

BAB V

PELAKSANAAN PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5. 1. Pendahuluan.

Penulis melaksanakan penelitian berupa pengukuran koefisien debit terhadap empat model, selama penelitian sebagian besar peralatan menjadi bagian dari saluran yang dapat beroperasi dengan baik seperti pompa, instrumen “gauge”, dan pelat pembendungan. Untuk meniadakan rembesan air di sela-sela antara model dan dasar serta dinding saluran, digunakan malam (“plastisin”).

Namun terdapat kondisi tertentu yang menyangkut peralatan dan bagian saluran yang dapat menimbulkan kesulitan atau kesalahan dalam pengukuran. Masalah tersebut akan di bahas dalam sub bab berikut.

5. 2. Kondisi “Tilting Flume”

“Tilting flume” memiliki beberapa komponen yang merupakan satu kesatuan dalam pengoperasiannya. Ada dua komponen pada “tilting flume” yang tidak di rubah posisinya :

1. pelat pembendungan. Selalu diusahakan pada sudut 0° terhadap dasar saluran, jika di rubah akan mengganggu pengamatan fenomena aliran karena menimbulkan kurva aliran balik (“back water curve”) pada hilir model.
2. pemutar (engkol) adalah pengatur kemiringan dasar saluran. Posisi pada waktu penelitian kemiringan dasar saluran selalu dalam keadaan datar.

Pertimbangan ini diambil karena pembatasan masalah, karena pada kondisi prototipe bangunan ukur debit dilapangan, dasar saluran pada kondisi datar.

Selain komponen yang disebutkan di atas, yang selalu digunakan untuk penelitian, kesalahan-kesalahan yang ditimbulkan akan mempengaruhi hasil pengukuran. Adapun komponen tersebut adalah sebagai berikut.

5. 2. 1. Pompa

Selama penelitian (1 bulan), pompa tidak mengalami kerusakan, namun pada masa pengoperasian menunjukkan ketidakstabilan pompa. Pada kondisi aliran tertentu permukaan air sering mengalami perubahan naik turun (fluktuasi). Penyebab dari fluktuasi aliran air adalah sebagai berikut :

1. fluktuasi tegangan listrik. Terlihat pada jarum penunjuk “stabilizer” yang sering berubah-ubah, dan
2. bergelombangnya aliran air dari tangki penampungan terutama pada debit besar.

Oleh karena setiap pengukuran dilakukan setelah 5 menit dari pengubahan debit aliran.

5. 2. 2. Saluran “Tilting Flume”

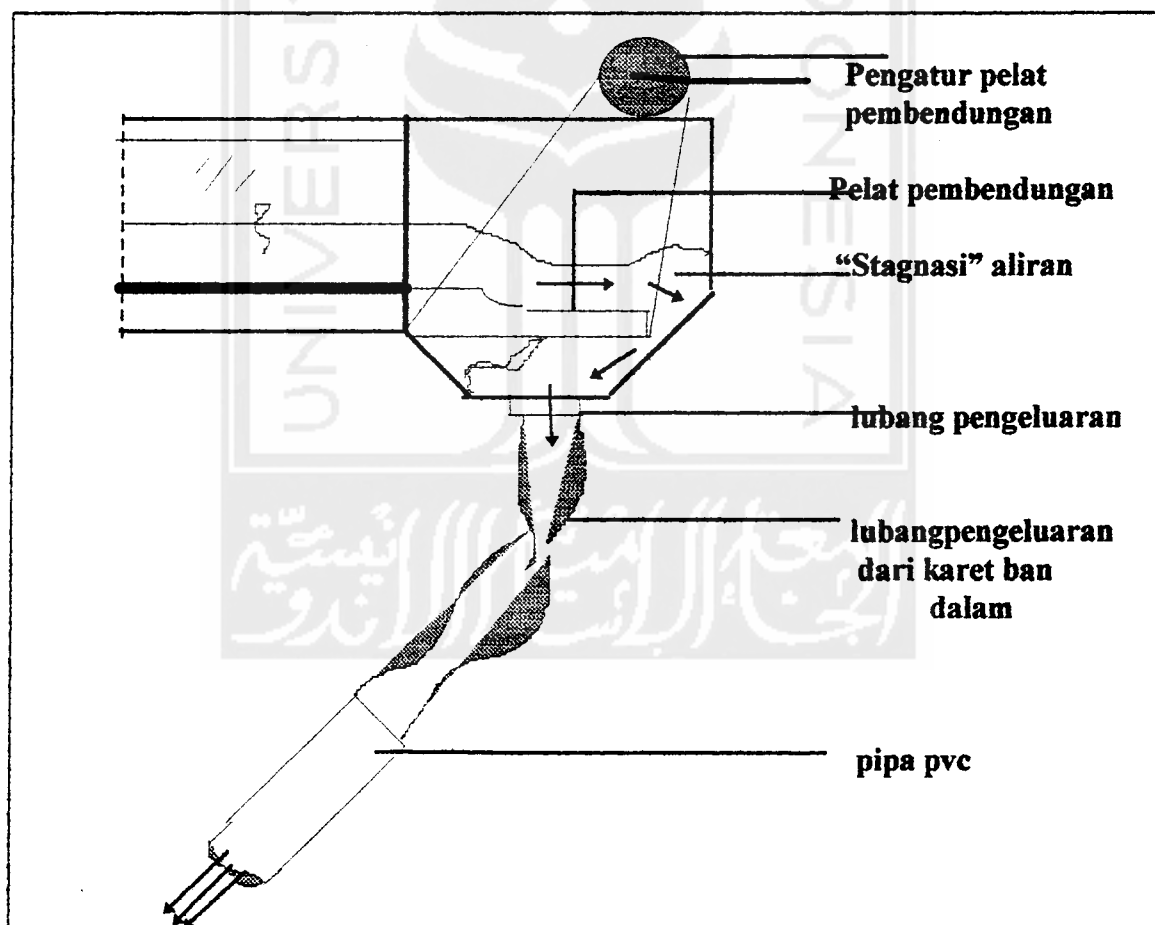
Lebar saluran pada “tilting flume” tidak tepat 10 cm, pada hilir aliran 10,31 cm dan pada hulu aliran 9,71 cm, maka bila digunakan untuk penempatan model akan membutuhkan ketebalan “plastisin” 0,3 cm. Pada dinding saluran, terdapat sambungan yang cukup kasar sehingga menyebabkan kehilangan tenaga aliran akibat gesekan pada sambungan tersebut.

5. 2. 3. Sistem “Outlet”

Komponen sistem “outlet” antara lain :

1. pelat pembendungan,
2. lubang pengeluaran, dan
3. saluran pengeluaran yang berupa pipa peralon dan ban karet.

Kehilangan tenaga dapat terjadi pada aliran setelah melewati pelat pembendungan karena permukaannya yang kasar. Kemudian terjadi “stagnasi” aliran pada saat memasuki lubang pengeluaran.



Gambar 5. 1. Sistem “outlet”.

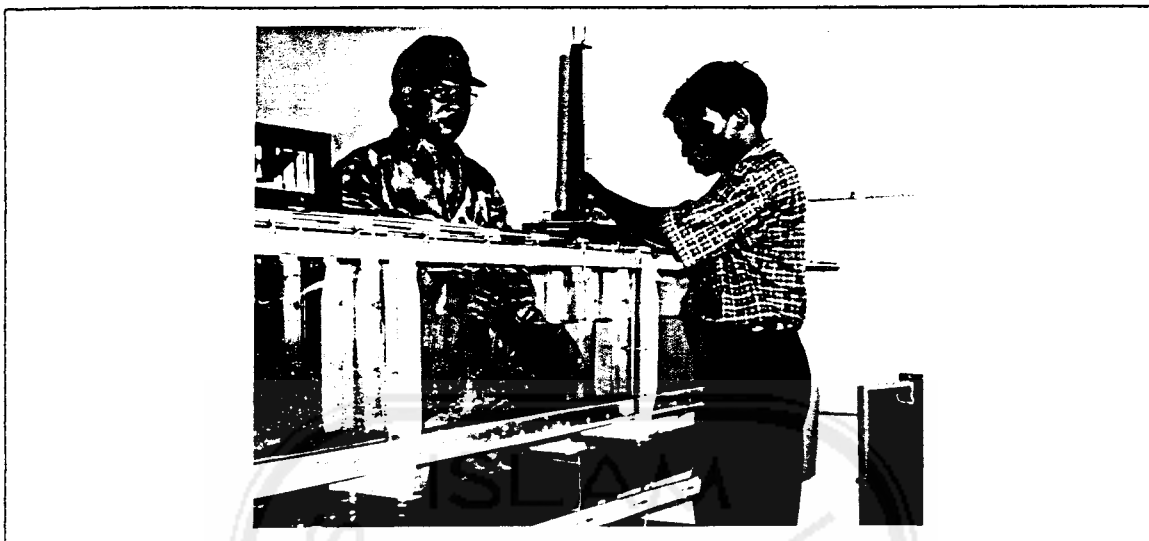
Dengan adanya kehilangan tenaga pada saluran pengeluaran dari karet ban bekas yang memiliki penampang akan selalu berubah-ubah. Pada debit kecil, penampang karet tersebut mengempis dan tidak rata, sedangkan pada debit besar akan bergelombang. Dari kondisi tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa akibat terjadinya kehilangan tenaga, maka menyebabkan perbedaan debit aliran pada saluran dan debit pada saat pengukuran sehingga mempengaruhi nilai pengukuran koefisien debit. Seperti pada gambar (5. 1.)

5. 2. 4. "Point Gauge"

Terdapat dua tahap dalam mengkalibrasi "point gauge" :

1. ujung jarum diturunkan sampai dasar saluran kemudian dibaca penunjuk angka pada "point gauge" yang dipakai menunjukkan angka 4, jadi pada setiap pembacaan angka selalu harus ditambahkan 4 cm, dan
2. setelah air dialirkan pada kondisi stabil, ujung jarum "point gauge" diletakkan di permukaan air kemudian dibaca tinggi muka air pada "point gauge".

Selanjutnya dibaca tinggi muka air pada "piezometer", jika terdapat nilai yang sama atau memiliki perbedaan yang kecil maka kalibrasi "point gauge" selesai.



Gambar 5. 2. Kalibrasi “point gauge”

Kesalahan yang timbul pada saat penggunaan “point gauge” adalah pada saat pembacaan angka yang sering lupa menambahkan 4 cm dari hasil pembacaan pengukuran.

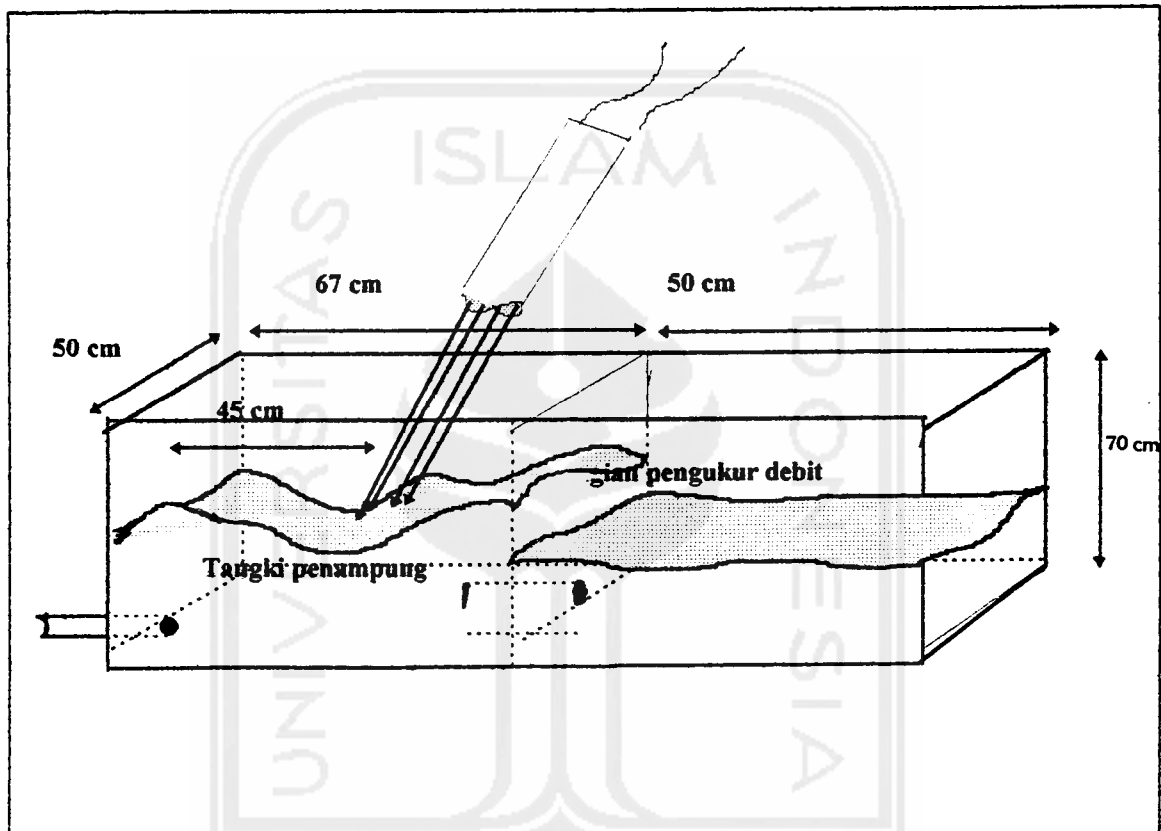
5. 2. 5. “Piezometer

Disamping digunakan sebagai alat kalibrasi “piezometer” dapat digunakan untuk indikator terjadinya fluktuasi aliran pada “tilting flume”. Kesalahan penggunaan “piezometer” dapat terjadi pada saat aliran membawa kotoran kecil, sehingga menaikkan kapilaritas pada pipa “piezometer”.

5. 2. 6. Tangki Penampungan

Akibat dari pembagian tangki penampungan yang sebagian sebagai penampungan dan bagian lain sebagai pengukuran debit akan menimbulkan gangguan yang berarti pada aliran yang berakibat berpengaruh pada pengukuran debit aliran.

Gangguan pada aliran disebabkan oleh pendeknya jarak limpasan air dari sistem outlet ke pipa pengambilan yang menuju ke pompa. Akibatnya olakan-olakan yang terjadi pada tangki penampungan tidak teredam sehingga mengakibatkan fluktuasi aliran pada “tilting flume”. Seperti ditunjukkan pada gambar (5. 3.).



Gambar 5. 3. Jarak jatuh limpasan air menuju pompa

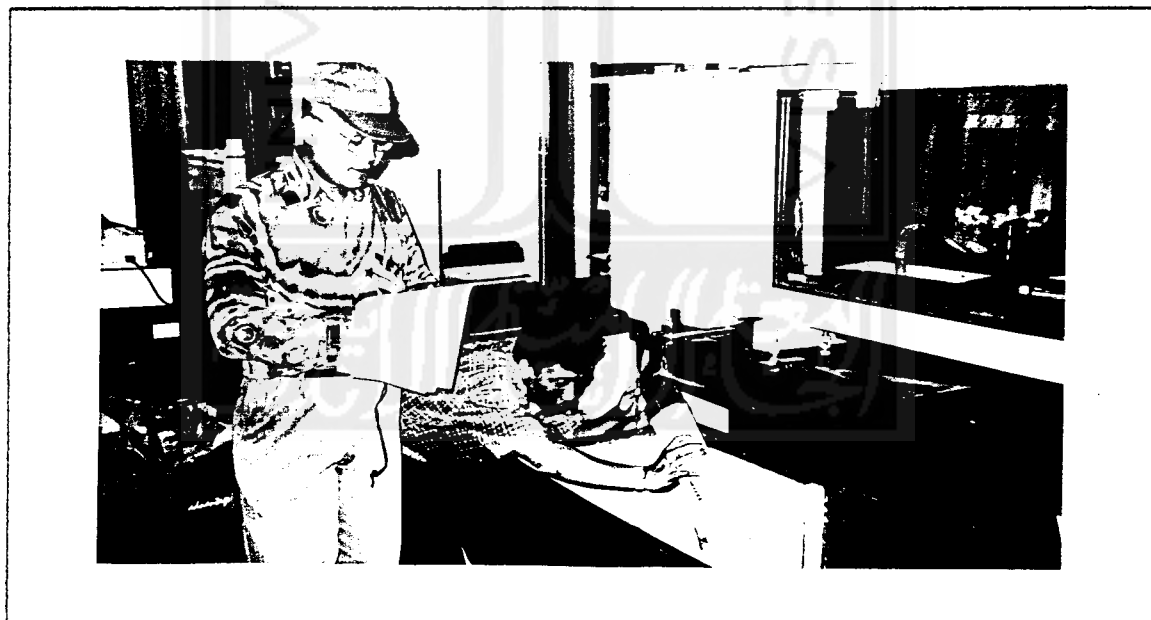
Gangguan berikutnya adalah pada saat pipa pengeluaran diarahkan ke bagian pengukuran debit, maka terdapat pengurangan volume tampungan. Hal ini mengakibatkan penurunan air pada “tilting flume” sebesar ± 1 mm setiap kali pengukuran. Pada penelitian ini pengukuran waktu penampungan pada kondisi debit tertentu sebanyak sepuluh kali pengukuran sehingga penurunan aliran pada saluran

sebesar ± 10 mm. Contoh pada pengukuran Cd model pintu sorong tinggi permukaan air di hulu untuk sepuluh kali pengukuran adalah sebagai berikut :

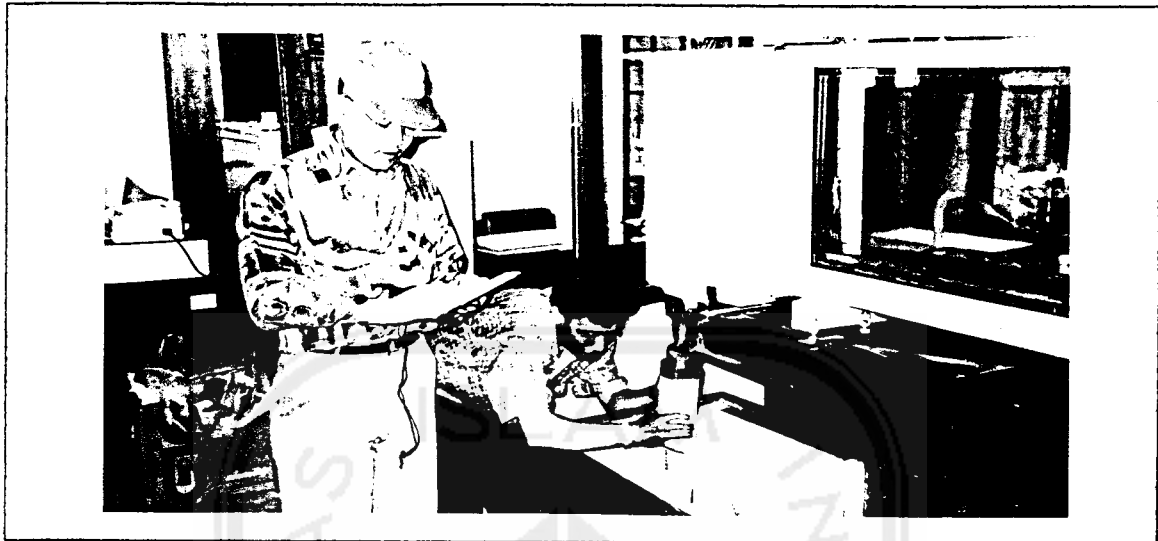
Tabel 5. 1. Kesalahan pengukuran

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Error |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| h (cm) | 19,9 | 19,8 | 19,7 | 19,6 | 19,5 | 19,4 | 19,3 | 19,2 | 19,1 | 19,0 | 0,3 |

Kombinasi kesalahan tersebut dengan kesalahan random saat pengukuran waktu penampungan akan menimbulkan kesalahan rambatan (“propagation error”) pada hasil pengukuran Cd.



Gambar 5. 4. Pipa “outlet” diarahkan pada bagian penampungan



Gambar 5. 5. Saat pengukuran debit

5. 3. Kondisi Model Fisik Hidrolik

Terdapat perbedaan kondisi model fisik bangunan air yang menyebabkan sedikit perubahan pada metodologi penelitian yang dikeluarkan oleh Laboratorium Mekanika Fluida dan Hidrolika Fakultas Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Adapun perbedaannya adalah pada sub bab berikut.

5. 3. 1. Model Pintu Sorong

Pada model pintu sorong yang digunakan untuk penelitian, tinggi bukaan maksimum 6 cm dan tinggi bukaan awal sebesar 2 cm, hal tersebut bertujuan agar dapat mengamati fenomena aliran dengan jelas. Maka untuk sepuluh kali pengamatan digunakan kenaikan pintu sebesar 0,5 cm. Sedangkan pada buku metodologi penelitian UGM kenaikan pintu sebesar 2 cm.

5. 3. 2. Model Bendung Ambang Tajam

Pada model bendung ambang tajam, Perbedaan yang dimiliki terletak pada :

1. tebal dinding ambang sebesar 1,2 cm. Sedangkan model di laboratorium Mekanika Fluida dan Hidrolika milik UGM tebal dindingnya sebesar 1,2 mm.
2. tidak terdapatnya selang pengudaraan (kavitasi) yang diperlukan dalam pengamatan.

Dari kondisi tersebut, mengakibatkan sulitnya pengamatan fenomena pengudaraan dan efek kavitasi.

Model yang digunakan di laboratorium hidraulika ITB dan UGM tebal model ambang tajamnya sebesar 1-2 mm

5. 3. 3. Model Bendung “V-Notch”

Pada model bendung “V-Notch” perbedaan yang dimiliki terletak pada :

1. tebal dinding ambang sebesar 1,2 cm,
2. tidak terdapat selang pengudaraan, dan
3. sudut segitiganya bukan 90° melainkan 25,321°.

Dari perbedaan tersebut diatas maka akan mengakibatkan terjadinya perbedaan rumus yang digunakan untuk menghitung debit aliran adalah :

$$Q = C_d \cdot 3,54 \cdot (h)^{5/4}$$

dengan : Q = debit aliran

C_d = koefisien debit

h = tinggi muka air hulu

5. 4. Kesalahan Pada Pengamatan

Pada kesalahan sistematik ini, yang ditimbulkan oleh beberapa faktor yaitu antara lain :

1. ketidak cermatan pengamat dalam membaca alat ukur, misalnya pada pembacaan volume tampungan air karena kondisi berfluktuasinya aliran air yang diakibatkan oleh ketidak stabilan pompa, sehingga kesalahan relatif rata-rata 2,684 %.
2. kesalahan random terjadi pada saat pengamat lupa dalam menghitung jumlah pengukuran yang sedang dikerjakan, pengukuran sebanyak sepuluh kali dan kesalahan pembulatan angka pada saat mencatatkan data..

5. 5. Pembahasan Penelitian pada Model Pintu Sorong

Pada penelitian model pintu sorong tinggi pintu dinaikkan setiap 0,5 cm dari ketinggian awal sebesar 2 cm. Ketelitian pengukuran C_d tergantung kepada hasil pengukuran debitnya. Alat pengukur debit yang tersedia di laboratorium adalah volume tampungan dengan memanfaatkan tangki penampungan.

5. 5. 1. Pengukuran C_d Pada Kondisi Modular

Pengukuran koefisien debit dilakukan dengan mengukur debit yang masuk ke dalam tangki penampungan. Pertama diukur volume tampungan untuk menampung air

kemudian pengukuran debit dapat dilakukan dengan mengukur waktu yang diperlukan untuk mengisi wadah yang telah diketahui volumenya.

$$Q = \frac{V}{T} \quad (5.1.)$$

dengan $Q =$ debit (m^3/s)

$V =$ kecepatan aliran (m/s)

$T =$ waktu pengaliran (s)

Kemudian dari rumus (2. 2.). maka diperoleh harga koefisien debatnya

$$Cd = \frac{V}{hg \cdot B \cdot T \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h1}} \quad (5.2.)$$

dengan :

$V =$ volume tampungan.

$T =$ waktu penampungan.

$B =$ lebar tilting flume.

$hg =$ tinggi bukaan.

$g =$ percepatan gravitasi

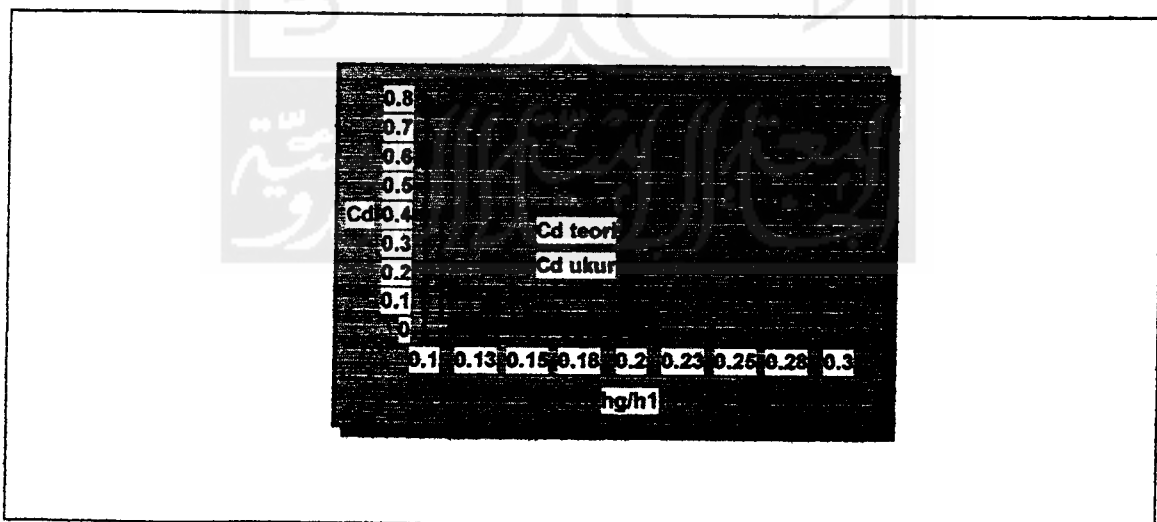
$= 9,81 \text{ m/detik}^2.$

5. 5. 2. Analisa Grafik dan Pengamatan

5. 5. 2. a. Tinggi Permukaan Air Hulu Konstan

Dari gambar (5. 6). terlihat bahwa koefisien debit bertambah kecil jika tinggi pintu bertambah besar, hubungan tersebut menunjukkan bahwa koefisien berbanding terbalik dengan tinggi bukaan pintu. Pada perbandingan antara harga teoritis dan pengukuran, jika harga koefisien debit teoritis merupakan harga pendekatan dari nilai debit yang terjadi maka dari sembilan kali pengukuran menunjukkan kehilangan tenaga

pada aliran yang mengakibatkan harga debit aliran pada saluran “tilting flume” dengan debit pada saat pengukuran berbeda. Kehilangan tenaga diperkirakan terjadi pada saat melewati karet ban pada sitem “outlet” yang berkembang kempis dan terjadinya loncat air menghasilkan kehilangan tenaga.



Gambar 5. 6 Grafik perbandingan antara harga teori dan pengukuran

Model matematika hubungan antara koefisien debit pengukuran dengan perbandingan tinggi bukaan diperoleh formulasi sebagai berikut

$$Cd = k \left| \frac{hg}{h_1} \right|^c \quad (5.3.)$$

$$\log Cd = \log k + c \log \left(\frac{hg}{h_1} \right)$$

dengan regresi linier diperoleh $y = \log Cd$; $a = \log k$; $b = c$: dan $x = \log \left(\frac{hg}{h_1} \right)$

$$y = a + b. x \quad (5.4.)$$

Tabel 5. 2. Regresi model matematika

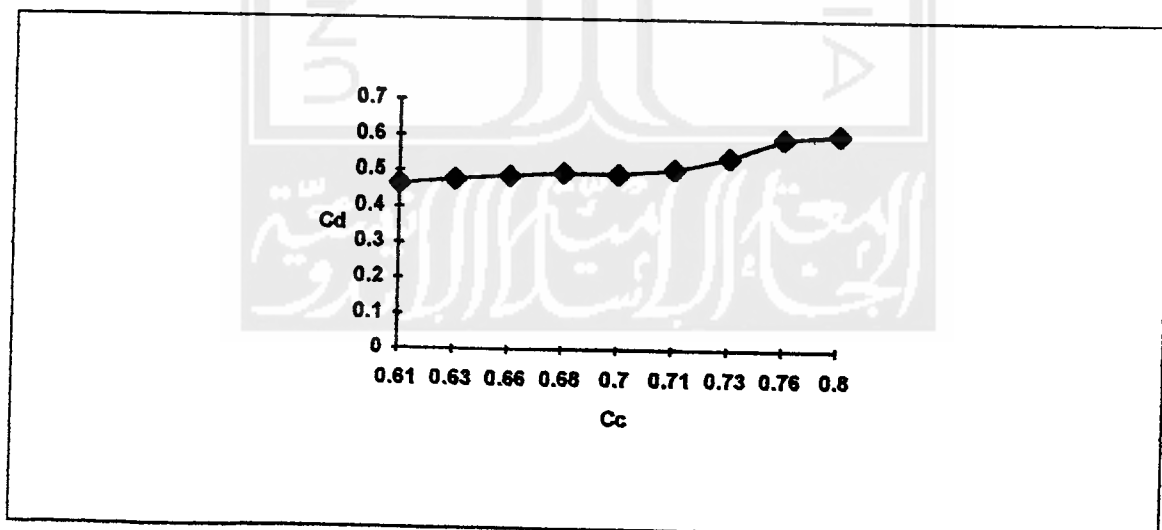
| y | y^2 | x | x^2 | xy |
|---------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| -0.1141 | 0.013 | -1 | 1 | 0.1141 |
| -0.1389 | 0.0193 | -0.903 | 0.8156 | 0.1254 |
| -0.1593 | 0.02537 | -0.824 | 0.6789 | 0.1313 |
| -0.1744 | 0.0304 | -0.7569 | 0.5729 | 0.1320 |
| -0.1834 | 0.0336 | -0.6989 | 0.4885 | 0.1281 |
| -0.1988 | 0.0395 | -0.6478 | 0.4196 | 0.1287 |
| -0.2136 | 0.0456 | -0.6021 | 0.3625 | 0.1286 |
| -0.2357 | 0.0555 | -0.5607 | 0.3144 | 0.1322 |
| -0.2473 | 0.0612 | -0.5229 | 0.2734 | 0.1293 |
| $\Sigma y = -1.665$ | $\Sigma y^2 = 0.3237$ | $\Sigma x = -9.2169$ | $\Sigma x^2 = 4.8211$ | $\Sigma xy = 1.1897$ |

$$a = \frac{(\sum x^2)(\sum y) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (5.5.)$$

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum y)(\sum x)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (5.6.)$$

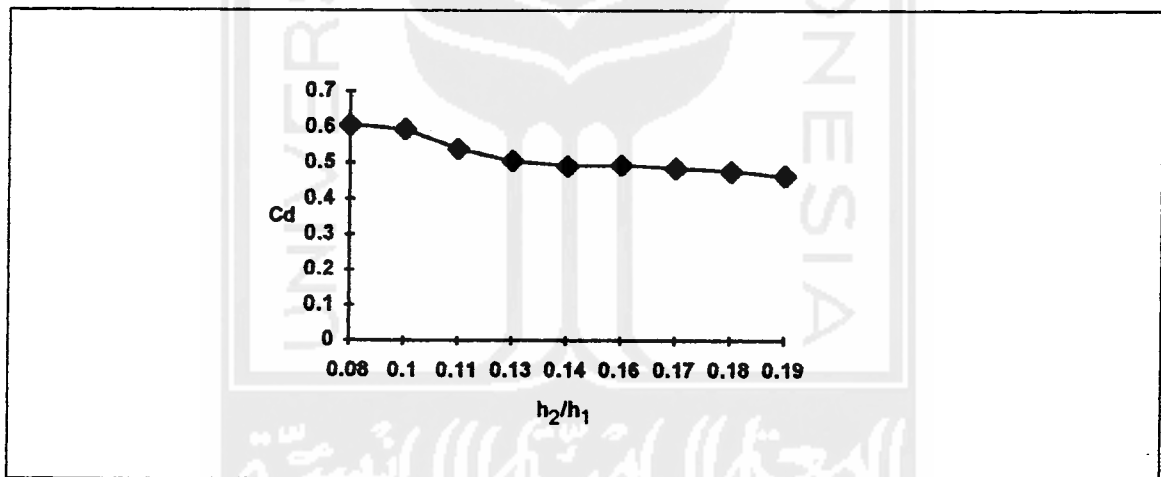
dengan n jumlah data, maka diperoleh model matematika hubungan koefisien debit aliran pintu sorong dengan tinggi bukaan pintu dengan h_1 tetap.

$$Cd = 0.416 \frac{hg}{h_1} \quad 0,2706 \quad (5.7.)$$



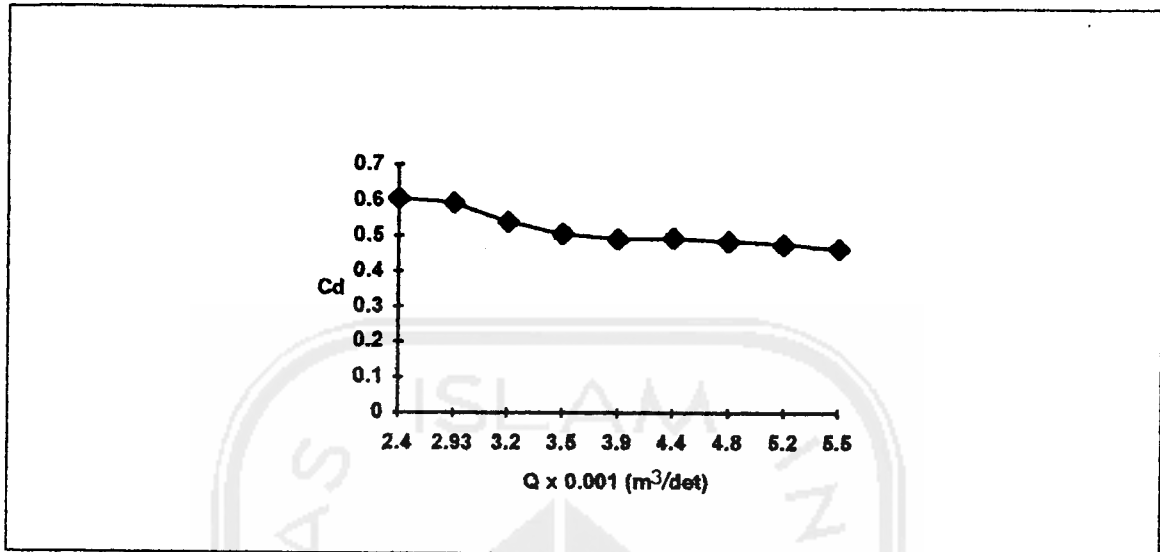
Gambar 5.7. Grafik koefisien debit pengukuran dengan koefisien kontraksi

Dari gambar (5. 7) menunjukkan bahwa bertambah besarnya harga koefisien kontraksi mempengaruhi harga koefisien debit dengan bertambah besar. Dengan kata lain hubungan antara koefisien debit berbanding lurus terhadap koefisien kontraksi dan berbanding terbalik terhadap tinggi bukaan pintu dan tinggi muka air hilir. Seperti pada gambar (5. 8.).



Gambar 5. 8. Grafik hubungan koefisien debit dengan tinggi muka air hilir

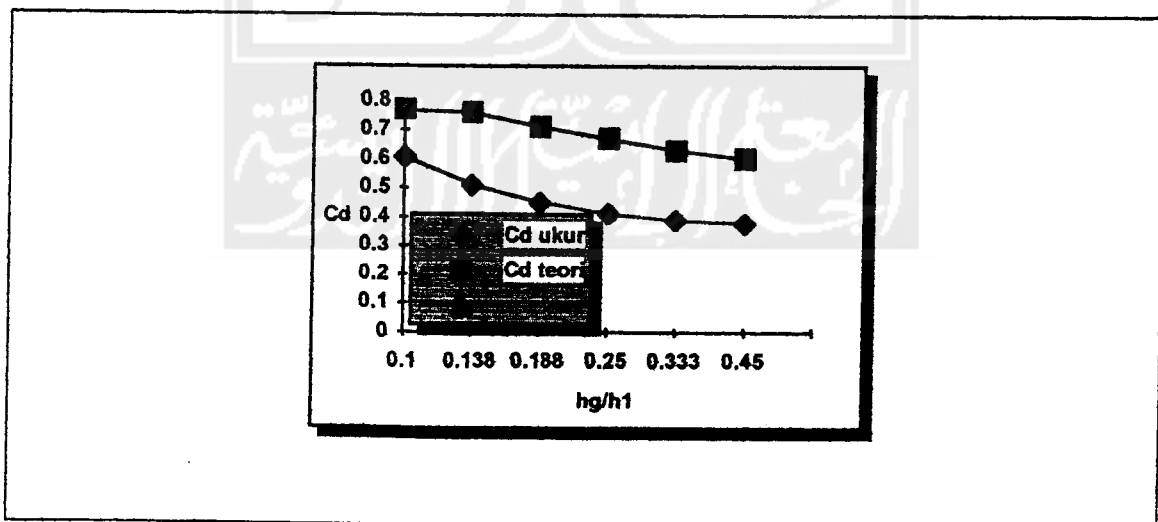
Hubungan antara koefisien debit terbalik terhadap debit aliran, artinya semakin besar debit aliran yang melewati model pintu sorong maka semakin kecil harga koefisien debit yang mengakibatkan kontraksi di pintu akan semakin kecil.



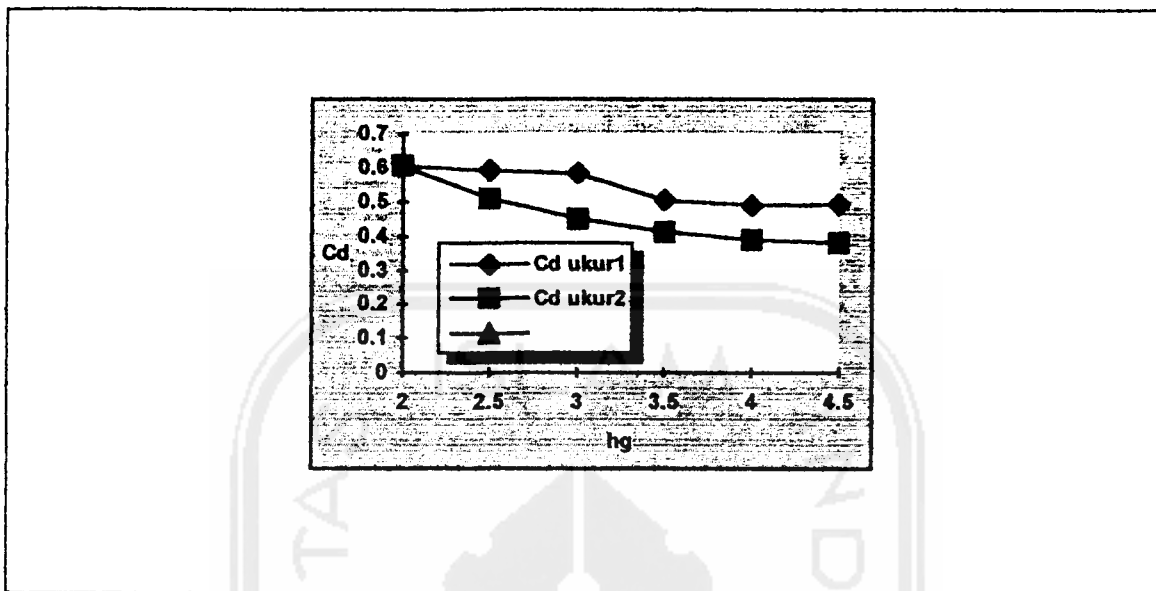
Gambar 5. 9. Grafik hubungan antara koefisien debit dengan debit aliran

5. 5. 2. b. Debit tetap

Dari gambar (5.10.) perilaku nilai koefisien debitnya sama dengan perilaku pada kondisi debit berubah.



Gambar 5.10 Grafik perbandingan dengan debit tetap



Gambar 5. 11. Perbandingan nilai Cd dengan debit tetap dan debit berubah

Dengan kombinasi debit tetap (Cd ukur 2) menunjukkan kecenderungan nilai koefisien yang lebih kecil dibandingkan dengan koefisien debit dengan debit berubah (Cd ukur 1). Hal ini menunjukkan bahwa koefisien kontraksi pada Cd ukur 2 lebih kecil daripada koefisien kontraksi Cd ukur 2.

Model matematika koefisien debit dengan debit tetap dengan cara seperti di atas (menggunakan regresi linier) maka diperoleh model sebagai berikut.

$$Cd = 0,03818 \left| \frac{hg}{h_1} \right|^{-1,27}$$



Gambar 5. 12. Model pintu sorong pada kondisi modular

5. 5. 3. Kondisi Batas Modular

Batas modular terjadi jika aliran di hilir berubah dari aliran super kritis ke aliran kritis (sebelum loncat air). Kemudian aliran kritis di hilir berubah dari kritis ke sub kritis maka kondisi aliran berupa aliran tenggelam. Nilai batas modular tidak dapat ditentukan secara tepat menggunakan volume tampungan.

5. 6. Pembahasan Penelitian Model Ambang Lebar

Ambang lebar adalah bangunan yang mempunyai panjang minimal mampu menghasilkan aliran kritis di atas ambang sehingga terjadi tekanan hidraustatik.

5. 6. 1. Pengukuran Koefisien Debit Pada Kondisi Modular

Penurunan rumus koefisien debit pada ambang lebar dilakukan dengan cara yang sama, seperti pada model pintu sorong. Dari rumus (5. 1.) dan (3. 6.) maka di peroleh :

$$C_d = \frac{v}{1,705.B.T.(H)^{1,5}} \quad (5.7.)$$

Untuk mengukur besarnya tinggi tenaga aliran maka dipakai rumus

$$H = \frac{Q^2}{2.B^2.(h_1)^2.g} + h_1 \quad (5.8.)$$

dengan :

h_1 = tinggi muka air di hulu.

H = tinggi tenaga aliran.

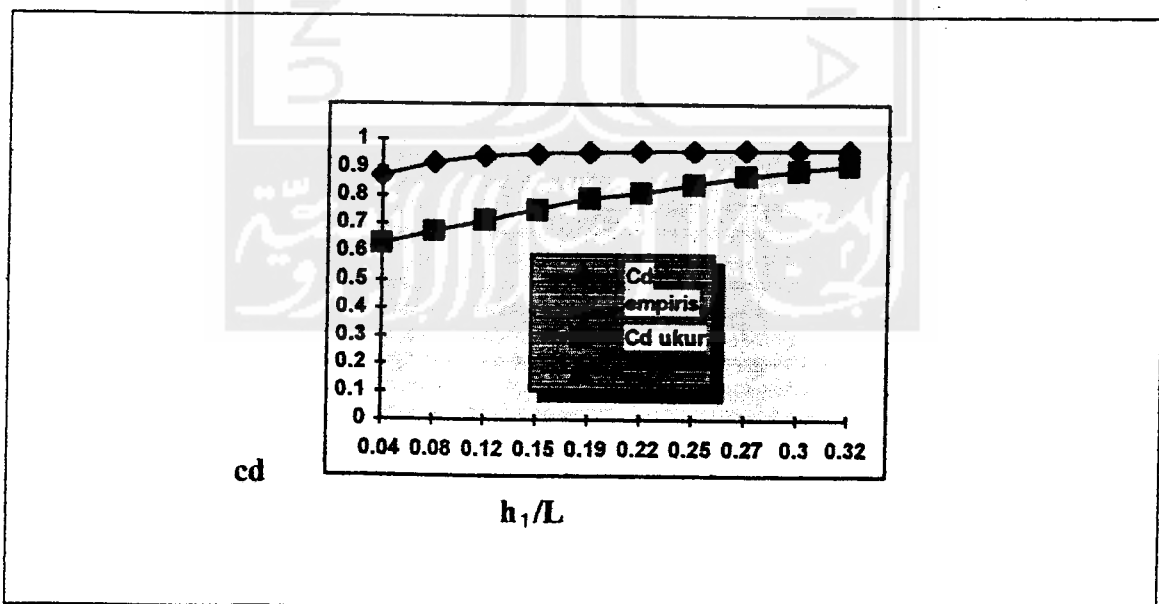
T = waktu penampungan.

Karena selisih antara H dan h sangat kecil maka diasumsikan $H \approx h_1$

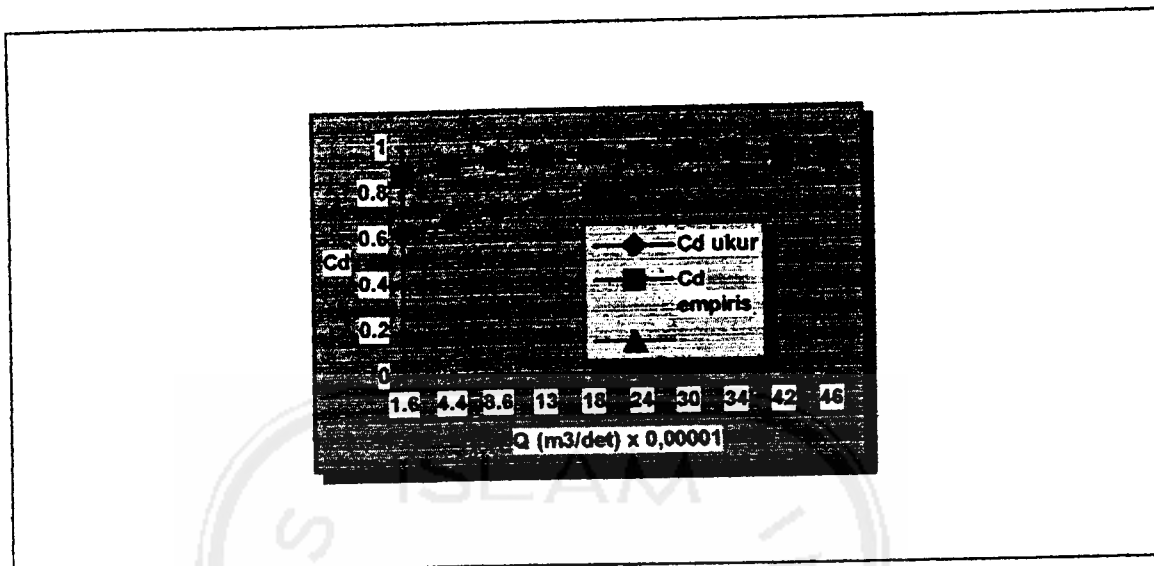
5. 6. 2. Analisa Grafik dan Pengamatan

Dari gambar (5.13.) nampak bahwa hasil pengukuran C_d dengan volume tampungan (C_d ukur), nilainya dibawah hasil penelitian Kindsvater dan Carter yang disebabkan oleh banyaknya kehilangan tenaga pada sistem “outlet”.

Pada pengamatan fenomena aliran di ujung ambang menunjukkan aliran berubah tiba-tiba yang memiliki kelengkungan garis aliran yang jelas. Perubahan kelengkungan terjadi secara mendadak sehingga aliran seolah-olah terputus, menimbulkan keadaan turbulensi aliran di hilir ambang, mengakibatkan kehilangan tenaga pada aliran. Jika kedalaman aliran $h_p > h_4$ maka loncatan hidrauliknya akan teredam, sehingga puncak air pelimpah akan terbenam.



Gambar 5.13. Grafik perbandingan antara nilai pengukuran dan nilai empiris



Gambar 5. 14. Grafik perbandingan dengan debit aliran

Pada gambar (5. 14.) menunjukkan penambahan nilai koefisien debit sebanding dengan penambahan debit aliran. Pada debit yang cukup besar nilai koefisien debit mendekati harga koefisien debit empiris, hal ini menunjukkan pada debit yang besar karet ban pada sistem “outlet” memiliki diameter yang cukup stabil.



Gambar 5. 15. Percobaan ambang lebar.

Model matematika hasil pengukuran koefisien debit (C_d ukur) terhadap perbandingan h/L adalah sebagai berikut seperti pada gambar (5.13.).

$$C_d = k \left| \frac{h_1}{L} \right|^c \quad (5.9.)$$

$$\log C_d = \log k + c \log \left(\frac{h_1}{L} \right)$$

dengan regresi linier diperoleh $y = \log C_d$; $a = \log k$; $b = c$: dan $x = \log \left(\frac{h}{L} \right)$.

maka tabel regresinya

Tabel 5.3. Regresi Model Matematika

| y | y ² | x | x ² | xy |
|---------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| -0,2017 | 0,0407 | -1,3665 | 1,8673 | 0,2756 |
| -0,1739 | 0,0302 | -1,1135 | 1,2399 | 0,1936 |
| -0,1487 | 0,0221 | -0,9208 | 0,8479 | 0,1369 |
| -0,1249 | 0,0156 | -0,8153 | 0,6647 | 0,1018 |
| -0,1023 | 0,01047 | -0,7289 | 0,5313 | 0,0746 |
| -0,0915 | 0,0087 | -0,6575 | 0,4323 | 0,0602 |
| -0,0757 | 0,0057 | -0,596 | 0,3552 | 0,0451 |
| -0,0605 | 0,000366 | -0,574 | 0,3295 | 0,0347 |
| -0,0506 | 0,0026 | -0,5228 | 0,2733 | 0,0265 |
| -0,041 | 0,00168 | -0,4994 | 0,249 | 0,0205 |
| $\Sigma x = -1,078$ | $\Sigma y^2 = 0,1415$ | $\Sigma x = -7,7947$ | $\Sigma x^2 = 6,7904$ | $\Sigma xy = 0,9695$ |

dari persamaan (5. 5.) dan (5. 6.) diperoleh model

$$C_d = 1,0965 \left| \frac{h_1}{L} \right|^{0,18867}$$

dengan L = panjang ambang

h_1 = tinggi muka air di hulu

C_d = koefisien debit

5. 6. 3. Kondisi Batas Modular

Pada kondisi batas modular aliran di atas ambang mulai berubah dari keadaan super kritis ke kritis. Secara visual dapat diamati secara teliti pada saat aliran di atas ambang mulai terpengaruh oleh aliran.

5. 7. Pembahasan Penelitian Model Bendung Ambang Tajam.

Model bendung ambang tajam yang digunakan memiliki panjang ambang sebesar 1,2 cm, sedangkan standar penelitian digunakan panjang ambang < 2 mm. Limpasan aliran di atas ambang merupakan fenomena jatuh bebas. Perubahan kelengkungan sedemikian mendadak sehingga terjadi aliran turbulensi di hilir ambang.

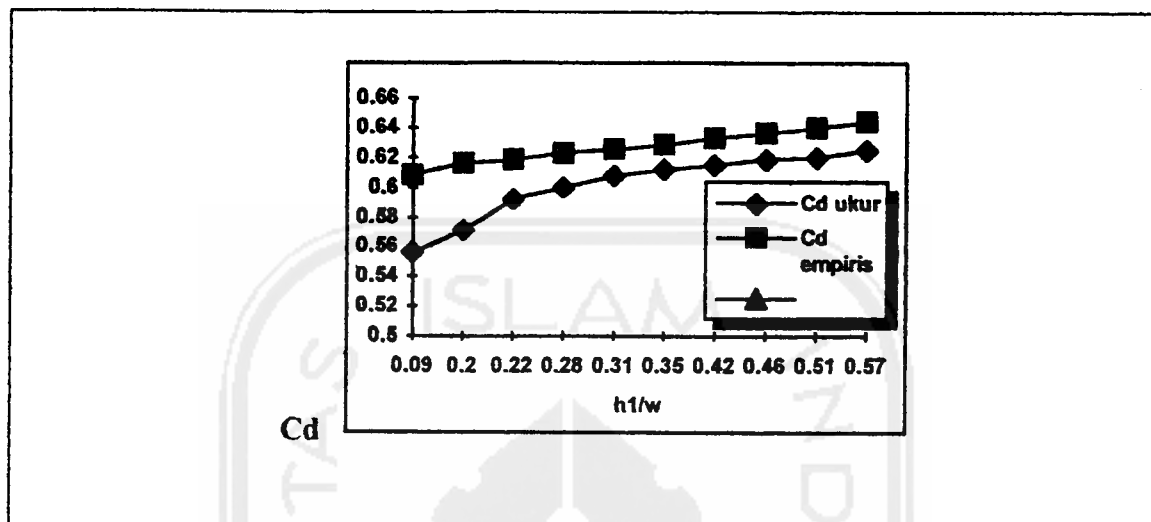
5. 7. 1. Pengukuran Koefisien Debit Pada Kondisi Modular.

Rumus Koefisien debit aliran pada ambang tajam dengan metode volume tampungan dapat diturunkan sebagai berikut:

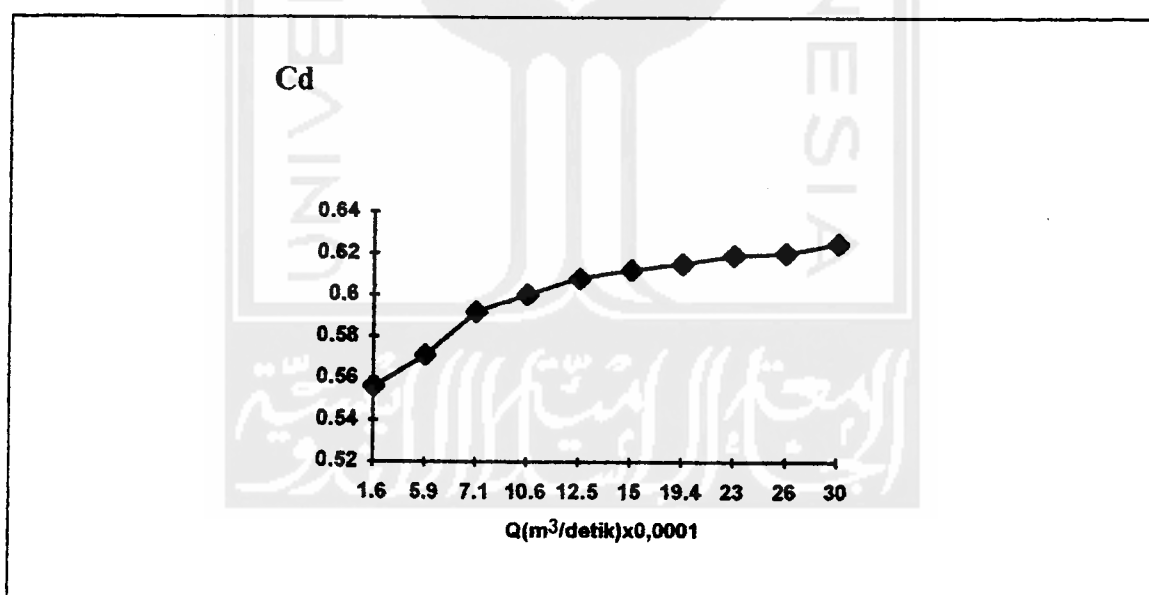
dari persamaan (5. 1.) dan (3. 9.) maka diperoleh,

$$C_d = \frac{V}{2,953.B. T. (h_1)^{1,5}} \quad (5. 10.)$$

5. 7. 2. Analisis Grafik dan Pengamatan



Gambar 5.16. Grafik perbandingan koefisien debit



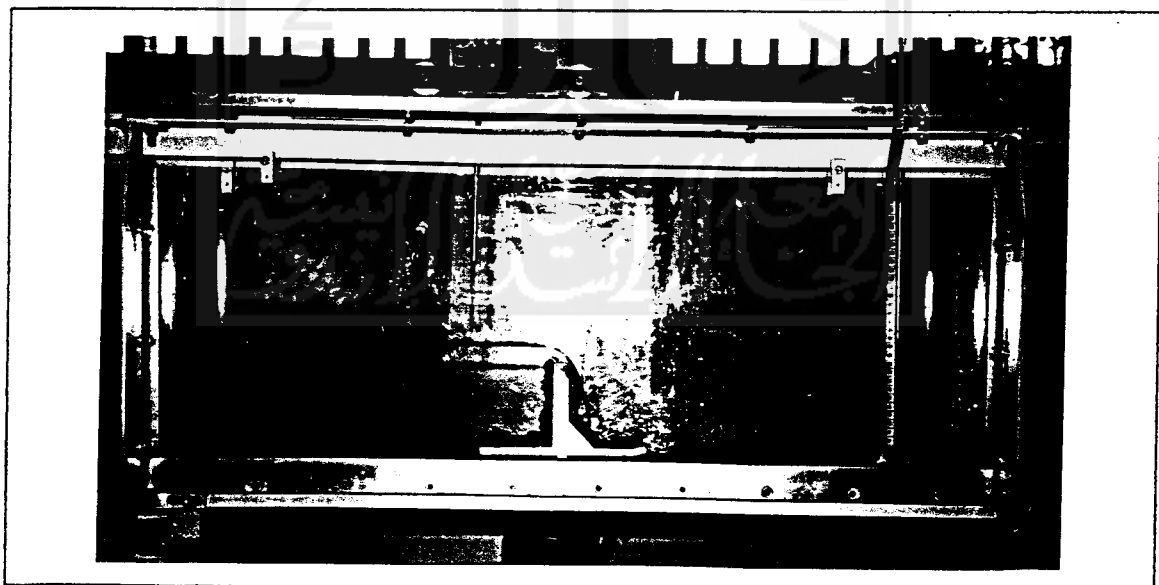
Gambar 5.17. Grafik nilai pengukuran

Dari hasil grafik pada gambar (5.16.) dan (5.17.) menunjukkan selisih yang cukup berarti antara nilai pengukuran dengan nilai pendekatan formula empiris Kindsvater. Selisih nilai pengukuran dengan formula Kindsvater sangat besar pada

pengukuran pertama dibandingkan dengan nilai pengukuran ke sepuluh. Hal ini menunjukkan bahwa pada debit kecil maka koefisien debit kecil, karet ban pada sistem “outlet” akan mengempis sehingga kehilangan energi aliran lebih besar dibandingkan dengan debit besar dimana diameter ban cukup stabil. Disamping faktor karet ban kehilangan energi aliran terjadi oleh efek kavitasi di bawah tirai luapan.

Untuk mengurangi efek kavitasi menurut Howe (Discharge Measurement Structures, M.G. Bos, editor 1988.) diperlukan pengudaraan pada ventilasi udara di bawah tirai luapan, atau pada model diperlukan pipa pengudaran.

Penambahan debit aliran akan mengakibatkan penambahan nilai koefisien debit aliran secara linier. Pada nilai pengamatan yang terjadi menunjukkan fluktuatif terjadinya olakan-olakan pada saat pengukuran di volume tampungan.



Gambar 5. 18. Penelitian model ambang tajam pada kondisi modular

5. 7. 3. Kondisi Batas Modular

Kondisi batas modular terjadi pada tinggi air di hilir $h_3 = 2/3.h_1$ dengan nilai h_3 adalah 7 cm. Pada kondisi tersebut dapat dicermati secara visual dengan terpengaruhinya aliran di atas ambang oleh aliran di hilir ambang.



Gambar 5. 19. Perkiraan kondisi batas modular.

Berdasarkan penelitian Kindsvater dan Carter model matematika koefisien debitnya adalah sebagai berikut :

$$Cd = \alpha + \beta \cdot \left(\frac{h_1}{w} \right)$$

dengan $\alpha = 0,602$; $\beta = 0,075$, untuk saluran persegi.

Berdasarkan penelitian dengan model bendung ambang tajam dengan w (tinggi ambang) 11,6 cm. Jadi menurut Kindsvater dan Carter bila saat air mulai melimpas, maka koefisien debit mula-mulanya $C_{do} = 0,602$.

Pada penelitian laboratorium hidrolika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia sulit untuk mengukur koefisien debit awal karena menggunakan alat ukur debit volume tampungan, maka digunakan regresi linier.

Tabel 5. 4. Regresi Model Matematika

| Y | y ² | x | x ² | xy |
|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|
| 0,556 | 0,3091 | 0,087 | 0,0076 | 0,0484 |
| 0,511 | 0,326 | 0,198 | 0,0392 | 0,1131 |
| 0,592 | 0,3505 | 0,2189 | 0,0479 | 0,1296 |
| 0,6 | 0,36 | 0,2845 | 0,0809 | 0,1707 |
| 0,608 | 0,3697 | 0,3147 | 0,099 | 0,1913 |
| 0,612 | 0,3745 | 0,3534 | 0,1249 | 0,2163 |
| 0,615 | 0,3782 | 0,4181 | 0,1748 | 0,2571 |
| 0,619 | 0,3832 | 0,4612 | 0,2127 | 0,2855 |
| 0,62 | 0,3844 | 0,5086 | 0,2587 | 0,3153 |
| 0,625 | 0,3906 | 0,5646 | 0,3187 | 0,3529 |
| $\Sigma x = 6,018$ | $\Sigma y^2 = 3,6262$ | $\Sigma x = 3,409$ | $\Sigma x^2 = 1,3644$ | $\Sigma xy = 2,0802$ |

dengan $y = Cd$ dan dari persamaan (5. 5.) dan (5. 6.) diperoleh harga $\alpha = 0,553$; $\beta = 0,1417$

sehingga model matematikanya

$$Cd = 0,553 + 0,1417 \left(\frac{h_1}{w} \right)$$

Dari model di atas dapat disimpulkan bahwa :

1. koefisien debit berbanding lurus dengan tinggi muka air dan berbanding terbalik dengan tinggi ambang, dan
2. koefisien debit awal sebesar $C_{do} = 0,553$.

5. 8. Pembahasan Penelitian Bendung Ambang “V-Notch”.

Pada model bendung ambang “V-Notch” yang digunakan memiliki sudut $25,321^\circ$, jadi rumus pengukuran debit yang melewatinya adalah:

$$Q = C_d \cdot \frac{8}{15} \cdot \frac{\theta}{2} \cdot \left(\frac{5}{2} \right) \cdot (\sqrt{2 \cdot g}) \cdot (h)^{5/2} \quad \text{maka}$$

$$Q = C_d \cdot 3,54 \cdot (h)^{5/2} \quad (5.11.)$$

5. 8. 1. Pengukuran Koefisien Debit Pada Kondisi Modular

Dari persamaan (5. 7.) dan (5. 1.) dapat diturunkan persamaan koefisien debit dengan volume tampungan sebagai berikut :

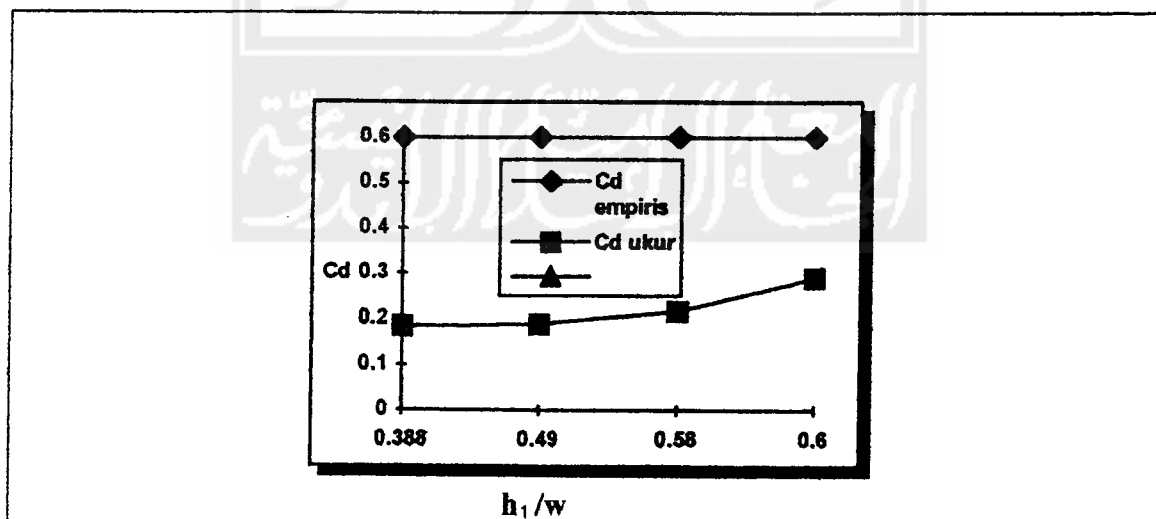
$$C_d \cdot 3,54 (h)^{5/2} = \frac{V}{T}$$

$$Cd = \frac{V}{3,54 \cdot T \cdot (h)^{5/2}} \quad (5.12.)$$

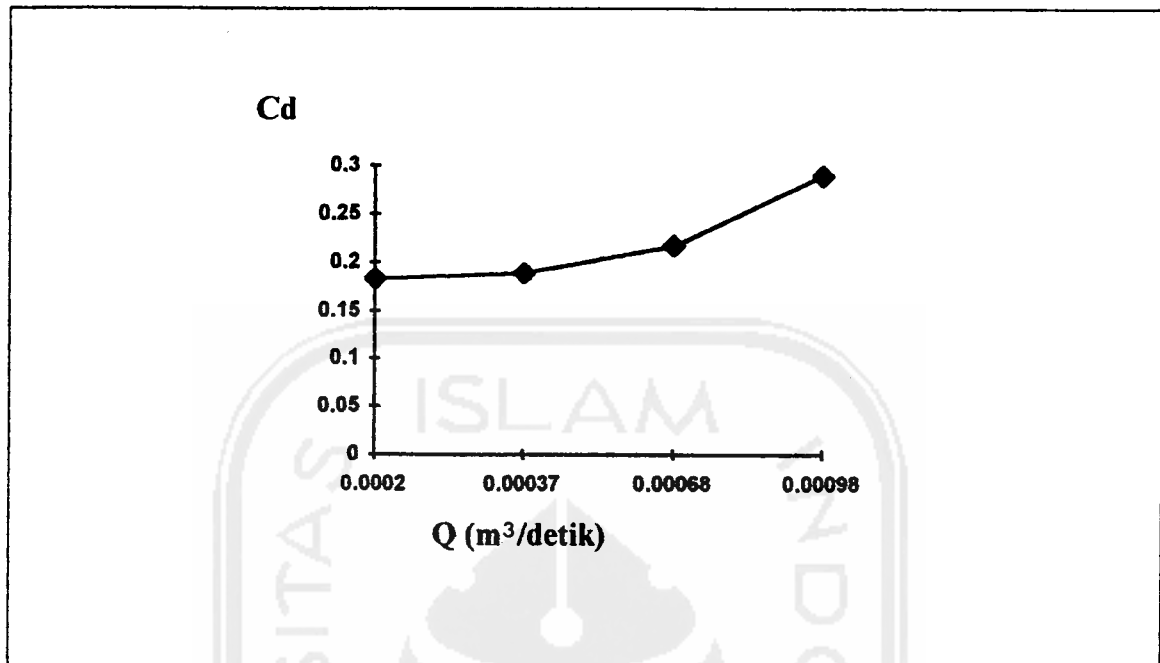
5. 8. 2. Analisa Grafik dan Pengamatan Fenomena Aliran

Dari gambar (5. 20.) dan (5. 21.) menunjukkan bahwa debit yang keluar dari “outlet” kecil sehingga saluran dari ban karet akan mengempis sehingga mengurangi energi aliran. Di hilir ambang terjadi olakan yang disebabkan oleh gelembung udara sehingga menimbulkan “kavitasi” yang menyebabkan kehilangan tenaga yang cukup besar. Seperti pada gambar (5. 22.) dan (5. 23.).

Pertambahan nilai koefisien debit berbanding lurus dengan debit aliran. Hal ini sejalan dengan pendekatan teoritis terhadap bendung ambang “V-Notch”. Kecepatan di hulu ambang akan lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan di hilir ambang.



Gambar 5. 20. Grafik perbandingan



Gambar 5. 21. Grafik Pengukuran

5. 8. 3. Kondisi Batas Modular

Kondisi batas modular dapat dilihat secara visual, mulai berpengaruhnya kondisi aliran di hilir terhadap aliran di atas ambang.

Dari hasil eksperimen para ahli hidrolis menunjukkan bahwa batas modular untuk ambang tajam sebesar tinggi muka air di hilir sebanding dengan nilai dua pertiga dari kedalaman permukaan air di hulu ($h_3 = 2/3 h_1$). Pada pengukuran, batas modular terjadi pada $h_3 = 5,3$ cm atau $h_1 = 7,95$ cm



Gambar 5. 22. Aliran pada model “V-Notch” kondisi modular



Gambar 5. 23. Aliran “v-notch” terlihat dari depan tampak olakan pada hilir yang cukup besar



5. 24. Kondisi batas modular



Gambar 5. 25. Kondisi aliran menyelim

5. 9. Kesalahan Relatif

Perhitungan kesalahan relatif adalah suatu cara untuk mengetahui derajat kecermatan kita di dalam pengukuran yang disebabkan ke tiga jenis kesalahan seperti kesalahan sistematik, kesalahan stokastik, kesalahan tindakan.

5. 9. 1. Kesalahan Relatif Model Pintu Sorong

Rumus koefisien debitnya adalah

$$C_d = \frac{s.t.u}{B. hg.T. \sqrt{2.g.h_1}}$$

dengan:

s, t = sisi-sisi volume tampungan (bagian ukur debit)

u = tinggi volume pengukuran

B, hg, s, t, g , dianggap tidak terdapat kesalahan dalam pengukuran atau mempunyai kesalahan kecil, maka untuk menghitung kesalahan relatif adalah sebagai berikut :

$$C_d = \frac{u}{T.\sqrt{2.h_1}}$$

$$\frac{\partial Cd}{\partial u} = \frac{1}{T \sqrt{2 \cdot h_1}}$$

$$\frac{\partial Cd}{\partial T} = \frac{u}{T^2 \sqrt{2 \cdot h_1}}$$

$$\frac{\partial Cd}{\partial h_1} = \frac{u}{T \cdot (2 \cdot h_1)^{3/2}}$$

maka kesalahan relatifnya diperoleh

$$(r_k)_{cd} = \sqrt{r_u^2 + r_T^2 + 1/4 r_{h_1}^2}$$

diketahui :

$$\text{kesalahan relatif } (r_{h_1}) = 1,5424 \%$$

$$\text{kesalahan relatif } (r_u) = 2,684 \%$$

$$\text{Kesalahan relatif } (r_T) = 13,92 \%$$

Kesalahan relatif waktu penampungan (r_T) dipikirkan yang terbesar. Seperti pada lampiran 1 pada tabel pengukuran waktu penampungan, sehingga kesalahan relatif koefisien debit pintu sorong adalah :

$$(r_k)_{cd} = 14,197 \%$$

sehingga nilai kecermatannya adalah $100 \% - 14,197 \% = 85,8027 \%$

5. 9. 2. Model Bendung Ambang Tajam

Dengan cara yang sama seperti di atas, maka diperoleh harga kesalahan relatif koefisien debit ambang lebar:

$$(r_k) cd = \sqrt{r_u^2 + r_T^2 + 9/4 r_{h1}^2}$$

diketahui :

$$\text{kesalahan relatif } (r_{h1}) = 1,5424 \%$$

$$\text{kesalahan relatif } (r_u) = 2,684 \%$$

$$\text{Kesalahan relatif } (r_T) = 4,28 \%$$

$$(r_k) cd = 5,507 \%$$

$$\text{Ketelitian pengukurannya } 100 \% - 5,507 \% = 94,49 \%$$

5. 9. 3. Model Bendung Ambang "V-Notch"

Dengan cara yang sama seperti di atas, maka diperoleh harga kesalahan relatif koefisien debit ambang lebar:

$$(r_k)cd = \sqrt{r_u^2 + r_T^2 + 25/4 r_{h1}^2}$$

diketahui :

$$\text{kesalahan relatif } (r_{h1}) = 1,5424 \%$$

$$\text{kesalahan relatif } (r_u) = 2,684 \%$$

$$\text{Kesalahan relatif } (r_T) = 9,025 \%$$

$$(r_k)_{cd} = 10,17 \%$$

$$\text{Ketelitian pengukurannya } 100 \% - 10,17 \% = 89,83 \%$$

5. 9. 4. Model Bendung Ambang Lebar

Dengan cara yang sama seperti di atas, maka diperoleh harga kesalahan relatif koefisien debit ambang lebar:

$$(r_k)_{cd} = \sqrt{r_u^2 + r_T^2 + r_{h1}^2}$$

diketahui :

$$\text{kesalahan relatif } (r_{h1}) = 1,5424 \%$$

$$\text{kesalahan relatif } (r_u) = 2,684 \%$$

$$\text{Kesalahan relatif } (r_T) = 14,23 \%$$

$$(r_k)_{cd} = 14,545 \%$$

$$\text{Ketelitian pengukurannya } 100 \% - 14,545 \% = 85,455 \%$$

5. 10. Alat Ukur Debit Aliran Standar

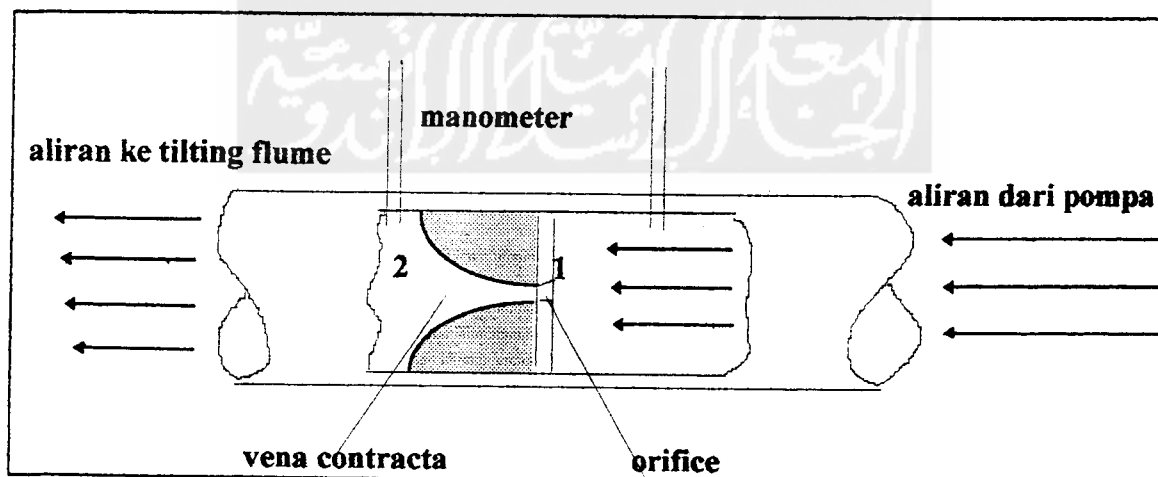
Ketelitian pengukuran koefisien debit tergantung kepada hasil ketelitian pengukuran debit. Disamping beberapa hal yang diperlukan ketelitian, seperti pada pintu sorong tinggi bukaan, tinggi muka air hulu dan lebar tilting flume. Namun secara manual bisa diusahakan ketelitian yang cukup memadai. sedangkan untuk keperluan pengukuran debit diperlukan alat yang memiliki presisi tinggi.

Ada dua macam pengukuran debit yakni :

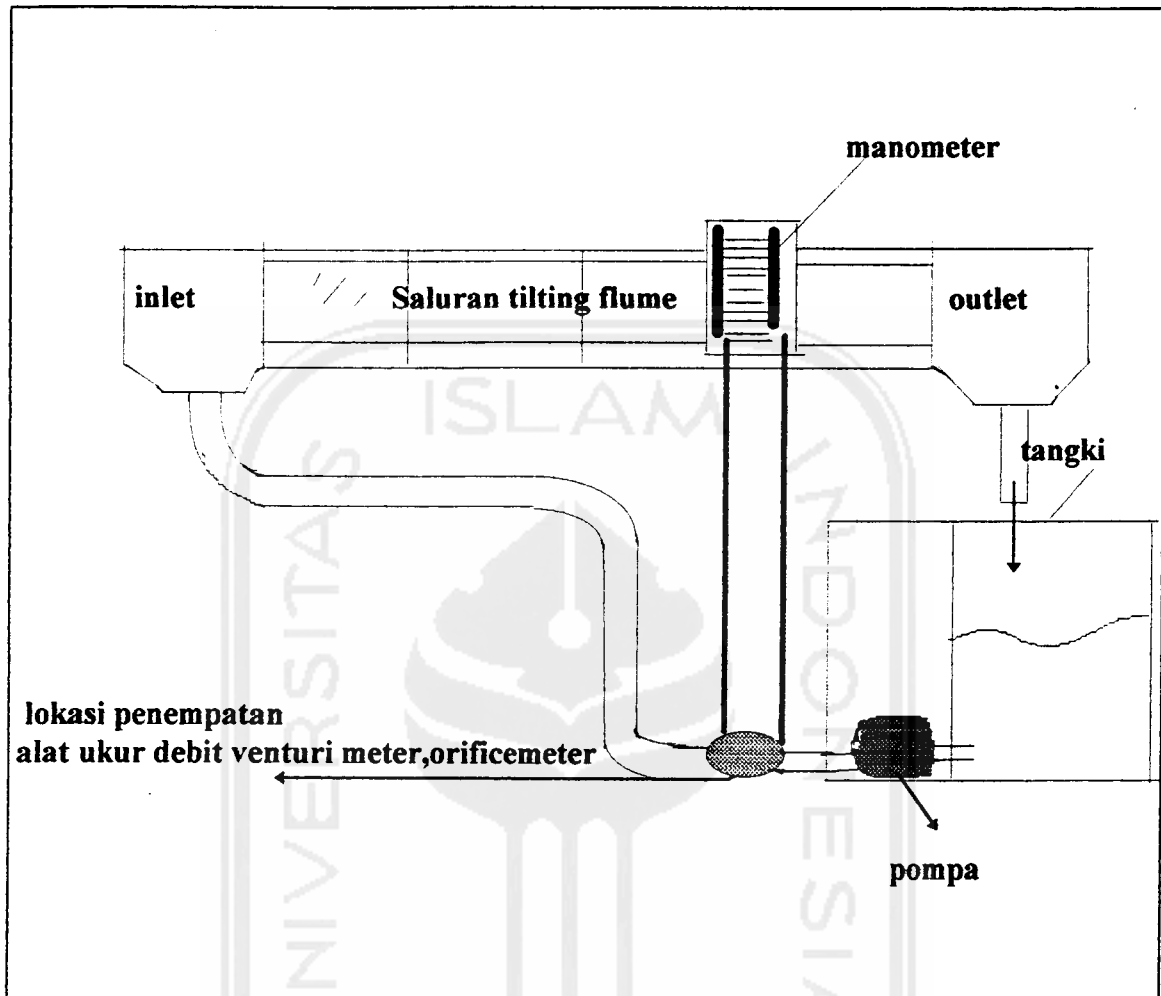
1. cara langsung
2. cara tidak langsung

5. 10. 1. Cara Langsung

Cara langsung adalah istilah untuk menggunakan alat yang diperoleh data debit aliran. Alat yang digunakan berupa “orificemeter”, berupa pelat tipis terbuat dari logam dengan lubang ditengahnya. Diameter lubang 90 mm. Pelat terletak diantara dua sayap pipa seperti pada gambar berikut.



Gambar 5. 26. “Orificemeter”



Gambar 5. 27. Letak “orificemeter” dan “venturimeter” di “tilting flume”

Pabrik pembuat Orificemeter biasanya telah mengkalibrasi alat ukur tersebut sehingga mengeluarkan buku manual penggunaan dan spesifikasinya (Work Group, Hand Book of Measurment Science, 1988.).

5. 10. 2. Cara Tidak Langsung

Cara tidak langsung adalah cara memperoleh harga debit aliran dengan mengukur fungsi debit.

$$Q = Q (V. t)$$

Dengan V adalah kecepatan aliran, dan t adalah waktu penampungan. Alat ukur standart di laboratorium hidrolika untuk keperluan pengukuran kecepatan aliran pada penelitian lanjutan ada dua yakni :

1. alat ukur "Current meter", dan
2. "Laser Doppler Velocymetry"

"Current meter" merupakan alat pengukur kecepatan yang paling banyak digunakan karena memberikan ketelitian cukup tinggi walaupun harus sering di kalibras. Kecepatan aliran yang diukur adalah kecepatan aliran titik dalam satu penampang aliran tertentu.

Prinsip yang digunakan adalah adanya kaitan kecepatan aliran dengan kecepatan putaran baling-baling dari "Current meter". Hubungan tersebut terlihat dalam persamaan berikut ini.

$$V = a. n + b \quad (5. 13.)$$

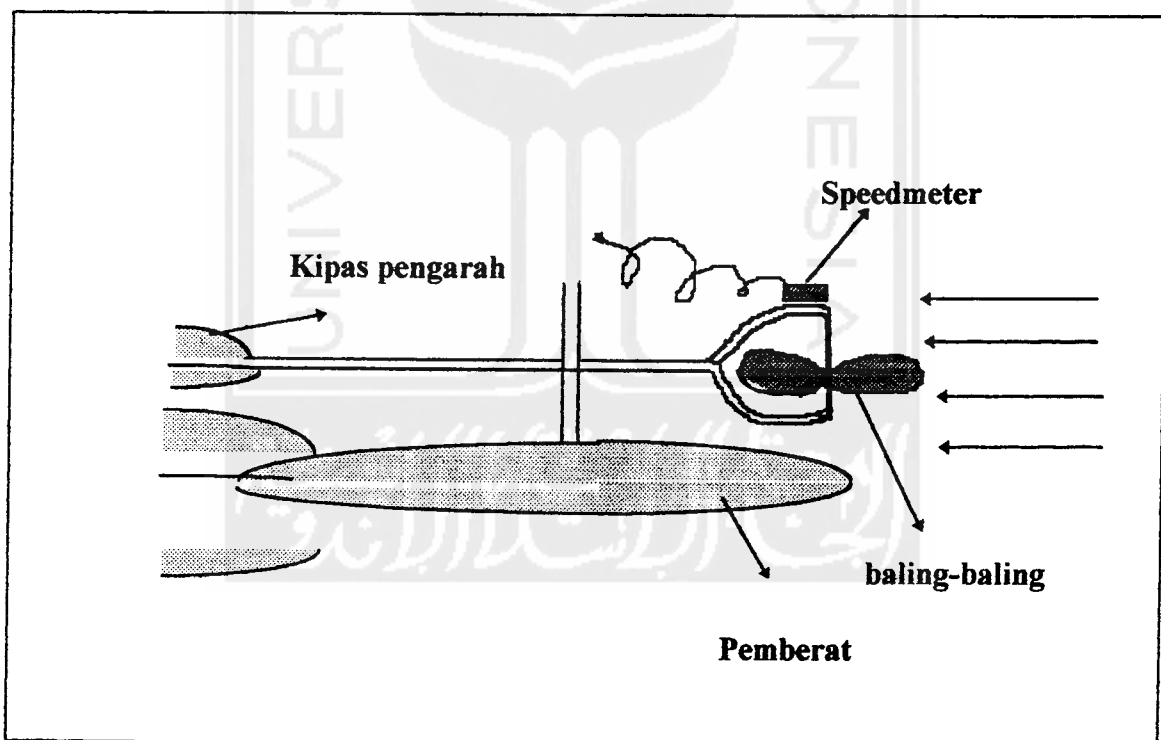
dengan V : kecepatan aliran (m/ s)

n : jumlah putaran (s)

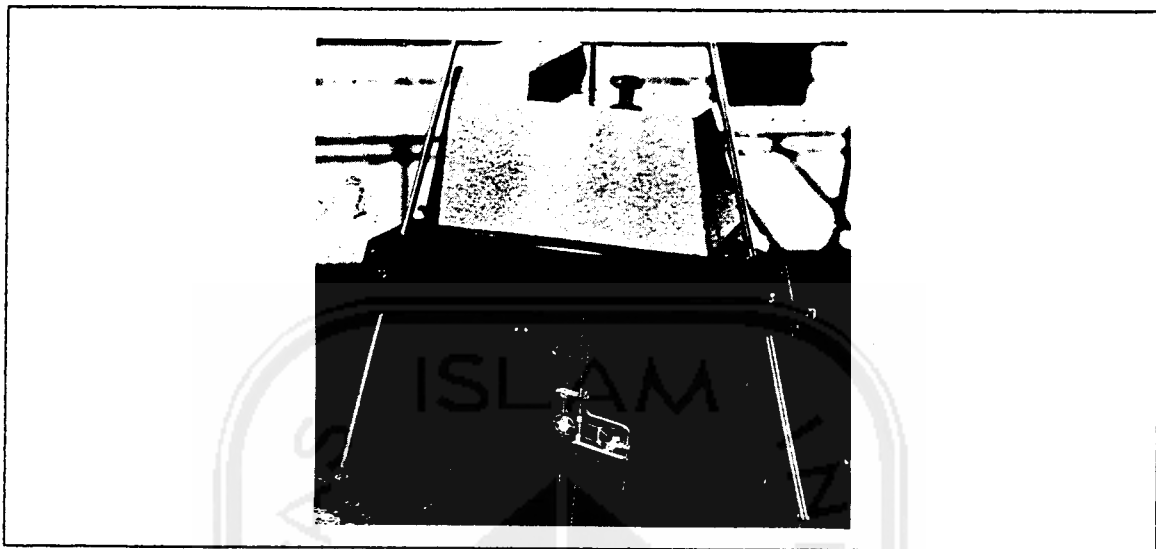
a, b : konstanta kalibrasi

Karena yang diukur adalah kecepatan titik maka dipilih titik yang mewakili seluruh harga kecepatan pada distribusi kecepatan aliran.

“Current meter” diletakkan pada 40% dari tinggi muka air diukur dari dasar saluran.



Gambar 5. 28. Profil “Current Meter”

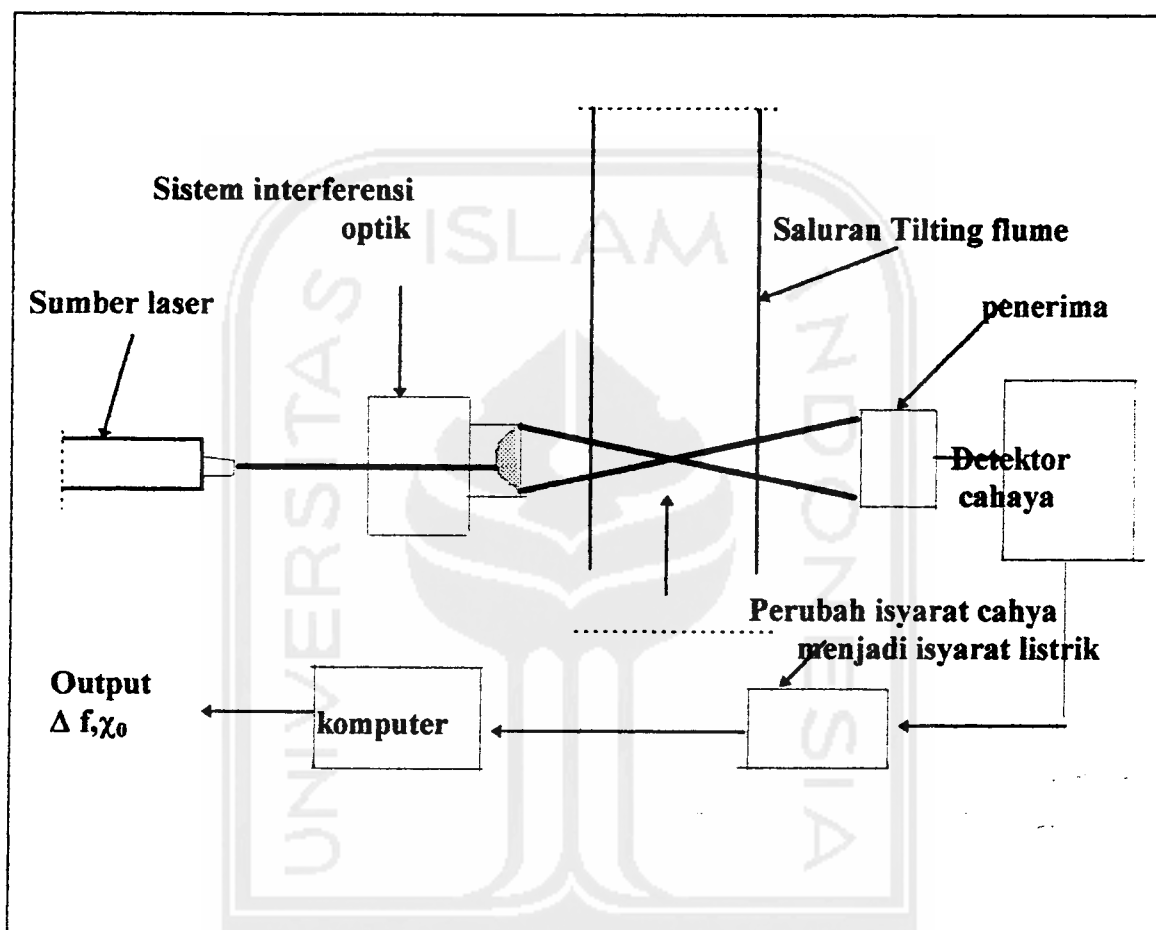


Gambar 5.29. "Current meter" pada "tilting flume"

Pengukuran kecepatan yang memiliki derajat ketepatan tinggi adalah Laser Doppler Velocymetry (LDV). Ditemukan oleh Yeh dan Cumins pada tahun 1964 . Kelebihan LDV adalah : Pertama, mengukur kecepatan tanpa mengganggu aliran. Kedua, data yang diperoleh memiliki kesalahan 0,1% sehingga tidak diperlukan kalibrasi. Ketiga, mempunyai kemampuan mengukur aliran yang memiliki kecepatan tinggi, kecepatan aliran negatif pada fenomena kavitasi, dan kecepatan yang berolak ("turbulensi flow") pada model "water hammer." Ke empat, memiliki kemampuan memetakan distribusi kecepatan, gambar image aliran dua dan tiga dimensi yang untuk keperluan penelitian. (LSI Laser Doppler Velocymetry, LSI C, 1989.)

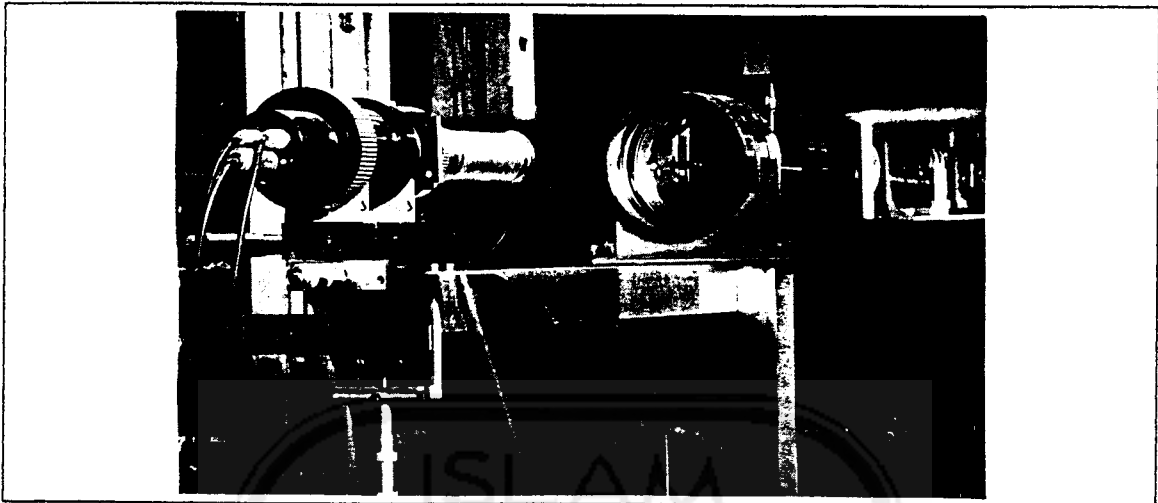
Prinsip bekerjanya menerapkan azas Doppler, seberkas sinar laser berwarna atau monochromatik dipancarkan memasuki sistem interferensi optik sehingga

menghasilkan pola interverensi tiga dimensi yang menyebabkan lintasan berkas sinar laser membentuk sudut α . Seperti pada gambar dibawah ini.

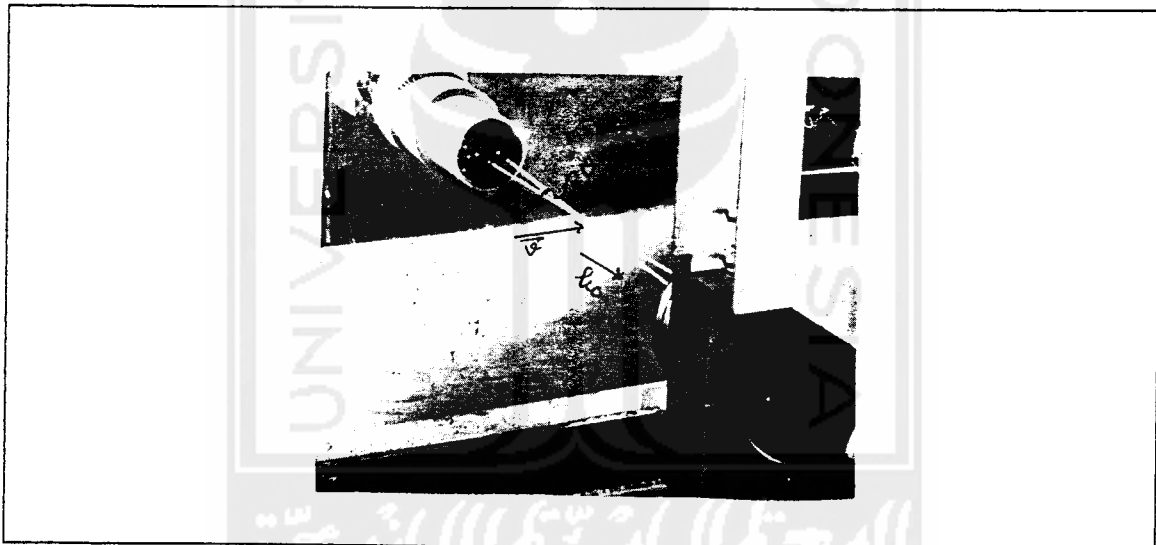


Gambar 5. 30. Sistem kerja L D V

Perpotongan sinar laser pada "tilting flume" membentuk elip dengan lebar 0,5 mm dan garis tengah 0,1 mm. Partikel air yang memiliki kecepatan V memasuki potongan elip yang disebut volume pengukuran.



Gambar 5. 31. Berkas laser memasuki sistem interferensi optik



Gambar 5. 32. Berkas sinar laser yang keluar dari sistem interferensi optik membentuk pola interferensi tiga dimensi.

Partikel air yang memasuki volume pengukuran, menghamburkan berkas sinar. Berkas sinar laser yang telah terhambur kemudian melalui sistem penerima optik menuju ke foto detektor yang mengubah cahaya menjadi sinyal isyarat listrik yang dapat ditampilkan di layar komputer.



Gambar 5. 33. Sistem pengubah cahaya menjadi isyarat listrik

Kemudian dari sistem pengubah menuju komputer yang berfungsi menyimpan tampilan grafik dan menghitung frekwensi sinar laser. Kecepatan cahaya (c) merupakan hasil perkalian antara panjang gelombang (χ) dan frekwensi (f)

$$c = \chi \cdot f \quad (5. 14.)$$

Dengan χ adalah panjang gelombang dan f adalah frekwensi dari cahaya tersebut. Partikel air bergerak dengan kecepatan V memasuki volume pengukuran, sehingga menghamburkan berkas sinar laser. Frekwensi sinar laser terhambur yang ditangkap oleh sistem penerima sebesar.

$$f_0 = \frac{(c - V \cdot k_0)}{\chi_0}$$

dengan f_0 : frekwensi sinar laser terhambur

→

V : vektor kecepatan partikel air

k_0 : vektor satuan kearah penerima

λ_0 : panjang gelombang sinar laser terhambur.

bentuk skalarnya;

$$f_0 = \frac{(c - V \cos \alpha)}{\lambda_0}$$

Kemudian partikel air meninggalkan volume pengukuran sambil menghamburkan sinar laser. Sehingga berdasarkan azas Doppler, frekwensi sinar laser yang terhambur adalah f_s .

$$f_s = \frac{c}{c - V \cdot k_s}$$

$$f_s = \frac{(c - V \cdot k_0)}{\lambda_0} \cdot \frac{c}{(c - V \cdot k_s)}$$

Selisih frekwensi berkas sinar laser terhambur saat memasuki dan meninggalkan volume pengukuran adalah :

$$\Delta f = f_s - f_o = \frac{c}{\lambda_o} \cdot \left(\frac{c - V \cdot k_o}{c - V \cdot k_s} - 1 \right)$$

$$= \frac{V (k_s - k_o)}{\lambda_o (1 - V \cdot k_s / c)}$$

kecepatan partikel zat cair lebih kecil dari kecepatan cahaya ($V \ll c$), maka

$$\partial f = V (k_s - k_o)$$

namun berkas laser yang memasuki sistem penerima adalah dua buah berkas sehingga

$$\partial f_1 = \frac{V}{\lambda_o} \cdot (k_s - k_{o1})$$

dan berkas sinar 2

$$\partial f_2 = \frac{V}{\lambda_o} \cdot (k_s - k_{o2})$$

Sehingga perubahan frekwensi yang teramati menjadi

$$\Delta f = f_2 - f_1 = \frac{2 \cdot V \sin (\theta / 2)}{\lambda_o}$$

sehingga diperoleh harga kecepatan partikel air sebesar

$$V = \frac{\lambda_0 \cdot \Delta f}{2 \sin(\theta/2)} \quad (5.15.)$$

Untuk harga-harga Δf , dan λ_0 secara otomatis dihitung komputer sehingga hasil keluaran komputer berupa kecepatan rata-rata aliran. Untuk memperoleh kecepatan rata-rata aliran volume pengukuran diletakkan pada 40% dari tinggi muka air diukur dari dasar saluran.

