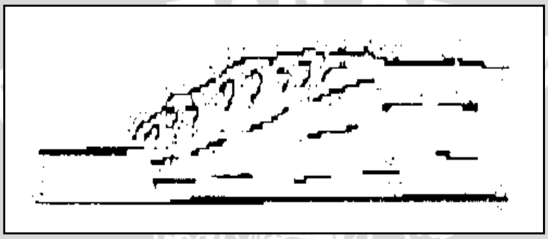
Beberapa pustaka mendefinisikan loncatan tenggelam adalah loncatan yang terjadi akibat kenaikan muka air di bagian hilir pintu sehingga mengakibatkan kenaikan muka air tepat di bawah pintu

2.2.2. Loncatan hidrolis menurut bilangan Froude

Bradley dan Peterka (1957) mengklasifikasikan loncatan hidrolis yang terbentuk berdasarkan bilangan Froude di awal loncatan yang terbentuk pada saluran menjadi (Hager, 1992:12):

a. Loncatan awal *(Pre Jump)*

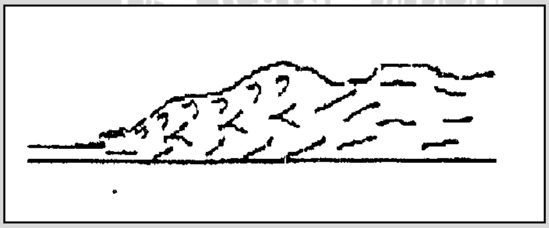
Terjadi pada kisaran bilangan Froude antara 1,7 sampai 2,5. Pada permukaan aliran akan terbentuk beberapa gulungan air kecil pada bilangan Froude ± 1,7. Loncatan awal ini tidak mengakibatkan masalah pada peredam energi dan distribusi kecepatan di hilir loncatan seragam. Sedangkan efisiensi dari loncatan kecil.



Gambar 2.3. Loncatan Awal
Sumber: Hager, (1992:12)

b. Loncatan transisi

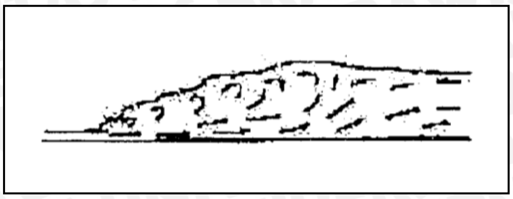
Terjadi pada kisaran bilangan Froude antara 2,5 sampai 4,5. Pada jenis ini semburan yang masuk berosilasi dengan kuat dari dasar saluran menuju permukaan dengan periode tidak tertentu. Setiap osilasi yang terjadi akan menghasilkan gelombang yang kuat dalam periode yang tidak tertentu pula. Hal ini dapat mengakibatkan gerusan pada saluran. Loncatan transisi sering terjadi pada bangunan dengan beda tinggi rendah.



Gambar 2.4. Loncatan transisi
Sumber: Hager, (1992:12)

c. Loncatan stabil

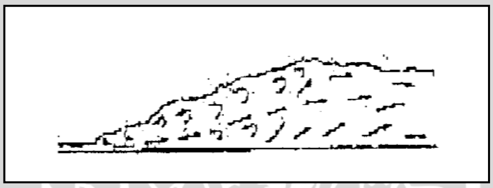
Terjadi pada kisaran bilangan Froude antara 4,5 sampai 9. Loncatan jenis ini mempunyai kondisi terbaik dimana pengaruh gelombangnya terbatas, dan peredaman energi yang baik. Intinya adalah dimana kecepatan yang tinggi bergerak menjauh dari dasar dalam waktu bersamaan dengan gulungan air pada akhir loncatan. Efisiensi yang terbentuk antara 45% sampai 70%.



Gambar 2.5. Loncatan Stabil
Sumber: Hager, (1992:13)

d. Loncatan kuat

Terjadi jika bilangan Froude yang terbentuk lebih besar dari 9. Pusaran air yang kuat berputar ke bawah di depan loncatan dan bergantian masuk pada semburan air dengan kecepatan tinggi di bagian bawah. Hal tersebut akan membentuk gelombang air tambahan di hilir saluran *(additional tail waterwaves)*. Permukaan loncaran yang terbentuk biasanya sangat tidak teratur dan mengandung banyak semburan kecil



Gambar 2.6. Loncatan Kuat
Sumber: Hager, (1992:13)

2.3. Hubungan Antara Kedalaman Konjugasi

Hubungan antara kedalaman sebelum loncatan (*pre-jump*) dan setelah loncatan (*post-jump*) yang dinamakan kedalaman konjugasi adalah: (Raju, 1986:188)

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{1}{2}(\sqrt{1 + 8F_1{}^2} - 1 \quad \text{.......} \quad (2\text{-}14)$$

$$F_1 = \frac{U_1}{\sqrt{g.h_1}}$$

Persamaan (2.14) dikenal sebagai persamaan momentum *Belanger* yang diperoleh dengan mengasumsikan bahwa:

- Distribusi kecepatan adalah seragam dan distribusi tekanan adalah hidrostatis pada kedua ujung loncatan
- Dasar adalah mendatar
- Tegangan geser batas dapat diabaikan.

Beberapa bentuk alternatif Persamaan (2-14) yang berguna dalam praktek dinyatakan sebagai berikut,

$$F_2 = \frac{8F_1}{\left(\sqrt{1+F_1^2}-1\right)^2} \text{ .... (2-15)}$$

$$h_1 h_2 (h_1 + h_2) = \frac{2q^2}{g} \text{ .... (2-16)}$$

dengan:

q = debit per satuan lebar (m²/dt)

F_2 = bilangan Froude pada penampang 2

Energi spesifik pada penampang 1 dan 2 dapat ditulis sebagai berikut:

$$E_1 = h_1 + \frac{U_1^2}{2\,g} = h_1 + \frac{q^2}{2\,g h_1^2} \text{ .... (2-17)}$$

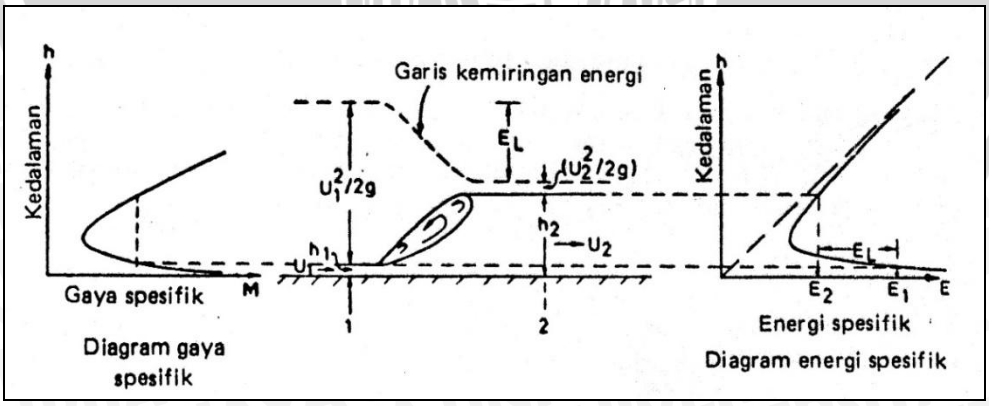
$$E_2 = h_2 + \frac{U_2^2}{2\,g} = h_2 + \frac{q^2}{2\,g h_2^2} \text{ .... (2-18)}$$

Kehilangan energi dalam loncatan E_L dengan nyata adalah sama dengan $E_1 - E_2$. Dalam gambar energi spesifik dan gaya spesifik dengan jelas menggambarkan bahwa $E_2 < E_1$ apabila h_1 dan h_2 berurutan *(conjugate)* satu sama lain.

$$E_L = (h_1 - h_2) + \frac{q^2}{2g} \cdot \frac{(h_2^2 - h_1^2)}{h_1^2 . h_2^2} \text{ .... (2-19)}$$

Dengan menggabungkan persamaan 2.17 dan 2.20

$$E_L = (h_1 - h_2) + \frac{h_1 h_2 (h_1 + h_2)(h_2^2 - h_1^2)}{4 h_1^2 . h_2^2} \text{ .... (2-20)}$$



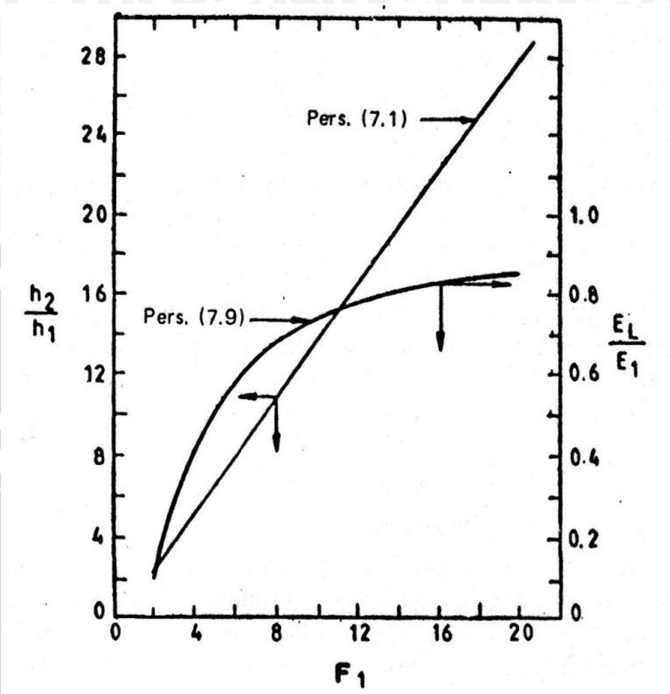
Gambar 2.7. Diagram energi spesifik dan gaya spesifik untuk loncatan hidrolis dengan menyederhanakan

Sumber: Raju, (1981:188)

$$E_L = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4 h_1 h_2} \text{ .... (2-21)}$$

Dengan menggabungkan Persamaan (2-22), (2-18) dan (2-17) dan menyederhanakannya akan didapat:

$$\frac{E_L}{E_1} = \frac{8F_1^{\,4}+20F_1^{\,2}-\left(8F_1^{\,2}+1\right)^{3/2}-1}{8F_1^{\,2}\left(2+F_1^{\,2}\right)} \quad \text{.. (2.22)}$$



Gambar 2.8. Hubungan antara h_2/ h_1, E_L/ E_1 dan F_1 untuk saluran mendatar bentuk empat persegi

Sumber: Raju, (1981:188)

Faktor E_1/E_2 yang sama dengan $1 - E_L/E_1$, dinamakan efisiensi loncatan dan jumlah $h_1 - h_2$ dinamakan tinggi loncatan.

2.4 Analisa Statistik

2.4.1 Analisa regresi

Untuk membantu menentukan persamaan yang menyatakan hubungan antar variabel, maka langkah pertama adalah mengumpulkan data yang menunjukkan nilai dari hubungan variabel yang diamati. Hubungan yang didapat bias dinyatakan dalam persamaan matematik.

Dalam menentukan persamaan yang menyatakan hubungan antar variabel, terlebih dahulu dibuat diagam pencar *(scatter diagram)* dari data yang telah diumpulkan. Dari diagram pencar tersebut, maka dapat dibayangkan suatu kurva regresi yang paling sesuai. Bentuk kurva dari peubah-ubah dapat berubah hubungan linier maupun tidak linier.

Untuk menghindari penilaian subyektif saat menggambarkan garis dari diagram pencar tersebut, maka diperlukan analisa statistika. Prosedur analisa statistika. Telah memberikan hasil yang lebih baik untuk mendapatkan kurva yang diinginkan. Salah cara yang dapat digunakan untuk penyesuaian kurva adalah metode kuadrat terkecil *(least square method)*. Dalam hal ini jumlah kuadrat jarak vertical dari titik-titik (X_i,Y_i) ke garis regrsi adalah sekecil mungkin. Model regresi yang biasa digunakan adalah model regresi linier, eksponensial, geometri, logaritmik dan polynomial

A. Model regresi linier

Dua variabel yang saling berpasangan (X_i, Y_i; i = 1,2,3,….,n), apabila dibuat hubungan secara linier maka model persamaan garis lurusnya adalah (soewarno, 1995: 140) :

$$Y' = aX + B \qquad (2.15)$$

Dengan: Y' = persamaan garis lurus Y atas X

a = koefisien regresi, merupakan koefisien arah dari garis regresi

b = konstanta yang merupakan titk potong dari garis regresi

Dengan metode kuadrat terkecil, besarnya koefisien a dan b dapat dihitung dengan :

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Xi-\bar{X})(Yi-\bar{Y})}{\sum_{i=1}^{n}(Xi-\bar{X})} \qquad (2.16)$$

$$b = \bar{Y} - a\bar{X} \qquad (2.17)$$

Besarnya koefisien korelasi yang menunjukan derajat hubungan antar variable Xi dan Yi adalah :

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Xi-\bar{X})(Yi-\bar{Y})}{[\{\sum_{i=1}^{n}(Xi-\bar{X})^2\}\{\sum_{i=1}^{n}(Yi-\bar{Y})^2\}]^{\frac{1}{2}}} \qquad (2.18)$$

Dengan : $\bar{X}$ = rerata nilai X

$\bar{Y}$ = rerata nilai Y

Sehingga persamaan garis lurus X dan Y,menjadi:

$$Y' = \bar{Y} + R\left(\frac{\sigma Y}{\sigma X}\right)(X - \bar{X}) \qquad (2.19)$$

Dengan: σx = devinisi standar dari nilai X

$$\sigma x = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(Xi-\bar{X})^2}{n-1}\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (2.20)$$

σy = devisiai standar dari nilai Y

$$\sigma y = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(Xi-\bar{X})^2}{n-1}\right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{.........(2.21)}$$

B. Model regresi eksponensial

Dari serangkain pasangan data-data variable {(Xi,Yi); i = 1,2,3…,n} apabila dihitung dengan persamaan regresi eksponensial adalah (Soewarno,1995):

$$Y' = be^{a.X} \quad \text{.........(2.22)}$$

Dengan :

Y’ = regresi ekspoensial Y dan X ,merupakan variable tak bebas

X = variabel bebas

a,b = parameter

e = bilangan pokok logaritma natural (= 2,7183)

Persamaan (2-22) dapat ditransformasikan menjadi persamaan linier fungsi (ln) sebagai berikut :

$$\overline{\ln Y} = \ln be^{aX}$$

$$\overline{\ln Y} = \ln b + aX \ln e$$

Oleh karena itu ln e = 1,maka persamaan menjadi

$$\overline{\ln Y} = \ln b + aX \quad \text{.........(2.23)}$$

Persamaan (2-23) merupakan fungsi logaritmik antara $\overline{\ln Y}$ dengan X dan mruppakan persamaan garis lurus dengan kemiringan (a) dan memotong sumbu ln Y di ln b.

C. Model regresi geometrik

Model regresi geomitrik mempunyai persamaan umum matematik sebagai berikut (Soewarno,1990):

$$Y = b.X^2 \quad \text{.........(2.24)}$$

Seperti juga pada model eksponensial,maka apabila persamaan (2-24) ditransfomasikan ke dalam persamaan linier fungsi (log) akan menjadi :

$$\text{Log } Y = \log b + a \log X \quad \text{.........(2.25)}$$

dimana : Yi > 0 dan Xi > 0

Persamaan (2-25) merupakan hubungan logaritma-logaritma antara log Y dengan X,yang berupa gais lurus dengan kemiringan (a) serta memotong sumbu log Y pada log b.

D. Model regresi logaritmik

Model regresi logaritmik dinyatakan dengan persamaan matematik sebagai berikut (Soewarno,1990).

$$Y' = b + a \log X \quad (2.26)$$

Persamaan (2-26) merupakan fungsi semi logaritmik antara Y dengan log X yang berupa persamaan garis lurus dengan kemiringan (a) yang memotong sumbu Y pada titik b.

E. Model regresi pollinomial

Persamaan regresi polinomial mempunyai beberapa orde yang menyatakan hubungan dua atau variabel. Untuk persamaan regresi polinomial orde dua dapat dinyatakan sebagai berikut (Soekwarno,1990).

$$Y = A + BX\ CX^2 \quad (2.27)$$

Sehingga penyelesaiannya dapat dilakukan denga tiga persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} &A.n + B..\textstyle\sum.Xi + C.\sum.Xi^2 = \sum.Yi \\ &A.\textstyle\sum.Yi + B..\sum.Xi^2 + C.\sum.Xi^3 = \sum.Yi \quad (2.28) \\ &A.\textstyle\sum.Yi^2 + B..\sum.Xi^2 + C.\sum.Xi^4 = \sum.Yi^2 \end{aligned}$$

Persamaan (2-30) dapat diselesaikan sebagai berikut :

$$A = \frac{\sum Xi\ \sum Xi^2 Yi}{(\sum Xi^2) - n \sum Xi} \quad (2.29)$$

$$B = \frac{\sum Xi.Yi}{\sum Xi} \quad (2.30)$$

$$C = \frac{-n.A}{\sum Xi^2} \quad (2.31)$$

Untuk mengetaui kuat tidaknya hubungan antara dua peubah,digunakan koefisien korelasi dengan rumus:

$$R = \frac{\sum XY - n.(\bar{X}.\bar{Y})}{\sqrt{(\sum X^2 - n.X\bar{X}^2)(\sum Y^2 - n\bar{Y}^2)}} \quad (2.32)$$

Bila R=0 atau mendekati nol,dikatakan bahkan hubungan peubah-peubah sangat lemah. Bila R=1 atau medekati satu,dikatakan bahwa peubah-peubah sangat kuat, sedangkan bila R = -1 dikatakan bahwa hubungan peubah sangat kuat tetapi dengan negatif (*slope* kurva benilai negatif).

Untuk mengetahui kemantapan kurva regresi digunakan koefisien determinasi yang merupakn fungsi kuadrat dari koefisien korelasi, (R^2). Bila kofesien determinasi

R^2 = 0 atau mendekati nol, dikatakan bahwa prediksi kurva regresi dikaji kembali. Sebaliknya bila nilai

R^2 = 1 atau mendekati satu maka prediksi kurva regresi dapat diharapkan.

2.4.2 Pengujian Hipotesa

Dalam upaya untuk memahami, mempelajari dan mengamati suatu fenomena yang dilakukan dengan penilitian perku adanya kesimpulan atau dugaan sementara tentang fenomena tersebut. Untuk mengetahui sejauh mana kesesuaian dugaan sementara dan untuk menetapkan keputusan yang diambil, maka perlu dilakukan pengujian secara statistik (Yitnosumarto,1990:289)

Pengujian hipotesa dapat terdiri dari uji untuk data-data berpasangan dan uji F untuk pengujian secara keseluruhan dengan tingkat kepercayaan tertentu.

A. Uji t untuk data berpasangan

$$dj = X_{1j} - X_{2j} \ \{ j = 1,2,3,\ldots,n\} \qquad (2.33)$$

Jika rata-rata perbedaan simbul $\bar{d}$, dan deviasi standar dari perbedaan adalah S, serta keslahan standar *(standar eror)* dari d adalah S $\sqrt{N}$ maka dapat digunakn uji t sebagai berikut

$$t = \frac{\bar{d}}{SE} \qquad (2.34)$$

$$SE = \frac{S}{N^{0.5}} \qquad (2.35)$$

Dengan : t = nilai hitung

d = perbedaan rata-rata

SE = kesalahan rata-rata

S = deviasi standar

N = jumlah data

Dalam pengambilan keputusan diperlikan syarat-syarat sebagai berikut :

Jika nilai $t_{hitung} < t_{tabel}$ maka hipotesa nol dapat diterima.

B. Pengujian secara keseluruhan *(Fhisher-test)*

Tabel 2.1 Pengujian secara keseluruhan

Sumber Variasi	Derajat Kebebasan	Jumlah Varian	Perkiraan Varian	Uji F
Antar kelas	k-1	V^2	$S_1^2 = \frac{V_2}{k-1}$	

Dalam kelas	N-K	N_1	$S_1^2 = \frac{V_2}{k-1}$	$\frac{S_1^2}{S_2^2}$
Total	N-1	N_1	$\frac{V_1}{N-1}$	

$$Vt = \sum_{i=l}^{i=k} \sum_{j=l}^{j=m} (X_{ji} - \bar{X})^2 \quad \text{......} (2.36)$$

Dengan: V_t = variasi total diantara pengamatan

i = 1,2,…,k =jumlah kelas

k = total jumlah kelas

j = 1,2,3,…,k = data dalam sebuah kelas

nj = jumlah dalam kelas ke i

X = rata-rata total

N = total jumlah pengamatan dari seluruh kelas

X_{ji} = data j dalam pengamatan kelas ke i

$$V_1 = \sum_{i=1}^{i=k} \sum_{j=1}^{j=jn} (X_{ji} - \bar{X}) \quad \text{......} (2.37)$$

$$V_2 = \sum_{i=1}^{i=k} ni(\overline{Xi} - \bar{X}) \quad \text{......} (2.38)$$

$$F = \frac{S_2}{S_{2^2}} = \frac{V_2 - (N-K)}{V_2(K-1)} \quad \text{......} (2.39)$$

Untuk aturan dalam pengamgabilan keputusan adalah :

Jika $F_{test} < t_{tabel}$ maka hipotesa nil diterima

C. Koefisien determinasi (R^2)

Digunakan mengetahu kemantapan kurva regresinya. Bila nilai koefisien determinasi kecil , maka prediksi kurva regresi perlu untul dikaji kembali. Sebaliknya bila nilai koefisien determinasi besar, maka prediksi kurva regresi dapat diharapkan mendekati kesesuaian.

2.4. Analisa Dimensi

Analisa dimensi merupakan teknik matematik yang berhubungan dengan dimensi dari suatu besaran fisik yang berpengaruh pada permasalahan yang dihadapi (Triadmodjo,1999:188). Analisa dimensi dapat dipergunakan untuk mengatasi permasalahan dalam mekanika fluida dan hidrolika. Dalam suatu penelitian hidrolika, analisa dimensi dilakukan untuk mengetahui faktor dominan yang menjadi dasar secara matematis untuk memperoleh hubungan antar variable maupun hubungan antar parameter.

Dalam analisa dimensi, pertama kali diperkirakan parameter-parameter fisik yang mempengaruhi aliran. Dan kemudian parameter-parameter tersebut dikelompokkan dalam suatu bentuk tak berdimensi sehingga akhirnya dapat ditetapkan fenomena aliran yang lebih baik.

Analisa dimensi dapat dibagi menjadi dua sistem yaitu sistem gaya (F) – panjang (L) – waktu (T) *(force – length – time, FLT)* dan sistem masa (M) – panjang (L) – waktu (T) *(mass – length – time, MLT).* Ketiga besaran tersebut merupakan besaran bebas dan disebut besaran dasar. Dalam analisa dimensi dapat digunakan dua metode pendekatan yaitu metode Rayleigh dan metode Buckingham (Triadmodjo, 1999:193).

1. Metode Rayleigh

Dalam metode ini suatu fungsi dari beberapa variabel diberikan dalam bentuk persamaan berpangkat yang harus mempunyai kesamaan dimensi.

Penggunaan metode Rayleigh untuk analisa dimensi dilakukan dengan prosedur berikut ini:

a. Ditulis hubungan suatu fungsi dengan semua variabel yang berpengaruh.
b. Dibuat persamaan di mana variabel yang berpengaruh dipangkatkan dengan *a, b, c*… dan setetusnya.
c. Dibuat persamaan dengan menuliskan semua variabel dalam bentuk dimensi dasar.
d. Berdasarkan prinsip analisa dimensi dicari nilai pangkat *a, b, c*…dengan menyelesaikan persamaan-persamaan yang terbentuk secara simultan.
e. Substitusi nilai pangkat yang telah didapat pada persamaan utama.

Metode ini memiliki kelemahan, yaitu apabila terdapat banyak variabel maka penyelesainnya menjadi sulit.

2. Metode Buckingham

Teorema Buckingham menyatakan bahwa apabila terdapat *n* variabel di dalam persamaan kesamaan dimensi, dan jika variabel tersebut terdiri dari *m* dimensi dasar seperti *(M – L – T)* maka variabel tersebut dapat dikelompokkan ke dalam (*n* – *m*) suku bebas tak berdimensi.

Misalnya suatu variabel x_1 tergantung pada variabel bebas $x_{2,}$ $x_{3,}$ x_4,… x_n maka fungsi tersebut dapat ditulis dalam bentuk sebagai berikut:

$x_1 = k\ (x_{2,}\ x_{3,}\ x_4, \ldots\ x_n)$

dengan:

C = konstanta

f = fungsi

n = variabel

m = dimensi dasar

persamaan di atas dapat ditulis dalam bentuk:

$f_1(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4,.. \pi_n) = C$

langkah-langkah penggunaan teorema π Buckingham adalah:

1. Tulis persamaan yang mengandung *n* variabel yang berpengaruh di dalam permasalahan yang ditinjau.
2. Identifikasi variabel bebas
3. Tentukan *m* variabel berulang dan tulis bentuk masing-masing nilai π. Setiap bentuk π terdiri dari variabel berulang dan satu variabel lain. Variabel berulang ditulis dalam bentuk pangkat.
4. Dengan bantuan prinsip kesamaan dimensi dicari nilai *a, b, c*,…dengan cara yang sama pada metode Rayleigh.
5. Masukkan nilai-nilai pangkat tersebut pada persamaan.
6. Sesudah persamaan π ditentukan, tulis hubungan yang dicari.

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan teorema Buckingham, yaitu:

1. Variabel-variabel harus mempunyai dimensi.
2. Tidak boleh ada dua atau variabel yang berdimensi sama.
3. Sedapat mungkin variabel berulang adalah variabel bebas.

2.5. Analisa Statistik

2.5.1. Analisa regresi

Untuk membantu menentukan persamaan yang menyatakan hubungan antar variabel, maka langkah pertama adalah mengumpulkan data yang menunjukkan nilai dari hubungan variabel yang diamati. Hubungan yang didapat bisa dinyatakan dalam persamaan matematik.

Dalam menentukan persamaan yang menyatakan hubungan antar variabel, terlebih dahulu dibuat diagam pencar *(scatter diagram)* dari data yang telah dikumpulkan. Dari diagram pencar tersebut, maka dapat dibayangkan suatu kurva regresi yang paling sesuai. Bentuk kurva dari peubah-ubah dapat berubah hubungan linier maupun tidak linier.

Untuk menghindari penilaian subyektif saat menggambarkan garis dari diagram pencar tersebut, maka diperlukan analisa statistika. Prosedur analisa statistika. Telah memberikan hasil yang lebih baik untuk mendapatkan kurva yang diinginkan. Salah cara yang dapat digunakan untuk penyesuaian kurva adalah metode kuadrat terkecil *(least square method).* Dalam hal ini jumlah kuadrat jarak vertikal dari titik-titik (X_i,Y_i) ke garis regresi adalah sekecil mungkin. Model regresi yang biasa digunakan adalah model regresi linier, eksponensial, geometri, logaritmik dan polynomial

A. Model regresi linier

Dua variabel yang saling berpasangan (X_i, Y_i; i = 1,2,3,….,n), apabila dibuat hubungan secara linier maka model persamaan garis lurusnya adalah (Soewarno, 1995:140) :

$$\hat{Y} = a_1 X + b_1 \quad \text{(2-23)}$$

$$\hat{X} = a_2 Y + b_2 \quad \text{(2-24)}$$

dengan:

$\hat{Y}$ = persamaan garis lurus Y atas X

$\hat{X}$ = persamaan garis lurus X atas Y

a_1, a_2 = koefisien regresi, merupakan koefisien arah dari garis regresi

b_1, b_2 = konstanta yang merupakan titk potong dari garis regresi

Dengan metode kuadrat terkecil, besarnya koefisien a dan b dapat dihitung dengan:

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^{n}(Xi - \bar{X})^2} \quad \text{(2-25)}$$

$$b_1 = \bar{Y} - a_1\bar{X} \quad \text{(2-26)}$$

$$a_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^{n}(Yi - \bar{Y})^2} \quad \text{(2-27)}$$

$$b_2 = \bar{X} - a_2\bar{Y} \quad \text{(2-28)}$$

Besarnya koefisien korelasi yang menunjukan derajat hubungan antar variabel Xi dan Yi adalah :

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Xi - \bar{X})(Yi - \bar{Y})}{[\{\sum_{i=1}^{n}(Xi - \bar{X})^2\}\{\sum_{i=1}^{n}(Yi - \bar{Y})^2\}]^{\frac{1}{2}}} \quad \text{(2-29)}$$

dengan:

$\bar{X}$ = rerata nilai X

$\bar{Y}$ = rerata nilai Y

Sehingga persamaan garis lurus X dan Y,menjadi:

$$\hat{Y} = \bar{Y} + R\left(\frac{\sigma Y}{\sigma X}\right)(X - \bar{X}) \quad \text{.......... (2-30)}$$

Dengan: σx = deviasi standar dari nilai X

$$\sigma x = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(Xi-\bar{X})^2}{n-1}\right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{.......... (2-31)}$$

σy = deviasi standar dari nilai Y

$$\sigma y = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(Yi-\bar{Y})^2}{n-1}\right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{.......... (2-32)}$$

Perhitungan koefisien regresi a_1 dan a_2 dapat juga ditentukan berdasarkan nilai koefisien korelasi (R) sebagai berikut:

$$a_1 = R\left(\frac{\sigma_y}{\sigma_x}\right) \quad \text{.......... (2-33)}$$

$$a_2 = R\left(\frac{\sigma_x}{\sigma_y}\right) \quad \text{.......... (2-34)}$$

B. Model regresi eksponensial

Dari serangkaian pasangan data-data variabel {(Xi,Yi); i = 1,2,3…,n} apabila dihitung dengan persamaan regresi eksponensial adalah (Soewarno,1995):

$$\hat{Y} = b \cdot e^{a.X} \quad \text{.......... (2-35)}$$

dengan:

$\hat{Y}$ = regresi eksponensial Y dan X ,merupakan variabel tak bebas

X = variabel bebas

a,b = parameter

e = bilangan pokok logaritma natural (= 2,7183)

Persamaan (2.27) dapat ditransformasikan menjadi persamaan linier fungsi (ln) sebagai berikut:

$$\widehat{\ln Y} = \ln b\, e^{aX}$$

$$\widehat{\ln Y} = \ln b + aX \;\ln e$$

Oleh karena itu ln e = 1, maka persamaan menjadi:

$$\overline{\ln Y} = \ln b + aX \quad \text{(2-36)}$$

Persamaan (2.27) merupakan fungsi logaritmik antara $\overline{\ln Y}$ dengan X dan merupakan persamaan garis lurus dengan kemiringan (a) dan memotong sumbu ln Y di b.

C. Model regresi geometrik

Model regresi geometrik mempunyai persamaan umum matematik sebagai berikut (Soewarno,1995):

$$\hat{Y} = b.X^{a} \quad \text{(2-37)}$$

Seperti juga pada model eksponensial, maka apabila persamaan (2-24) ditransfomasikan ke dalam persamaan linier fungsi (log) akan menjadi:

$$\overline{\log Y} = \log b + a \log X \quad \text{(2-38)}$$

dengan:

$Yi > 0$ dan $Xi > 0$

Persamaan (2-38) merupakan hubungan logaritma-logaritma antara log Y dengan X, yang berupa garis lurus dengan kemiringan (a) serta memotong sumbu log Y pada log b.

D. Model regresi logaritmik

Model regresi logaritmik dinyatakan dengan persamaan matematik sebagai berikut (Soewarno,1995).

$$\hat{Y} = b + a \log X \quad \text{(2-39)}$$

Persamaan (2-40) merupakan fungsi semi logaritmik antara Y dengan log X yang berupa persamaan garis lurus dengan kemiringan (a) yang memotong sumbu Y pada titik b.

E. Model regresi pollinomial

Persamaan regresi polinomial mempunyai beberapa orde yang menyatakan hubungan dua atau variabel. Untuk persamaan regresi polinomial orde dua dapat dinyatakan sebagai berikut (Soewarno,1995).

$$Y = A + BX + CX2 \quad \text{(2-40)}$$

Sehingga penyelesaiannya dapat dilakukan denga tiga persamaan sebagai berikut:

$$A.n + B..\sum.Xi + C.\sum.Xi^{2} = \sum.Yi$$

$$A.\sum.Yi + B..\sum.Xi^{2} + C.\sum.Xi^{3} = \sum.Yi \quad \text{(2-41)}$$

$A.\sum.Yi^2 + B..\sum.Xi^2 + C.\sum.Xi^4 = \sum.Yi^2$

Persamaan (2-42) dapat diselesaikan sebagai berikut:

$$A = \frac{\sum Xi \sum Xi^2 Yi}{(\sum Xi^2) - n\sum Xi} \quad \text{.......} \quad (2\text{-}42)$$

$$B = \frac{\sum Xi.Yi}{\sum Xi} \quad \text{.......} \quad (2\text{-}43)$$

$$C = \frac{-n.A}{\sum Xi^2} \quad \text{.......} \quad (2\text{-}44)$$

Untuk mengetahui kuat tidaknya hubungan antara dua peubah, digunakan koefisien korelasi dengan rumus:

$$R = \frac{\sum XY - n.(\bar{X}.\bar{Y})}{\sqrt{(\sum X^2 - n.X\bar{X}^2)(\sum Y^2 - n\bar{Y}^2)}} \quad \text{.......} \quad (2\text{-}45)$$

Bila R=0 atau mendekati nol, dikatakan bahkan hubungan peubah-peubah sangat lemah. Bila R=1 atau medekati satu, dikatakan bahwa peubah-peubah sangat kuat, sedangkan bila R = -1 dikatakan bahwa hubungan peubah sangat kuat tetapi dengan negatif (*slope* kurva benilai negatif).

Untuk mengetahui kemantapan kurva regresi digunakan koefisien determinasi yang merupakan fungsi kuadrat dari koefisien korelasi, (R^2). Bila kofesien determinasi R^2 = 0 atau mendekati nol, dikatakan bahwa prediksi kurva regresi dikaji kembali. Sebaliknya bila nilai R^2 = 1 atau mendekati satu maka prediksi kurva regresi dapat diharapkan.

2.5.2. Pengujian Hipotesa

Dalam upaya untuk memahami, mempelajari dan mengamati suatu fenomena yang dilakukan dengan penelitian perlu adanya kesimpulan atau dugaan sementara tentang fenomena tersebut. Untuk mengetahui sejauh mana kesesuaian dugaan sementara dan untuk menetapkan keputusan yang diambil, maka perlu dilakukan pengujian secara statistik (Yitnosumarto,1990:289).

Pengujian hipotesa dapat terdiri dari uji untuk data-data berpasangan dan uji F untuk pengujian secara keseluruhan dengan tingkat kepercayaan tertentu.

C. Uji t untuk data berpasangan

$dj = X_{1j} - X_{2j}$ { j = 1,2,3,…,n} .... (2-46)

Jika rata-rata perbedaan simbul $\bar{d}$, dan deviasi standar dari perbedaan adalah S, serta kesalahan standar *(standar eror)* dari d adalah S $\sqrt{N}$ maka dapat digunakan uji t sebagai berikut :

$$t = \frac{\bar{d}}{SE} \quad \text{.......... (2-47)}$$

$$SE = \frac{S}{N^{0.5}} \quad \text{.......... (2-48)}$$

dengan:

t = nilai hitung
d = perbedaan rata-rata
SE = kesalahan rata-rata
S = deviasi standar
N = jumlah data

Dalam pengambilan keputusan diperlikan syarat-syarat sebagai berikut:

Jika nilai $t_{hitung} < t_{tabel}$ maka hipotesa nol dapat diterima.

D. Pengujian secara keseluruhan *(Fhisher-test)*

Tabel 2.1. Pengujian Secara Keseluruhan

Sumber Variasi	Derajat Kebebasan	Jumlah Varian	Perkiraan Varian	Uji F
Antar kelas	k-1	V^2	$S_1^2 = \frac{V_2}{k-1}$	$\frac{S_1^{\ 2}}{S_2^{\ 2}}$
Dalam kelas	N-K	N_1	$S_1^2 = \frac{V_2}{k-1}$	
Total	N-1	N_1	$\frac{V_1}{N-1}$	

Sumber: Soewarno, (1995:60)

$$Vt = \sum_{i-l}^{i=k} \sum_{j=l}^{j=m} \left(X_{ji} - \bar{X}\right)^2 \quad \text{.......... (2-49)}$$

dengan:

V_t = variasi total diantara pengamatan
i = 1,2,…,k =jumlah kelas
k = total jumlah kelas
j = 1,2,3,…,k = data dalam sebuah kelas
nj = jumlah dalam kelas ke i
X = rata-rata total

N = total jumlah pengamatan dari seluruh kelas

X_{ji} = data j dalam pengamatan kelas ke i

$$V_1 = \sum_{i=1}^{i=k}\sum_{j=1}^{j=jn}(X_{ji} - \bar{X}) \quad \text{(2-50)}$$

$$V_2 = \sum_{i=1}^{i=k} ni(\overline{Xi} - \bar{X}) \quad \text{(2-51)}$$

$$F = \frac{S_2}{S_{2'}} = \frac{V_2-(N-K)}{V_2(K-1)} \quad \text{(2-52)}$$

Untuk aturan dalam pengamgabilan keputusan adalah:

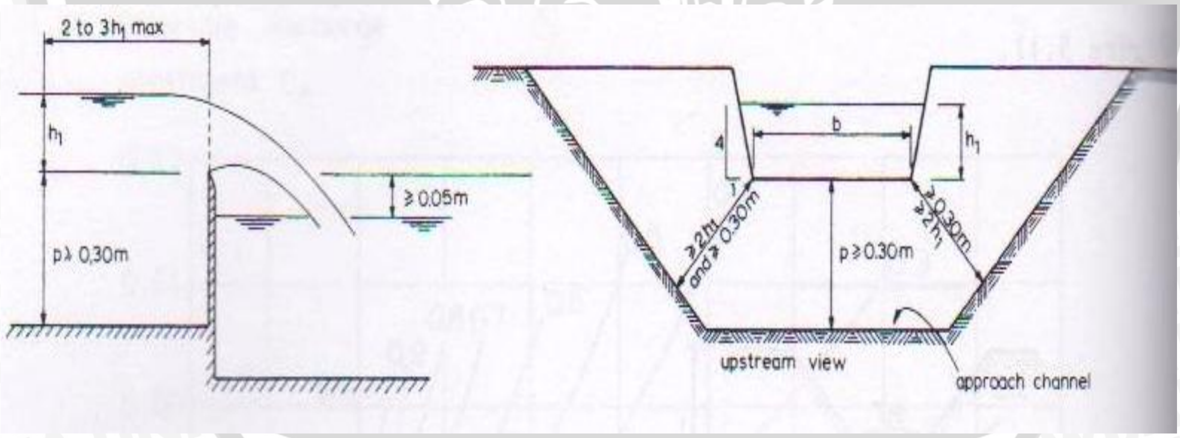
Jika $F_{test} < t_{tabel}$ maka hipotesa nol diterima

C. Koefisien determinasi (R^2)

Digunakan mengetahui kemantapan kurva regresinya. Bila nilai koefisien determinasi kecil, maka prediksi kurva regresi perlu untuk dikaji kembali. Sebaliknya bila nilai koefisien determinasi besar, maka prediksi kurva regresi dapat diharapkan mendekati kesesuaian.

2.6 Bangunan Ukur Ambang Cipoletti

Alat ukur Cipoletti merupakan penyempurnaan alat ukur ambang tajam yang dikontraksi sepenuhnya. Alat ukur Cipoletti memiliki potongan pengontrol trapesium, mercunya horisontal dan sisi-sisinya miring ke samping dengan kemiringan 1 vertikal banding 1/4 horisontal.



Gambar 2.9 Dimensi alat ukur Cipoletti

Sumber: (M. G. BOS:1977:170)

2.6.1.Perencanaan Hidrolis

Batas batas bangunan ukur debit Cipoletti (kontraksi penuh) adalah:

a. Tinggi crest bendungan di atas bagian dasar pendekatan harus setidaknya dua kali dari head di atas crest dengan minimum 0,30 m.

b. Jarak dari samping bagian kontrol trapesium ke bagian samping pendekatan harus setidaknya dua kali dari head di atas crest denga minimum 0,30 m.

c. Head upstream di atas crest ambang h_1 tidak oleh kurang dari 0,06 m, tapi tidak boleh lebih dari 0,60 m.

d. Rasio h_1/b harus sama dengan atau kurang dari 0,50.

Persamaan debit untuk alat ukur Cipoletti adalah:

$$Q = C_d \cdot C_v \cdot 2/3 \sqrt{2g}\ b\, h_1^{1,5} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.53)$$

dengan:

Q = debit, (m^3/dt)

C_d = koefisien debit ($\cong$ 0,63)

C_v = koefisien kecepatan datang

g = percepatan gravitasi, m/dt^2 ($\cong$ 9,8)

b = lebar mercu, (m)

h_1 = tinggi energy, (m)