

"Allah tidak membebani seseorang melainkan dengan kesanggupannya
....." (Q.S. Al Baqarah, 286)

"Berdo'alah kepada Tuhanmu dengan berendah diri dan suara lembut. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang melampaui batas" (Q.S Al A'raaf, 55)

Kupersembahkan untuk yang
tercinta :

Bapak dan Ibu, Kakak dan
adik-adikku serta Oom Yono

.....



**KARAKTERISTIK LOMPATAN HIDROLIK
TERHADAP PELIMPAH TERJUNAN PADA
SALURAN SEGI EMPAT**



Oleh
SUNANDAR
F 22.0781



1991
**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR**



KARAKTERISTIK LOMPATAN HIDROLIK
TERHADAP PELIMPAH TERJUNAN PADA
SALURAN SEGI EMPAT

Oleh

S U N A N D A R

F 22.0781

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

pada Jurusan MEKANISASI PERTANIAN,

Fakultas Teknologi Pertanian,

Institut Pertanian Bogor

1 9 9 1

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

INSTITUT PERTANIAN BOGOR

B O G O R



INSTITUT PERTANIAN BOGOR
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

KARAKTERISTIK LOMPATAN HIDROLIK
TERHADAP PELIMPAH TERJUNAN PADA
SALURAN SEGI EMPAT

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

pada Jurusan MEKANISASI PERTANIAN

Fakultas Teknologi Pertanian,

Institut Pertanian Bogor

Oleh

S U N A N D A R

F 22.0781

Dilahirkan pada tanggal 9 Desember 1965

di Jakarta

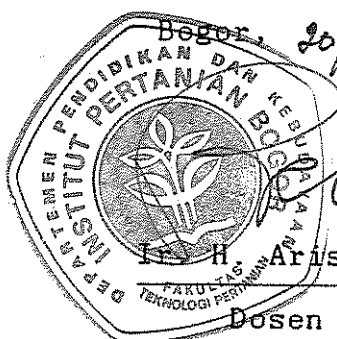
Tanggal lulus :

Disetujui,

Bogor, 20/5-1991



Ir. H. Aris Priyanto, MAE
Dosen Pembimbing



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah swt. karena hanya dengan rahmat-Nyalah maka skripsi ini dapat penulis selesaikan.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada bapak Ir. H. Aris Priyanto, MAE yang telah membimbing penulis melaksanakan penelitian sampai selesainya skripsi ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak dan Ibu tercinta yang senantiasa berdo'a
2. Kakak Eddy Sumedy dan Teh Rita
3. Oom Supriyono yang membantu dalam operasionalnya
4. Didi sutisna yang memberikan bantuan teknis
5. Rekan-rekan lain yang turut memberikan bantuannya.

Akhirnya dengan segala kerendahan hati penulis menyadari sepenuhnya, tulisan ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan demi perbaikan tulisan selanjutnya.

Bogor, Januari 1991

Penulis

DAFTAR ISI

	halaman
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
I. PENDAHULUAN	1
A. LATAR BELAKANG	1
B. TUJUAN	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	3
A. BILANGAN FROUDE	3
B. ENERGI SPESIFIK	4
C. LOMPATAN HIDROLIK	7
D. PANJANG LOMPATAN HIDROLIK	11
E. POSISI LOMPATAN HIDROLIK	12
F. LOMPATAN HIDROLIK SEBAGAI PEREDAM ENERGI	14
G. PENGENDALIAN LOMPATAN DENGAN AMBANG ...	15
H. LOMPATAN HIDROLIK PADA PELIMPAH TER - JUNAN	18
III. METODE PENELITIAN	22
A. TEMPAT DAN WAKTU	22
B. BAHAN DAN ALAT	22
C. MODEL YANG DIGUNAKAN	22
D. LANGKAH PERCOBAAN	23
E. ANALISA TEKNIK DAN RANCANGAN PERCOBAAN	24

IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	27
A.	POSISI LOMPATAN HIDROLIK	28
B.	PANJANG LOMPATAN HIDROLIK	33
C.	KEDALAMAN SUBKRITIS	38
D.	RASIO ENERGI	43
E.	PANJANG TERJUNAN	47
F.	KEDALAMAN GENANGAN	49
G.	KEDALAMAN SESUDAH LOMPATAN	51
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	53
A.	KESIMPULAN	53
B.	SARAN	54
	LAMPIRAN	55
	DAFTAR PUSTAKA	109



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Tabel hasil pengujian statistik terhadap posisi lompatan hidrolik yang terjadi pada model bangunan pelimpah .	28
Tabel 2. Tabel hasil pengujian statistik terhadap panjang lompatan hidrolik yang terjadi pada model bangunan pelimpah	33
Tabel 3. Tabel hasil pengujian statistik terhadap kedalaman subkritis sesudah lompatan yang terjadi pada model bangunan pelimpah	38

Lampiran	1.	Model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 90 derajat, dan tinggi pelimpah 17 cm, (Model 1790)	55
Lampiran	2.	Model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 90 derajat, dan tinggi pelimpah 20 cm, (Model 2090)	56
Lampiran	3.	Model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 90 derajat, dan tinggi pelimpah 25 cm, (Model 2590)	57
Lampiran	4.	Model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 60 derajat, dan tinggi pelimpah 17 cm, (Model 1760)	58
Lampiran	5.	Model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 60 derajat, dan tinggi pelimpah 20 cm, (Model 2060)	59
Lampiran	6.	Model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 60 derajat, dan tinggi pelimpah 25 cm, (Model 2560)	60
Lampiran	7.	Model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 45 derajat, dan tinggi pelimpah 17 cm, (Model 1745)	61
Lampiran	8.	Model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 45 derajat, dan tinggi pelimpah 20 cm, (Model 2045)	62

Lampiran	9.	Model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 45 derajat, dan tinggi pelimpah 25 cm, (Model 2545)	63
Lampiran	10.	Keterangan model bangunan pelimpah .	64
Lampiran	11.	Gambar detail model bangunan pelimpah (Model 2590, 2560, 2545) ..	67
Lampiran	12.	Data hasil pengukuran pada model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 90 derajat, dan berbagai perubahan tinggi pelimpah	70
Lampiran	13.	Data hasil pengukuran pada model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 60 derajat, dan berbagai perubahan tinggi pelimpah	73
Lampiran	14.	Data hasil pengukuran pada model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 45 derajat, dan berbagai perubahan tinggi pelimpah	76
Lampiran	15.	Keadaan aliran yang melewati model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 90 derajat, dan tinggi pelimpah 17 cm, (Model 1790)	79
Lampiran	16.	Keadaan aliran yang melewati model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 90 derajat, dan tinggi pelimpah 20 cm, (Model 2090)	80
Lampiran	17.	Keadaan aliran yang melewati model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 90 derajat, dan tinggi pelimpah 25 cm, (Model 2590)	81

Lampiran	18.	Keadaan aliran yang melewati model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 60 derajat, dan tinggi pelimpah 17 cm, (Model 1760)	82
Lampiran	19.	Keadaan aliran yang melewati model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 60 derajat, dan tinggi pelimpah 20 cm, (Model 2060)	83
Lampiran	20.	Keadaan aliran yang melewati model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 60 derajat, dan tinggi pelimpah 25 cm, (Model 2560)	84
Lampiran	21.	Keadaan aliran yang melewati model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 45 derajat, dan tinggi pelimpah 17 cm, (Model 1745)	85
Lampiran	22.	Keadaan aliran yang melewati model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 45 derajat, dan tinggi pelimpah 20 cm, (Model 2045)	86
Lampiran	23.	Keadaan aliran yang melewati model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 45 derajat, dan tinggi pelimpah 25 cm, (Model 2545)	87
Lampiran	24.	Keterangan keadaan aliran yang melewati model bangunan pelimpah ...	88
Lampiran	25.	Teori perhitungan analisa varians dengan metoda Yates	89
Lampiran	26.	Perhitungan analisa varians dengan metoda Yates	91

Lampiran	27.	Perhitungan persamaan Pi Buckingham.	96
Lampiran	28.	Tabel hasil perhitungan untuk model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 90 derajat, dan berbagai perubahan tinggi	100
Lampiran	29.	Tabel hasil perhitungan untuk model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 60 derajat, dan berbagai perubahan tinggi	103
Lampiran	30.	Tabel hasil perhitungan untuk model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 45 derajat, dan berbagai perubahan tinggi	106

I. PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Aliran dengan kecepatan tinggi dalam kondisi superkritis yang melintasi bangunan pelimpah, sebelum bergerak lebih jauh ke arah hilir saluran dimana bilangan Froude (F) lebih besar dari satu harus diubah menjadi aliran subkritis dimana bilangan Froudenya lebih kecil dari satu. Aliran yang meninggalkan kaki pelimpah merupakan aliran yang memiliki kandungan energi yang amat berarti sehingga dapat menimbulkan pengikisan yang besar. Pengubahan bilangan Froude dari kondisi superkritis ke subkritis dimaksudkan agar terjadi perubahan kandungan energi, sehingga aliran menjadi non erosive.

Agar daya erosive aliran dapat berkurang, maka biasanya pada bagian hilir dari bangunan pelimpah dibuatkan suatu bangunan peredam energi. Erosi yang terjadi di hilir bangunan pelimpah dapat disebabkan dari keberadaan bangunan pelimpah itu sendiri, maupun bangunan peredam energi yang kurang tepat. Hal ini terutama menyangkut beberapa kejadian lompatan hidrolik yang timbul pada bangunan peredam energi tersebut.

Suatu metode yang efektif untuk menjamin bahwa lompatan hidrolik selalu terjadi pada daerah yang dilindungi, adalah dengan menggunakan bangunan peredam energi yang terdiri dari beberapa tipe dengan

karakteristik yang berbeda. salah satu diantaranya adalah bangunan peredam energi tipe kolam olakan datar (Chow, 1959).

Pelimpah terjunan merupakan bangunan yang kerap dipakai pada daerah saluran dimana relief atau kontur dari dasar saluran berubah pada jarak yang pendek . Meskipun kondisi aliran berubah dari kondisi subkritis menjadi superkritis, namun dengan adanya ambang pada bagian hilir saluran perubahan kecepatan yang besar dengan energi yang besar pula dapat diperkecil sehingga daya erosive aliran berkurang.

B. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah melihat karakteristik lompatan hidrolik terhadap perubahan debit aliran, tinggi pelimpah terjunan dan sudut saluran pelimpah terhadap saluran segi empat datar. Karakteristik lompatan hidrolik yang akan dilihat meliputi :

1. Panjang lompatan hidrolik
2. Posisi lompatan hidrolik
3. Kedalaman lompatan
4. Rasio energi

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. BILANGAN FROUDE

Bilangan Froude dikenal sebagai perbandingan gaya-gaya inersia dengan gaya-gaya gravitasi per satuan volume (Chow, 1959). Sebagai berikut :

$$F = \frac{v}{(gy)^{1/2}} \quad (1)$$

dimana : v = kecepatan rata-rata aliran (LT^{-1})
 g = percepatan gravitasi (LT^{-2})
 y = kedalaman hidrolis pada saluran segi empat terbuka (L)

Menurut Chow (1959), bila bilangan Froude, F sama dengan 1 (satu) aliran dikatakan dalam keadaan kritis, bila F kurang dari 1(satu) aliran bersifat subkritis dimana peran gaya tarik bumi lebih menonjol sehingga aliran mempunyai kecepatan rendah. F lebih besar dari 1 (satu) aliran akan bersifat superkritis. Dalam keadaan ini gaya inersia sangat menonjol sehingga aliran mempunyai kecepatan tinggi.

Ciri aliran subkritis ditandai dengan gelombang aliran yang menyebar ke arah hulu sedangkan ciri aliran superkritis gelombang alirannya akan menyebar ke arah hilir (Raju, 1981). Selain dari pada ciri di atas Chòw (1959) berpendapat pula bahwa aliran subkritis bersifat

tenang, sedangkan aliran superkritis akan bersifat menjeram atau deras.

B. ENERGI SPESIFIK

Energi spesifik merupakan jumlah kedalaman aliran dan tinggi kecepatan (Chow, 1959). Menurut Raju (1981) energi spesifik didefinisikan sebagai energi per satuan berat pada setiap penampang saluran relatif terhadap dasar saluran. Persamaan energi spesifik pada saluran adalah :

$$E = y + \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

dimana : y = kedalaman aliran (L)

v = kecepatan rata-rata aliran (LT^{-1})

g = percepatan gravitasi (LT^{-2})

Karena $v = Q/A$, dimana Q = debit aliran (L^3T^{-1}) dan A = luas penampang saluran (L^2), maka persamaan (2) menjadi :

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (2.1)$$

Menurut Schwab et. al. (1981), penurunan persamaan (2.1) terhadap y akan diperoleh :

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dy} \quad (2.2)$$

Jika energi spesifik minimum ($dE/dy = 0$) maka alirannya akan kritis, sehingga persamaan (2.2) menjadi :

$$\frac{Q^2 b}{gA^3} = 1 \quad (2.3)$$

dimana b adalah lebar saluran yang sama dengan dA/dy . Untuk saluran empat persegi persamaan (2.3) dapat ditulis :

$$1 - \frac{q^2}{gy^3} = 0 \quad (2.4)$$

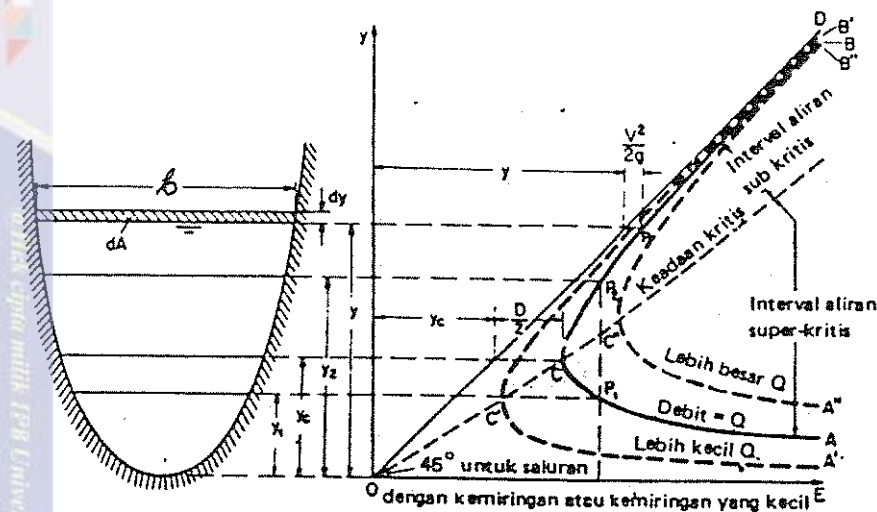
dimana : y = kedalaman aliran (L)

q = debit per satuan lebar ($L^2 T^{-1}$)

Kedalaman kritis diperoleh dari persamaan (2.4), dimana :

$$y_c = (q^2 / g)^{1/3} \quad (2.5)$$

Menurut Chow (1959), untuk suatu penampang saluran dan debit tertentu, energi spesifiknya hanya merupakan fungsi dari kedalaman aliran. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lengkung energi spesifik untuk suatu penampang dan debit tertentu (Chow, 1959)

Dari Gambar 1 jelas bahwa untuk energi spesifik tertentu terdapat kemungkinan kedalaman y_1 dan y_2 . Pada titik C, energi spesifik menjadi minimum dan terjadi pada aliran kritis. Pada keadaan kritis kedalaman y_1 dan y_2 seolah menyatu dan dikenal sebagai kedalaman kritis, y_c . Bila kedalaman aliran melebihi kedalaman kritis, kecepatan aliran lebih kecil dari kecepatan kritis disebut aliran subkritis, sedangkan kedalaman aliran yang lebih kecil dari kedalaman kritis disebut sebagai aliran superkritis. Dengan demikian y_1 merupakan kedalaman aliran superkritis dan y_2 merupakan kedalaman aliran subkritis.

Selain itu bila debit berubah, energi spesifik akan berubah pula. Ini terlihat pada lengkung A'B' dan A''B'' yang menyatakan posisi lengkung energi spesifik bila berubah mengecil atau membesar.

C. LOMPATAN HIDROLIK

Lompatan hidrolik terjadi bila perubahan kedalaman aliran dari taraf rendah ke taraf tinggi berlangsung tiba-tiba dan biasanya terjadi peningkatan muka air yang mendadak (Chow, 1959).

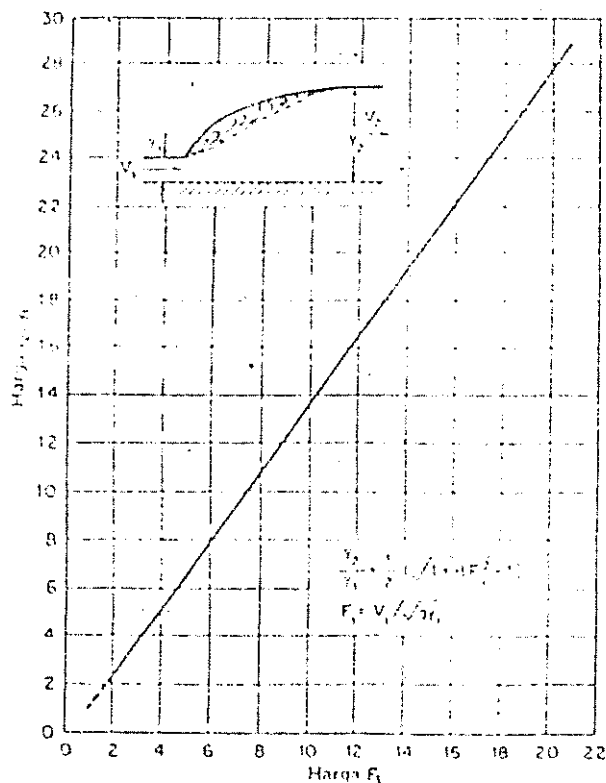
Menurut Raju (1981) lompatan hidrolik terjadi akibat perubahan aliran dari kondisi superkritis ke subkritis. Perubahan ini akan menimbulkan penurunan tekanan dan gradien energi aliran pada akhir lompatan (King et. al, 1963).

Untuk aliran kritis pada saluran persegi panjang horizontal, energi aliran akan diredam oleh tahanan gesek saluran, sehingga menyebabkan terjadinya pengurangan kecepatan dan penambahan ketinggian pada arah aliran. Suatu lompatan hidrolik akan terbentuk pada saluran, jika bilangan Froude aliran F_1 , kedalaman aliran y_1 , dan kedalaman hilir y_2 memenuhi persamaan (3) berikut (Chow, 1959). Persamaan ini dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.

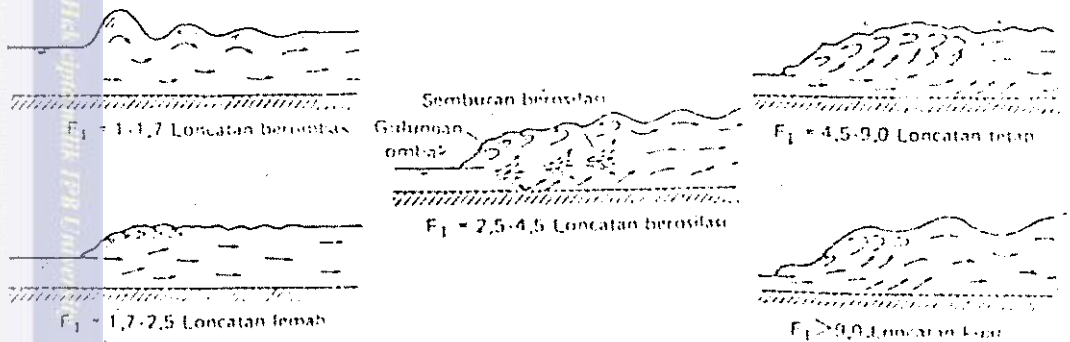
$$\frac{y_2}{y_1} = 1/2 ((1 + 8 F_1^2)^{1/2} - 1) \quad (3)$$

Lompatan hidrolik yang terjadi pada dasar saluran horizontal terdiri dari beberapa tipe yang berbeda-beda. Tipe-tipe tersebut dapat dibedakan berdasarkan bilangan

Froude F_1 aliran yang terlibat sebagaimana terlihat pada Gambar 3. Pada $F_1 = 1$, aliran kritis sehingga tidak terdapat lompatan, pada $F_1 = 1 - 1.7$ terjadi lompatan berombak, pada $F_1 = 1.7 - 2.5$ terjadi lompatan lemah, pada $F_1 = 2.5 - 4.5$ terjadi lompatan berisolasi, pada $F_1 = 4.5 - 9$ terjadi lompatan tetap, dan F_1 lebih dari 9 akan terjadi lompatan kuat dengan kecepatan sembur yang tinggi serta menimbulkan gelombang di hilir (Chow, 1959).



Gambar 2. Hubungan F_1 dan y_2/y_1 untuk lompatan hidrolik pada saluran persegi panjang horizontal (Chow, 1959)



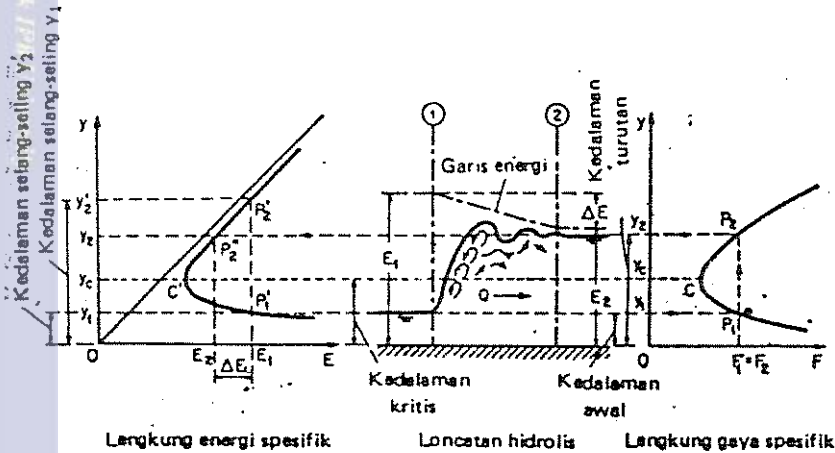
Gambar 3. Beberapa tipe lompatan hidrolik berdasarkan bilangan Froude F_1 (Chow, 1959)

Besarnya energi spesifik sebelum lompatan hidrolik dinyatakan dengan persamaan (3.1). Sedangkan sesudah lompatan hidrolik sesuai dengan persamaan (3.2) (Raju, 1981) :

$$E_1 = y_1 + \frac{v_1^2}{2g} \quad (3.1)$$

$$E_2 = y_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (3.2)$$

Menurut Chow (1959), kehilangan energi (ΔE) adalah = $E_1 - E_2$. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4. Dimana E_1 lebih besar dari E_2 jika y_1 dan y_2 beturutan satu sama lain.



Gambar 4. Lompatan hidrolis berdasarkan lengkung energi dan gaya spesifik (Chow, 1959)

Kehilangan energi pada lompatan sama dengan perbedaan energi spesifik sebelum dan sesudah terjadinya lompatan hidrolis yang dinyatakan dengan :

$$E_1 - E_2 = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1 y_2} \quad (3.3)$$

Perbandingan antara energi spesifik setelah lompatan dan sebelum lompatan didefinisikan sebagai efisiensi lompatan, yang besarnya adalah :

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{(8F_1^2 + 1)^{3/2} - 4F_1^2 + 1}{8 F_1^2 (2 + F_1)^2} \quad (3.4)$$

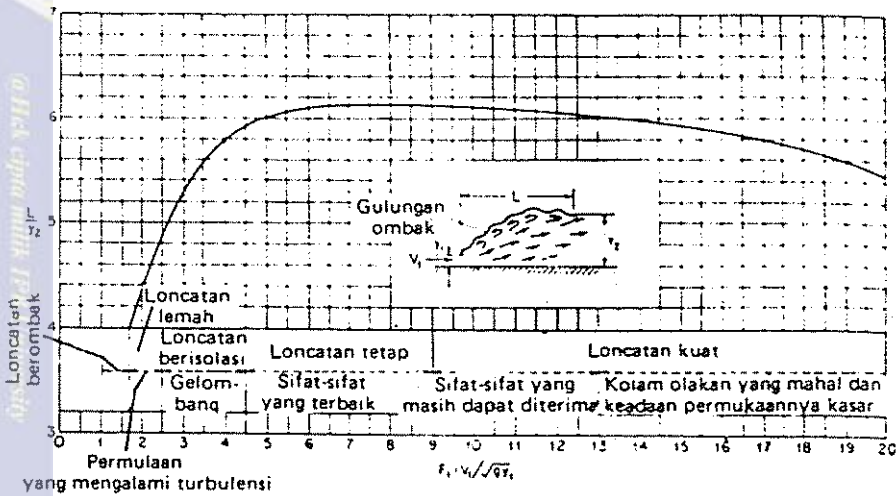
Persamaan ini menunjukkan bahwa efisiensi lompatan merupakan fungsi tak berdimensi dan hanya tergantung pada bilangan Froude aliran setelah lompatan. Perbedaan antara sesudah dan sebelum lompatan dinamakan tinggi lompatan, atau $y = y_2 - y_1$ (Chow, 1959).

D. PANJANG LOMPATAN HIDROLIK

Panjang lompatan hidrolik didefinisikan sebagai jarak antara permukaan depan lompatan sampai suatu titik pada permukaan gulungan ombak yang segera menuju ke hilir (Chow, 1959). Menurut Raju (1981), panjang lompatan didefinisikan sebagai jarak awal dari lompatan sampai dengan wilayah subkritis dari aliran dimana permukaan air pada dasarnya adalah mendatar dan kedalamannya maksimum.

Biro Reklamasi Amerika Serikat telah membuat suatu kurva hubungan antara bilangan Froude sebelum lompatan F_1 dengan rasio antara panjang lompatan dan kedalaman subkritis setelah lompatan (L/y_2) seperti pada Gambar 5 (Chow, 1959).

Beberapa kesalahan pengukuran dalam memperkirakan panjang lompatan hidrolik akan timbul karena ujung hilir lompatan hidrolik tidak dapat ditempatkan dengan ketelitian yang besar.



Gambar 5. Panjang lompatan hidrolik yang dinyatakan dengan kedalaman akhir pada saluran horizontal (Chow, 1959)

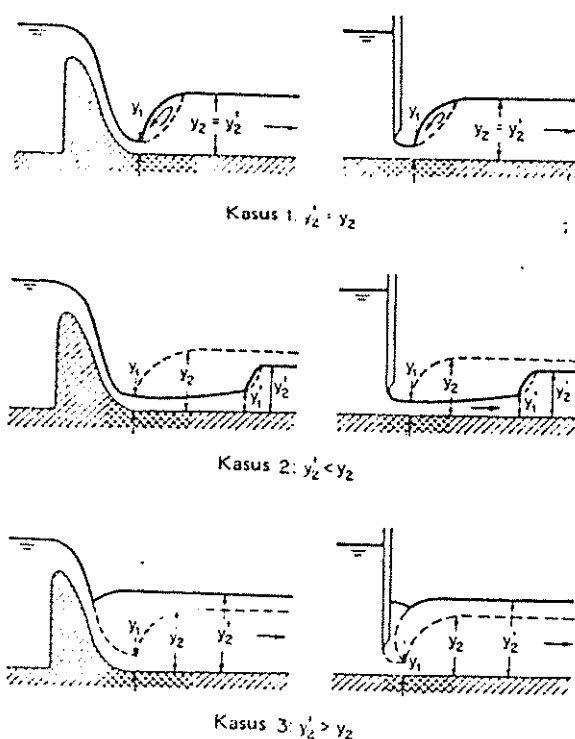
E. POSISI LOMPATAN HIDROLIK

Menurut Chow (1959), ada tiga buah pola lompatan hidrolik yang mungkin terbentuk pada daerah hilir dari sumbernya (misalnya saluran pelimpah, saluran curam). Keadaannya dapat dilihat pada Gambar 6.

Pada kasus 1, kedalaman air bawah y_2' sama dengan kedalaman y_2 . Harga-harga F_1 , y_1 dan $y_2' = y_2$ akan memenuhi persamaan (3), dan lompatan terjadi pada lapisan keras setelah melewati y_1 .

Pada kasus 2, kedalaman air bawah y_2' lebih kecil dari kedalaman y_2 . Hal ini berarti kedalaman air bawah pada kasus 1 berkurang, akibatnya lompatan hidrolik akan

menyusut ke hilir ke suatu titik dimana persamaan (3) dipenuhi kembali. Kasus ini dapat dihindarkan dengan penambahan alat pengontrol pada dasar saluran, yang akan menaikkan kedalaman air bawah yang menjaga agar lompatan terjadi pada daerah yang diberi lapisan lindung.



Gambar 6. Pengaruh kedalaman air bawah pada pembentukan lompatan hidrolik (Chow, 1959)

Pada kasus 3, kedalaman air bawah y_2' lebih besar dari kedalaman air bawah pada kasus 1 bertambah besar. Akibatnya, lompatan didorong ke hulu dan akhirnya hilang pada sumber, sehingga berubah menjadi lompatan teredam.

F. LOMPATAN HIDROLIK SEBAGAI PEREDAM ENERGI

Lompatan hidrolik berguna sebagai peredam energi pada aliran superkritis, dimana peredamannya berguna untuk mencegah erosi yang terjadi pada bagian hilir bangunan pelimpah, dengan cara memperkecil kecepatan aliran pada lapisan pelindung hingga pada suatu titik dimana aliran tidak mempunyai kemampuan untuk mengikis dasar saluran dibagian hilir.

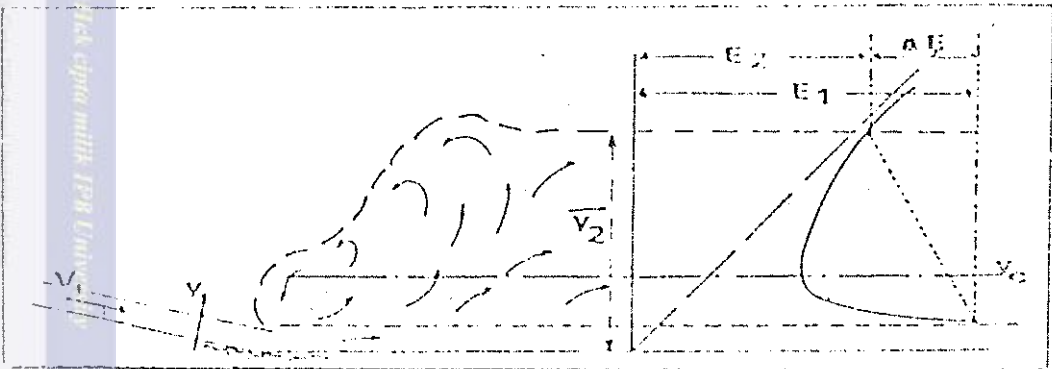
Lompatan hidrolik yang dipergunakan sebagai peredam energi, biasanya meliputi sebagian atau seluruh kolam saluran yang disebut kolam olakan. Peralatan kontrol biasanya dipasang pada kolam olakan, dimana peralatan kontrol ini berfungsi untuk memperpendek selang terjadinya lompatan. Keuntungan lain dari peralatan kontrol ini adalah memperbaiki fungsi peredaman dari kolam olakan, menstabilkan gerakan lompatan, dan memperbesar faktor keamanan (Chow, 1959).

Secara umum bangunan peredam energi tipe kolam olakan dibagi menjadi 3 macam, yaitu :

1. Tipe kolam olakan datar
2. Tipe kolam olakan miring ke hilir
3. Tipe kolam olakan miring ke hulu

Pada tipe kolam olakan datar, terjadinya peredaman energi aliran adalah dengan benturan secara langsung keatas permukaan dasar kolam olakan tersebut (Sosrodarsono dan Takeda, 1977).

Prinsip peredaman energi pada kolam olakan datar dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan antara energi spesifik dan kedalaman aliran (Hoffman dan Lara, 1961)

G. PENGENDALIAN LOMPATAN DENGAN AMBANG

Lompatan hidrolik dapat dikendalikan dan diarahkan dengan menggunakan ambang yang berfungsi untuk menjaga agar lompatan hidrolik tetap terbentuk dan mengendalikan posisinya pada berbagai keadaan (Chow, 1959).

Penambahan ambang hilir dapat meredam energi lebih baik serta bisa memperdangkal penggerusan setempat yang dapat terjadi di hilir bendung.

Menurut Chow (1959), gaya-gaya yang bekerja pada ambang akan menurun hingga minimum, bila ujung hilir dari lompatan hidrolik bergerak ke hulu hingga ke posisi sampai mendekati ambang. Gaya akan bertambah sedikit demi

sedikit sampai suatu harga konstan, bersamaan dengan pergerakan lompatan ke arah berikutnya. Perubahan gaya ini disebabkan oleh perubahan distribusi kecepatan dari satu lompatan ke lompatan lain.

Persamaan momentum dan kontinuitas dapat digunakan untuk memperoleh persamaan yang menentukan gaya lompatan hidrolik dibawah pengaruh balok peredam energi. Dengan mempertimbangkan satuan lebar saluran, persamaan momentum dapat ditulis sebagai berikut :

$$P_1 - F_B - P_2 = \rho q (v_2 - v_1) \quad (4)$$

Karena $P_1 = \rho g y_1^2 / 2$ dan $P_2 = \rho g y_2^2 / 2$, maka :

$$F_B = \rho q (v_1 - v_2) - \rho g (y_2^2 - y_1^2) / 2 \quad (4.1)$$

Dimana F_B = gaya yang didesakan olah balok peredam energi per satuan lebar saluran (Raju, 1981).

Dengan analisis dimensional dapat ditunjukkan bahwa hubungan bilangan Froude aliran (F_1) sebelum lompatan, tinggi ambang (h'), kedalaman sebelum lompatan (y_1), kedalaman sesudah lompatan (y_2), jarak dari ujung lompatan sampai ambang (X), dan kedalaman hilir (y_3) dapat dinyatakan sebagai :

$$\frac{h'}{y_1} = \phi(F_1, \frac{X}{y_2}, \frac{y_3}{y_1}) \quad (4.2)$$

Pengendalian Dengan Sekat Ambang Lebar

Untuk sekat ambang lebar, jika kedalaman hilir lebih rendah dari kedalaman kritis pada puncak sekat, $y_3 < (2y_2 + h')/3$, maka air bawah tidak mempunyai pengaruh besar terhadap hubungan antara elevasi air atas dan debit. Jadi besarnya debit tiap saluran lebar sekat dapat ditulis :

$$q = 0.433 (2g)^{1/2} \left(\frac{y_2}{y_2 + h'} \right)^{1/2} H^{3/2} \quad (4.3)$$

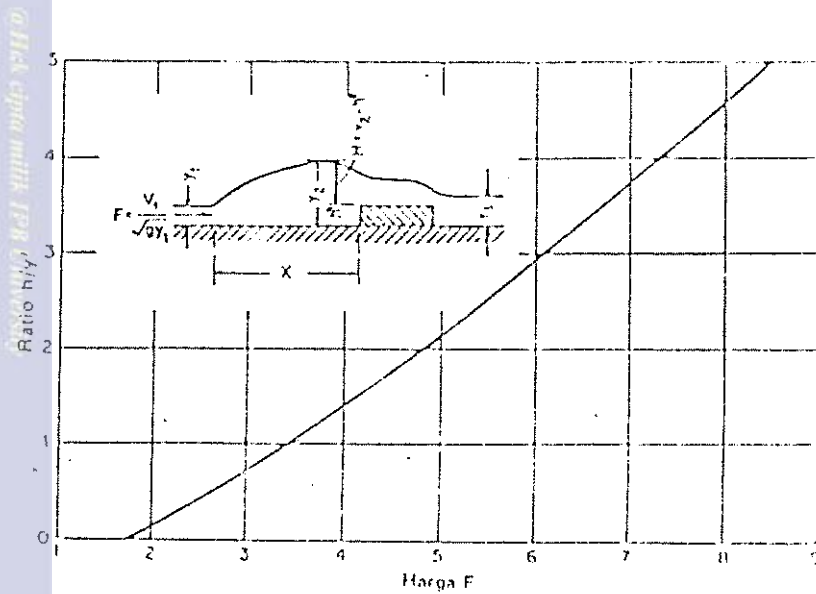
Karena $q = v_1 y_1$, $H = y_2 - h'$, dan $F_1 = v_1 / (gy_1)^{1/2}$ maka persamaan (4.3) dapat ditulis :

$$2.66/F_1^2 \left(1 + \frac{h'/y_1}{y_2/y_1} \right) = (y_2/y_1 - h'/y_1)^3 \quad (4.4)$$

Bila lompatan hidrolik dipengaruhi oleh sekat, y_2/y_1 dapat dihubungkan dengan F_1 melalui persamaan (3), sehingga persamaan (4.4) dapat diubah menjadi :

$$\frac{21.33 F_1^2}{1 - 8F_1^2 - 1} = \frac{(1 + 8 F_1^2 - 1 - 2h'/y_1)^3}{(1 + 8 F_1^2 - 1 + 2h'/y_1)} \quad (4.5)$$

Persamaan tersebut menyatakan hubungan antara h'/y_1 dan F_1 , dan dapat dipetakan seperti pada Gambar 8.

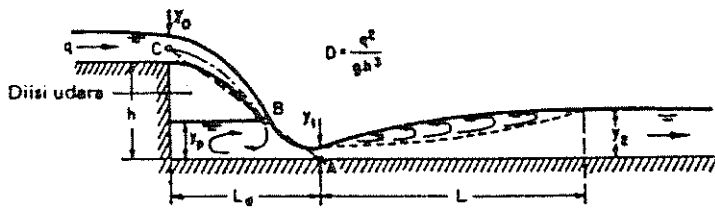


Gambar 8. Hubungan analisis antara F_1 dan h'/y_1 untuk sekat pelimpah lebar (Forster dan Skrinde dalam Chow, 1959)

H. LOMPATAN HIDROLIK PADA PELIMPAH TERJUNAN

Pelimpah Terjunan Lurus

Air luapan jatuh bebas pada pelimpah terjunan lurus akan memutar alirannya dan bergerak secara perlahan-lahan hingga menjadi aliran superkritis pada lapisan pelindung. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Geometri aliran pada pelimpah terjunan lurus (Chow, 1959)

Menurut Chow (1959), dengan berdasarkan pada percobaan Moore dan Rand telah didapatkan bahwa geometri aliran pada pelimpah terjunan lurus dapat dijelaskan dengan fungsi bilangan terjunan yang didefinisikan sebagai

$$D = \frac{q^2}{g h^3} \quad (5)$$

dimana : q = debit per satuan lebar saluran ($L^2 T^{-1}$)

g = percepatan gravitasi ($L T^{-2}$)

h = tinggi pelimpah terjunan (L)

Berdasarkan fungsi bilangan terjunan atau persamaan (5), maka fungsi-fungsi lainnya dapat diperoleh baik

pengaruhnya terhadap lompatan yang terjadi, panjang terjunan dan kedalaman genangan di bawah air limbah.

Fungsi-fungsi tersebut adalah :

$$\frac{L_d}{h} = 4.30 D^{0.27} \quad (5.1)$$

$$\frac{y_p}{h} = 1.00 D^{0.22} \quad (5.2)$$

$$\frac{y_1}{h} = 0.54 D^{0.425} \quad (5.3)$$

$$\frac{y_2}{h} = 1.66 D^{0.27} \quad (5.4)$$

dimana : L_d = panjang terjunan (L)

y_p = kedalaman genangan (L)

y_1 = kedalaman awal lompatan (L)

y_2 = kedalaman setelah lompatan (L)

Kedalaman setelah lompatan hidrolik, y_2 sebenarnya dapat didekati dengan garis lurus ABC yang menghubungkan titik A pada lapisan lindung pada posisi y_1 , titik B pada sumbu air limbah pada kedalaman genangan, dan titik C pada sumbu air limbah di puncak terjunan. Pada kenyataannya ketiga

titik tersebut terletak pada satu garis lurus, dan ini didapat melalui percobaan.

Untuk tinggi (h) dan debit (q) per satuan lebar puncak terjunan, kedalaman lanjutan y_2 dan panjang terjunan L_d dapat dihitung dengan persamaan (5.1). Dilain pihak, jika kedalaman air bawah lebih besar dari y_2 maka lompatan hidrolik akan terbenam. Saluran pelimpah masih tetap efektif jika pembenaman tidak mencapai kedalaman pengendalian pada puncak saluran pelimpah (Chow,1959).

III. METODE PENELITIAN

A. TEMPAT dan WAKTU

Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidromekanika dan Hidrolika, Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Waktu yang dipakai untuk menyelesaikan penelitian ini adalah dua bulan, yaitu Oktober dan November 1990 yang meliputi pengambilan data primer.

B. BAHAN dan ALAT

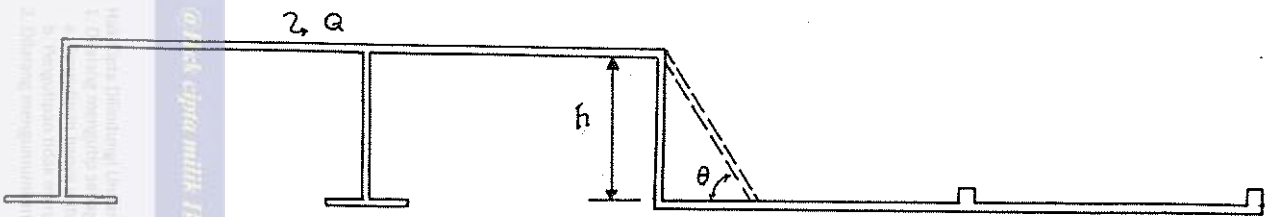
Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Open Channel Hydraulic Set dan peralatan pompa air.
2. Bahan-bahan pembuat model dan perkakasnya.
3. Mistar ukur/penggaris.
4. Lilin sebagai penyumbat kebocoran.
5. Kalkulator serta penggunaan komputer untuk pengolahan data.

C. MODEL YANG DIGUNAKAN

Model yang dipergunakan pada penelitian ini adalah bangunan pelimpah terjunan baik terjunan lurus maupun saluran pelimpah miring. Untuk jelasnya dapat dilihat pada Gambar 10.

Pada model tersebut θ adalah sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran dan h adalah tinggi dari pada pelimpah dari dasar saluran.



Gambar 10. Model bangunan pelimpah terjunan

D. LANGKAH PERCOBAAN

Langkah percobaan yang diambil untuk pelaksanaan penelitian ini terdiri dari :

1. Pembuatan dan pemasangan model pada saluran segi empat.
2. Percobaan pengaliran dan pengambilan data, meliputi :
 - a. Panjang lompatan hidrolik

Panjang lompatan diukur dari awal terjadinya olakan sampai olakan menghilang pada kedalaman subkritis diakhir lompatan.

- b. Posisi lompatan hidrolik

Posisi lompatan hidrolik diukur dari kaki terjunan atau saluran pelimpah ke posisi awal lompatan yang terjadi. Jarak diberi tanda (+) bila posisi awal lompatan berada disebelah hilir kaki terjunan atau

saluran pelimpah, dan diberi tanda (-) bila posisi awal lompatan berada disebelah hulu kaki terjunan atau saluran pelimpah.

c. Kedalaman superkritis dan subkritis

Pengukuran kedalaman superkritis dilakukan pada dua keadaan, yaitu kedalaman pertama dimana posisi awal lompatan terjadi di hulu saluran pelimpah maka pengukuran dilakukan tegak lurus terhadap saluran pelimpah. Keadaan kedua, pengukuran dilakukan tegak lurus terhadap dasar saluran segi empat.

Kedalaman subkritis diukur pada suatu titik dimana lompatan berakhir, dan tegak lurus terhadap dasar saluran segi empat.

E. ANALISA TEKNIK dan RANCANGAN PERCOBAAN

Data hasil percobaan sebelumnya diuji dengan menggunakan uji statistik, yaitu dengan menggunakan uji faktorial 2^k yang dikenal sebagai metode Yates dengan 2 (dua) kali ulangan. Pemakaian metode ini adalah bahwa hanya terdapat 2 (dua) taraf yang mempengaruhi variabel yang diuji (Sudjana, 1988), yaitu besar kecilnya debit aliran, besar kecilnya sudut saluran pelimpah dan tinggi rendahnya puncak saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat.

Rancangan percobaan pada penelitian ini berdasar pada percobaan faktorial 2^3 sebagai uji statistik untuk melihat

pengaruh nyata dari variabel-variabel berikut, yaitu debit per satuan lebar saluran (q), sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran (θ), dan tinggi puncak saluran terjunan terhadap dasar saluran segi empat (h). Pada rancangan ini taraf dari masing-masing faktor yang diambil adalah q_1 dan q_2 , θ_1 dan θ_2 , h_1 dan h_2 dengan kombinasi perlakuannya seperti pada Gambar 11.

Perlakuan	q_1		q_2	
	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2
h_1	(1)	c	b	bc
h_2	a	ac	ab	abc

Gambar 11. Diagram rancangan percobaan

Analisa varians dengan metode Yates dalam bentuk skema perhitungan kontras untuk percobaan faktorial 2^3 dengan r observasi tiap sel adalah sebagaimana terlihat dalam Lampiran (26).

Variabel yang akan diuji mencakup :

1. Panjang lompatan hidrolik
2. Posisi lompatan hidrolik
3. Kedalaman subkritis sesudah lompatan hidrolik.

Setelah dilakukan pengujian terhadap data percobaan maka langkah selanjutnya adalah menyusun persamaan Pi Buckingham. Adapun asumsi yang diambil, yang berpengaruh terhadap ketiga variabel tersebut ialah :

1. Kecepatan superkritis, v_1
2. Kedalaman superkritis, y_1
3. Percepatan gravitasi, g
4. Tinggi pelimpah, h
5. Sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran, θ

Menurut Murphy (1950), dalam menentukan persamaan Pi Buckingham, masing-masing Pi tidak berdimensi dan berdiri sendiri.

Menurut Joyce Marta (1982), analisa regresi adalah studi untuk mencari hubungan dari dua atau lebih variabel, dalam bentuk kurva atau persamaan matematis.

Garis regresi menunjukkan hubungan regresi antara variabel-variabelnya. Tergantung pada besar kecilnya pemencaran titik-titik data disekitar garis regresinya, tingkat hubungan antara variabel-variabelnya disebut korelasi (Iman Subarkah, 1980).

Analisa korelasi sukar untuk dipisahkan dari analisa regresi, karena andaikata variabel hasil pengamatan ternyata mempunyai kaitan yang erat dengan variabel lainnya, maka berarti dapat diramalkan nilai variabel pada suatu individu lain berdasarkan nilai variabel-variabelnya (Joyce Marta, 1982).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian statistik dilakukan untuk memperkuat dalam merancang persamaan Pi Buckingham. Dalam pengujian ini faktor-faktor, sebelumnya diasumsikan mempengaruhi variabel-variabel yang diuji, yaitu : debit aliran (Q), tinggi saluran pelimpah (h), dan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat datar (θ).

Taraf dari masing-masing faktor yang diambil adalah :

1. Debit aliran :
 - $Q_1 = 5.618$ l/detik
 - $Q_2 = 11.016$ l/detik
2. Tinggi saluran pelimpah :
 - $h_1 = 17$ cm
 - $h_2 = 25$ cm
3. sudut saluran pelimpah :
 - $\theta = 45^\circ$
 - $\theta = 90^\circ$

Dalam menentukan kecepatan aliran superkritis sebelum lompatan hidrolis dan subkritis sesudah lompatan hidrolis, digunakan rumus debit aliran, yaitu : $Q = A.V$. Ini dilakukan karena alat Current meter tidak terendam semuanya, sehingga tidak dapat digunakan.

Dalam menentukan persamaan regresi, diambil persamaan yang mempunyai koefisien korelasi terbesar dari sekian persamaan regresi yang dibuat.

Keadaan aliran dari masing-masing model dapat dilihat pada Lampiran (15) sampai dengan Lampiran (23).

A. Posisi Lompatan Hidrolik (x)

Hasil pengujian statistik terhadap posisi lompatan hidrolik disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel hasil pengujian statistik terhadap posisi lompatan hidrolik yang terjadi pada model bangunan pelimpah

Simbol	Z (0.01)	Z (0.05)
A	Signifikan	Signifikan
B	Signifikan	Signifikan
AB	Signifikan	Signifikan
C	Signifikan	Signifikan
AC	Signifikan	Signifikan
BC	Signifikan	Signifikan
ABC	Signifikan	Signifikan

Keterangan : A : tinggi saluran pelimpah (h)
 B : debit aliran (Q)
 C : sudut saluran pelimpah (θ)

Dari tabel di atas terlihat bahwa pengaruh tinggi pelimpah, debit aliran dan sudut saluran pelimpah adalah signifikan (Nyata) terhadap posisi lompatan hidrolik yang terjadi pada model bangunan pelimpah. Berdasarkan hasil pengujian statistik tersebut, selanjutnya dibuatkan persamaan Pi Buckingham (Lampiran 27) yang hasilnya, yaitu :

$$X/y_1 = \emptyset (h/y_1, F_1^{-2}, \theta)$$

Dari persamaan di atas dibuat grafik yang menyatakan hubungan antara variabel $1/F_1^2$ dengan variabel X/y_1 . Grafik tersebut disajikan pada Gambar 11, 12, dan 13.

Dari Gambar 11, 12, dan 13 di atas terlihat bahwa dengan semakin besarnya nilai $1/F_1^2$ maka nilai X/y_1 akan semakin besar pula, dan pada nilai $1/F_1^2$ tertentu nilai X/y_1 akan turun kembali. Ini berarti dengan semakin besarnya debit aliran maka posisi lompatan hidrolik akan bergerak ke arah hilir menjauhi kaki saluran pelimpah dan pada debit tertentu posisi lompatan hidrolik akan selalu konstan karena terbentur oleh ambang, sehingga rasio X/y_1 menurun.

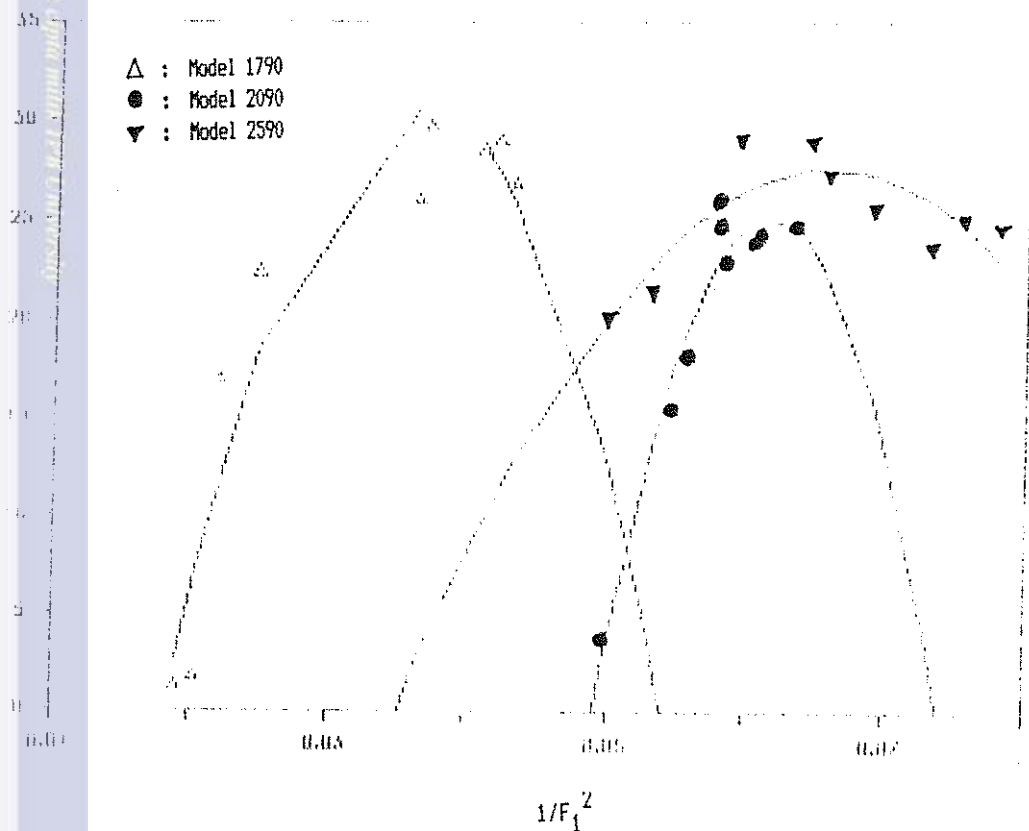
Pada keadaan dimana sudut saluran pelimpah sama dengan 90 derajat, posisi lompatan hidrolik terjadi dibagian hilir kaki saluran pelimpah. Hal ini disebabkan aliran air membentuk suatu terjunan yang menghasilkan suatu genangan dibawah terjunan pada kedalaman genangan yang tertentu.

Untuk model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah sama dengan 90 derajat, pada pengaliran debit tertentu yang kecil, pembentukan lompatan hidrolik belum terjadi. Hal ini disebabkan gaya hidrostatis (P_2) yang berlawanan arah aliran lebih besar dari model dengan sudut saluran pelimpah sebesar 60 derajat dan 45 derajat. Disamping itu gaya yang didesakan oleh ambang (F_B) masih cukup besar untuk mendorong air kearah hulu.

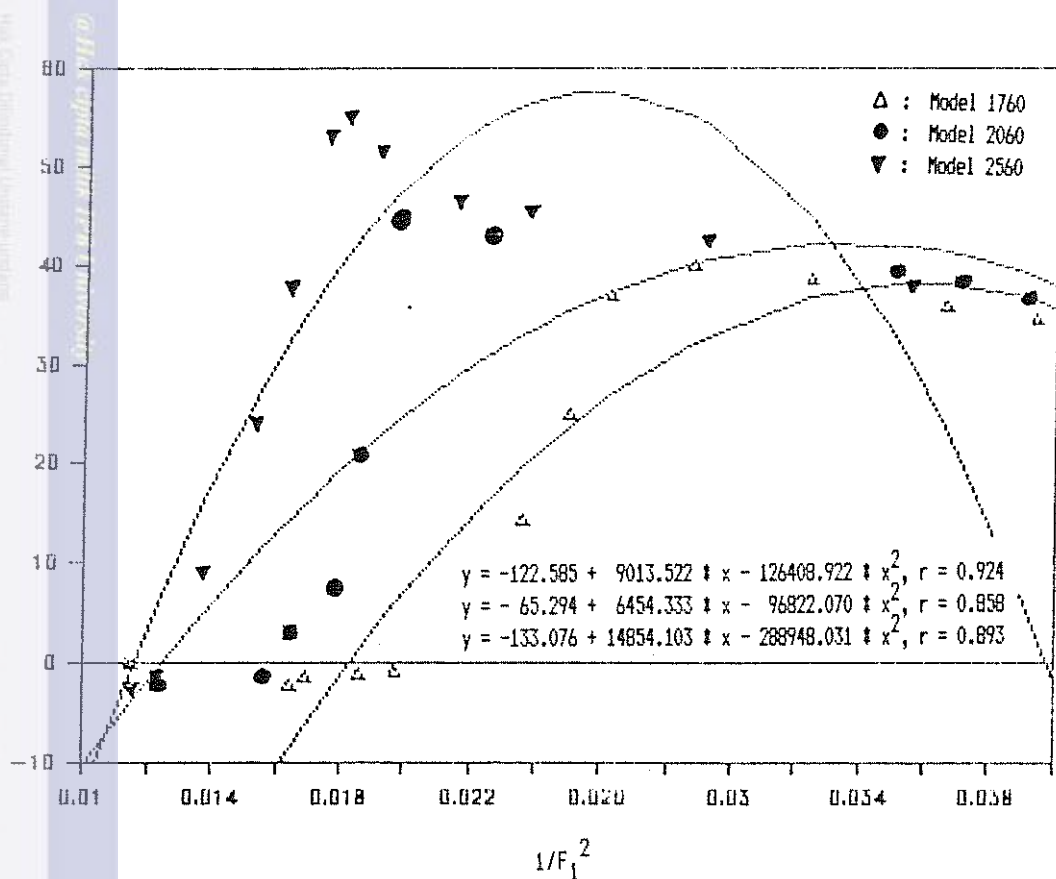
$$y = -93.043 + 6862.319 x - 95153.807 x^2, r = 0.948$$

$$y = -579.906 + 19706.143 x - 160432.910 x^2, r = 0.975$$

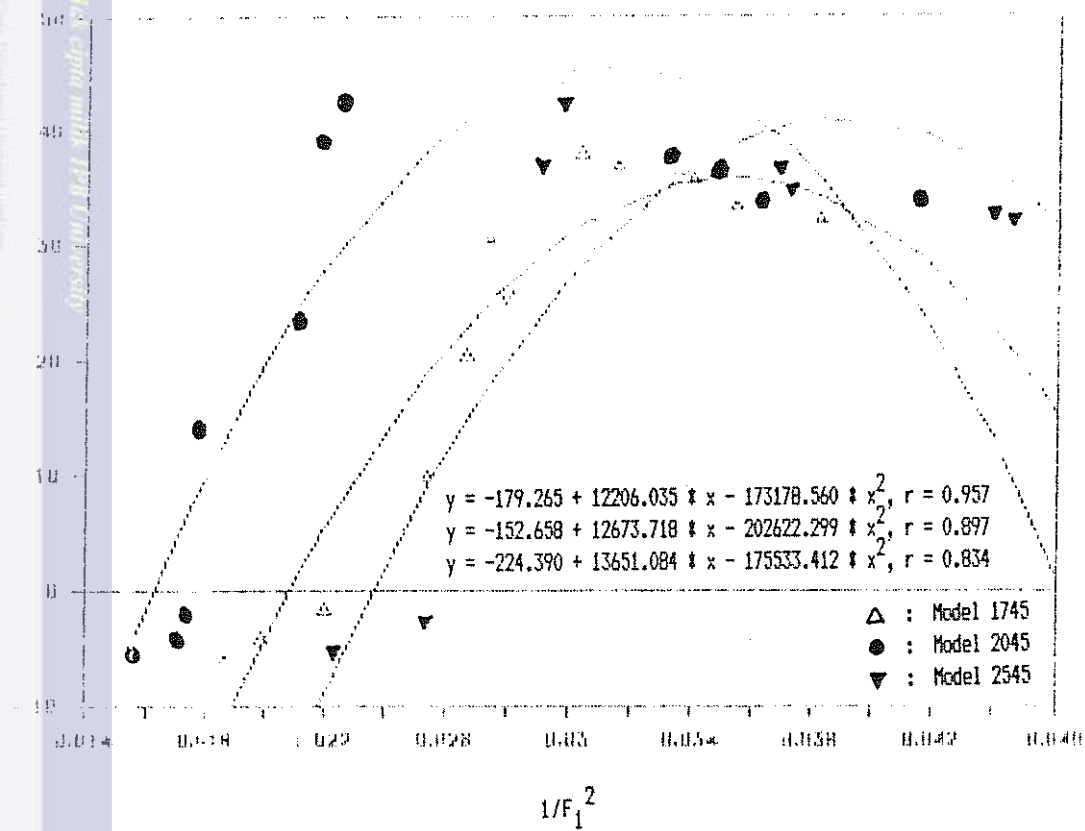
$$y = -100.044 + 3890.234 x - 29647.328 x^2, r = 0.840$$



Gambar 11. Grafik hubungan x/y_1 dan $1/F_1^2$ pada Model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah 90 derajat, dengan perubahan tinggi pelimpah



Gambar 12. Grafik hubungan x/y_1 dan $1/F_1^2$ pada Model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah 60 derajat, dengan perubahan tinggi pelimpah



Gambar 13. Grafik hubungan x/y_1 dan $1/F_1^2$ pada Model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah 45 derajat, dengan perubahan tinggi pelimpah

B. Panjang Lompatan Hidrolik (L)

Hasil pengujian statistik terhadap panjang lompatan hidrolik (L) tercantun dalam Tabel 2.

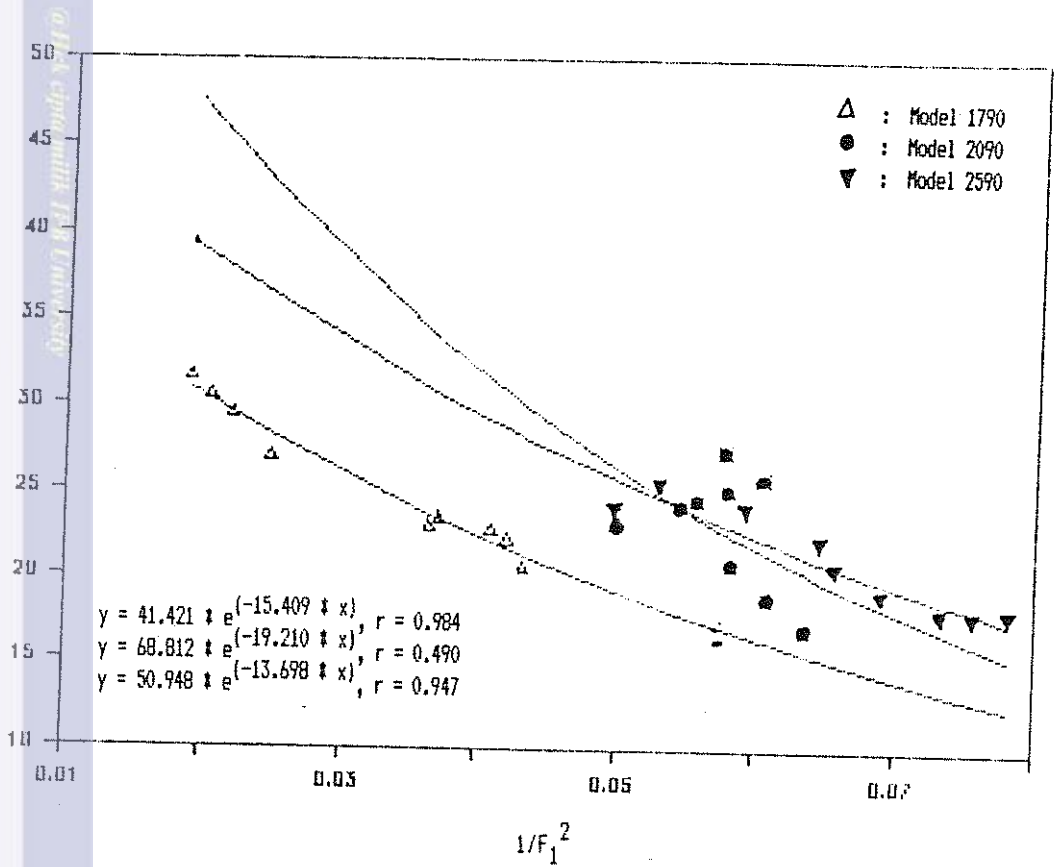
Tabel 2. Tabel hasil pengujian statistik terhadap panjang lompatan hidrolik yang terjadi pada model bangunan pelimpah

Simbol	Z (0.01)	Z (0.05)
A	Signifikan	Signifikan
B	Signifikan	Signifikan
AB	Signifikan	Signifikan
C	Signifikan	Signifikan
AC	Signifikan	-
BC	Signifikan	Signifikan
ABC	Signifikan	Signifikan

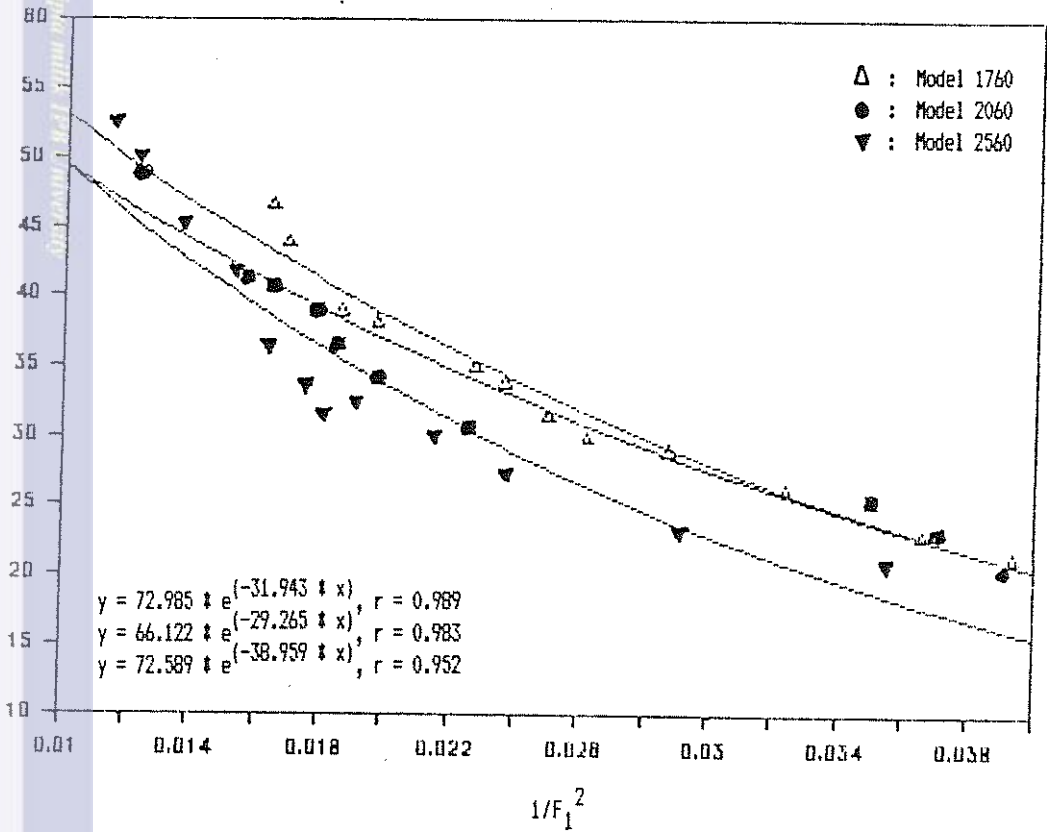
Karena pengaruh faktor tinggi pelimpah, debit aliran dan sudut saluran pelimpah signifikan (nyata) terhadap panjang lompatan hidrolik (L), maka persamaan Pi Buckingham yang dibuat berlaku. Persamaan itu adalah :

$$L/y_1 = \emptyset(h/y_1, F_1^{-2}, \theta)$$

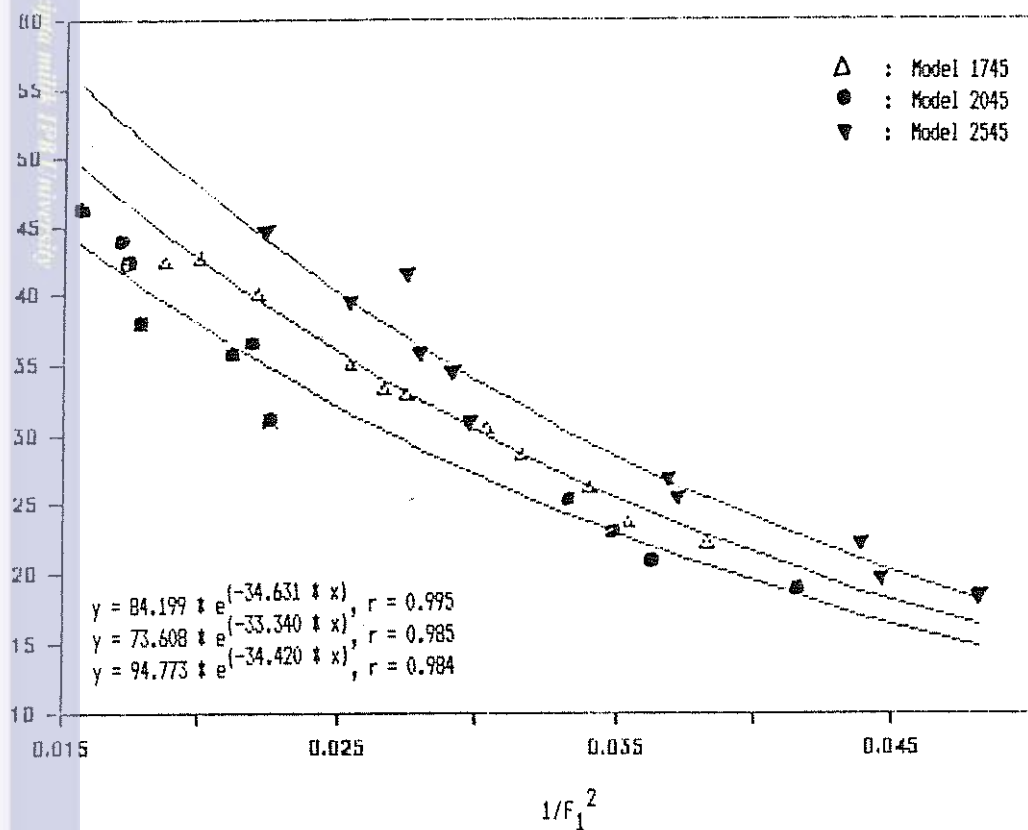
Dari persamaan di atas dapat dibuat suatu grafik hubungan antara variabel $1/F_1^2$ dan variabel L/y_1 . Grafik ini disajikan pada Gambar 14, 15 dan 16.



Gambar 14. Grafik hubungan L/y_1 dan $1/F_1^2$ pada Model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah 90 derajat, dengan perubahan tinggi pelimpah



Gambar 15. Grafik hubungan L/y_1 dan $1/F_1^2$ pada Model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah 60 derajat, dengan perubahan tinggi pelimpah



Gambar 16. Grafik hubungan L/y_1 dan $1/F_1^2$ pada Model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah 45 derajat, dengan perubahan tinggi pelimpah

Secara umum dapat dilihat pada Gambar 14, 15 dan 16, rasio L/y_1 terhadap model bangunan pelimpah bersifat menurun dengan meningkatnya nilai $1/F_1^2$. Hal ini berarti dengan semakin besarnya aliran, rasio L/y_1 semakin kecil.

Panjang lompatan hidrolik (L) yang terjadi pada model dengan sudut pelimpah sebesar 45 derajat lebih besar dibanding model dengan sudut pelimpah 60 derajat dan 90 derajat. Hal ini disebabkan adanya perubahan kecepatan aliran yang lebih besar, bila sudut saluran pelimpahnya bertambah besar.

Pada model dimana tinggi pelimpah sebesar 25 cm, panjang lompatan hidrolik yang terjadi lebih besar dari model dengan tinggi pelimpah 17 cm, dan 20 cm. Ini ditimbulkan karena pada debit yang sama kedalaman subkritis sesudah lompatan (y_2) yang terjadi lebih besar, sehingga gaya-gaya yang didesakan ambang (F_B) lebih kecil dan akibatnya panjang lompatan hidrolik yang terjadi lebih besar.

C. Kedalaman Subkritis (y_2)

Hasil pengujian statistik terhadap kedalaman subkritis (y_2) tercantum dalam Tabel 3.

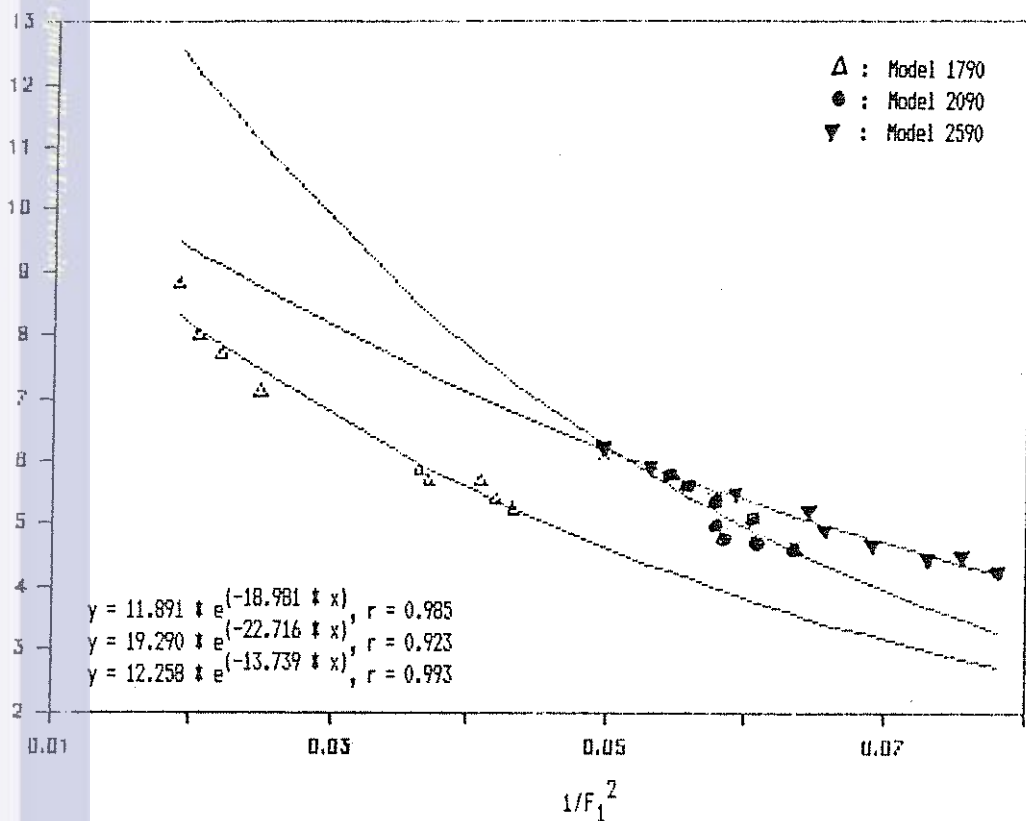
Tabel 3. Tabel hasil pengujian statistik terhadap kedalaman subkritis sesudah lompatan yang terjadi pada model bangunan pelimpah

Simbol	Z (0.01)	Z (0.05)
A	Signifikan	-
B	Signifikan	Signifikan
AB	Signifikan	Signifikan
C	Signifikan	Signifikan
AC	-	-
BC	Signifikan	-
ABC	-	-

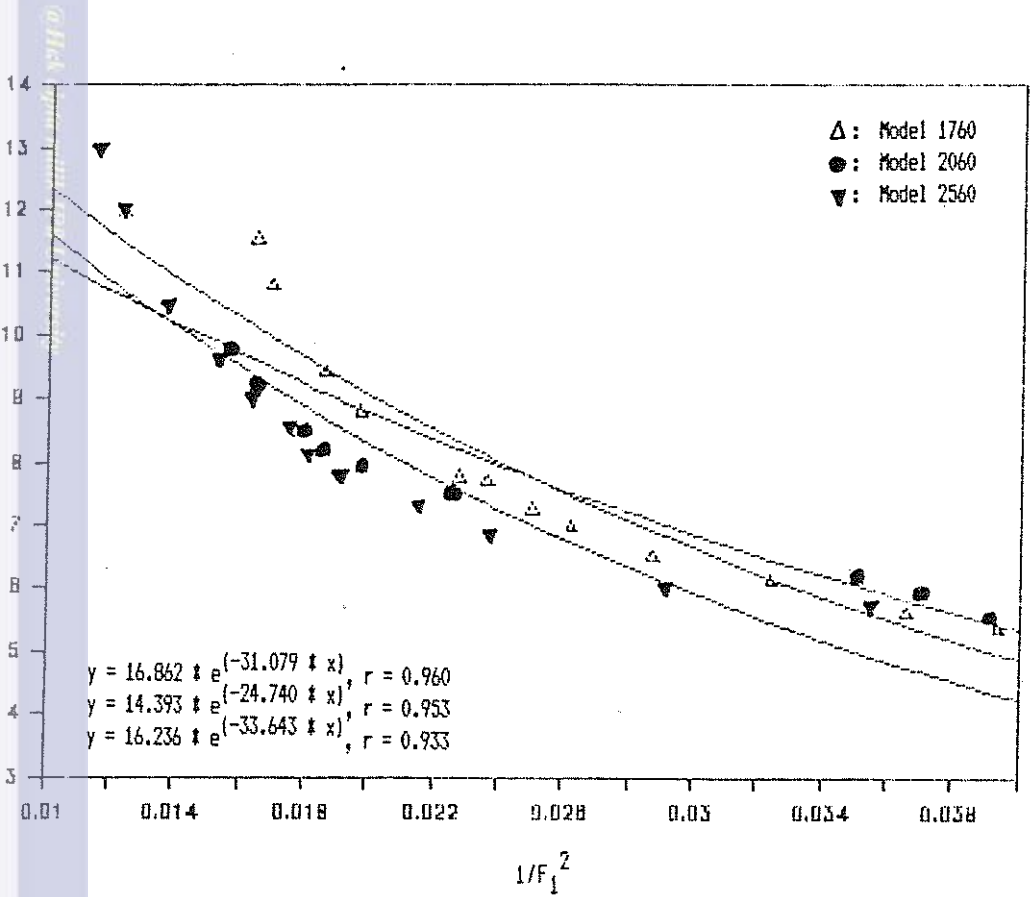
Karena pengaruh tinggi pelimpah, debit aliran, dan sudut saluran pelimpah signifikan (nyata) terhadap kedalaman subkritis sesudah lompatan hidrolis, maka persamaan Pi Buckingham yang dibuat berlaku. Persamaan itu adalah :

$$y_2/y_1 = \emptyset (h/y_1, F_1^{-2}, \theta)$$

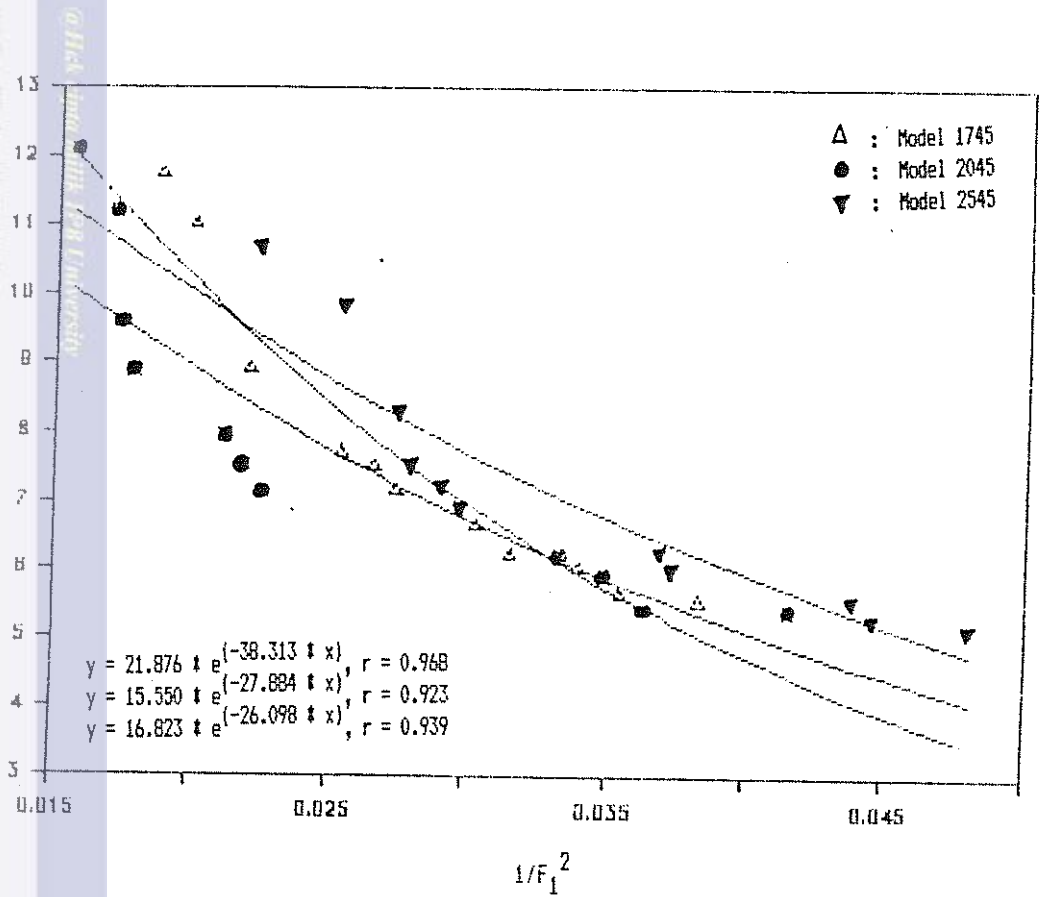
Dari persamaan di atas dapat dibuat suatu grafik hubungan antara variabel $1/F_1^2$ dan variabel y_2/y_1 . Grafik ini disajikan pada Gambar 17, 18, dan 19.



Gambar 17. Grafik hubungan y_2/y_1 dan $1/F_1^2$ pada Model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah 90 derajat, dengan perubahan tinggi pelimpah



Gambar 18. Grafik hubungan y_2/y_1 dan $1/F_1^2$ pada Model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah 60 derajat, dengan perubahan tinggi pelimpah



Gambar 19. Grafik hubungan y_2/y_1 dan $1/F_1^2$ pada Model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah 45 derajat, dengan perubahan tinggi pelimpah

Dari Gambar 17, 18, dan 19 dapat diketahui bahwa dengan semakin besarnya nilai $1/F_1^2$, maka nilai y_2/y_1 semakin kecil. Hal ini berarti bahwa dengan semakin besarnya debit aliran, maka rasio y_2/y_1 akan semakin kecil.

Pada model bangunan pelimpah dengan tinggi pelimpah 17 cm dan sudut saluran pelimpah sebesar 45 derajat dan 60 derajat (Model 1745 dan Model 1760), rasio y_2/y_1 yang terjadi selalu lebih besar dari model yang lainnya (kecuali model dengan sudut saluran pelimpah sebesar 90 derajat). Tetapi pada keadaan ini penurunan rasio y_2/y_1 lebih curam dengan semakin besarnya debit aliran. Hal ini disebabkan faktor letak dari ambang tengah yang berbeda pada setiap perubahan tinggi pelimpah dan sudut saluran pelimpah. Dengan semakin jauhnya jarak antara ambang tengah terhadap kaki saluran pelimpah, maka gaya yang didesakan oleh ambang (F_B) semakin kecil, akibatnya kedalaman subkritis (y_2) menjadi lebih kecil. Selain itu dengan semakin besarnya debit aliran, maka semakin besar pula kedalaman sebelum lompatan hidrolik (y_1), akibatnya rasio y_2/y_1 menjadi semakin kecil.

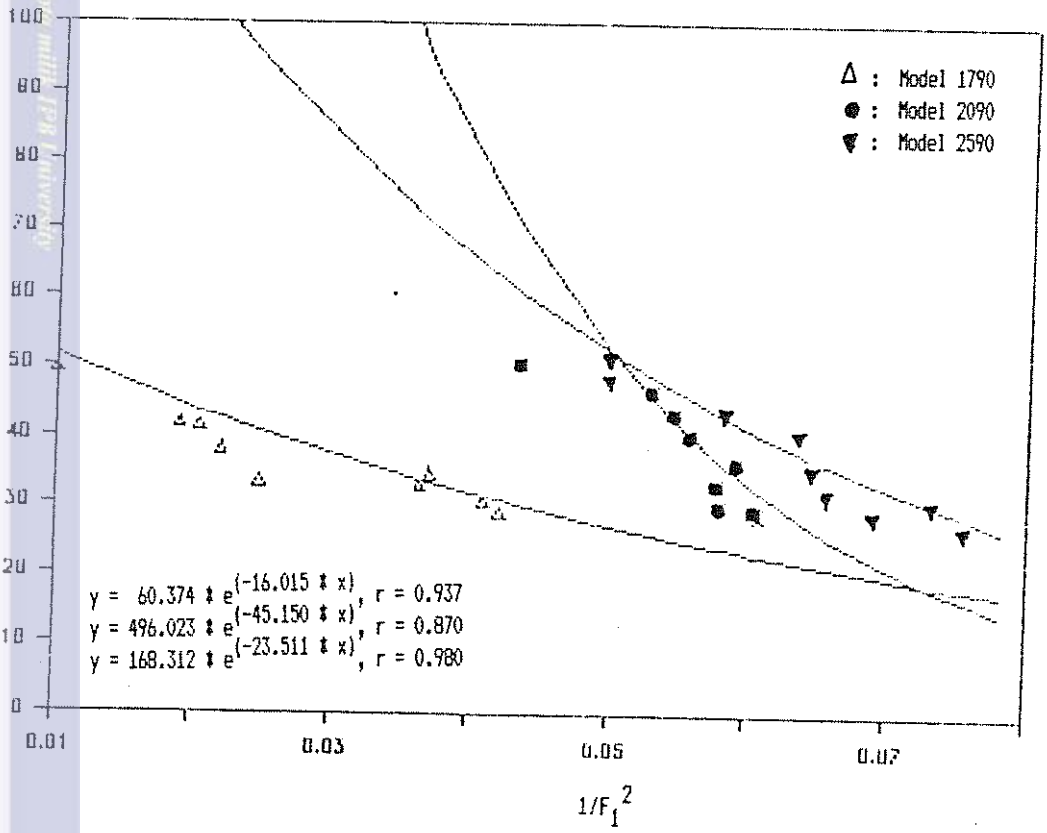
Pada Model 1790, rasio y_2/y_1 berada di bawah Model 2090 dan Model 2590. Pada penempatan ambang tengah yang sama dari ketiga model di atas perubahan tinggi pelimpah menyebabkan perubahan kecepatan aliran. Dengan berkurangnya tinggi pelimpah



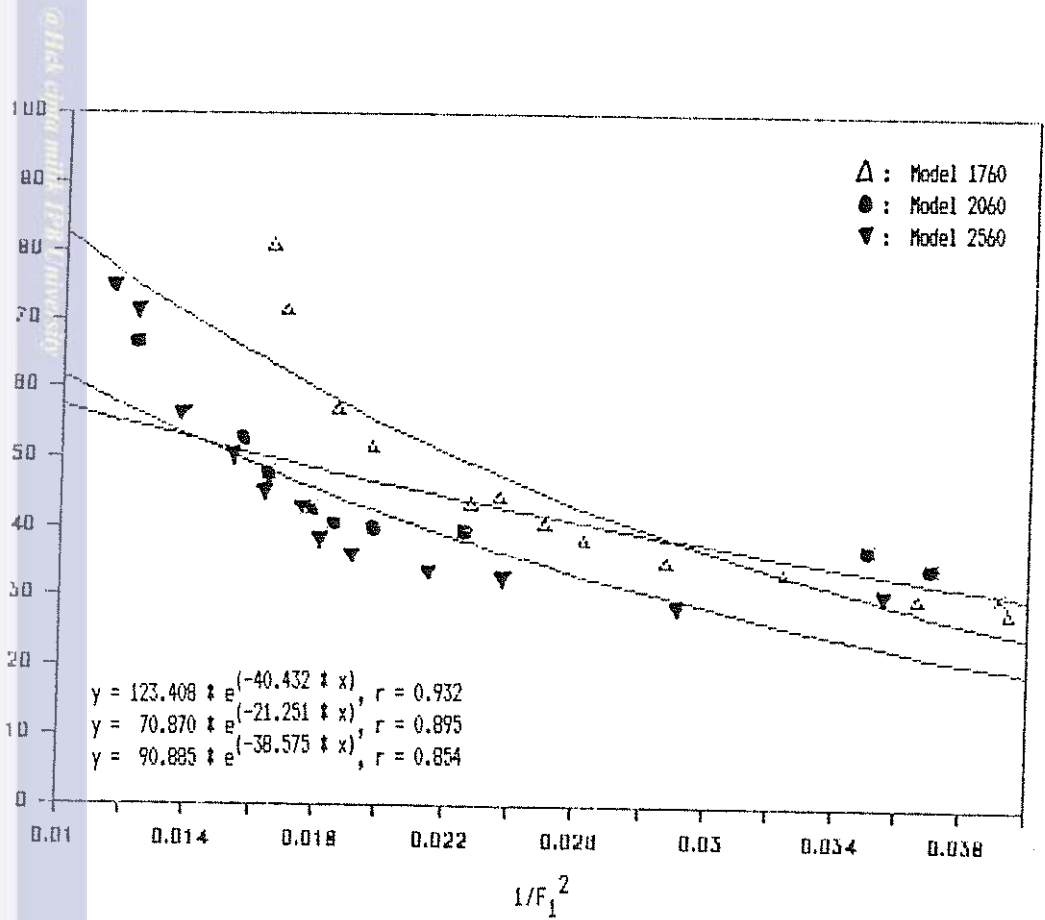
kecepatan aliran pada debit yang sama akan berkurang sehingga gaya hidrostatik (P_2) akan berkurang, akibatnya kedalaman sesudah lompatan hidrolik (y_2) berkurang pula.

D. Rasio Energi ($E_1 - E_2$)/ E_1

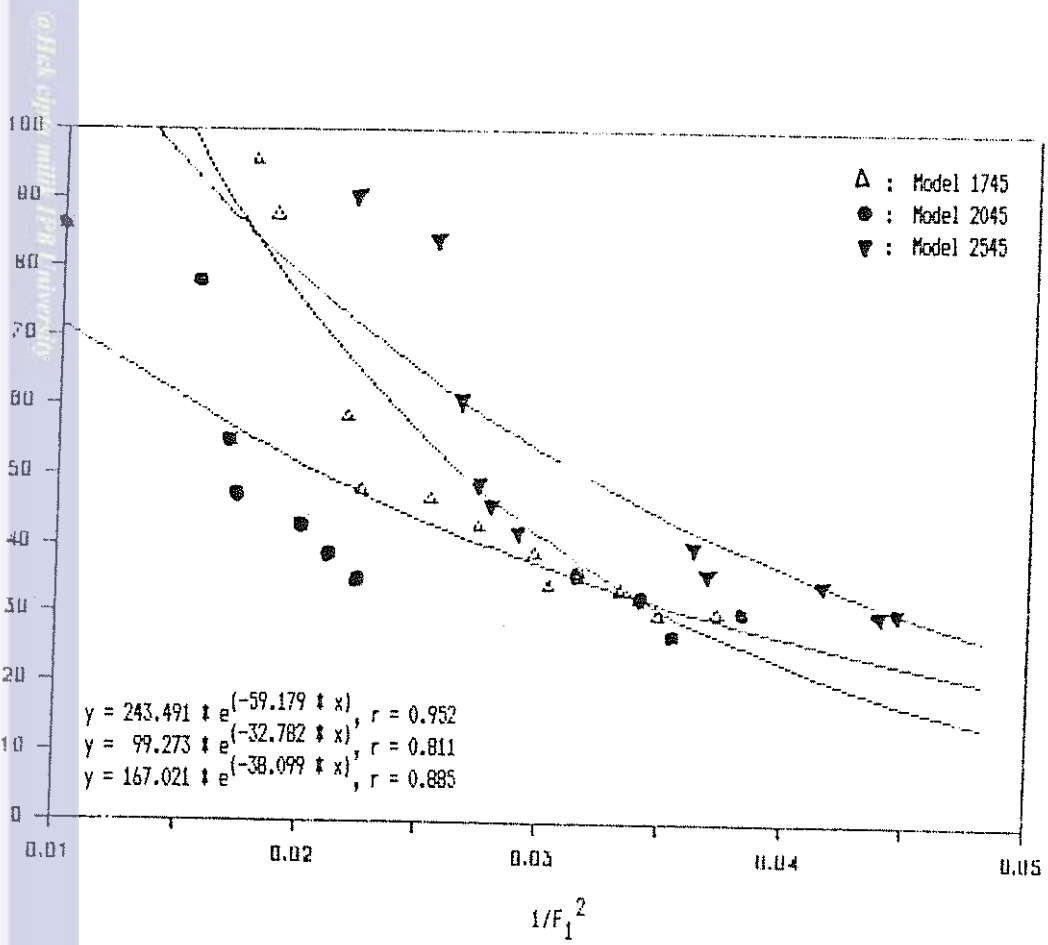
Secara umum dengan melihat pada Gambar 20, 21 dan 22. Rasio energi terhadap model bangunan pelimpah berlaku menurun dengan bertambahnya nilai $1/F_1^2$, ini berarti dengan bertambahnya debit aliran, maka rasio energi pun menurun. Penurunan rasio energi ini disebabkan karena kedalaman subkritis sesudah lompatan hidrolik (y_2) semakin besar, sehingga total energi yang mendorong ke arah hulu semakin besar dan ini yang menyebabkan selisih energi yang terjadi antara sebelum lompatan dan sesudah lompatan menjadi kecil oleh karenanya rasio energi pun menjadi lebih kecil.



Gambar 20. Grafik hubungan $(E_1 - E_2)/E_1$ dan $1/F_1^2$ pada Model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah 90 derajat, dan perubahan tinggi pelimpah



Gambar 21. Grafik hubungan $(E_1 - E_2)/E_1$ dan $1/F_1^2$ pada Model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah 60 derajat, dan perubahan tinggi pelimpah



Gambar 22. Grafik hubungan $(E_1 - E_2) / E_1$ dan $1 / F_1^2$ pada Model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah 45 derajat, dan perubahan tinggi pelimpah

E. Panjang Terjunan (L_d)

Hasil percobaan pada model bangunan pelimpah diperoleh bahwa model dengan sudut saluran pelimpah 90 derajat memberikan suatu persamaan matematis yang berbentuk eksponensial, yaitu :

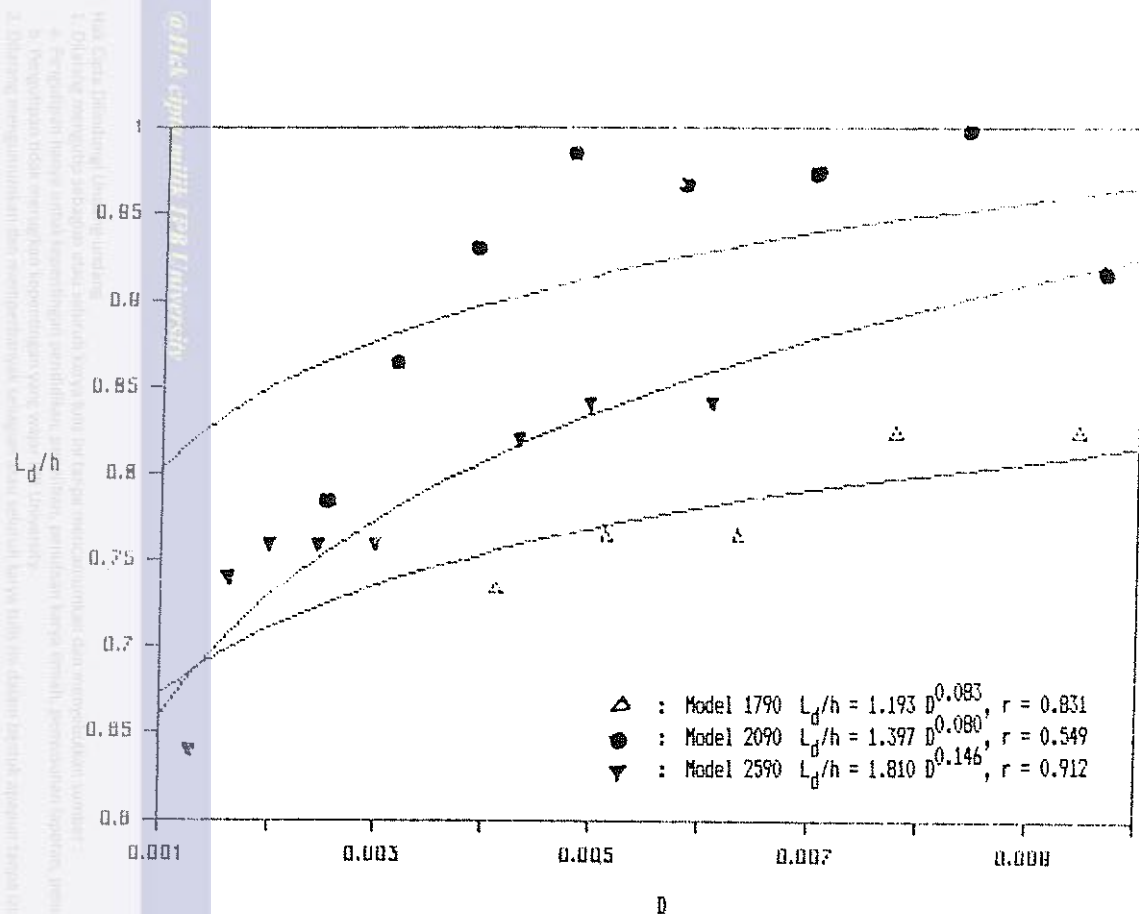
$$\text{Model 1790 : } L_d/h = 1.193 D^{0.083}, \quad r = 0.831$$

$$\text{Model 2090 : } L_d/h = 1.397 D^{0.080}, \quad r = 0.549$$

$$\text{Model 2590 : } L_d/h = 1.810 D^{0.146}, \quad r = 0.912$$

Dari Gambar 23 dapat diketahui bahwa pada model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah sebesar 90 derajat dan tinggi pelimpah yang berbeda-beda, memberikan rasio L_d/h yang berbeda pula. Secara umum, dengan bertambahnya jumlah debit yang dialirkan melalui model, maka rasio L_d/h akan semakin besar. Hal ini disebabkan kecepatan aliran yang terus bertambah sehingga jatuhnya air akan lebih jauh ke arah hilir dari kaki saluran pelimpah.

Panjang terjunan (L_d) ini hanya terjadi pada model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah 90 derajat. Kondisi tersebut disebabkan oleh aliran air yang jatuh bebas tanpa mengikuti dasar dari saluran pelimpah. Sedangkan model lainnya, aliran air mengikuti bentuk sudut saluran pelimpahnya.



Gambar 23. Grafik hubungan L_d/h dan D pada model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah 90 derajat, dan perubahan tinggi pelimpah

F. Kedalaman Genangan (y_p)

Dari percobaan pada model bangunan pelimpah diperoleh bahwa model dengan sudut saluran pelimpah 90 derajat memberikan suatu bentuk persamaan matematis yang eksponensial, yaitu :

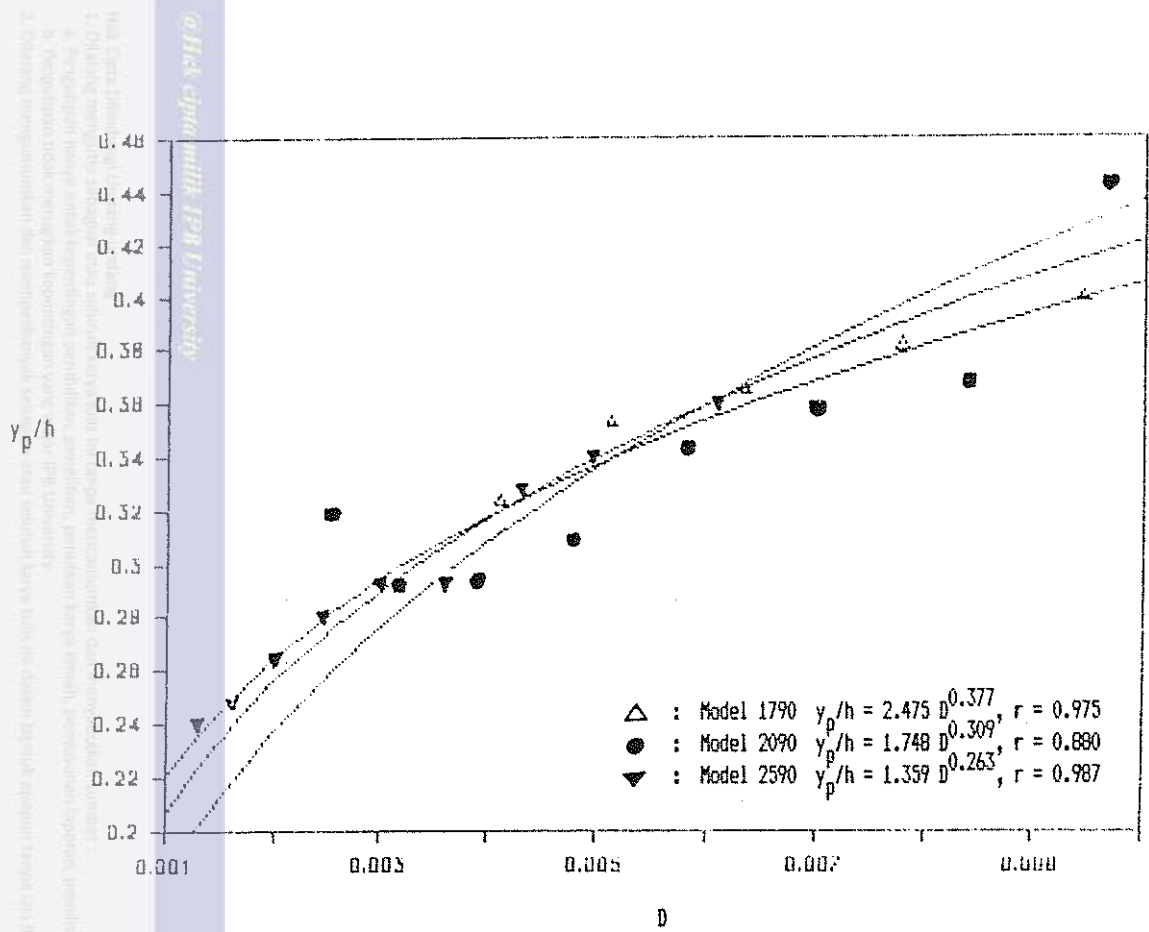
$$\text{Model 1790 : } y_p/h = 2.475 D^{0.377}, \quad r = 0.975$$

$$\text{Model 2090 : } y_p/h = 1.748 D^{0.309}, \quad r = 0.880$$

$$\text{Model 2590 : } y_p/h = 1.359 D^{0.263}, \quad r = 0.987$$

Dari Gambar 24 dapat diketahui bahwa pada model dengan sudut saluran pelimpah sebesar 90 derajat untuk tiap perubahan tinggi saluran pelimpah memberikan kondisi kedalaman genangan (y_p) yang berbeda pada debit aliran yang sama. Dengan semakin besarnya jumlah pengaliran debitnya, maka rasio y_p/h akan bertambah sampai pada suatu debit tertentu bersamaan dengan naiknya tinggi permukaan genangan, maka pada akhirnya puncak air limbah akan terbenam.

Rasio y_p/h tidak terdapat pada model lainnya kecuali model dengan sudut saluran pelimpah 90 derajat. Hal ini disebabkan karena adanya bagian yang kosong dibawah air limbah yang terisi udara dengan sebagian lagi terisi oleh air akibat adanya putaran air ke arah hulu dan membentur kaki saluran pelimpah.



Gambar 24. Grafik hubungan y_p/h dan D pada model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah 90 derajat, dan perubahan tinggi pelimpah

G. Kedalaman Sesudah Lompatan (Y_2)

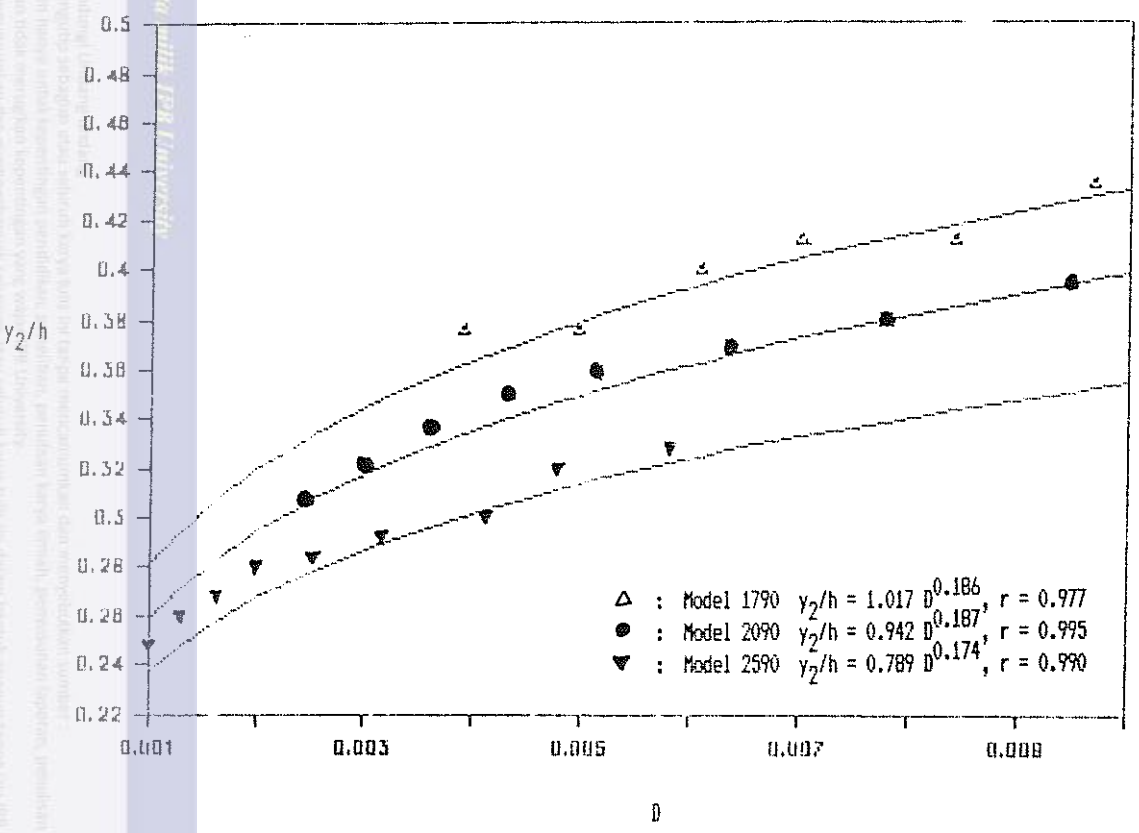
Hasil percobaan pada model bangunan pelimpah diperoleh bahwa model dengan sudut saluran pelimpah 90 derajat menghasilkan bentuk persamaan matematis yang eksponensial, yaitu :

$$\text{Model 1790 : } y_2/h = 1.017 D^{0.186}, \quad r = 0.977$$

$$\text{Model 2090 : } y_2/h = 0.943 D^{0.187}, \quad r = 0.995$$

$$\text{Model 2590 : } y_2/h = 0.989 D^{0.174}, \quad r = 0.990$$

Dari Gambar 25 dapat diketahui bahwa rasio y_2/h untuk model dengan sudut saluran pelimpah 90 derajat akan bertambah seiring dengan bertambahnya debit aliran. Pada gambar tersebut dapat dilihat kalau model 2590, rasio y_2/h berada dibawah model 1790, dan model 2090. Hal ini dimungkinkan karena air limbah yang jatuh kedasar saluran sebagian besar berputar ke arah hulu menambah tinggi genangan air (y_p), sehingga kecepatan air yang menuju ke hilir disamping terhalang oleh gaya yang didesakan ambang (F_B) juga karena pengaruh dari gaya hidrostatik (P_2) yang cukup besar. Akibatnya kedalaman sesudah lompatan berkurang.



Gambar 25. Grafik hubungan y_2/h dan D pada model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah 90 derajat, dan perubahan tinggi pelimpah

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu : debit aliran, tinggi pelimpah dan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran mempunyai pengaruh terhadap posisi lompatan hidrolik, panjang lompatan hidrolik dan kedalaman subkritis setelah lompatan.

Persamaan Pi Buckingham yang didapat dari variabel yang diuji adalah :

1. Posisi lompatan hidrolik (x)
$$x/y_1 = \phi(h/y_1, F_1^{-2}, \theta)$$
2. Panjang lompatan hidrolik (L)
$$L/y_1 = \phi(h/y_1, F_1^{-2}, \theta)$$
3. Kedalaman subkritis (y_2)
$$y_2/y_1 = \phi(h/y_1, F_1^{-2}, \theta)$$

Model dengan beda sudut saluran pelimpah yang lebih kecil dan tinggi pelimpah yang lebih besar serta jarak ambang yang lebih dekat terhadap kaki saluran pelimpah pada pengaliran debit yang sama, mempunyai karakteristik :

1. Posisi lompatan hidrolik yang lebih jauh terhadap kaki saluran pelimpah
2. Panjang lompatan hidrolik yang lebih panjang

3. Kedalaman subkritis setelah lompatan yang cenderung lebih rendah
4. Rasio energi yang lebih besar

Model dengan sudut saluran pelimpah sebesar 90 derajat, memiliki karakteristik tersendiri yang tidak terdapat pada model lainnya, yaitu :

1. Terjadinya terjunan air limbah dengan panjang terjunan (L_d) yang bertambah, bersamaan bila debit aliran air meningkat serta tinggi pelimpahnya
2. Terdapat genangan air di bawah air limbah yang kedalamannya berbanding lurus terhadap debit aliran dan berbanding terbalik terhadap tinggi pelimpahnya
3. Posisi lompatan hidrolik yang terjadi, berada disebelah hilir kaki saluran pelimpah

B. Saran

Diperlukannya alat ukur yang lebih akurat untuk mendapatkan data pengukuran yang dapat diandalkan, sehingga hasilnya bisa memberikan gambaran yang sebenarnya dari hipotesa sebelumnya.

Penyelidikan lebih lanjut diperlukan terhadap pengaruh perubahan karakteristik lompatan hidrolik dengan perlakuan yang berbeda dari perubahan bentuk dan ukuran ambang.



@Hick cipra milih IPB University

IPB University



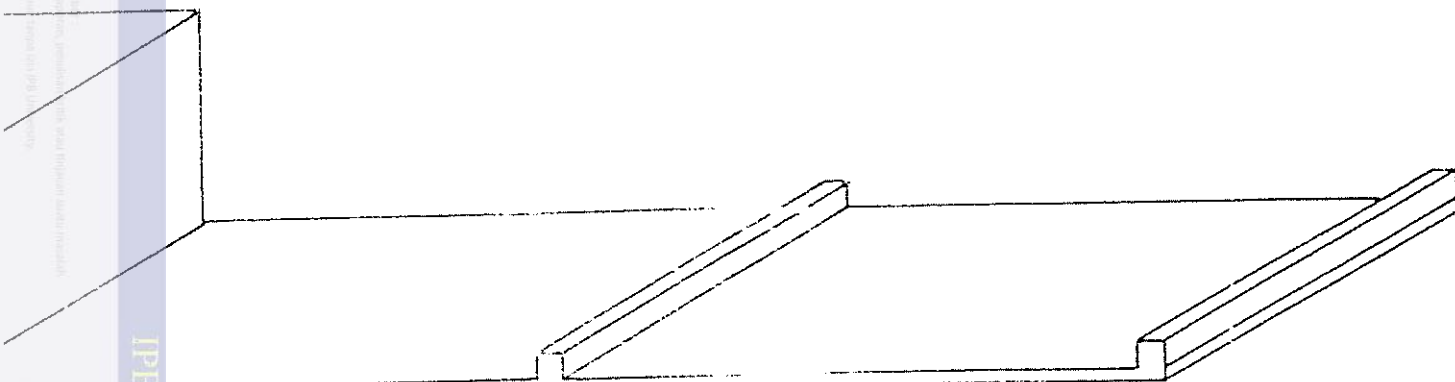
IPB University
— Bogor Indonesia —

LAMPIRAN

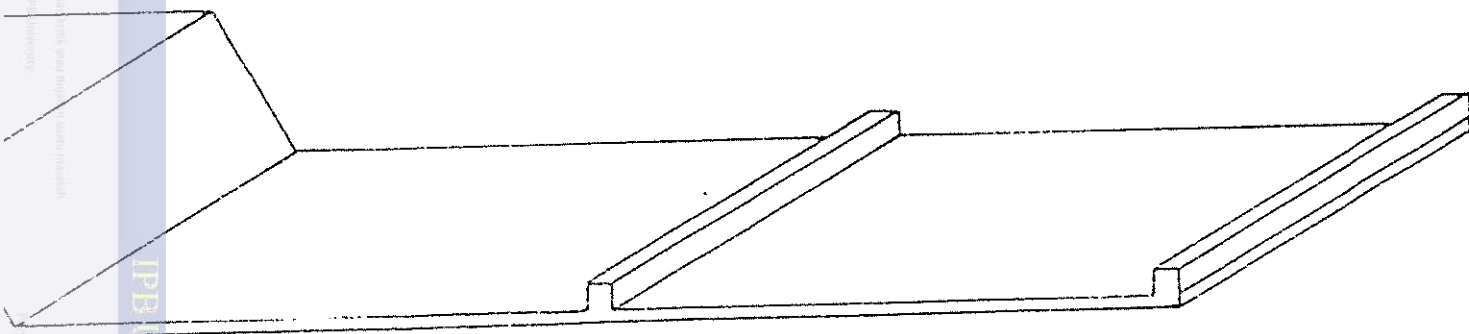
Hick Cipra: Menantang, Unik, dan Berprestasi

1. Mengingat pentingnya jabatan, Hick Cipra memilih untuk tidak mengabdikan sumber-sumbernya.
2. Hick Cipra memilih untuk tidak mengabdikan sumber-sumbernya.
3. Hick Cipra memilih untuk tidak mengabdikan sumber-sumbernya.
4. Hick Cipra memilih untuk tidak mengabdikan sumber-sumbernya.
5. Hick Cipra memilih untuk tidak mengabdikan sumber-sumbernya.
6. Hick Cipra memilih untuk tidak mengabdikan sumber-sumbernya.
7. Hick Cipra memilih untuk tidak mengabdikan sumber-sumbernya.
8. Hick Cipra memilih untuk tidak mengabdikan sumber-sumbernya.
9. Hick Cipra memilih untuk tidak mengabdikan sumber-sumbernya.
10. Hick Cipra memilih untuk tidak mengabdikan sumber-sumbernya.
11. Hick Cipra memilih untuk tidak mengabdikan sumber-sumbernya.
12. Hick Cipra memilih untuk tidak mengabdikan sumber-sumbernya.
13. Hick Cipra memilih untuk tidak mengabdikan sumber-sumbernya.
14. Hick Cipra memilih untuk tidak mengabdikan sumber-sumbernya.
15. Hick Cipra memilih untuk tidak mengabdikan sumber-sumbernya.
16. Hick Cipra memilih untuk tidak mengabdikan sumber-sumbernya.
17. Hick Cipra memilih untuk tidak mengabdikan sumber-sumbernya.
18. Hick Cipra memilih untuk tidak mengabdikan sumber-sumbernya.
19. Hick Cipra memilih untuk tidak mengabdikan sumber-sumbernya.
20. Hick Cipra memilih untuk tidak mengabdikan sumber-sumbernya.

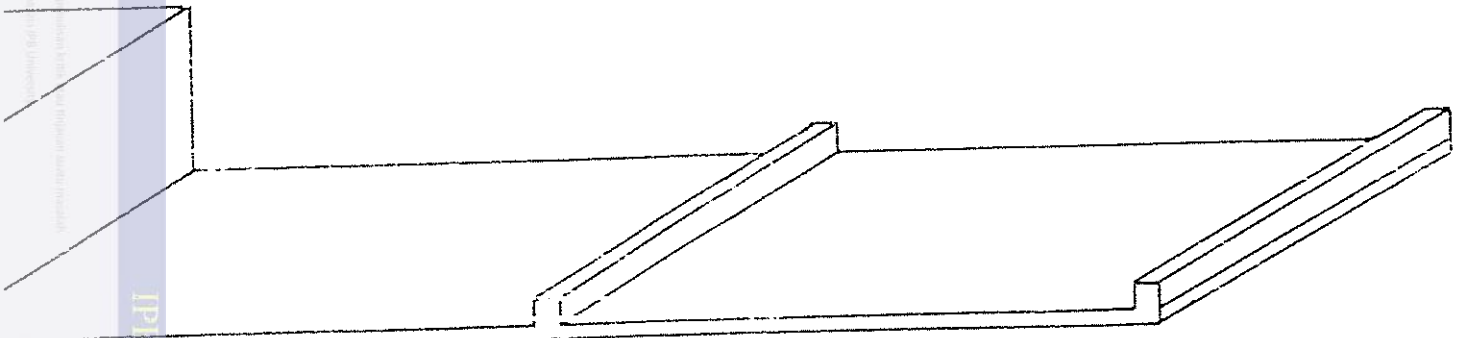
ah dengan sudut saluran
sar saluran segi empat
n tinggi pelimpah 25 cm,



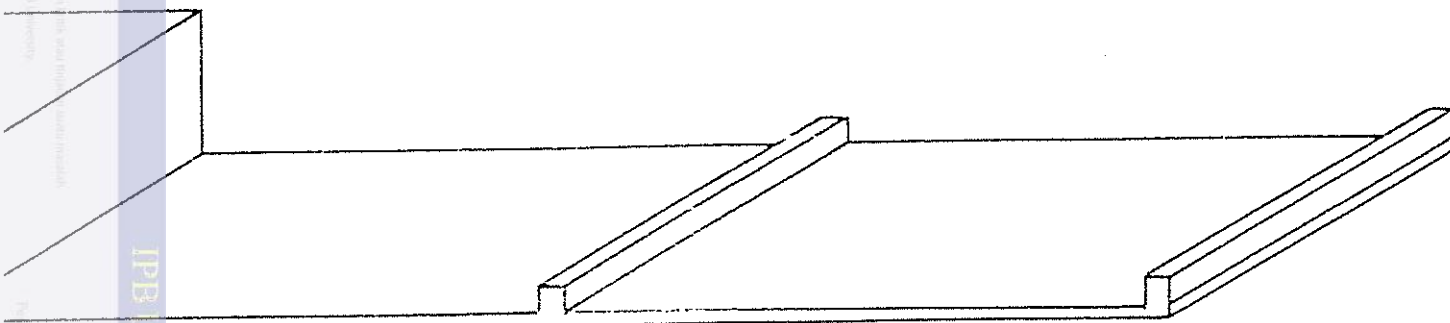
pelimpah dengan sudut
 terhadap dasar saluran
 60 derajat, dan tinggi
 (Model 1760).



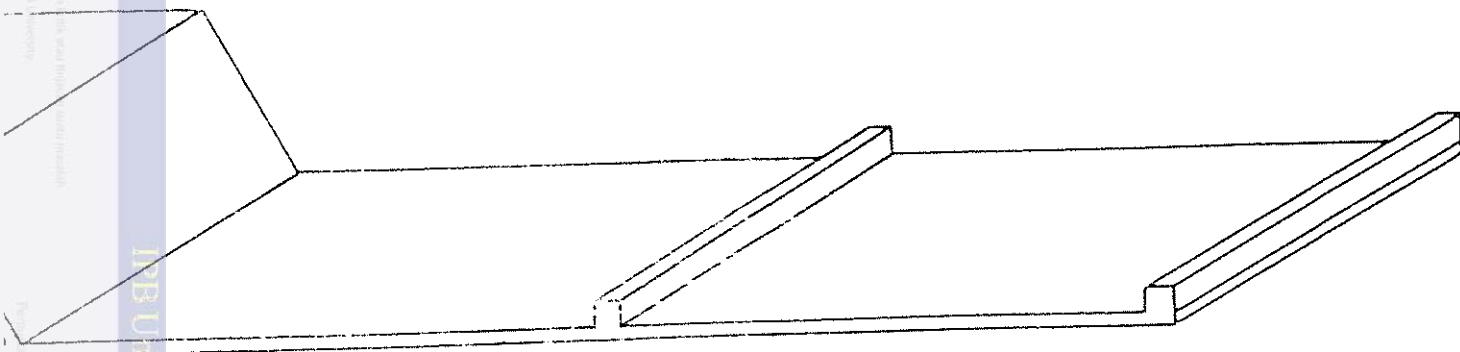
pelimpah dengan sudut
terhadap dasar saluran
r 90 derajat, dan tinggi
odel 2090).



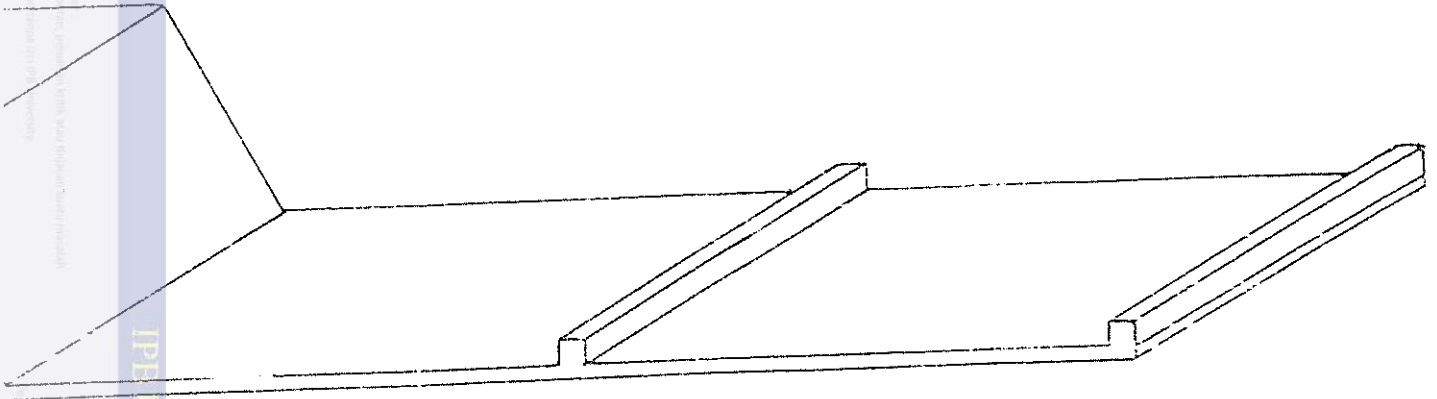
pelimpah dengan sudut
terhadap dasar saluran
r 90 derajat, dan tinggi
odel 1790).



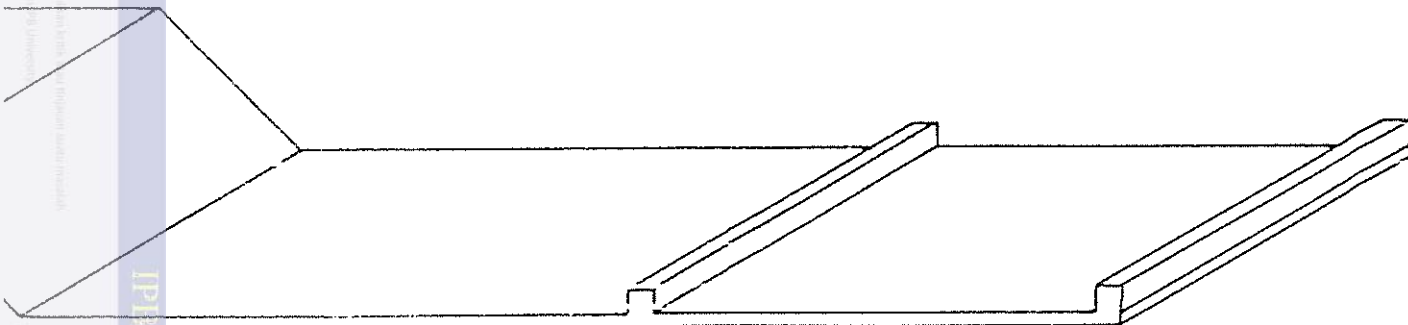
elimpah dengan sudut
terhadap dasar saluran
60 derajat, dan tinggi
del 2060)).



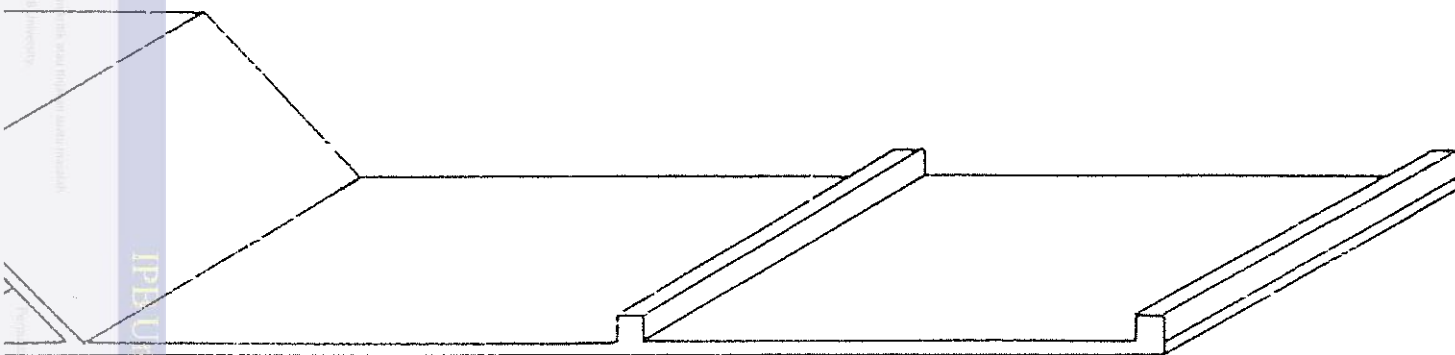
pelimpah dengan sudut
terhadap dasar saluran
60 derajat, dan tinggi
model 2560).



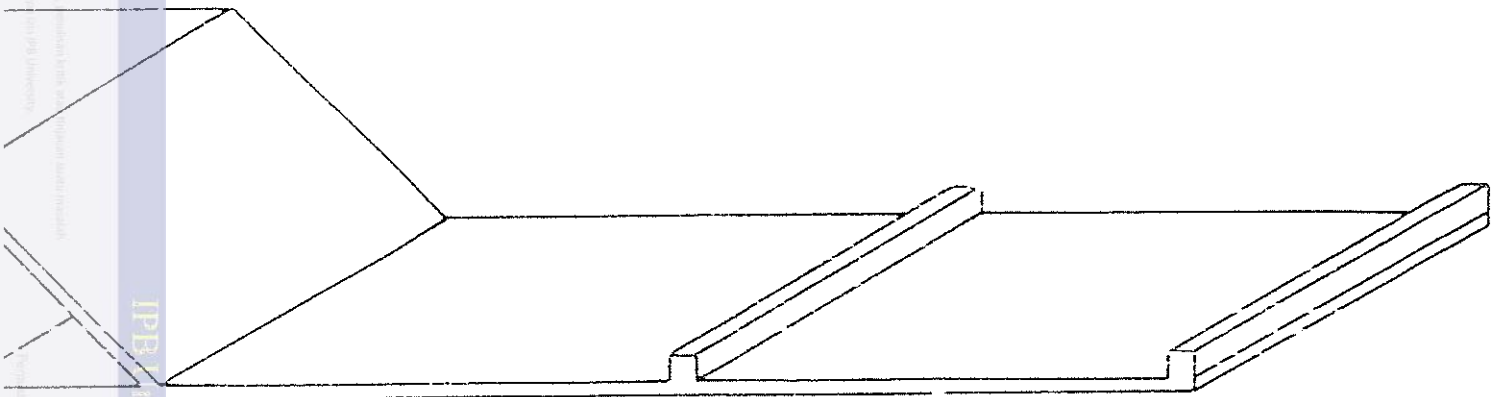
pelimpah dengan sudut
terhadap dasar saluran
45 derajat, dan tinggi
model 1745).



pelimpah dengan sudut
terhadap dasar saluran
45 derajat, dan tinggi
(Model 2045).



pelimpah dengan sudut
terhadap dasar saluran
45 derajat, dan tinggi
model 2545).



Lampiran 10. Keterangan model bangunan pelimpah

Model bangunan pelimpah yang ada pada Lampiran (1) sampai dengan Lampiran (9) dibuat dengan skala 1 : 9 dengan keterangan sebagai berikut :

1. Model bangunan pelimpah terdiri dari 9 model, yaitu :
 - a. Model 1790
 - b. Model 2090
 - c. Model 2590
 - d. Model 1760
 - e. Model 2060
 - f. Model 2560
 - g. Model 1745
 - h. Model 2045
 - i. Model 2545

Masing-masing model dibedakan atas tinggi pelimpah, sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat datar, dan posisi ambang tengah dari kaki saluran peluncur.

2. Tinggi pelimpah

Ketinggian model bangunan pelimpah dari dasar saluran segi empat datar terdiri dari 3 (tiga) macam tinggi pelimpah, yaitu :

- a. Tinggi pelimpah I : 17 cm
- b. Tinggi pelimpah II : 20 cm
- c. Tinggi pelimpah III : 25 cm

3. Saluran pelimpah

Kemiringan saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat datar dibedakan dalam 3 (tiga) bagian, yaitu :

- a. Sudut saluran pelimpah I : 90°
- b. Sudut saluran pelimpah II : 60°
- c. Sudut saluran pelimpah III : 45°

4. Ambang

Ambang yang digunakan sebagai pemecah gelombang hanya terdiri dari 1 (satu) jenis, yaitu ambang yang berukuran (40 cm x 3 cm x 3 cm). Namun posisi dari ambang tengah, pemasangannya disesuaikan dengan perubahan sudut saluran pelimpah maupun perubahan tinggi pelimpah dari model bangunannya. Sedangkan ambang hilir dipasang tetap pada jarak tertentu dari kaki saluran pelimpah.

Jarak pemasangan ambang untuk setiap model bangunan dijelaskan sebagai berikut ini :

- a. Model 1790 :
 - jarak ambang tengah : 75.0 cm
 - jarak ambang hilir : 147.0 cm
- b. Model 2090 :
 - jarak ambang tengah : 75.0 cm
 - jarak ambang hilir : 147.0 cm
- c. Model 2590 :
 - jarak ambang tengah : 75.0 cm
 - jarak ambang hilir : 147.0 cm
- d. Model 1760 :
 - jarak ambang tengah : 70.1 cm
 - jarak ambang hilir : 137.2 cm
- e. Model 2060 :
 - jarak ambang tengah : 69.2 cm
 - jarak ambang hilir : 135.5 cm
- f. Model 2560 :
 - jarak ambang tengah : 67.8 cm
 - jarak ambang hilir : 132.6 cm



- g. Model 1745 : - jarak ambang tengah : 66.5 cm
- jarak ambang hilir : 130.0 cm
- h. Model 2045 : - jarak ambang tengah : 65.0 cm
- jarak ambang hilir : 127.0 cm
- i. Model 2545 : - jarak ambang tengah : 62.5 cm
- jarak ambang hilir : 122.0 cm

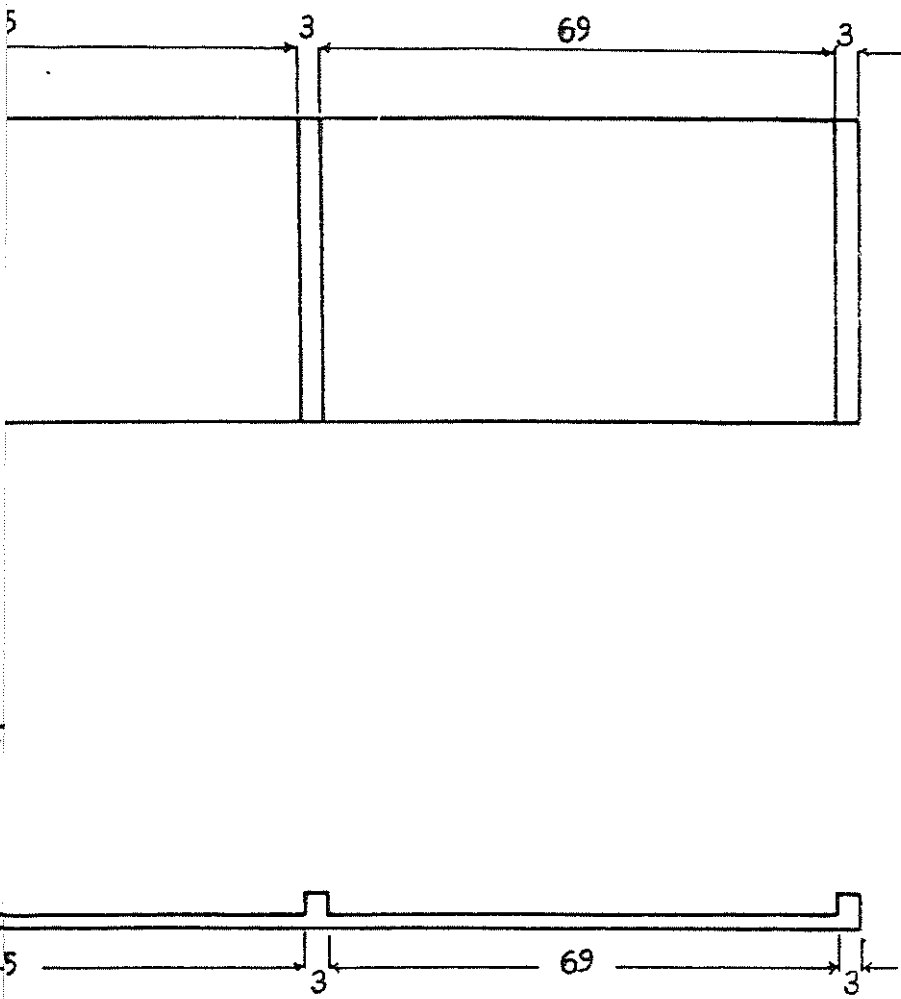
© Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kitab atau terjemahan semata-mata.
b. Pengutipan tidak may merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menyebarkan dan memperjualbelikan sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

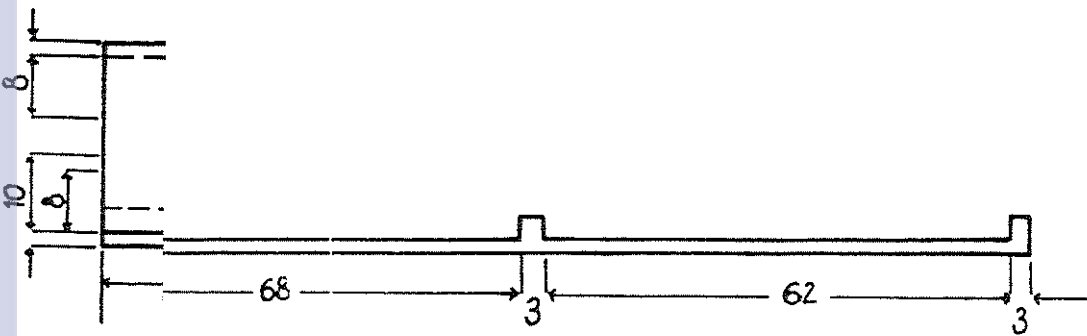
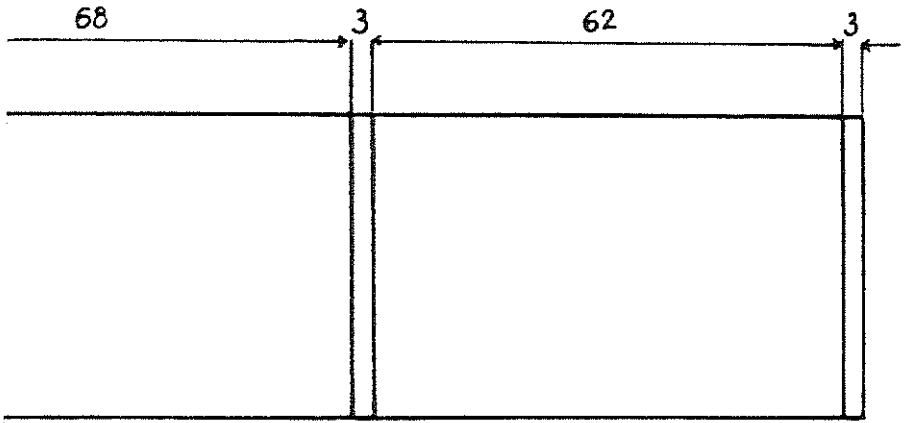
Hasil Cipta Prinsipnya (Hasil Cipta Prinsipnya)
1. Diketahui: gambar sebagai acuan, selanjutnya akan dibuat model yang menunjukkan dan memperjelas dari gambar tersebut.
a. Perencanaan layout untuk memperjelas gambar tersebut, kemudian layout gambar tersebut, kemudian layout gambar tersebut.
b. Perencanaan layout untuk memperjelas gambar tersebut, kemudian layout gambar tersebut, kemudian layout gambar tersebut.
2. Diketahui: gambar sebagai acuan, selanjutnya akan dibuat model yang menunjukkan dan memperjelas dari gambar tersebut.

Hasil Cipta Prinsipnya (Hasil Cipta Prinsipnya)

(Model

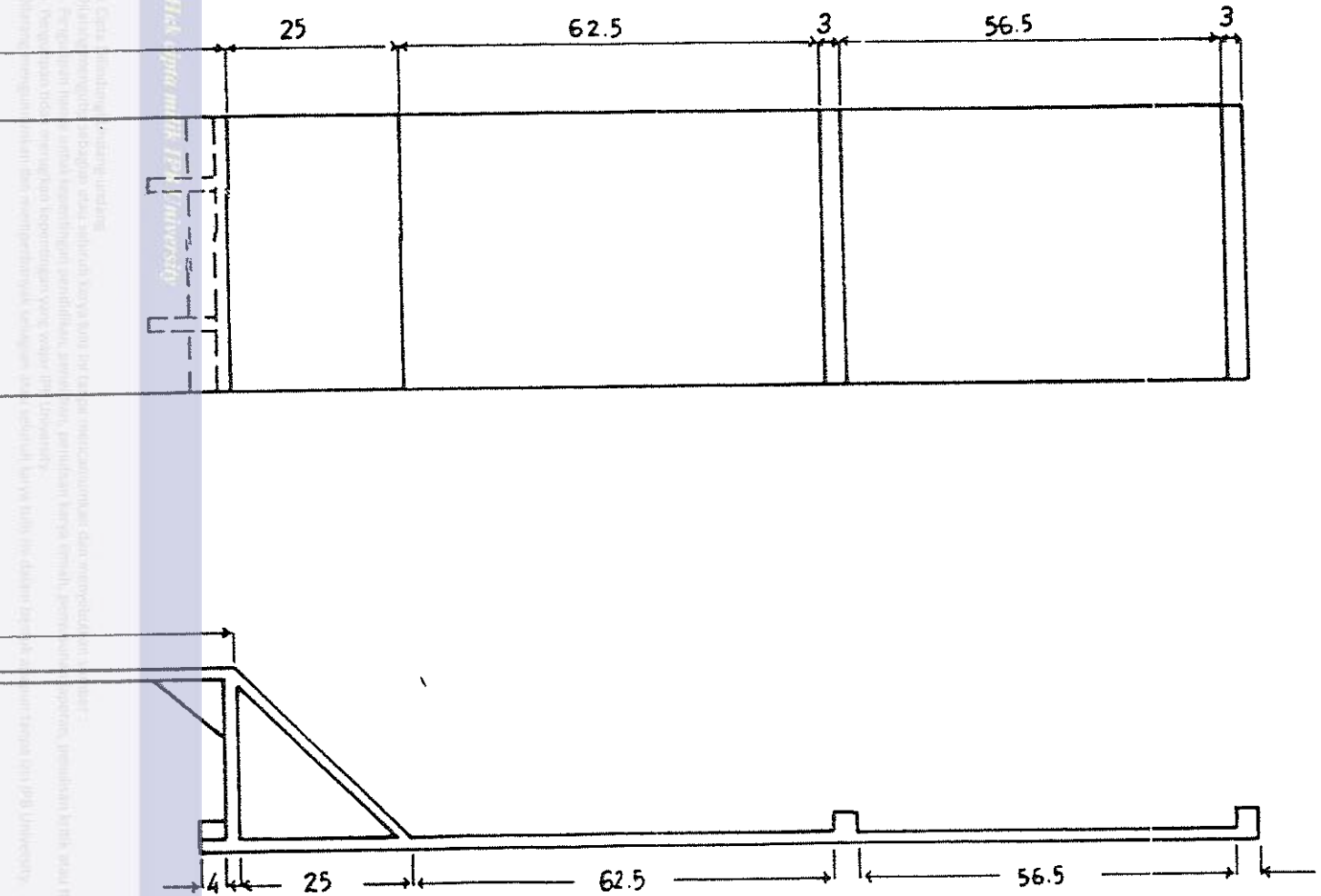


	DIGAMBAR: SUNANDAR	KETERANGAN	
	NRP : F 22 0781		
2-1990	DILIHAT :		
MODEL 2590			A ₃



1990	DIGAMBAR :	SUNANDAR	KETERANGAN	
	NRP	: F 22 0781		
	DILIHAT	:		
MODEL 2560				A ₃





	SKALA : 1 : 10	DIGAMBAR : SUNANDAR	KETERANGAN	
	SATUAN : mm	NRP : F 22 0781		
	TANGGAL : 20-12-1990	DILIHAT :		
MODEL 2545			A ₃	

Lampiran 12. Data hasil pengukuran pada model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 90 derajat, dan berbagai perubahan tinggi pelimpah.

Perubahan tinggi H_n	Debit/sat. lebar sal. Q (l/det)	Kedalaman superkritis y_1 (cm)	Kedalaman subkritis y_2 (cm)	Posisi lompatan X (cm)	Panjang lompatan L (cm)	Kedalaman genangan y_p (cm)	Panjang terjunan L_d (cm)
H17	5.618	0.725	6.40	1.00	23.00	5.50	12.50
	6.279	0.800	6.40	1.50	24.50	6.00	13.00
	6.984	0.880	6.80	15.00	26.00	6.20	13.00
	7.734	0.980	7.00	22.00	26.50	6.50	14.00
	8.531	1.190	7.00	31.00	27.50	6.80	14.00
	9.375	1.275	7.40	38.00	30.00	7.50	14.50
	10.267	1.400	8.00	40.00	32.00	8.20	14.50
	11.016	1.480	8.00	43.00	33.00	9.00	14.00
	12.200	1.600	8.40	43.00	33.00	10.20	14.00

Perubahan tinggi H_n	Debit/sat. lebar sal. Q (l/det)	Kedalaman superkritis y_1 (cm)	Kedalaman subkritis y_2 (cm)	Posisi lompatan X (cm)	Panjang lompatan L (cm)	Kedalaman genangan y_p (cm)	Panjang terjunan L_d (cm)
H20	5.618	1.000	6.16	3.76	23.26	6.38	15.70
	6.279	1.110	6.43	17.23	26.93	5.83	17.27
	6.984	1.200	6.73	21.83	29.45	5.88	18.59
	7.734	1.300	7.00	33.88	35.67	6.17	19.70
	8.531	1.410	7.20	33.90	36.50	6.85	19.35
	9.375	1.480	7.40	36.70	37.30	7.15	19.49
	10.267	1.575	7.60	36.25	32.80	7.35	20.00
	11.016	1.675	7.90	40.60	31.60	8.85	18.30
	12.200	1.820	8.40	45.00	31.00	10.00	18.00

Perubahan tinggi H_n	Debit/sat. lebar sal. Q (l/det)	Kedalaman superkritis y_1 (cm)	Kedalaman subkritis y_2 (cm)	Posisi lompatan X (cm)	Panjang lompatan L (cm)	Kedalaman genangan y_p (cm)	Panjang terjunan L_d (cm)
H25	5.618	1.000	6.20	20.00	24.00	6.00	16.00
	6.279	1.100	6.50	23.50	28.00	6.20	18.50
	6.984	1.225	6.70	35.50	29.50	6.60	19.00
	7.734	1.350	7.00	39.00	30.00	7.00	19.00
	8.531	1.450	7.10	39.50	30.00	7.30	19.00
	9.375	1.570	7.30	40.00	30.00	7.30	20.00
	10.267	1.700	7.50	40.00	30.50	8.20	20.50
	11.016	1.800	8.00	45.00	32.00	8.50	21.00
	12.200	1.950	8.20	48.00	35.00	9.00	21.00

Lampiran 13. Data hasil pengukuran pada model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 60 derajat, dan berbagai perubahan tinggi pelimpah.

Perubahan tinggi Hn	Debit/sat. lebar sal. Q (l/det)	Kedalaman superkritis y1 (cm)	Kedalaman subkritis y2 (cm)	Posisi lompatan X (cm)	Panjang lompatan L (cm)
H17	2.949	0.450	5.20	(1.00)	21.00
	3.402	0.500	5.40	(0.70)	22.00
	4.427	0.615	5.80	(0.70)	24.00
	5.002	0.680	6.00	(0.50)	26.00
	5.618	0.770	6.00	2.00	27.00
	6.279	0.840	6.50	12.00	28.50
	6.984	0.920	6.70	23.00	29.00
	7.734	1.000	7.00	37.00	30.00
	8.531	1.100	7.20	44.00	32.00
	9.375	1.220	7.50	47.00	32.00
	10.267	1.350	7.60	48.50	31.00
	11.016	1.450	7.80	50.00	31.00

Perubahan tinggi H_n	Debit/sat. lebar sal. Q (l/det)	Kedalaman superkritis y_1 (cm)	Kedalaman subkritis y_2 (cm)	Posisi lompatan X (cm)	Panjang lompatan L (cm)
H20	2.949	0.375	5.10	(1.15)	21.00
	3.402	0.450	5.40	(1.00)	22.00
	4.427	0.580	5.68	(0.80)	24.00
	5.002	0.640	5.90	2.00	26.00
	5.618	0.710	6.05	5.45	27.70
	6.279	0.775	6.35	16.20	28.30
	6.984	0.850	6.75	38.00	29.00
	7.734	0.950	7.15	40.90	29.20
	8.531	1.175	7.30	46.40	29.80
	9.375	1.275	7.55	48.80	29.50
	10.267	1.380	7.65	50.70	28.50
	11.016	1.500	7.80	52.40	28.30

Perubahan tinggi H_n	Debit/sat. lebar sal. Q (l/det)	Kedalaman superkritis y_1 (cm)	Kedalaman subkritis y_2 (cm)	Posisi lompatan X (cm)	Panjang lompatan L (cm)
H25	2.949	0.400	5.20	(1.00)	21.00
	3.402	0.450	5.40	(0.60)	22.50
	4.427	0.555	5.80	5.00	25.00
	5.002	0.625	6.00	15.00	26.00
	5.618	0.690	6.20	26.00	25.00
	6.279	0.760	6.50	40.50	25.50
	6.984	0.825	6.70	45.50	26.00
	7.734	0.900	7.00	46.50	29.00
	8.531	1.000	7.30	46.50	30.00
	9.375	1.100	7.50	50.00	30.00
	10.267	1.250	7.50	53.00	29.00
	11.016	1.400	8.00	53.00	29.00

Lampiran 14. Data hasil pengukuran pada model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 45 derajat, dan berbagai perubahan tinggi pelimpah.

Perubahan tinggi H_n	Debit/sat. lebar sal. Q (l/det)	Kedalaman superkritis y_1 (cm)	Kedalaman subkritis y_2 (cm)	Posisi lompatan X (cm)	Panjang lompatan L (cm)
H17	2.534	0.425	5.00	(2.50)	18.00
	2.949	0.480	5.30	(2.00)	20.50
	4.427	0.650	5.80	(1.00)	26.00
	5.618	0.800	6.20	8.00	28.00
	6.279	0.750	6.60	18.00	29.00
	6.944	0.945	6.80	29.00	31.00
	7.734	1.050	7.00	40.00	32.00
	8.531	1.135	7.10	42.00	32.50
	9.375	1.240	7.50	44.50	32.50
	10.670	1.370	7.80	46.00	32.50
	11.016	1.435	8.00	46.50	32.00

Lanjutan ...

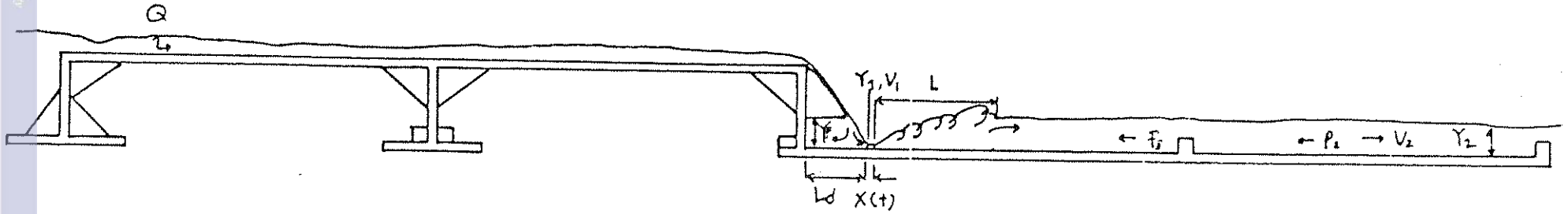
Perubahan tinggi Hn	Debit/sat. lebar sal. Q (l/det)	Kedalaman superkritis y1 (cm)	Kedalaman subkritis y2 (cm)	Posisi lompatan X (cm)	Panjang lompatan L (cm)
H20	2.534	0.400	4.85	(2.15)	18.50
	2.949	0.455	5.10	(2.00)	20.00
	4.427	0.600	5.75	(1.25)	25.50
	5.618	0.710	6.30	10.00	27.00
	6.279	0.810	6.45	19.00	29.00
	6.944	0.875	6.60	34.00	32.00
	7.734	0.950	6.80	40.50	29.50
	8.531	1.155	7.20	43.50	29.50
	9.375	1.250	7.40	45.50	29.00
	10.670	1.380	7.50	47.00	29.00
	11.016	1.475	8.00	50.00	28.00

Perubahan tinggi H_n	Debit/sat. lebar sal. Q (l/det)	Kedalaman superkritis y_1 (cm)	Kedalaman subkritis y_2 (cm)	Posisi lompatan X (cm)	Panjang lompatan L (cm)
H25	2.534	0.450	4.80	(2.50)	20.00
	2.949	0.520	5.10	(1.50)	20.50
	4.427	0.700	5.80	2.50	29.00
	5.618	0.825	6.20	21.00	29.50
	6.279	0.900	6.50	33.00	31.00
	6.944	0.970	6.70	41.00	30.00
	7.734	1.120	7.00	41.00	30.00
	8.531	1.200	7.20	42.00	30.50
	9.375	1.350	7.50	44.00	30.00
	10.670	1.480	7.80	47.50	29.00
	11.016	1.550	8.00	50.50	28.50

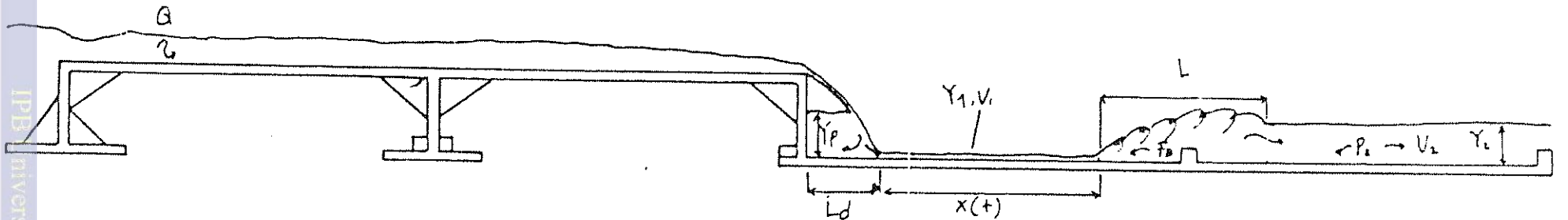


Lampiran 15. Keadaan aliran yang melewati model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 90 derajat, dan tinggi pelimpah 17 cm, (Model 1730)..

(a)

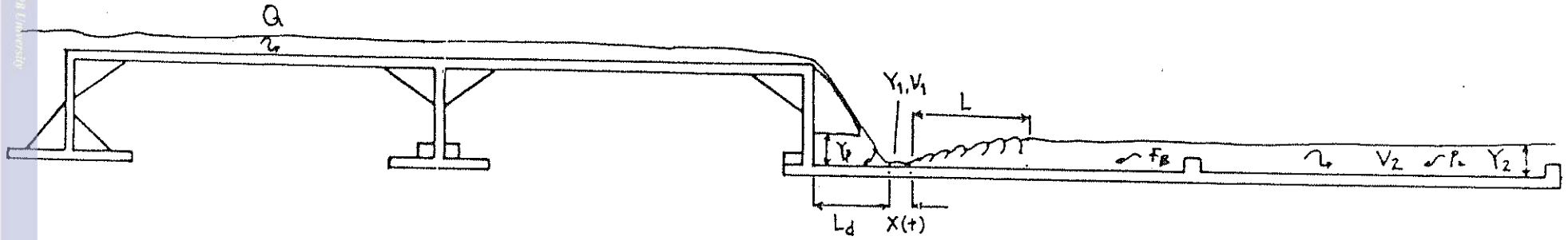


(b)

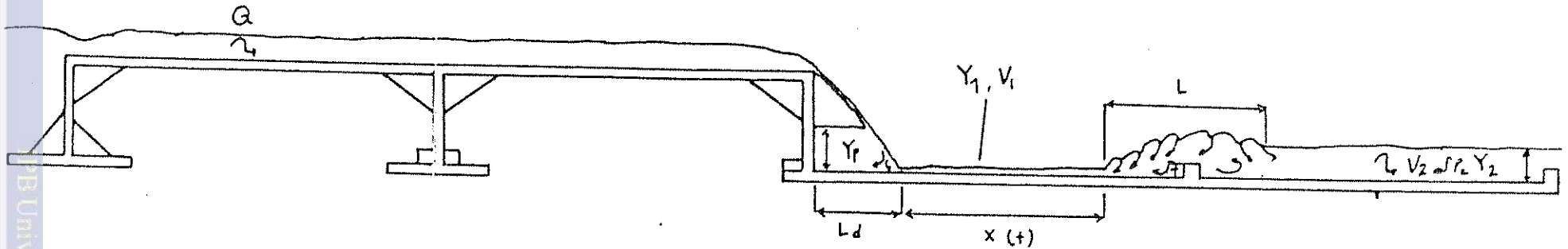


Lampiran 16. Keadaan aliran yang melewati model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 90 derajat, dan tinggi pelimpah 20 cm, (Model 2090).

(a)

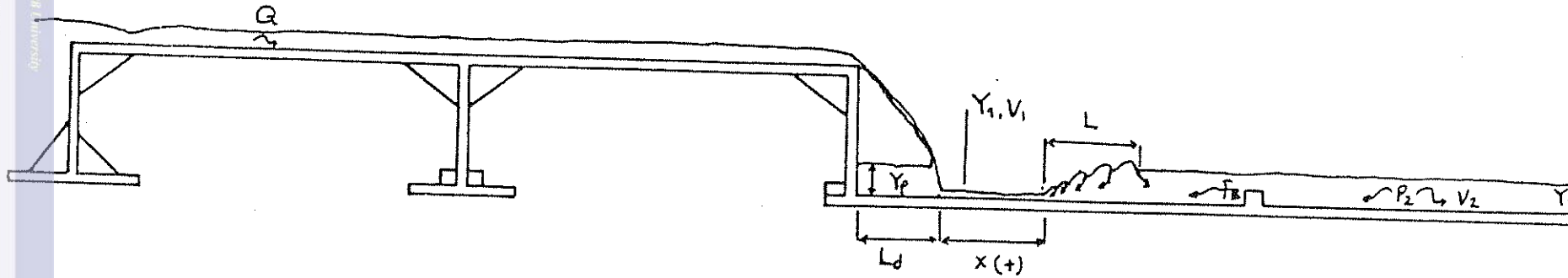


(b)

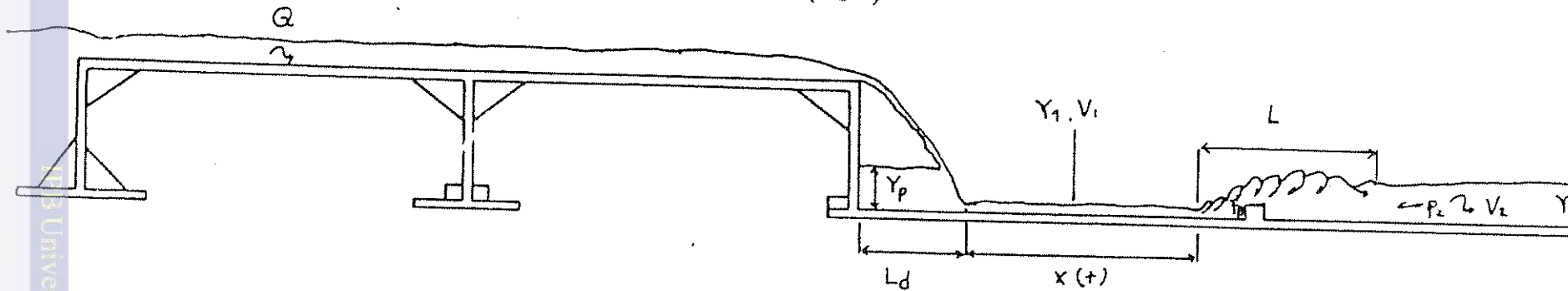


Lampiran 17. Keadaan aliran yang melewati model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 90 derajat, dan tinggi pelimpah 25 cm, (Model 2590).

(a)

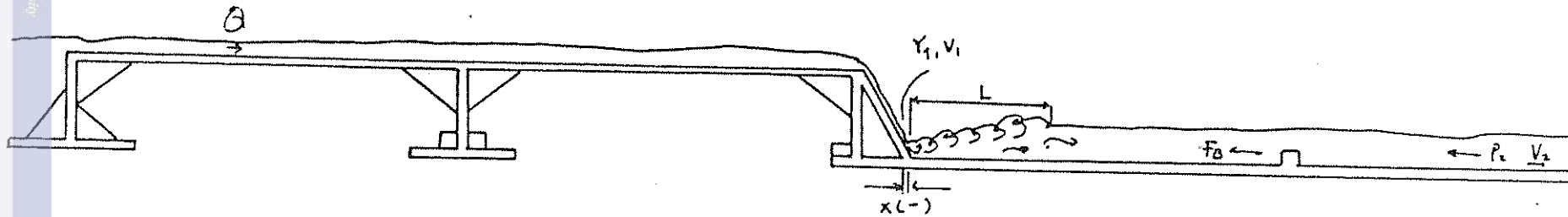


(b)

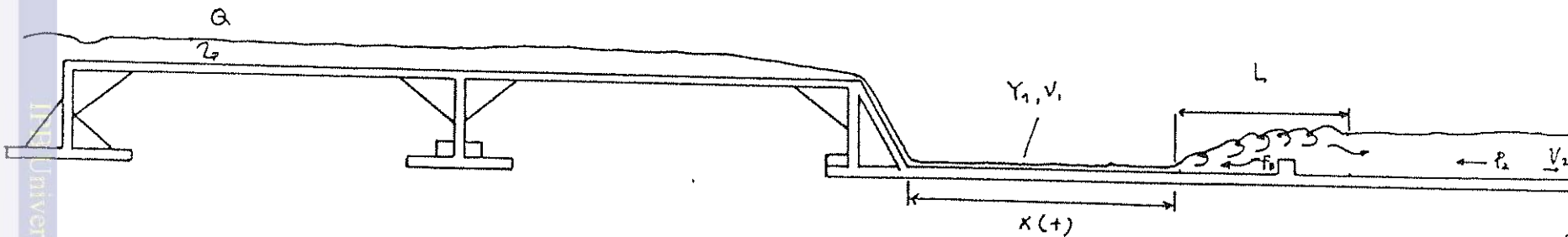


Lampiran 18. Keadaan aliran yang melewati model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 60 derajat, dan tinggi pelimpah 17 cm. (Model 1790).

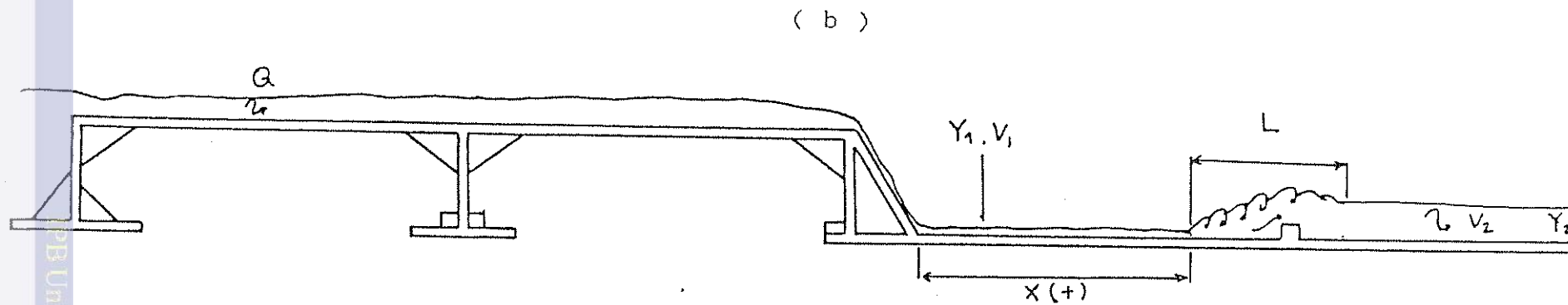
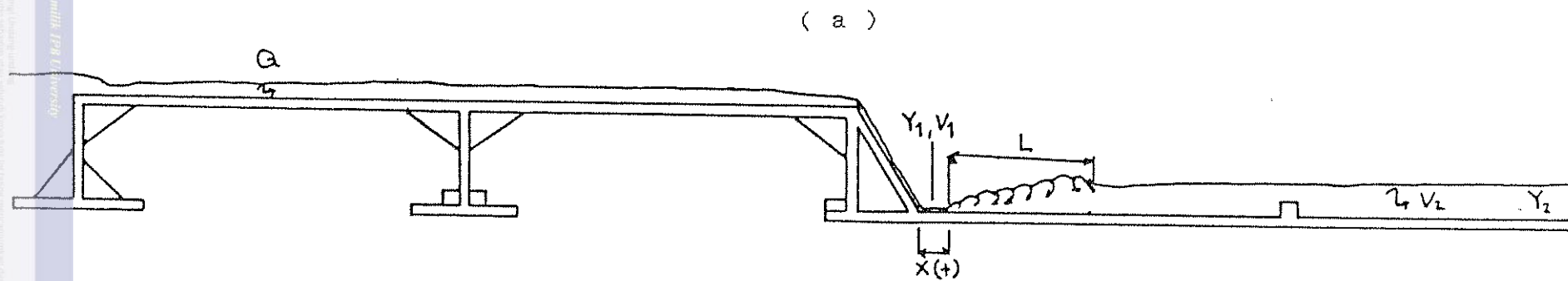
(a)



(b)

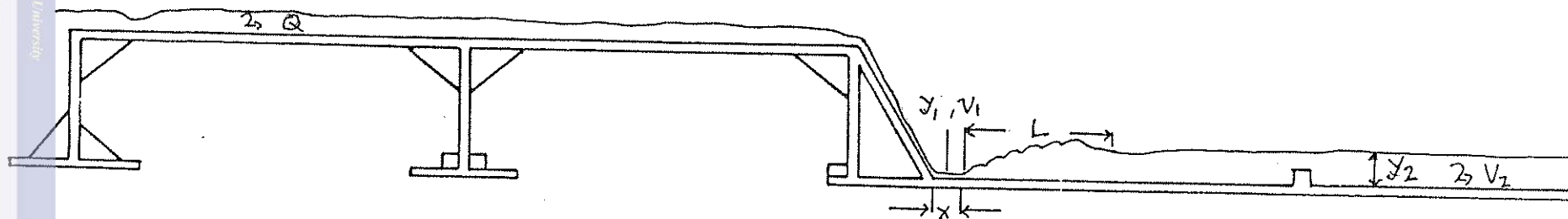


Lampiran 19. Keadaan aliran yang melewati model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 60 derajat, dan tinggi pelimpah 20 cm, (Model 2060).

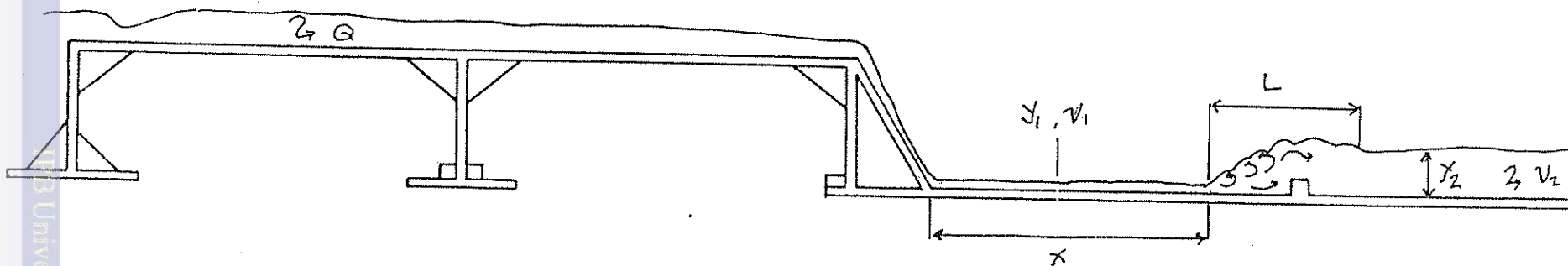


Lampiran 20. Keadaan aliran yang melewati model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 60 derajat, dan tinggi pelimpah 25 cm, (model 2560).

(a)

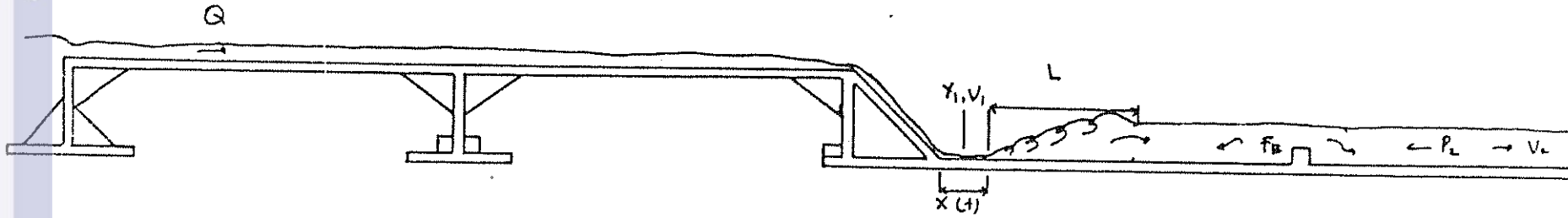


(b)

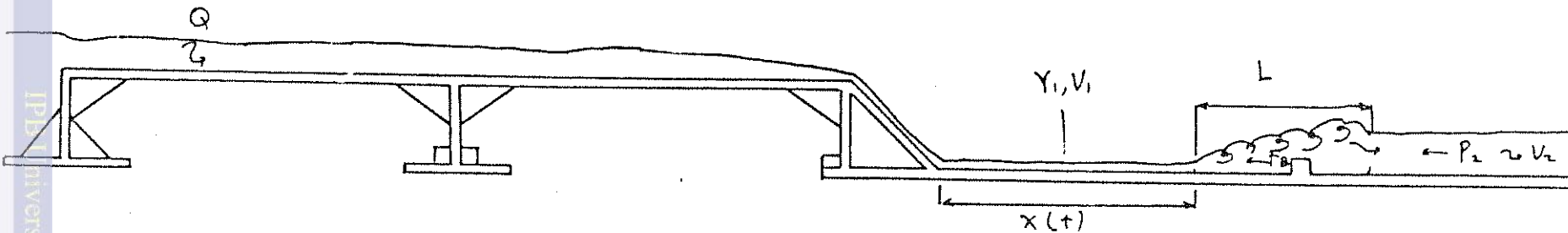


Lampiran 21. Keadaan aliran yang melewati model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 45 derajat, dan tinggi pelimpah 17 cm, (Model 1745).

(a)

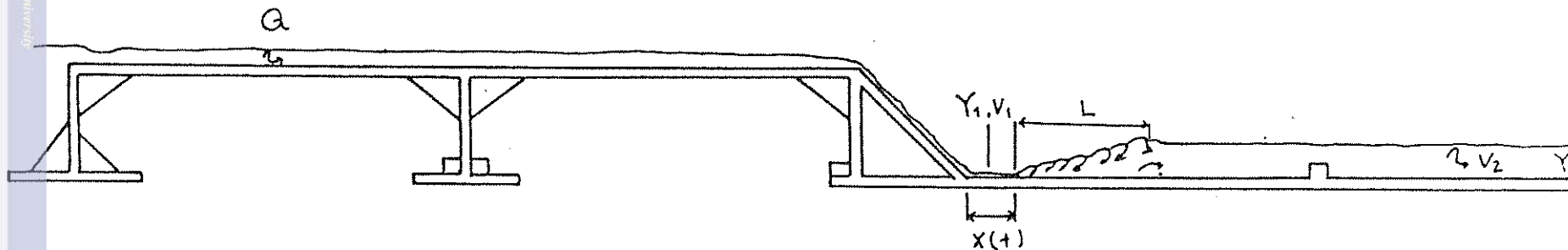


(b)

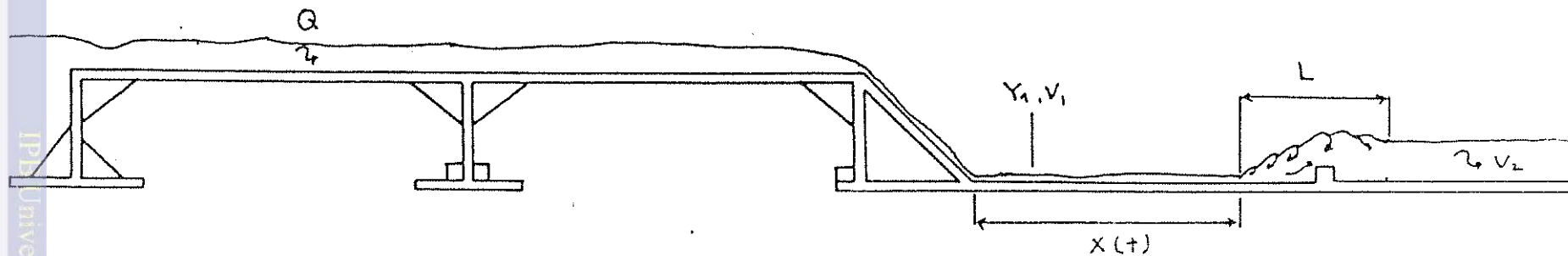


Lampiran 22. Keadaan aliran yang melewati model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 45 derajat, dan tinggi pelimpah 20 cm, (Model 2045).

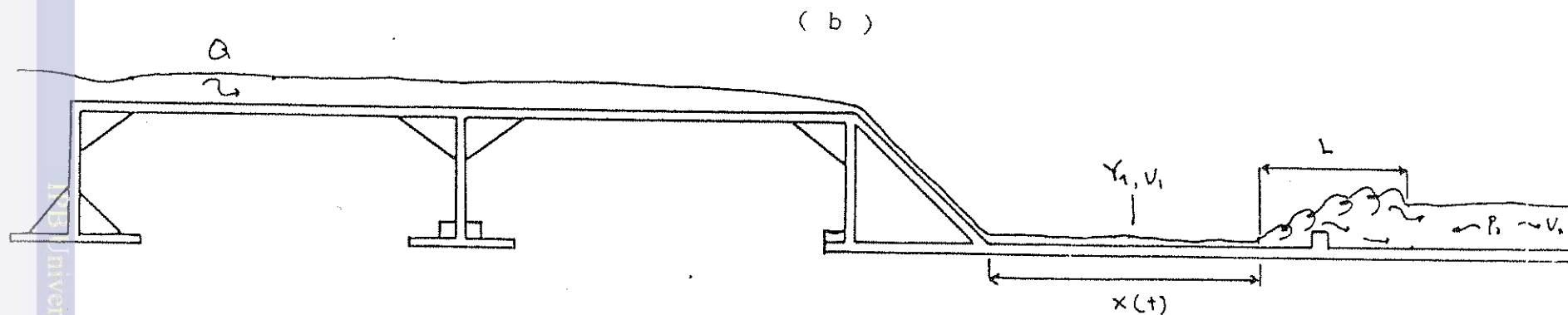
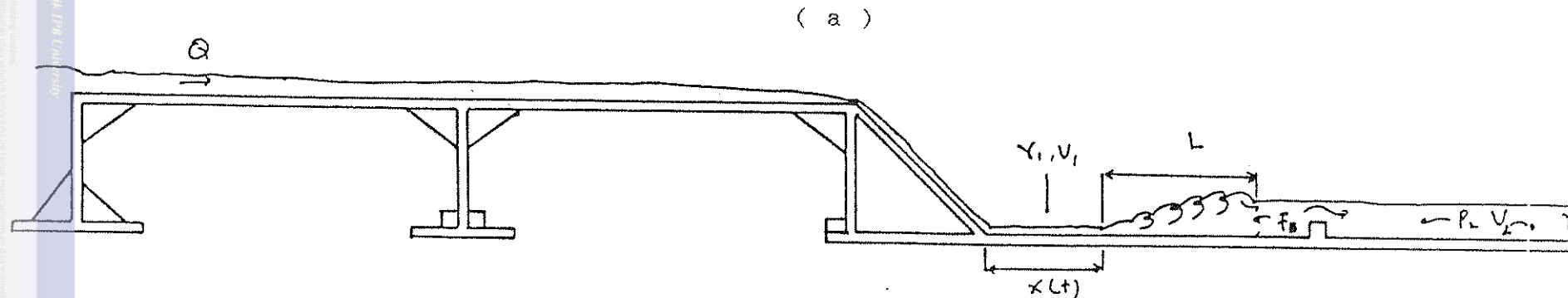
(a)



(b)



Lampiran 23. Keadaan aliran yang melewati model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 45 derajat, dan tinggi pelimpah 25 cm, (Model 2545).



Gambar keadaan aliran yang ada pada Lampiran (15) sampai Lampiran (23) dibuat dengan skala 1 : 12 , dengan keterangan sebagai berikut :

1. Gambar (a) adalah keadaan aliran pada pengaliran debit sebesar 5.618 liter/detik.
2. Gambar (b) adalah keadaan aliran pada pengaliran debit sebesar 11.016 liter/detik.

Sedangkan arti simbol yang ada pada Gambar-gambar tersebut adalah :

- Q : debit aliran
- y_1 : kedalaman superkritis
- y_2 : kedalaman subkritis
- v_1 : kecepatan superkritis
- v_2 : kecepatan subkritis
- $x (-)$: jarak kaki saluran peluncur dengan posisi awal lompatan hidrolik yang berada disebelah hulu kaki saluran peluncur
- $x (+)$: jarak kaki saluran peluncur dengan posisi awal lompatan hidrolik yang berada disebelah hilir kaki saluran peluncur
- L : panjang lompatan hidrolik
- y_p : panjang terjunan
- L_d : kedalaman genangan
- F_B : gaya yang didesakan oleh ambang
- P_2 : muatan hidrostatik yang berlawanan dengan arah aliran

Lampiran 25. Teori perhitungan analisa varians dengan metoda Yates.

Perlakuan	Respon	Kolom (1)	Kolom (2)	Kontras
(1)	(1)	$(1)+a$	$(1)+a+b+ab$	$+(1)+a+b+ab+c+ac+bc+abc$
a	a	$b+ab$	$c+ac+bc+abc$	$-(1)+a-b+ab-c+ac-bc+abc$
b	b	$c+ac$	$a-(1)+ab-b$	$-(1)-a+b+ab-c-ac+bc+abc$
ab	ab	$bc+abc$	$ac-c+abc-bc$	$+(1)-a-b+ab+c-ac-bc+abc$
c	c	$a-(1)$	$b+ab-(1)-a$	$-(1)-a-b-ab+c+ac+bc+abc$
ac	ac	$ab-b$	$bc+abc-c-ac$	$+(1)-a+b-ab-c+ac-bc+abc$
bc	bc	$ac-c$	$ab-b-a+(1)$	$+(1)+a-b-ab-c-ac+bc+abc$
abc	abc	$abc-bc$	$abc-bc-ac+c$	$-(1)+a+b-ab+c-ac-bc+abc$

Sumber variasi	dk	JK	RJK	F Hitung
Rata-rata Perlakuan	1			
A	1			
B	1			
AB	1	$JK = \frac{(\text{Kontras})^2}{B \times r}$	$RJK = JK/dk$	$F = RJK/x$
C	1			
AC	1			
BC	1			
ABC	1			
Kekeliruan	8			
Jumlah	16			

- Keterangan :
- nilai dk = 1 didapat dari (taraf - 1)
 - nilai dk = 8 didapat dari $(2^3 \times (r - 1))$
 - nilai x didapat dari hasil perhitungan pada baris kekeliruan, kolom RJK
 - nilai pada baris kekeliruan, kolom JK didapat dari selisih antara jumlah kuadraddari masing-masing data observasi dengan jumlah nilai JK
 - tiap perlakuan dinyatakan signifikan jika F hitung lebih besar dari F tabel

A. PANJANG LOMPATAN HIDROLIK (L)

Perlakuan	Q ₁		Q ₂	
	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2
h ₁	28.00	23.00	32.00	33.00
	28.50	24.00	32.50	33.50
h ₂	29.50	24.00	28.50	32.00
	28.50	24.00	28.00	32.00

$$\begin{aligned} (1) &= 28.00 + 28.50 \\ &= 56.50 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= 29.50 + 28.50 \\ &= 58.00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= 32.00 + 32.50 \\ &= 64.50 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} AB &= 28.50 + 28.00 \\ &= 56.50 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= 23.00 + 24.00 \\ &= 47.00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} AC &= 24.00 + 24.00 \\ &= 48.00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BC &= 33.00 + 33.50 \\ &= 66.50 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ABC &= 32.00 + 32.00 \\ &= 64.00 \end{aligned}$$

Perlakuan	Respon	Kolom 1	Kolom 2	Kontras
(1)	56.50	114.50	235.50	461.00
A	58.00	121.00	225.50	(8.00)
B	64.50	95.00	(6.50)	42.00
AB	56.50	130.50	(1.50)	(13.00)
C	47.00	1.50	6.50	(10.00)
AC	48.00	(8.00)	35.50	5.00
BC	66.50	1.00	(9.50)	29.00
ABC	64.00	(2.50)	(3.50)	6.00

Sumber Variasi	dk	JK	RJK	F Hitung	F Tabel
Rata-rata Perlakuan	1	13,282.563	13,282.563		
A	1	4.000	4.000	21.277	F (0.01)
B	1	110.250	110.250	586.436	= 5.32
AB	1	10.563	10.563	56.184	
C	1	6.250	6.250	33.245	
AC	1	1.563	1.563	8.311	
BC	1	52.563	52.563	279.588	F (0.05)
ABC	1	2.250	2.250	11.968	= 11.26
Kekeliruan	8	1.500	0.188	-	
Jumlah	16	13,471.500	-	-	

Keterangan : A : Tinggi pelimpah
 B : Debit aliran
 C : Sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat

B. POSISI LOMPATAN HIDROLIK (X)

Perlakuan	Q_1		Q_2	
	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2
h_1	8.00	1.00	46.50	43.00
	8.50	1.50	47.00	44.00
h_2	31.00	20.00	55.50	45.00
	30.00	20.00	55.00	44.00

Perlakuan	Respon	Kolom 1	Kolom 2	Kontras
(1)	16.50	77.50	281.50	500.00
A	61.00	204.00	218.50	101.00
B	93.50	42.50	61.50	260.00
AB	110.50	176.00	39.50	(63.00)
C	2.50	44.50	126.50	(63.00)
AC	40.00	17.00	133.50	(22.00)
BC	87.00	37.50	(27.50)	7.00
ABC	89.00	2.00)	(35.50)	(8.00)



Sumber Variasi	dk	JK	RJK	F Hitung	F Tabel
Rata-rata Perlakuan	1	15,625.000	15,625.000		
A	1	637.563	637.563	2,550.250	F (0.01)
B	1	4,225.000	4,225.000	16,900.000	= 5.32
AB	1	248.063	248.063	992.250	
C	1	248.063	248.063	992.250	
AC	1	30.250	30.250	121.000	
BC	1	3.063	3.063	12.250	F (0.05)
ABC	1	4.000	4.000	16.000	= 11.26
Kekeliruan	8	2.000	0.250	-	
Jumlah	16	21,023.000	-	-	

C. KEDALAMAN SUB KRITIS (Y_2)

Perlakuan	Q_1		Q_2	
	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2
h_1	6.25	6.55	8.00	8.00
	6.20	6.40	7.95	8.00
h_2	6.10	6.25	8.00	8.00
	6.20	6.20	8.00	8.00

Perlakuan	Respon	Kolom 1	Kolom 2	Kontras
(1)	12.45	24.75	56.70	114.10
A	12.30	31.95	57.40	(0.60)
B	15.95	25.40	(0.10)	13.80
AB	16.00	32.00	(0.50)	0.70
C	12.95	(0.15)	7.20	0.70
AC	12.45	0.05	6.60	(0.40)
BC	16.00	(0.50)	0.20	(0.60)
ABC	16.00	0.00	0.50	0.30

Sumber Variasi	dk	JK	RJK	F Hitung	F Tabel
Rata-rata Perlakuan	1	813.676	813.676		
A	1	0.023	0.023	11.250	F (0.01)
B	1	11.902	11.902	5,951.250	= 5.32
AB	1	0.031	0.031	15.312	
C	1	0.031	0.031	15.312	
AC	1	0.010	0.010	5.000	
BC	1	0.023	0.023	11.250	F (0.05)
ABC	1	0.006	0.006	2.813	= 11.26
Kekeliruan	8	1.500	0.188	-	
Jumlah	16	825.720	-	-	

Lampiran 27. Perhitungan Persamaan Pi Buckingham

Dalam membuat persamaan Pi Buckingham diambil asumsi faktor-faktor yang mempengaruhi variabel yang dicari.

A. POSISI LOMPATAN (X)

Faktor-faktor yang mempengaruhi :

1. Kedalaman superkritis, y_1 (L)
2. Kecepatan superkritis, v_1 (LT^{-1})
3. Tinggi pelimpah, h (L)
4. Percepatan gravitasi, g (LT^{-2})
5. Sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran, θ

Karena sudut saluran pelimpah tidak mempunyai dimensi, maka untuk perhitungan dianggap 1 (satu).

$$x = f(y_1, v_1, h, g, \theta)$$

$$C_x (x)^{C_1} (y_1)^{C_2} (v_1)^{C_3} (h)^{C_4} (g)^{C_5} (\theta)^{C_6} = 0 \quad (6)$$

$$(L)^{C_1} (L)^{C_2} (LT^{-1})^{C_3} (L)^{C_4} (LT^{-2})^{C_5} = 1$$

Setiap unit dimensi disatukan sehingga :

$$L : C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 = 0 \quad (6.1)$$

$$T : -C_3 - 2C_5 = 0 \quad (6.2)$$

diambil C_2 dan C_3 agar determinan matrik yang terbentuk tidak sama dengan nol.

$$\begin{bmatrix} & C_2 & C_3 \\ L & 1 & 1 \\ & & \\ & & \\ T & 0 & -1 \end{bmatrix} \neq 0$$

Jumlah Pi Buckingham yang dicari $(6 - 2) = 4$

Untuk Pi (satu) :

$$C_1 = 1$$

$$C_4 = 0$$

$$C_5 = 0$$

Nilai-nilai C_1 , C_4 , dan C_5 dimasukan ke persamaan (6.1) dan persamaan (6.2), sehingga diperoleh :

$$C_2 = -1$$

$$C_3 = 0$$

Nilai C keseluruhan dimasukan ke persamaan (6), sehingga didapatkan :

$$Pi \text{ (satu)} = x/y_1$$

Selanjutnya untuk Pi (dua) :

$$C_1 = 0$$

$$C_4 = 1$$

$$C_5 = 0$$

Nilai-nilai C_1 , C_4 , dan C_5 dimasukan ke persamaan (6.1) dan persamaan (6.2), sehingga diperoleh :

$$C_2 = -1$$

$$C_3 = 0$$

Nilai C keseluruhan dimasukan ke persamaan (6), sehingga didapatkan :

$$Pi \text{ (dua)} = h/y_1$$

Untuk $Pi \text{ (tiga)}$:

$$C_1 = 0$$

$$C_4 = 0$$

$$C_5 = 1$$

Nilai-nilai C_1 , C_4 , dan C_5 dimasukan ke persamaan (6.1) dan persamaan (6.2), sehingga diperoleh :

$$C_2 = 1$$

$$C_3 = -2$$

Nilai C keseluruhan dimasukan ke persamaan (6), sehingga didapatkan :

$$Pi \text{ (tiga)} = gy_1/v_1^2$$

Untuk $Pi \text{ (empat)}$ diambil variabel yang tidak berdimensi, sehingga persamaan Pi Buckingham adalah :

$$x/y_1 = \emptyset(h/y_1, gy_1/v_1^2, \emptyset)$$

Karena bilangan Froude, F adalah

$$F = v/(gy)^{1/2}$$

maka $Pi \text{ (tiga)}$ dapat diganti oleh F_1^{-2} , sehingga persamaan Pi Buckingham menjadi :

$$x/y_1 = \emptyset(h/y_1, F_1^{-2}, \theta)$$

B. PANJANG LOMPATAN (L)

Faktor-faktor yang mempengaruhi :

1. Kedalaman superkritis, y_1 (L)
2. Kecepatan superkritis, v_1 (LT^{-1})
3. Tinggi pelimpah, h (L)
4. Percepatan gravitasi, g (LT^{-2})
5. Sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran, θ

Dengan cara yang sama seperti pada point (A), didapatkan persamaan Pi Buckingham :

$$L/y_1 = \emptyset(h/y_1, F_1^{-2}, \theta)$$

C. TINGGI SUBKRITIS (y_2)

Faktor-faktor yang mempengaruhi :

1. Kedalaman superkritis, y_1 (L)
2. Kecepatan superkritis, v_1 (LT^{-1})
3. Tinggi pelimpah, h (L)
4. Percepatan gravitasi, g (LT^{-2})
5. Sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran, θ

Dengan cara yang sama seperti pada point (A), didapatkan persamaan Pi Buckingham :

$$y_2/y_1 = \emptyset(h/y_1, F_1^{-2}, \theta)$$

Lampiran 28. Tabel hasil perhitungan untuk model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 90 derajat, dan berbagai perubahan tinggi.

Perubahan tinggi H_n	Debit per sat. Lebar q (cm ² /s)	x/y_1	y_2/y_1	L/y_1	y_p/h	L_d/h	y_2/h	$1/F_1^2$	D	$(E_1-E_2)/E_1$ (%)
H17	140.450	1.379	8.828	31.724	0.324	0.735	0.376	0.0189	0.004097	49.55
	156.975	1.875	8.000	30.625	0.353	0.765	0.376	0.0204	0.005117	41.94
	174.600	17.045	7.727	29.545	0.365	0.765	0.400	0.0219	0.006331	41.35
	193.350	22.449	7.143	27.041	0.382	0.824	0.412	0.0247	0.007764	38.15
	213.275	26.050	5.882	23.109	0.400	0.824	0.412	0.0363	0.009447	33.48
	234.375	29.804	5.804	23.529	0.441	0.853	0.435	0.0370	0.011409	32.88
	256.675	28.571	5.714	22.857	0.482	0.853	0.471	0.0408	0.013683	34.60
	275.400	29.054	5.405	22.297	0.529	0.824	0.471	0.0419	0.015752	30.57
	305.000	26.875	5.250	20.625	0.600	0.824	0.494	0.0432	0.019320	29.04

Lanjutan ...

Perubahan tinggi Hn	Debit per sat. Lebar q (cm ² /s)	x/y ₁	y ₂ /y ₁	L/y ₁	y _p /h	L _d /h	y ₂ /h	1/F ₁ ²	D	(E ₁ -E ₂)/E ₁ (%)
H ₂ O	140.450	3.760	6.160	23.260	0.319	0.785	0.308	0.0497	0.002516	50.39
	156.975	15.523	5.793	24.261	0.292	0.864	0.322	0.0544	0.003143	46.62
	174.600	18.192	5.608	24.542	0.294	0.930	0.337	0.0555	0.003888	43.62
	193.350	26.062	5.385	27.438	0.309	0.985	0.350	0.0576	0.004768	40.42
	213.275	24.043	5.106	25.887	0.343	0.968	0.360	0.0604	0.005802	36.54
	234.375	24.797	5.000	25.203	0.358	0.975	0.370	0.0578	0.007007	33.18
	256.675	23.016	4.825	20.825	0.368	1.000	0.380	0.0581	0.008403	30.20
	275.400	24.239	4.716	18.866	0.443	0.915	0.395	0.0607	0.009674	29.46
	305.000	24.725	4.615	17.033	0.500	0.900	0.420	0.0635	0.011865	28.85

Lanjutan ...

Perubahan tinggi Hh	Debit per sat. Lebar q (cm ² /s)	x/y1	y2/y1	L/y1	yp/h	Ld/h	y2/h	1/F1 ²	D	(E1-E2)/E1 (%)
H25	140.450	20.000	6.200	24.000	0.240	0.640	0.248	0.0497	0.001288	51.24
	156.975	21.364	5.909	25.455	0.248	0.740	0.260	0.0529	0.001609	47.92
	174.600	28.980	5.469	24.082	0.264	0.760	0.268	0.0591	0.001991	43.13
	193.350	28.889	5.185	22.222	0.280	0.760	0.280	0.0645	0.002441	40.38
	213.275	27.241	4.897	20.690	0.292	0.760	0.284	0.0657	0.002971	35.07
	234.375	25.478	4.650	19.108	0.292	0.800	0.292	0.0690	0.003587	31.71
	256.675	23.529	4.412	17.941	0.328	0.820	0.300	0.0731	0.004303	28.70
	275.400	25.000	4.444	17.778	0.340	0.840	0.320	0.0754	0.004953	30.11
	305.000	24.615	4.205	17.949	0.360	0.840	0.328	0.0781	0.006075	26.45

Lampiran 29. Tabel hasil perhitungan untuk model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 60 derajat, dan berbagai perubahan tinggi.

Perubahan tinggi H_n	Debit per sat. Lebar q (cm ² /s)	x/y_1	y_2/y_1	L/y_1	$1/F_1^2$	$(E_1-E_2)/E_1$ (%)
H17	73.725	(2.222)	11.556	46.667	0.0164	80.95
	85.050	(1.400)	10.800	44.000	0.0169	71.37
	110.675	(1.138)	9.431	39.024	0.0186	57.01
	125.050	(0.735)	8.824	38.235	0.0197	51.44
	140.450	2.597	7.792	35.065	0.0227	43.62
	156.975	14.286	7.738	33.929	0.0236	44.50
	174.600	25.000	7.283	31.522	0.0250	40.59
	193.350	37.000	7.000	30.000	0.0262	38.43
	213.275	40.000	6.545	29.091	0.0287	35.33
	234.375	38.525	6.148	26.230	0.0324	33.75
	256.675	35.926	5.630	22.963	0.0366	30.05
	275.400	34.483	5.379	21.379	0.0394	28.51

Lanjutan ...

Perubahan tinggi H_n	Debit per sat. Lebar q (cm ² /s)	x/y_1	y_2/y_1	L/y_1	$1/F_1^2$	$(E_1-E_2)/E_1$ (%)
H ₂ O	73.725	(3.067)	13.600	56.000	0.0095	68.62
	85.050	(2.222)	12.000	48.889	0.0123	66.82
	110.675	(1.379)	9.793	41.379	0.0156	52.55
	125.050	3.125	9.219	40.625	0.0164	47.89
	140.450	7.676	8.521	39.014	0.0178	42.87
	156.975	20.903	8.194	36.516	0.0185	40.55
	174.600	44.706	7.941	34.118	0.0197	39.99
	193.350	43.053	7.526	30.737	0.0225	39.72
	213.275	39.489	6.213	25.362	0.0350	37.24
	234.375	38.275	5.922	23.137	0.0370	34.66
	256.675	36.739	5.543	20.652	0.0391	30.67
	275.400	34.933	5.200	18.867	0.0436	28.57



Lanjutan ...

Perubahan Tinggi H_n	Debit per sat. Lebar q (cm ² /s)	x/y_1	y_2/y_1	L/y_1	$1/F_1^2$	$(E_1-E_2)/E_1$ (%)
H25	73.725	(2.500)	13.000	52.500	0.0115	74.96
	85.050	(1.333)	12.000	50.000	0.0123	71.37
	110.675	9.009	10.450	45.045	0.0137	56.24
	125.050	24.000	9.600	41.600	0.0153	50.25
	140.450	37.681	8.986	36.232	0.0163	45.12
	156.975	53.289	8.553	33.553	0.0175	43.03
	174.600	55.152	8.121	31.515	0.0181	38.16
	193.350	51.667	7.778	32.222	0.0191	36.07
	213.275	46.500	7.300	30.000	0.0215	33.76
	234.375	45.455	6.818	27.273	0.0237	32.74
	256.675	42.400	6.000	23.200	0.0291	28.60
	275.400	37.857	5.714	20.714	0.0355	30.35

Lampiran 30. Tabel hasil perhitungan untuk model bangunan pelimpah dengan sudut saluran pelimpah terhadap dasar saluran segi empat sebesar 45 derajat, dan berbagai perubahan tinggi.

Perubahan tinggi H_n	Debit per sat. Lebar q (cm^2/s)	x/y_1	y_2/y_1	L/y_1	$1/F_1^2$	$(E_1-E_2)/E_1$ (%)
H17	63.350	(5.882)	11.765	42.353	0.0187	95.79
	73.725	(4.167)	11.042	42.708	0.0199	87.92
	110.675	(1.538)	8.923	40.000	0.0220	58.66
	140.450	10.000	7.750	35.000	0.0254	48.03
	156.975	24.000	8.800	38.667	0.0168	43.77
	173.600	30.688	7.196	32.804	0.0274	42.99
	193.350	38.095	6.667	30.476	0.0303	39.04
	213.275	37.004	6.256	28.634	0.0315	34.38
	234.375	35.887	6.048	26.210	0.0340	33.87
	266.750	33.577	5.693	23.723	0.0354	30.03
	275.400	32.404	5.575	22.300	0.0382	30.46

Lanjutan ...

Perubahan tinggi H_n	Debit per sat. Lebar q (cm ² /s)	x/y_1	y_2/y_1	L/y_1	$1/F_1^2$	$(E_1-E_2)/E_1$ (%)
H20	63.350	(5.375)	12.125	46.250	0.0156	86.05
	73.725	(4.396)	11.209	43.956	0.0170	77.96
	110.675	(2.083)	9.583	42.500	0.0173	55.11
	140.450	14.085	8.873	38.028	0.0178	47.22
	156.975	23.457	7.963	35.802	0.0211	42.98
	173.600	38.857	7.543	36.571	0.0218	38.76
	193.350	42.632	7.158	31.053	0.0225	35.08
	213.275	37.662	6.234	25.541	0.0332	35.80
	234.375	36.400	5.920	23.200	0.0348	32.77
	266.750	34.058	5.435	21.014	0.0362	27.08
	275.400	33.898	5.424	18.983	0.0415	30.56

Lanjutan ...

Perubahan tinggi H_n	Debit per sat. Lebar q (cm ² /s)	x/y_1	y_2/y_1	L/y_1	$1/F_1^2$	$(E_1-E_2)/E_1$ (%)
H25	63.350	(5.556)	10.667	44.444	0.0223	90.21
	73.725	(2.885)	9.808	39.423	0.0254	84.05
	110.675	3.571	8.286	41.429	0.0274	60.71
	140.450	25.455	7.515	35.758	0.0279	48.62
	156.975	36.667	7.222	34.444	0.0290	45.70
	173.600	42.268	6.907	30.928	0.0297	41.80
	193.350	36.607	6.250	26.786	0.0368	39.71
	213.275	35.000	6.000	25.417	0.0372	36.09
	234.375	32.593	5.556	22.222	0.0439	34.33
	266.750	32.095	5.270	19.595	0.0446	30.28
	275.400	32.581	5.161	18.387	0.0481	30.64

DAFTAR PUSTAKA

- Anton Dajan. 1978. Pengantar Metode Statistik. Jilid I. LP3ES. Jakarta.
- Chow, V. T. 1959. Open Channel Hydraulics (Terjemahan). McGraw-Hill Book Company, New York-Toronto-London.
- Giles, Ronald V. 1977. Fluid Mechanics and Hydraulics. McGraw-Hill, Inc., Singapore.
- Iman Subarkah. 1980. Hidrologi Untuk Perencanaan Bangunan Air. Idea Dharma, Bandung.
- Joyce, Marta dan Wanny Adidarma. 1982. Mengenal Dasar-dasar Hidrologi. Nova, Bandung.
- Murphy, Glenn H. 1950. Similitude in Engineering. The Ronald Press Company, New York.
- Raju, R. K. G., 1981. Flow Through Open Channel (Terjemahan). McGraw-Hill Publishing Company Limited, New York.
- Schwab, G. O., R. K. Frevert, T. W. Edminster, 1981. Soil and Water Conservation Engineering. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Sudjana. 1988. Disain dan Analisis Eksperimen. Tarsito, Bandung.
- Suyono Sosrodarsono dan Takeda. 1977. Bendungan Tipe Urugan. Pradnya Paramita, Jakarta.