

TUGAS AKHIR

TELAAH PERBANDINGAN TILTING FLUME DALAM PENGOPERASIAN BEBERAPA MODEL BANGUNAN AIR



Oleh :

Nama : Budi Irawan
No. Mhs. : 92 310 006
NIRM. : 920051013114120006

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2000**

**TUGAS AKHIR
TELAAH PERBANDINGAN TILTING FLUME
DALAM PENGOPERSIASAN BEBERAPA
MODEL BANGUNAN AIR**

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh
derajat Sarjana Teknik Sipil**

Oleh :

**Nama : Budi Irawan
No. Mhs. : 92 310 006
Nirm. : 920051013114120006**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2000**

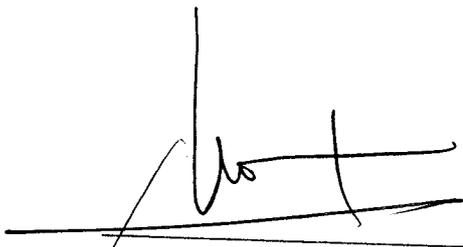
TUGAS AKHIR
TELAAH PERBANDINGAN TILTING FLUME
DALAM PENGOPERSIASIAN BEBERAPA
MODEL BANGUNAN AIR

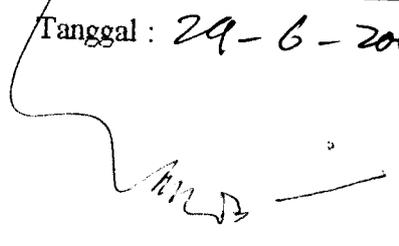
Nama : Budi Irawan
No. Mhs. : 92 310 006
Nirm. : 920051013114120006

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. Lalu Makrup, MT
Dosen Pembimbing I

Ir. Harbi Hadi, MT
Dosen Pembimbing II


Tanggal : 29-6-2008


Tanggal : 28 06 2000

PERSEMBAHAN

“Ya Allah aku mohon cinta-Mu dan cinta orang-orang yang mencintai-Mu
serta amalan yang dapat mendekatkanku pada cinta-Mu”

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan segala kerendahan hati dan atas kekurangan diriku, kupersembahkan tulisan ini kepada :

1. Baginda Rasulullah saw., atas ridha dan bantuan engkau hamba dapat melaksanakan amanah yang diberikan
2. Yang Mulia Syaikh Abdul Qadir Jailani ra., atas berkah engkau tugas-tugasku dapat diselesaikan
3. Yang Mulia Habib Abdullah bin Alawi Al Haddad, pemilik ratib Al-Haddad, Yang Mulia Syaikh Abdul Wahab Rokan Al-Khalidi An-Naksyabandi, pembimbing jalan keselamatan, atas berkah engkau tugas ini dapat terselesaikan
4. Yang Mulia Ayahnda HR Sumadiyono, BE. dan Ibunda Hj. Mashlaidar, atas do'a, ridha, kasih sayang, semangat serta nafkah yang dicurahkan kepadaku sampai aku dapat menyelesaikan pendidikanku dan aku merasa tak kan pernah cukup memberikan balasan bagi beliau berdua
5. Mereka yang kucintai kakakku Lioni Utami dan adikku Liana Sari, do'a dan kritikan kalian mengena pada sasaran semoga Allah meridhai apa yang kalian lakukan

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alaikum wr. wb.

Alhamdulillah. Shalawat serta salam dihaturkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad saw. juga kepada keluarga dan sahabat-sahabatnya.

Tugas Akhir (TA) ini merupakan tugas yang wajib dilakukan oleh setiap mahasiswa untuk memperoleh derajat kesarjanaan strata satu Sarjana Teknik Sipil. Judul TA ini adalah Telaah Perbandingan Tilting Flume Dalam Pengoperasian Beberapa Model Bangunan Air. *Tilting flume* yang dibandingkan adalah *tilting flume* milik Laboratorium Hidrolika FTSP UII dengan *tilting flume* yang dimiliki Laboratorium Hidrolika PAU UGM.

Mengapa hal tersebut diambil sebagai judul TA, karena *tilting flume* yang ada pada fasilitas Laboratorium Hidrolika FTSP UII dibuat oleh Laboratorium Hidrolika PAU UGM sedangkan *tilting flume* milik Laboratorium Hidrolika PAU UGM dibuat oleh pabrik. Selain itu saluran yang dimiliki Laboratorium Hidrolika FTSP UII belum memiliki angka koreksi.

Pengambilan data percobaan dimulai pada bulan Nopember 1999 setelah melaksanakan seminar proposal.

Penelitian ini dapat terlaksana atas bantuan banyak pihak. Tidak lupa diucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. H. Widodo, MSCE. Ph. D., Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia

2. Bapak Ir. H. Tadjuddin BM Aris, MS., Ketua Jurusan Teknik Sipil FTSP Universitas Islam Indonesia
3. Bapak Ir. Lalu Makrup, MT., Dosen Pembimbing I
4. Bapak Ir. Harbi Hadi, MT., Dosen Pembimbing II
5. Bapak Ir. Bambang Sulistiyono, MSCE., undangan seminar proposal TA atas masukan yang diberikan
6. Ibu Ir. Endang Tantrawati , MT., undangan seminar proposal TA atas saran dan perhatian yang diberikan
7. Ibu Ir. Sri Amini YA, MT., undangan seminar proposal TA atas saran dan perhatian yang diberikan
8. Bapak Darusdi, pegawai Laboratorium Hidrolika FTSP UII atas bantuan tenaga saat pelaksanaan percobaan
9. Teman-teman yang konsern dalam penyusunan penelitian ini : Mimi, Fitian, Fatkhurrohman, Ken Pungki PW, Ken Andree, Ken Broto, Amir Wiratama, Edlin Lia YP, Elli Rahasia Hati, Wira Pris, Nunung, Aan-Firdaus-Widodo Dayu, Jimmy-Lies-Nana, Bang Zen Aidid (Sang Pencetus) serta semua teman-teman B2 '92.

Akhir kata semoga Allah melimpahkan balasan atas bantuan yang diberikan dalam penyusunan tugas ini.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Penyusun

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PERSETUJUAN | ii |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | iii |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR TABEL | x |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiv |
| DAFTAR NOTASI | xvi |
| INTISARI | xvii |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.3 Manfaat Penelitian | 2 |
| 1.4 Batasan Penelitian | 2 |
| | |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1 Umum | 4 |
| 2.2 Hasil Penelitian Adiantara (1993) | 4 |
| 2.3 Persamaan Aliran dari Manual Bahan Pelatihan Oleh Nizam (1996) | 8 |
| 2.4 Hasil Kajian Debit Oleh Isbandi dan Heru (1997) | 8 |
| | |
| BAB III LANDASAN TEORI | |
| 3.1 Teori Dasar | 11 |
| 3.1.1 Persamaan Kontinuitas | 11 |
| 3.1.2 Persamaan Energi | 11 |

| | |
|---|----|
| 3.1.3 Persamaan Momentum | 13 |
| 3.2 Bilangan Froude Kritis | 15 |
| 3.3 Energi Aliran pada Ambang di Saluran Tampang Empat Persegi | 16 |
| 3.4 Loncatan Hidrolik | 18 |
| 3.5 Aliran Modular/Bebas dan Aliran Menyelam | 19 |
| 3.6 Koefisien Debit | 19 |
| 3.7 Rumus Pengaliran pada Bangunan Air di Saluran Terbuka | 20 |
| 3.7.1 Pintu Sorong (Sluice Gate) | 20 |
| 3.7.2 Pelimpah Ambang Tajam (Sharp Crested Weir) ... | 22 |
| 3.7.3 Pelimpah Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan (Round - Nosed Broad Crested Weir) | 24 |
| 3.8 Aliran Melalui Sistem Pipa | 26 |
| 3.8.1 Persamaan Tahanan Gesek Pipa | 26 |
| 3.8.2 Sistem Pemipaan | 27 |

BAB IV METODE PENELITIAN

| | |
|--|----|
| 4.1 Umum | 29 |
| 4.2 Pengoperasian Alat | 29 |
| 4.3 Perlengkapan Tambahan | 35 |
| 4.4 Model Percobaan | 36 |
| 4.5 Peletakan Model pada Saluran | 39 |
| 4.6 Penggunaan Bahan Pencegah Rembesan Air | 40 |
| 4.7 Perlakuan Penelitian | 40 |
| 4.8 Jenis Percobaan | 40 |
| 4.9 Prosedur Percobaan | 41 |

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

| | |
|--|----|
| 5.1 Umum | 46 |
| 5.2 Penentuan Kondisi Aliran dan Batas Modular | 46 |

| | |
|--|----|
| 5.3 Pembahasan Penelitian Pintu Sorong | 47 |
| 5.4 Pembahasan Penelitian Ambang Segi Empat | 51 |
| 5.5 Pembahasan Penelitian Ambang Segi Tiga | 57 |
| 5.6 Pembahasan Penelitian Amabang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan | 62 |
| 5.7 Angka Froude Aliran | 68 |
| 5.8 Loncatan Hidrolik | 69 |
| 5.9 Unjuk Kerja Tilting Flume | 70 |
| 5.9.1 Saluran | 71 |
| 5.9.2 Pompa Air dan Water Tower | 73 |
| 5.9.3 Piezometer dan Point Gauge | 75 |
| 5.9.4 Sistem Outlet | 76 |
| 5.10 Letak Water Tower | 80 |
| 5.11 Pengukuran Debit dan Tangki Penampungan | 83 |
| 5.12 Kesulitan yang dihadapi Adiantara | 84 |

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

| | |
|----------------------|----|
| 6.1 Kesimpulan | 85 |
| 6.2 Saran | 86 |

| | |
|----------------------|----|
| PENUTUP | 88 |
|----------------------|----|

| | |
|-----------------------------|----|
| DAFTAR PUSTAKA | 89 |
|-----------------------------|----|

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 4.1. Bagian-bagian utama <i>tilting flume</i> | 34 |
| Tabel 4.2. Perlengkapan tambahan | 36 |
| Tabel 4.3. Model bangunan air | 39 |
| Tabel 5.1. Perhitungan Koefisien debit dan energi spesifik aliran pada Pintu Sorong..... | 50 |
| Tabel 5.2. Hubungan Q dan $h_1^{3/2}$ Ambang Segi Empat | 51 |
| Tabel 5.3. Hubungan Cd dan h_1 data percobaan Ambang Segi Empat..... | 53 |
| Tabel 5.4. Data log Q dan log h Ambang Segi Empat..... | 55 |
| Tabel 5.5. Hubungan antara $h^{5/2}$ dan Q Ambang Segi Tiga | 58 |
| Tabel 5.6. Hubungan log Q dan log h Ambang Segi Tiga | 59 |
| Tabel 5.7. Hubungan Cd dan h_1 Ambang Segi Tiga | 60 |
| Tabel 5.8. Hubungan antara Q dan $H^{1.5}$ pada Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan | 62 |
| Tabel 5.9. Hubungan log Q dan log H Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan | 65 |
| Tabel 5.10. Hubungan Cd dan H pada Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan | 66 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 3.1. Pipa aliran | 13 |
| Gambar 3.2. Sketsa gaya-gaya pada aliran | 14 |
| Gambar 3.3. Aliran melalui ambang | 16 |
| Gambar 3.4. Hubungan antara F_1 dan h_2/h_1 untuk saluran empat persegi .. | 18 |
| Gambar 3.5. Aliran melalui Pinru Sorong | 21 |
| Gambar 3.6. Aliran melalui Ambang Tajam | 22 |
| Gambar 3.7. Aliran melalui Ambang Lebar | 25 |
| Gambar 3.8. Pipa dengan pompa | 27 |
| | |
| Gambar 4.1. Tilting flume dengan bagian-bagian utamanya | 31 |
| Gambar 4.2. Jaringan pipa pemberi <i>tilting flume</i> | 32 |
| Gambar 4.2. Pelat Pembendungan | 33 |
| Gambar 4.4. Pintu Sorong | 37 |
| Gambar 4.5. Ambang Tajam Segi Empat dan Ambang Tajam Segi Tiga .. | 38 |
| Gambar 4.6. Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan | 38 |
| | |
| Gambar 5.1. Grafik hubungan antara Cd_{ukur} dan hg/h_1 Pintu Sorong | 49 |
| Gambar 5.2. Grafik hubungan energi dengan tinggi muka air Pintu Sorong | 50 |
| Gambar 5.3. Aliran di hulu dan hilir Pintu Sorong | 51 |
| Gambar 5.4. Hubungan antara Q dan $h^{3/2}$ pada Ambang Tajam Segi Empat | 52 |
| Gambar 5.5. Grafik hubungan antara Cd dan h data percobaan pada Ambang Tajam Segi Empat | 54 |
| Gambar 5.6. Ambang Tajam Segi Empat dan Ambang Tajam Segi Tiga | 54 |

| | |
|---|----|
| Gambar 5.7. Grafik hubungan Q dan h pada Ambang Tajam Segi Empat | 55 |
| Gambar 5.8. Hubungan log Q dan log h pada Ambang Tajam Segi Empat | 56 |
| Gambar 5.9. Percobaan Ambang Tajam Segi Empat | 57 |
| Gambar 5.10. Grafik hubungan $h^{5/2}$ dan Q pada Ambang Tajam Segi Tiga | 58 |
| Gambar 5.11. Grafik hubungan Q dan h pada Ambang Tajam Segi Tiga .. | 59 |
| Gambar 5.12. Grafik hubungan log Q dan log h pada Ambang Tajam Segi Tiga | 60 |
| Gambar 5.13. Hubungan Cd dan h pada Ambang Tajam Segi Tiga | 61 |
| Gambar 5.14. Percobaan pada Ambang Tajam Segi Tiga | 61 |
| Gambar 5.15. Hubungan Q dan $H^{1.5}$ Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan | 63 |
| Gambar 5.16. Hubungan Q dan H Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan | 64 |
| Gambar 5.17. Hubungan log Q dan log H pada Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan | 65 |
| Gambar 5.18. Grafik hubungan Cd dan H Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan | 67 |
| Gambar 5.19. Aliran pada Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan saat pelat pembendungan tidak dinaikkan | 67 |
| Gambar 5.20. Aliran pada Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan saat pelat pembendungan dinaikkan | 68 |
| Gambar 5.21. Hubungan h_2/h_1 Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan | 70 |
| Gambar 5.22. Alat pengatur kemiringan | 72 |
| Gambar 5.23. Bak resource sekaligus bak tampung di ujung kanan <i>tilting flume</i> | 74 |
| Gambar 5.24. Water Tower dengan pipa aliran | 76 |
| Gambar 5.25. Bagian pembuangan (outlet) <i>tilting flume</i> dengan pelat pembendungan yang belum dipotong dan bak penampungan | 77 |

| | |
|--|----|
| Gambar 5.26. Pelat pembendungan setelah dipotong 2,5 cm | 78 |
| Gambar 5.27. Bagian buang tilting flume dengan pelat pembendungan yang telah dipotong | 79 |
| Gambar 5.28. Skema kehilangan tenaga pada pemipaan fasilitas <i>tilting flume</i> | 81 |

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Data pengujian aliran melalui Pintu Sorong dengan menggunakan pompa.
- Lampiran 2. Data pengujian aliran melalui Pintu Sorong dengan menggunakan water tower.
- Lampiran 3. Data pengujian aliran melalui Ambang Tajam Segi Empat dengan menggunakan pompa.
- Lampiran 4. Data pengujian aliran melalui Ambang Tajam Segi Empat dengan menggunakan water tower.
- Lampiran 5. Data pengujian aliran melalui Ambang Tajam Segi Tiga dengan menggunakan pompa.
- Lampiran 6. Data pengujian aliran melalui Ambang Tajam Segi Tiga dengan menggunakan water tower.
- Lampiran 7. Data pengujian aliran melalui Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan menggunakan pompa.
- Lampiran 8. Data pengujian aliran melalui Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan menggunakan water tower.
- Lampiran 9. Grafik hubungan C_d dengan h_0/h_1 serta hubungan E dengan h_1 Pintu Sorong pada percobaan Adiantara.
- Lampiran 10. Grafik hubungan Q dan $h^{3/2}$ Ambang Tajam Segi Empat dan Q dengan $h^{5/2}$ *v-notch* pada percobaan Adiantara.
- Lampiran 11. Grafik hubungan Q dan h Ambang Tajam Segi Empat dan *V-notch* pada percobaan Adiantara.
- Lampiran 12. Grafik hubungan $\log Q$ dan $\log h$ Ambang Tajam Segi Empat dan *V-notch* pada percobaan Adiantara.
- Lampiran 13. Grafik hubungan C_d dan h Ambang Tajam Segi Empat dan *V-notch* pada percobaan Adiantara.
- Lampiran 14. Grafik hubungan Q dan $H^{1,5}$ serta hubungan Q dan H Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan pada percobaan Adiantara.

- Lampiran 15. Grafik hubungan $\log Q$ dan $\log H$ serta hubungan C_d dan H Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan pada percobaan Adiantara.
- Lampiran 16. Grafik hubungan F_1 dan h_2/h_1 Loncat Air pada percobaan Adiantara.
- Lampiran 17. Data baru pengujian Pintu Sorong.
- Lampiran 18. Data baru pengujian Ambang Tajam Segi Empat.
- Lampiran 19. Data baru pengujian Ambang Tajam Segi Tiga.
- Lampiran 20. Data baru pengujian Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan.
- Lampiran 21. Olah data Pintu Sorong.
- Lampiran 22. Tabel dan hitungan Pintu Sorong pada percobaan Adiantara.
- Lampiran 23. Olah data Ambang Tajam Segi Empat.
- Lampiran 24. Tabel dan hitungan percobaan Ambang Tajam Segi Empat Adiantara.
- Lampiran 25. Olah data Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan.
- Lampiran 26. Tabel dan Hitungan Percobaan Ambang Tajam Segi Tiga Adiantara.
- Lampiran 27. Olah data Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan.
- Lampiran 28. Tabel data dan hitungan percobaan Ambang Lebar Adiantara.
- Lampiran 29. Tabel kesaksamaan pengukuran C_d Ambang Lebar Adiantara.
- Lampiran 30. Contoh hitungan kehilangan tenaga pemipaan water tower.

DAFTAR NOTASI

| | |
|------------|--|
| Q | = Debit (m^3/d) |
| A | = Luas tampang (m^2) |
| v | = Kecepatan aliran (m/d) |
| H | = Tinggi tekanan efektif (total head) (m) |
| p | = Tekanan fluida (kgf/m^2) |
| F | = Gaya tekan (kgf) |
| g | = Percepatan gravitasi (m^2/d) |
| ρ | = Massa jenis (kg/m^3) |
| γ | = Berat jenis (T/m^3) |
| E | = Energi spesifik (m) |
| B | = Lebar saluran (m) |
| h | = Kedalaman aliran (m) |
| h_c | = Kedalaman kritik aliran (m) |
| E_c | = Energi kritik (m) |
| q | = Debit aliran per satuan lebar $m^3/d/m'$ |
| Fr | = Angka Froude (tanpa satuan) |
| C_d | = Koefisien debit (tanpa satuan) |
| C_c | = Koefisien kontraksi (tanpa satuan) |
| H_s | = Tinggi static fluida (m) |
| h_f | = Tinggi kehilangan tenaga (m) |
| f | = Koefisien gesekan (tanpa satuan) |
| Re | = Angka Reynolds (tanpa satuan) |
| ν (nu) | = Kekentalan kinematik (m^2/d) |
| D | = Daya ($kgf m/d$) atau (hp) |
| w | = Tinggi ambang (m) |
| L | = Panjang Ambang (m) |
| η | = efisiensi (pompa) (%) |

INTISARI

Fasilitas utama yang dimiliki Laboratorium Hidrolika FTSP UII adalah saluran multi guna *tilting flume*. Saluran ini dibuat oleh Laboratorium Hidrolika PAU UGM sedangkan *tilting flume* milik PAU UGM sendiri adalah buatan pabrik dengan kemampuan dan kapasitas yang lebih besar dari fasilitas serupa yang dimiliki FTSP UII. Kinerja *tilting flume* milik FTSP UII dibandingkan dengan kinerja *tilting flume* milik PAU UGM yang diperoleh dari hasil penelitian Sabka Adiantara (1993).

Penelitian Adiantara tentang kinerja saluran multi guna *tilting flume* juga dilengkapi dengan rumus pengaliran, angka froude serta energi aliran pada model yang diujikan. Grafik rumus pengaliran yang diperoleh dari percobaannya mendekati grafik dari rumus pengaliran menurut standar (Reginald W Herschy).

Percobaan pada fasilitas *tilting flume* milik FTSP UII ini tidak jauh berbeda dengan fasilitas yang dimiliki PAU UGM. Hal ini terlihat pada kesulitan pengaturan tinggi muka air hulu saluran pada setiap model bangunan air yang diujikan. Selain itu keadaan fisik *tilting flume* tidaklah presisi yang dapat dilihat pada dasar setiap sambungan pias saluran. Sambungan-sambungan ini memiliki ketidakrataan hingga 0,5 cm. Perbedaan tinggi ruang antara rel point gauge dengan bibir saluran juga hingga 0,5 cm. Penggunaan water tower sangat membantu dalam mengatur tinggi muka aliran hulu model.

Dari kesaksamaan pengukuran diperoleh angka koreksi koefisien debit pada model yaitu dengan membandingkan hasil pengukuran pada percobaan ini dengan pengukuran yang dilakukan Adiantara. Angka koreksi koefisien debit untuk Pintu Sorong adalah 0,98903, untuk Ambang Tajam Segi Empat 1,019994 dan 1,02 untuk Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan. Grafik percobaan ini memperlihatkan trend garis yang sama dengan trend garis yang diperoleh Adiantara.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Laboratorium Hidrolika merupakan salah satu laboratorium yang ada di lingkungan Universitas Islam Indonesia. Laboratorium ini dikelola oleh Jurusan Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Fasilitas yang tersedia pada laboratorium ini salah satunya adalah saluran percobaan serba guna *Glass Sided Tilting Flume*. Selanjutnya saluran ini disebut sebagai tilting flume saja yang menjadi inti bahasan tugas akhir ini.

Peralatan ini memiliki beberapa kemudahan dalam pengopereasiannya. Kemudahan dari alat ini adalah air dapat dialirkan secara terus menerus dengan debit yang dapat diatur. Kemiringan saluran juga dapat diatur sesuai kebutuhan dan saluran yang tembus pandang sehingga aliran pada saluran mudah untuk diamati. Peralatan ini dilengkapi dengan beberapa model bangunan air.

Fasilitas *tilting flume* yang dimiliki oleh UII telah beberapa kali dipakai untuk pelaksanaan praktikum dan penelitian Tugas Akhir bagi mahasiswa sejak tahun 1997 hingga sekarang.

Hal yang menarik adalah *tilting flume* ini bukan buatan pabrik tetapi dibuat oleh Laboratorium Hidrolika PAU-UGM. Sementara *tilting flume*

milik PAU-UGM adalah buatan pabrik. Oleh karena itu penulis ingin mengetahui kinerja *tilting flume* buatan Laboratorium Hidrolika PAU-UGM yang dimiliki Laboratorium Hidrolika FTSP-UII dibandingkan dengan hasil pengujian beberapa model bangunan air yang telah mereka lakukan pada *tilting flume* milik mereka sendiri yang tentunya buatan pabrik.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan kinerja alat (saluran *tilting flume* dan model bangunan air) antara fasilitas *tilting flume* milik laboratorium Hidrolika FTSP-UII dengan *tilting flume* milik Laboratorium Hidrolika PAU-UGM dari penelitian Sabka Adiantara tahun 1993 dengan mengacu pada percobaan standar yang dilakukan oleh *Reginald W Herschy*.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi pembanding bagi penelitian-penelitian yang menggunakan *tilting flume* serta model bangunan air pada Laboratorium Hidrolika FTSP-UII. Sehingga dapat diupayakan penyempurnaan dan pelengkapan alat untuk mendukung akurasi pengukuran serta memperluas objek penelitian.

1.4 Batasan Penelitian

Model-model bangunan air yang akan diujikan meliputi pintu sorong (*sluice gate*), pelimpah ambang tajam segi empat (*rectangular sharp crested*

weir) dan ambang tajam segi tiga (*v-notch*) serta ambang dengan pangkal dibulatkan (*round-nosed broad crested weir*).

Percobaan model bangunan air dilangsungkan hanya pada kedudukan dasar saluran mendatar (kemiringan dasar saluran 0°) dan aliran permanen. Selain itu, model pelimpah ambang tajam dan pintu sorong dicoba hanya pada kondisi pengaliran bebas. Sedangkan model lainnya yaitu ambang lebar selain dicoba pada kondisi pengaliran modular juga diamati pada kondisi pengaliran menyelam.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Pada bagian ini akan dipaparkan beberapa penelitian yang berhubungan dengan perbandingan fasilitas tilting flume antara milik Laboratorium Hidrolika PAU-UGM dengan Laboratorium Hidrolika FTSP UII. Peralatan yang digunakannya akan disampaikan pada Bab IV.

2.2 Hasil Penelitian Adiantara (1993)

Hasil-hasil yang diperoleh Adiantara serta pelaksanaan penelitiannya mengenai model dan saluran *tilting flume* adalah seperti berikut ini.

1. Model Pintu Sorong (aliran bebas)

Pada keadaan tinggi muka air hulu tetap, nilai koefisien debit akan berkurang dengan semakin membesarnya bukaan pintu. Dalam keadaan debit tetap, koefisien debit akan cenderung mengecil seiring meningkatnya bukaan pintu dan berlaku untuk nilai-nilai awal perbandingan tinggi bukaan pintu dengan tinggi muka air hulu. Selanjutnya nilai koefisien debit berubah cenderung tetap.

2. Model Pelimpah Ambang Tajam Segi Empat (aliran bebas)

Bilangan-bilangan Froude aliran di atas ambang berkisar antara 0,900 dan 1,400 dan sebagian besar kurang dari 1,100. Dengan

demikian alirannya cenderung kritik. Rumus pengaliran melalui model ini didapat:

$$Q = C_d \cdot \frac{2}{3} B \sqrt{2g} \cdot h^{3/2} \text{ dengan } C_d \text{ rata-rata } 0,743 \text{ atau } Q = 0,495h^{1,377}.$$

Koefisien debit cenderung mengecil seiring meningginya muka air hulu yang berlaku untuk nilai-nilai awal tinggi muka air hulu.

Selanjutnya nilai koefisien debit berubah cenderung tetap.

3. Model V-notch (aliran bebas)

Rumus pengaliran melalui model ini diperoleh

$$Q = C_d \cdot \frac{2}{3} \sqrt{2g} \cdot h^{3/2} \text{ dengan } C_d \text{ rata-rata } 0,743 \text{ atau } Q = 0,640h^{1,100}.$$

Koefisien debit cenderung mengecil seiring meningginya muka air hulu.

4. Model Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan (aliran modular)

Bilangan-bilangan Froude aliran di atas ambang berkisar antara 0,900 dan 1,400 dan sebagian besar lebih dari 1,100. Dengan demikian alirannya cenderung super kritik. Bilangan Froude di atas ambang yang kurang dari 1,100 terjadi di dekat awal ambang. Dengan demikian aliran kritik di atas ambang cenderung terjadi di awal ambang. Rumus pengaliran yang diperoleh adalah

$$Q = C_d \cdot B \sqrt{g} \left(\frac{2}{3} h\right)^{3/2} \text{ dengan } C_d \text{ rata-rata } 1,064 \text{ atau } Q = 0,543h^{1,486}.$$

Koefisien debit cenderung mengecil seiring meningginya muka air hulu yang berlaku untuk nilai-nilai awal tinggi muka air hulu.

Selanjutnya nilai koefisien debit berubah cenderung tetap.

5. Kinerja Tilting Flume

Menurut Adiantara pengoperasian saluran dengan menggunakan model bangunan air dapat dikatakan lancar demikian juga dengan perlengkapan tambahan saluran. Penggunaan lilin dapat meniadakan kebocoran di sela-sela antara model dan dinding saluran.

Hal-hal yang menjadi perhatiannya terhadap bagian saluran dan peralatan yang dapat menimbulkan kesalahan dalam pengukuran adalah sebagai berikut:

a. Piezometer

Kesalahan pengukuran yang mungkin terjadi pada alat ini disebabkan oleh adanya gejala unik yang terjadi pada tabung-tabungnya. Air yang berada di dalam tabung semakin lama akan semakin naik setinggi 1 - 3 mm dari kedudukan yang seharusnya sejak tabung-tabung itu digunakan dalam keadaan bersih. Hal ini disebabkan oleh kotoran-kotoran yang kasat mata menempel di dinding tabung dan membentuk suatu lapisan di permukaan dinding yang menaikkan kapilaritas dinding tabung. Kenaikan kapilaritas ini menyebabkan muka air menjadi naik.

Apakah tabung-tabung tersebut sudah dipengaruhi oleh kotoran atau belum dapat dilihat dari hal-hal berikut:

- Kelengkungan garis muka air tabung yang bersih adalah mendekati garis datar. Pada tabung yang sudah kotor garis muka airnya tampak menyerupai bagian dari lingkaran mata uang kecil

▪ Bila diandaikan ada sebuah garis yang menghubungkan setiap muka air di beberapa tabung yang berurutan dengan kondisi tabung bersih maka garis tersebut akan berupa garis lurus. Tidak demikian halnya dengan yang sudah terpengaruh kotoran, garis tersebut berupa garis naik turun.

Perilaku air yang demikian sering kali terjadi. Pada beberapa nomor percobaan tidak dicatat tinggi muka air di piezometer.

b. Orificemeter

Tidak ada kesalahan pada orificemeter. Namun perilaku muka air pada tabung manometernyalah yang dapat mengakibatkan kesalahan dalam pembacaan angka. Muka air di tabung-tabung manometer tersebut naik-turun hingga 20 mm.

c. Pompa Air

Pada saat pengoperasiannya pompa air beberapa kali menunjukkan ketidakstabilan dalam mensuplai air. Ketinggian muka air saluran pada suatu titik kerap berubah padahal putaran keran pompa tidak diubah. Hal ini menunjukkan terjadinya perubahan debit. Perubahan ketinggian muka air berkisar antara 1 - 5 mm dan terkadang kembali pada ketinggian semula.

d. Saluran

Lebar saluran tidak konstan 30 cm. Pengukuran yang dilakukan menunjukkan bahwa hanya pada pangkal dan ujung saluran saja lebarnya 30 cm. Sedangkan bagian lain berkisar antara 30 - 30,52 cm.

Demikian juga kedalamannya tidak konstan. Dengan menggunakan point gauge yang diletakkan menumpu pada bibir saluran (bukan di atas rel) maka didapat angka kedalaman yang berbeda-beda. Perbedaannya berkisar antara 0,18 cm hingga -0,35 cm.

Ketinggian ruang antara rel dengan bagian atas dinding saluran juga tidak sama, berkisar antara 2,28 cm dan 1,85 cm.

2.3 Persamaan Aliran dari Manual Bahan Pelatihan Oleh Nizam (1996)

Di dalam bahan pelatihan Praktikum Mekanika Fluida dan Hidrolika yang dibuat oleh Nizam sebagai pedoman dalam menggunakan saluran tilting flume buatan PAU-UGM, diberikan persamaan-persamaan aliran untuk model bangunan air Pintu Sorong, Ambang Tajam Segi Empat, Ambang Tajam Segi Tiga dan Ambang Lebar. Persamaan-persamaan aliran yang diberikan tersebut adalah persamaan yang lazim dipakai dalam pengukuran debit. Persamaan tersebut adalah $Q = C_d \cdot b \cdot y_f \cdot \sqrt{2gy_0}$ untuk Pintu Sorong, $Q = C_d \cdot \frac{2}{3} b \sqrt{2g} H^{3/2}$ untuk Ambang Tajam Segi Empat, $Q = C_d \cdot \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan \frac{\theta}{2} H^{5/2}$ untuk Ambang Tajam Segi Tiga dan $Q = 1,705 C_d \cdot b \cdot H^{3/2}$ untuk Ambang Lebar.

2.4 Hasil Kajian Koefisien Debit Oleh Isbandi dan Heru (1997)

Fasilitas tilting flume Laboratorium Hidrolika FTSP UII telah digunakan oleh Isbandi dan Heru di dalam penelitiannya mengenai kajian

debit pada alat ukur debit. Pada penelitian mereka tersebut diperoleh hasil koefisien debit untuk model:

1. Pintu Sorong

Koefisien debit pengukuran diperoleh dengan rumus

$$C_d = \frac{Vol}{h_g \cdot b \cdot T \sqrt{2gh_1}} . \text{ Koefisien debit persamaan aliran dibuat dalam}$$

bentuk $C_d = k \left| \frac{h_g}{h_1} \right|^n$ sehingga diperoleh koefisien debit

$$C_d = 0,416 \left| \frac{h_g}{h_1} \right|^{0,2706} .$$

2. Ambang Tajam Segi Empat

Koefisien debit pengukuran diperoleh dengan rumus

$$C_d = \frac{Vol}{2,953 B \cdot T (h_1)^{1,5}} . \text{ Koefisien debit persamaan aliran dibuat dalam}$$

bentuk $C_d = \alpha + \beta \left(\frac{h_1}{w} \right)$ yang berasal dari penelitian Kindsvater dan

Carter sehingga diperoleh koefisien debit $C_d = 0,553 + 0,1417 \left(\frac{h_1}{w} \right)$.

3. Ambang Tajam Segi Tiga

Koefisien debit pengukuran diperoleh dari $Q = C_d \cdot \frac{2}{3} \cdot \tan \left(\frac{\theta}{2} \right) \sqrt{2g} (h)^{3/2}$

dengan $\theta = 25,321^\circ$ sehingga persamaan debit ditulis dalam bentuk

$Q = 3,54 C_d (h)^{3/2}$. Hubungan nilai Q, C_d dan h mengacu pada tabel

percobaan empiris Reginald W. Herschy.

4. Ambang Lebar

Koefisien debit pengukuran diperoleh dengan rumus

$$C_d = \frac{Vol}{1,705 B \cdot T (H)^{1,5}} \cdot \text{Koefisien debit persamaan aliran dibuat dalam}$$

bentuk $C_d = k \left| \frac{h_1}{L} \right|^c$ sehingga diperoleh koefisien debit

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

Menurut Isbandi dan Heru tingkat ketelitian alat ukur debit dengan metode volume tampungan cukup memadai. Hal ini dilihat dari hasil ketelitian pengukuran mereka berkisar antara 85,545% sampai 94,49% dan ini sangat bergantung dari ketelitian peneliti. Saran yang diberikan untuk meningkatkan kualitas penelitian adalah penambahan peralatan standar untuk saluran *tilting flume* seperti *orificemeter*, *currentmeter*, *venturimeter* dan *laser doppler velocymetri*.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Teori Dasar

3.1.1 Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas menyatakan bahwa debit di sepanjang saluran adalah tetap. Persamaan ini dinyatakan sebagai:

$$Q = A \cdot v \dots\dots\dots(3.1)$$

di mana: Q = debit aliran total (Q konstan)

A = luas tampang aliran

v = kecepatan aliran

3.1.2 Persamaan Energi

Persamaan energi aliran pada suatu tampang berbentuk empat persegi panjang adalah:

$$H = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(3.2)$$

dengan: H = tinggi energi aliran

z = tinggi titik dari bidang acuan

p = tekanan fluida

g = percepatan gravitasi

ρ = massa jenis air

Persamaan tersebut merupakan persamaan tinggi energi total (H) yang dihitung dari suatu bidang acuan mendatar sembarang. Bila dihitung dari bidang dasar saluran sebagai bidang acuan maka tinggi energi total merupakan energi spesifik aliran. Persamaan di atas menjadi:

$$E = h + \frac{v^2}{2g} = h + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

atau untuk tampang empat persegi panjang:

$$E = h + \frac{Q^2}{2gB^2h^2} \dots\dots\dots(3.3)$$

di mana: E = energi spesifik

h = kedalaman aliran

B = lebar saluran

Q = debit aliran

Bila aliran pada suatu tampang dalam keadaan kritik maka energi alirannya ditunjukkan pada diagram energi spesifik (diagram E-h, dengan h adalah tinggi muka air) mempunyai besar minimum. Energi ini didapat dengan menurunkan persamaan energi spesifik terhadap h sebagai berikut:

$$\frac{dE}{dh} = 1 - \frac{Q^2}{gB^2h^3} \dots\dots\dots(3.4)$$

Keadaan energi minimum terjadi bila: $\frac{dE}{dH} = 0$ dan $h = h_c$.

Dengan demikian didapat:

$$Q^2 = gB^2h_c^3 \dots\dots\dots(3.5)$$

$$\text{atau } h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B^2g}} \dots\dots\dots(3.6)$$

Energi spesifik minimum yang terjadi pada keadaan kritik E_c adalah:

$$E_c = h_c + \frac{Q^2}{2gB^2h_c^2} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$E_c = h_c + \frac{gB^2h_c^3}{2gB^2h_c^2} \dots\dots\dots(3.8)$$

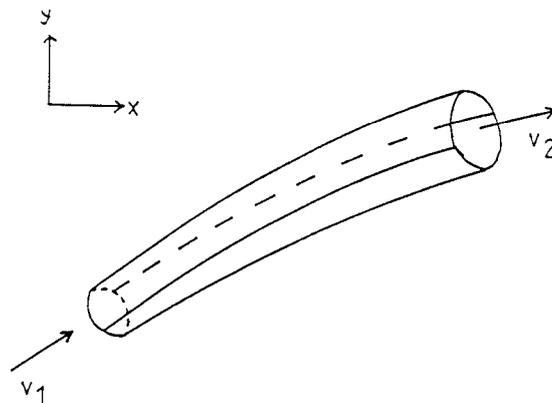
$$E_c = h_c + \frac{h_c}{2} \dots\dots\dots(3.9)$$

atau $h_c = \frac{2}{3}E_c \dots\dots\dots(3.10)$

3.1.3 Persamaan Momentum

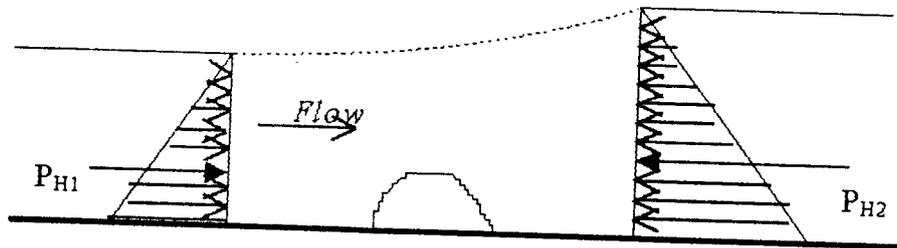
Suatu prinsip momentum pada aliran air diberikan di dalam pengertian berikut ini. Untuk setiap arah tertentu komponen resultan gaya yang bekerja pada fluida sama dengan komponen momentum persatuan waktu yang meninggalkan sistem aliran dikurangi dengan komponen momentum persatuan waktu yang memasuki sistem tersebut dan dinyatakan dalam

$$\Sigma P = \rho Qv_2 - \rho Qv_1 \dots\dots\dots(3.11)$$



Gambar 3.1. Pipa aliran

Selanjutnya prinsip momentum pada aliran saluran terbuka dijelaskan dengan memperhatikan sebuah saluran pendek mendatar di bawah ini.



Gambar 3.2. Sketsa gaya-gaya pada aliran.

Perbedaan tinggi muka air antara tampang 1 dan 2 disebabkan oleh suatu penghalang pada dasar saluran yang menimbulkan sebuah gaya P pada aliran. Karena alirannya permanen maka distribusi tekanan di dalam aliran adalah hidrostatis. Dianggap gesekan pada dinding dan dasar saluran, kemiringan saluran $\theta = 0^\circ$ dan gaya berat pada pias kecil diabaikan maka prinsip momentum pada aliran tampang 1 dan 2 tersebut adalah sebagai berikut:

$$P_{H_1} - P_{H_2} - P = \rho Q(v_2 - v_1) \dots\dots\dots(3.12)$$

Di mana P_{H_1} dan P_{H_2} adalah gaya hidrostatis tampang 1 dan 2. Untuk saluran persegi empat besarnya adalah :

$$P_{H_1} = \frac{1}{2} \rho g B h_1^2 \dots\dots\dots(3.13)$$

dan $P_{H_2} = \frac{1}{2} \rho g B h_2^2 \dots\dots\dots(3.14)$

dengan h_1 dan h_2 adalah kedalaman aliran tampang 1 dan 2.

Diperoleh:

$$\frac{P}{\rho g} = \left(\frac{1}{2} B h_1^2 + \frac{Q^2}{A_1 g} \right) - \left(\frac{1}{2} B h_2^2 + \frac{Q^2}{A_2 g} \right) \dots \dots \dots (3.15)$$

Persamaan di dalam tanda kurung di atas didefinisikan sebagai fungsi momentum (M) tampang 1 dan 2.

$$\frac{P}{\rho g} = M_1 - M_2 \dots \dots \dots (3.16)$$

Dengan demikian besarnya M adalah:

$$M = \frac{Q^2}{A g} + \frac{1}{2} B h^2 \dots \dots \dots (3.17)$$

atau
$$M = \frac{q^2}{g h} + \frac{1}{2} h^2 \dots \dots \dots (3.18)$$

untuk setiap satuan lebar.

3.2 Bilangan Froude Kritis

Bilangan Froude didefinisikan sebagai bilangan tak berdimensi yang merupakan perbandingan antara gaya inersia terhadap gaya grafitasi. Untuk saluran segi empat bilangan ini dinyatakan sebagai:

$$F = \frac{v}{\sqrt{g h}} \dots \dots \dots (3.19)$$

Bila aliran yang terjadi adalah kritis maka $E_c = \frac{3}{2} h_c$ sehingga persamaan energi spesifiknya menjadi:

$$\frac{3}{2} h_c = h_c + \frac{v_c^2}{2g} \dots \dots \dots (3.20)$$

menjadi $\frac{h_c}{2} = \frac{v_c^2}{2g}$ (3.21)

atau $v_c = \sqrt{gh_c}$ (3.22)

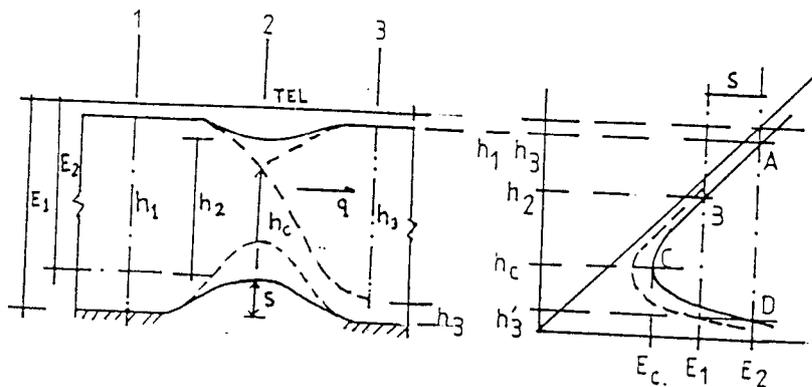
Dengan demikian :

$$\frac{v_c}{\sqrt{gh_c}} = 1 \text{ (bilangan Froude) } \dots\dots\dots(3.23)$$

Dari penjabaran di atas dapat diambil kesimpulan bahwa bilangan Froude dapat digunakan sebagai patokan keadaan aliran, yaitu:

1. bila bilangan Froude kurang dari 1 maka aliran yang terjadi adalah aliran subkritik atau aliran lambat
2. bila bilangan Froude sama dengan 1 maka aliran yang terjadi adalah aliran kritik
3. bila bilangan Froude lebih dari 1 maka alirannya adalah aliran super kritik atau aliran cepat.

3.3 Energi Aliran pada Ambang di Saluran Tampang Empat Persegi



Gambar 3.3. Aliran melalui ambang.

Ditinjau sebuah saluran empat persegi dengan sebuah ambang setinggi s . Pada saluran tersebut mengalir debit q per satuan lebar dengan kondisi aliran lambat dan dianggap tidak terjadi kehilangan energi seperti gambar di atas.

Tinggi energi spesifik di tampang 1 adalah E_1 dengan tinggi aliran h_1 . Di atas ambang (tampang 2) energi spesifik aliran berubah menjadi E_2 di mana $E_2 = E_1 - s$ dengan tinggi aliran h_2 . Perubahan keadaan aliran dari tampang 1 ke tampang 2 mengikuti garis A-B pada liku E-h. Pada tampang 3, keadaan aliran kembali seperti semula dengan $E_3 = E_1$ dan $h_3 = h_1$.

Jika tinggi ambang dinaikkan sedikit demi sedikit maka E_2 dan h_2 akan terus berkurang hingga dapat mencapai keadaan kritik (titik C). Perubahan ini mengikuti garis A-C pada liku di atas. Pada kondisi ini h_2 adalah keadalaman kritik (h_c), E_2 merupakan tinggi energi kritik spesifik (E_c), dan tampang 2 berfungsi sebagai tampang kontrol. Selanjutnya, aliran dari tampang 2 ke 3 dapat kembali ke A atau berubah menjadi aliran cepat (super kritik) mengikuti garis C-D. Keadaan aliran di tampang 3 ini ditentukan oleh kondisi aliran di bagian hilir.

Jika tinggi ambang dinaikkan lagi maka $E_1 - s < E_c$. Keadaan ini hanya mungkin terjadi jika debit q berkurang dengan liku E-h dalam bentuk garis putus-putus pada gambar di atas. Aliran pada tampang 2 tetap merupakan aliran kritik di mana $E_1 - s = E_c'$ dengan E_c' adalah energi kritik spesifik pada q yang baru. Pada keadaan ini ambang berfungsi sebagai choke dan setiap penambahan tinggi s akan mengurangi debit aliran q .

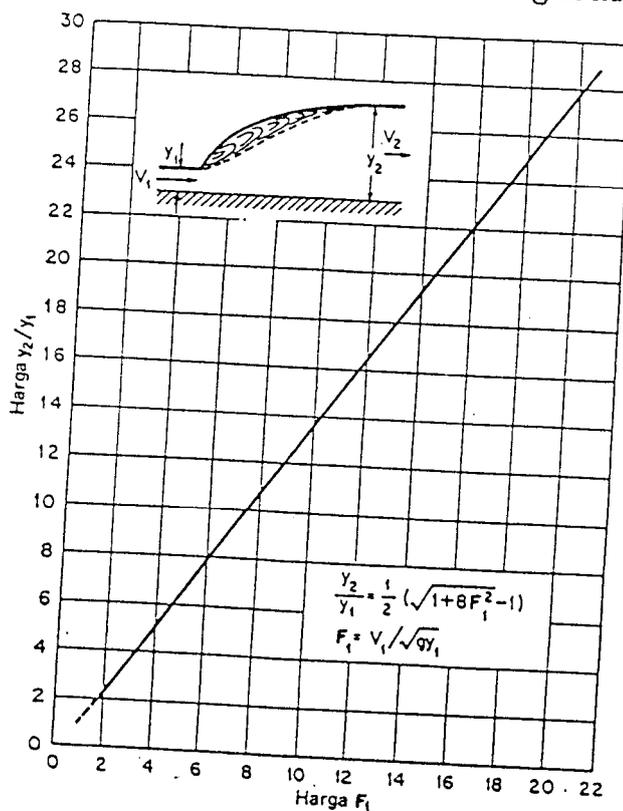
3.4 Loncatan Hidrolik

Perubahan aliran dari aliran cepat (super kritik) ke aliran lambat (sub kritik) serta pembuangan energi disebut loncatan hidrolik atau biasa disebut loncat air. Energi aliran akan diredam oleh tahanan gesek saluran, sehingga menyebabkan terjadinya pengurangan kecepatan dan penambahan ketinggian pada arah aliran.

Rumus loncat air yang sederhana ditinjau dari suatu saluran datar dengan tampang empat persegi memakai konsep konservasi momentum atau gaya spesifik konstan yaitu sebagai berikut

$$h_2 = \frac{1}{2} h_1 (\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1) \dots \dots \dots (3.24)$$

Persamaan ini menurut *Chow* dapat digambar dengan kurva di bawah.



Gambar 3.4. Hubungan antara F_1 dan h_2/h_1 untuk saluran empat persegi.

3.5 Aliran Modular/Bebas dan Aliran Menyelam

Muka aliran air di sebelah hilir bangunan air sering lebih rendah dari muka air di sebelah hulu. Hal ini dimaksudkan agar keadaan aliran hilir tidak mempengaruhi keadaan aliran hulu. Selama tinggi muka air hilir belum mempengaruhi tinggi muka air hulu maka alirannya disebut aliran modular.

Beberapa pengertian yang menyangkut aliran antara lain:

1. *submergence ratio* : perbandingan tinggi energi total hilir dengan tinggi energi total hulu yang diukur dari atas ambang atau dasar saluran
2. batas modular (*modular limit*) : *submergence ratio* pada keadaan aliran di mana tinggi muka air hilir tepat mulai mempengaruhi tinggi muka air hulu. Batas modular merupakan pertanda bahwa aliran mulai berubah menjadi aliran menyelam (*drowned flow*)

3.6 Koefisien Debit

Adanya bangunan air berupa pintu sorong, juga ambang (*weir*), mengakibatkan perubahan tampang aliran, dan debit aliran yang sesungguhnya tidak sesuai debit aliran secara teoritis. Suatu rumus pengaliran teoritis pada bangunan-bangunan tersebut harus dikalikan dengan suatu koefisien debit agar sesuai dengan aliran yang sesungguhnya.

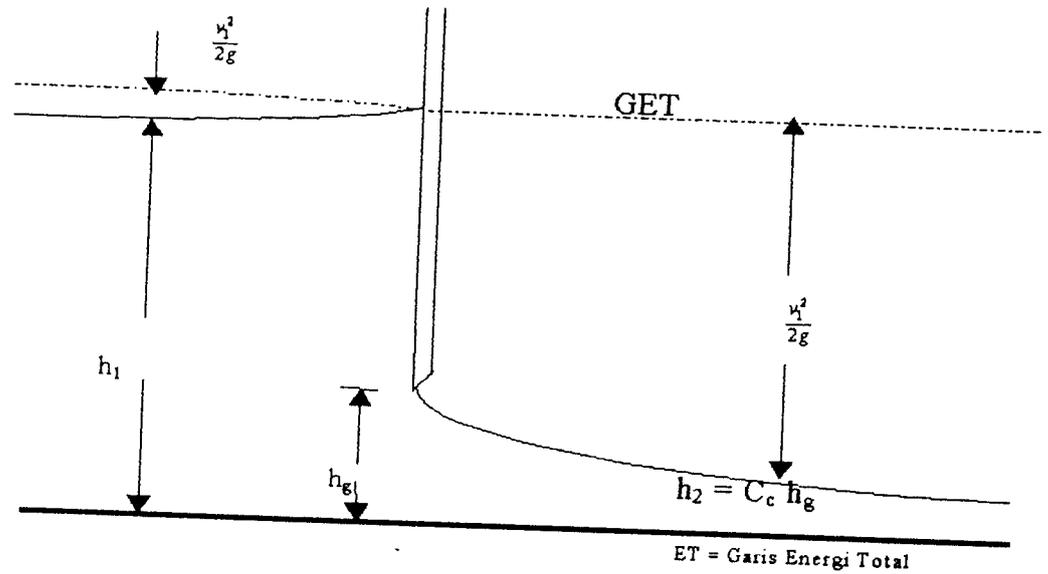
3.7 Rumus Pengaliran pada Bangunan Air di Saluran Terbuka

3.7.1 Pintu Sorong (*Sluice Gate*)

Pada aliran subkritik, sebuah tahanan dapat membuat aliran tersebut menjadi upstream. Ini berarti bahwa di dalam kejadiannya pengendalian secara mekanis seperti pada sebuah pintu sorong bisa membuat aliran tersebut dengan tenaganya sendiri menjadi aliran upstream, oleh karena itu aliran subkritik menjadi hal yang pokok dalam pengendalian aliran downstream. Sebaliknya, aliran superkritik tidak dapat ditentukan oleh berbagai karakteristik downstream namun hanya dapat dikontrol dari upstream.

Keterikatan hubungan keadaan aliran pada upstream dan downstream adalah pada pintunya. Aliran upstream adalah subkritik dan dikontrol oleh karakteristik downstreamnya; aliran downstream adalah superkritik dan dikontrol oleh karakteristik upstreamnya.

Aliran keluar (outflow) dikatakan bebas apabila arus keluar kembang dari aliran superkritik langsung berhubungan dengan atmosfer dan tidak berlebihan (*overlaid*), atau menjadi aliran bawah permukaan (*submerged*) dikarenakan oleh kedalaman berlebihan dari air di hilir pintu (*watertail*). Secara sederhana analisis dimulai dari koefisien kontraksi (C_c) yang telah diketahui dengan menganggap kedalaman seragam nyata upstream sebagai tampang 1 dan downstream sebagai tampang 2. Persamaan debit diturunkan dari persamaan energi spesifik dengan memperhatikan gambar berikut ini



Gambar 3.5. Aliran melalui Pintu Sorong.

$$h_1 + \frac{q^2}{2gh_1^2} = h_2 + \frac{q^2}{2gh_2^2} \dots\dots\dots 3.25)$$

Diperoleh:

$$q = h_1 h_2 \sqrt{\frac{2g}{h_1 + h_2}} \dots\dots\dots (3.26)$$

Dengan memasukkan $h_2 = C_c h_g$ didapat

$$q = C_d h_g \sqrt{2g \frac{h_1^2}{h_1 + h_2}} \dots\dots\dots (3.27)$$

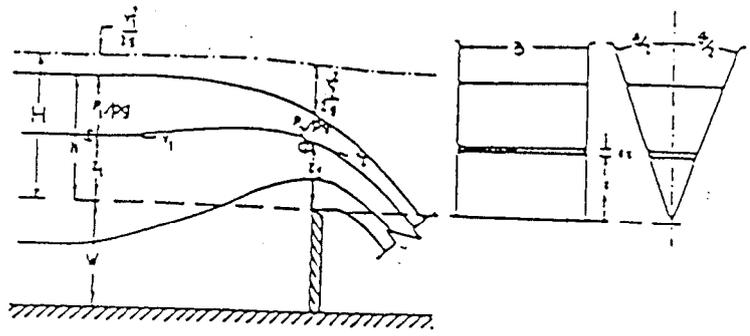
Persamaan tersebut disederhanakan menjadi:

$$q = C_d h_g \sqrt{2gh_1} \dots\dots\dots (3.28)$$

atau $Q = C_d B h_g \sqrt{2gh_1} \dots\dots\dots (3.29)$

dengan $C_d = \frac{C_c}{\sqrt{1 + \frac{h_2}{h_1}}}$ (3.30)

3.7.2 Pelimpah Ambang Tajam (Sharp Crested Weir)



Gambar 3.6. Aliran melalui ambang tajam.

a. Pelimpah Ambang Tajam Segi Empat (Rectangular Sharp Crested Weir)

Dengan menerapkan persamaan energi untuk tampang 1 dan 2 didapat:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$$
(3.31)

Karena $\frac{P_2}{\rho g} = 0$ dan $z_1 + \frac{P_1}{\rho g} = h$ maka akhirnya didapat:

$$v_2 = \left[2g \left(h - z_2 + \frac{v_1^2}{2g} \right) \right]^{1/2}$$
(3.32)

Debit teoritis yang akan melewati pias setebal dz adalah $v_2 B dz$, sehingga:

$$Q = B \int_0^h v_v dz = B \sqrt{2g} \int_0^h \left(h - z + \frac{v_1^2}{2g} \right)^{1/2} dz \dots\dots\dots(3.33)$$

$$Q = -\frac{2}{3} B \sqrt{2g} \left[\left(h - z + \frac{v_1^2}{2g} \right)^{3/2} \right]_0^h \dots\dots\dots(3.34)$$

$$Q = \frac{2}{3} B \sqrt{2g} \left[\left(h + \frac{v_1^2}{2g} \right)^{3/2} - \left(\frac{v_1^2}{2g} \right)^{3/2} \right] \dots\dots\dots(3.35)$$

Karena $v_1 = \frac{Q}{B(h+w)}$ maka persamaan di atas akan sulit diselesaikan kecuali dengan cara coba-coba. Pada umumnya untuk keperluan praktis rumus tersebut dapat disederhanakan menjadi:

$$Q = \frac{2}{3} B \sqrt{2g} h^{3/2} \dots\dots\dots(3.36)$$

Untuk mendapatkan debit yang sesungguhnya rumus di atas harus dikoreksi menjadi

$$Q = Cd \frac{2}{3} B \sqrt{2g} h^{3/2} \dots\dots\dots(3.37)$$

dengan Cd = koefisien debit.

Reginald W Herschy memberikan harga pendekatan koefisien debit

$$Cd = 0,602 + 0,075 \frac{h}{w} \dots\dots\dots(3.38)$$

dengan w adalah tinggi puncak ambang dari dasar saluran. Terlihat bahwa semakin tinggi aliran hulu maka koefisien debit akan semakin tinggi pula.

b. Persamaan Debit Pelimpah Ambang Tajam Segi Tiga (*V- Notch Weir*)

Dengan menggunakan asumsi seperti pada point a di atas , didapat

$$v_2 = \left[2g \left(h - z_2 + \frac{v_1^2}{2g} \right) \right]^{1/2} \dots \dots \dots (3.39)$$

Dengan demikian debit yang lewat pias dz adalah:

$$Q = B \cdot dz \left[2g \left(h - z_2 + \frac{v_1^2}{2g} \right) \right]^{1/2} \dots \dots \dots (3.40)$$

Pada pelimpah ambang segi tiga, kecepatan aliran di hulu lebih kecil dibandingkan kecepatan di ambang sehingga v_1 dapat diabaikan. Dengan demikian persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi:

$$Q = \sqrt{2g} \int_0^h B(h-z)^{1/2} dz \dots \dots \dots (3.41)$$

Karena $B = 2z \cdot \tan \frac{\theta}{2}$ dan $y = h - z$, maka

$$Q = 2 \cdot \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{2g} \int_0^h (h-y)y^{1/2} dy \dots \dots \dots (3.42)$$

$$Q = 2 \cdot \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{2g} \left[\frac{2}{3} h y^{3/2} - \frac{2}{5} y^{5/2} \right]_0^h \dots \dots \dots (3.43)$$

$$Q = \frac{8}{15} \cdot \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{2g} \cdot h^{5/2} \dots \dots \dots (3.44)$$

dan debit sesungguhnya :

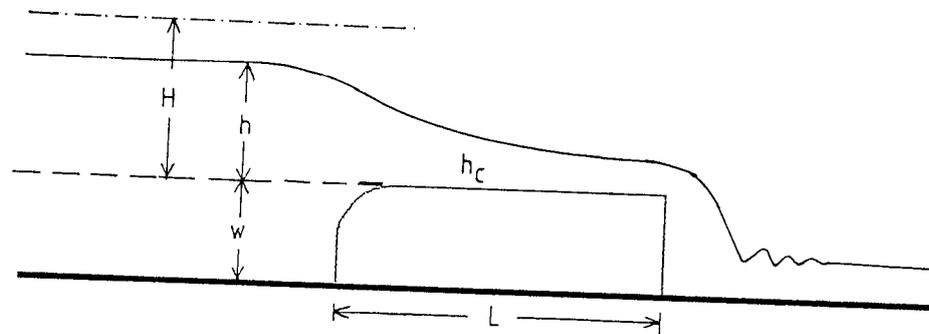
$$Q = Cd \cdot \frac{8}{15} \cdot \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{2g} \cdot h^{5/2} \dots \dots \dots (3.45)$$

3.7.3 Pelimpah Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan

(Round-Nosed Broad Crested Weir)

Alat ukur ambang lebar adalah bangunan yang mempunyai panjang ambang yang menjadikan garis aliran di atasnya sejajar. Dengan demikian

di atas ambang terjadi distribusi tekanan yang sama dengan distribusi tekanan hidrostatis.



Gambar 3.7. Aliran melalui ambang lebar dengan panjang ambang (L), tinggi ambang (w), kedalaman aliran hulu (h), tinggi aliran (kritik) di atas ambang (h_c) dan tinggi tenaga efektif (H).

Bangunan ini merupakan bentuk suatu penonjolan pada dasar saluran agar terjadi aliran kritik. Dengan demikian rumus debit dapat diuraikan sebagai berikut:

$$h_c = \frac{2}{3}H \dots\dots\dots(3.46)$$

dan $h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \dots\dots\dots(3.47)$

diperoleh: $q = \sqrt{g\left(\frac{2}{3}H\right)^{1.5}} \dots\dots\dots(3.48)$

atau $Q = B\sqrt{g\left(\frac{2}{3}H\right)^{1.5}} \dots\dots\dots(3.49)$

Debit sesungguhnya: $Q = C_d \cdot B\sqrt{g\left(\frac{2}{3}H\right)^{1.5}} \dots\dots\dots(3.50)$

di mana C_d adalah koefisien debit.

Menurut *British Standard Institution*, besarnya C_d dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Cd = \left(1 - \frac{0,006}{B} L\right) \left(1 - \frac{0,003}{h} L\right)^{1,5} \dots\dots\dots (3.51)$$

Rumus di atas berlaku untuk kondisi aliran modular. Sedangkan rumus debit untuk aliran menyelim (drowned flow) sulit didapat karena karakteristik alirannya tidak banyak diketahui (*Ackers*, dkk). Dengan demikian batas modular merupakan kondisi batas di mana aliran pada bangunan ini dapat dikalibrasi.

3.8 Aliran Melalui Sistem Pipa

Pipa adalah saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran dan digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh. Tinjauan dilakukan untuk aliran mantap (steady flow) dan tak kompresibel.

3.8.1 Persamaan Tahanan Gesek Pipa

Kehilangan tenaga selama pengaliran melalui pipa tergantung pada koefisien gesekan Darcy-Weisbach f . Persamaan kehilangan tenaga dapat ditulis dalam bentuk persamaan Darcy-Weisbach.

$$hf = f \frac{L V^2}{D 2g} \dots\dots\dots (3.52)$$

dengan koefisien gesekan untuk aliran laminar

$$f = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots (3.53)$$

Berdasarkan penelitian Blasius, rumus gesekan f untuk pipa halus:

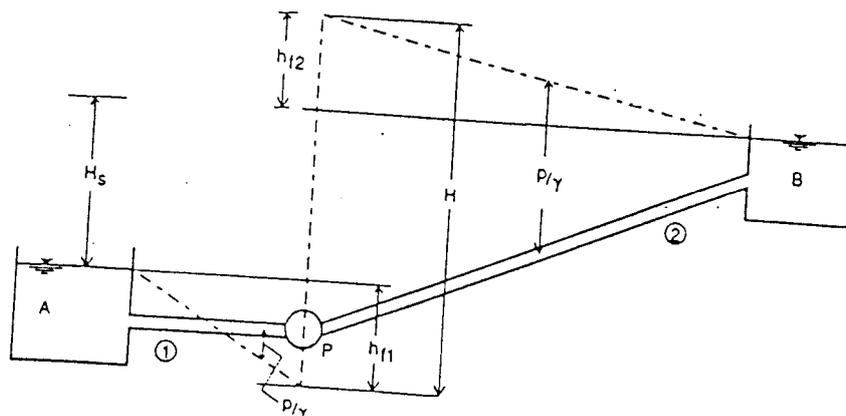
$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \dots\dots\dots (3.54)$$

Rumus (3.54) berlaku untuk $4000 < Re < 10^5$.

$$Re = \frac{VD}{\nu} \dots\dots\dots (3.55)$$

3.8.2 Sistem Pemipaan

Sistem pemipaan dapat menggunakan pompa atau dalam bentuk jaringan pipa tanpa pompa. Jika pompa menaikkan zat cair dari kolam satu ke kolam lain dengan selisih elevasi muka air H_s , seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.8., maka daya yang digunakan oleh pompa untuk menaikkan zat cair setinggi H_s adalah sama dengan tinggi H_s ditambah dengan kehilangan tenaga selama pengaliran dalam pipa tersebut. Kehilangan tenaga adalah ekuivalen dengan penambahan tinggi elevasi, sehingga efeknya sama dengan jika pompa menaikkan zat cair setinggi $H = H_s + \sum h_f$. Dalam gambar tersebut tinggi kecepatan diabaikan sehingga garis tenaga berimpit dengan garis tekanan.



Gambar 3.8. Pipa dengan pompa.

Daya yang diperlukan pompa untuk menaikkan zat cair :

$$D = \frac{QH\gamma}{\eta} \text{ (kgf m/d)} \dots\dots\dots (3.56)$$

atau

$$D = \frac{QH\gamma}{75\eta} \text{ (hp)} \dots\dots\dots (3.57)$$

dengan η adalah efisiensi pompa. Pada pemakaian pompa, efisiensi pompa digunakan sebagai pembagi dalam rumus daya pompa.

Jika sistem pemipaan menggunakan jaringan pipa tanpa pompa maka kehilangan tenaganya ada dalam bentuk $H = \sum h_f$.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Pelaksanaan suatu penelitian memerlukan metode tersendiri. Di dalam penelitian perbandingan, besaran serta kuantitas yang dipakai pada percobaan satu diterapkan sama pada percobaan pembandingnya. Namun hal ini tidak dapat dilakukan secara penuh pada fasilitas *tilting flume* Laboratorium Hidrolika FTSP UII karena keterbatasan kemampuan alat.

Pada bab ini akan diuraikan kapasitas serta kelengkapan yang tersedia pada fasilitas *tilting flume* milik UII.

4.2 Pengoperasian Alat

Penerapan fungsi alat dan perlakuannya dalam pelaksanaan penelitian diberikan dalam sub bab berikut.

Perlengkapan utama *tilting flume* adalah bagian-bagian yang sifatnya tidak untuk dibongkar pasang atau dipisahkan dari perangkat *tilting flume* itu sendiri. Bagian-bagian tersebut diuraikan di bawah ini.

1. Saluran

Dinding saluran terbuat dari bahan *perspex* transparan dengan ketebalan 10 mm. Panjang kerja saluran adalah 6 m dengan lebar

kerja 10 cm serta kedalaman total 40 cm. Pada bagian pangkalnya terdapat lubang pemasukan air (*intake*) dan pada bagian ujungnya terdapat lubang pengeluaran air (*outlet*).

Pada bibir dinding sepanjang saluran, terdapat rel sebagai jalur untuk memudahkan pergerakan alat ukur. Agar dapat digerakkan/dijalankan pada rel, sebuah alat pengukur harus dilengkapi dengan 'dudukan' beroda (*instrument carrier*). Rangka dasar saluran ini terbuat dari baja sedangkan untuk dinding transparannya menggunakan kerangka aluminium.

2. Tangki Air

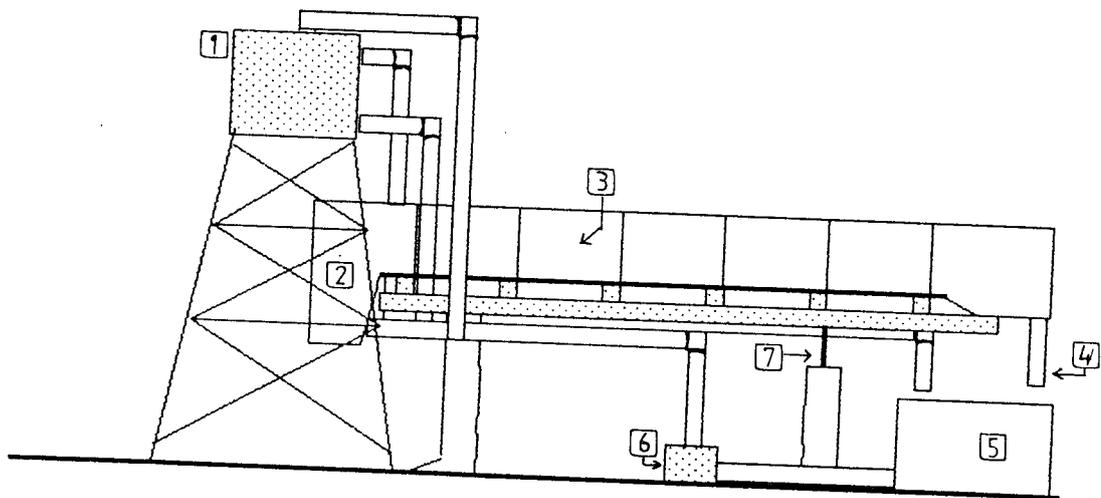
Segi empat bersekat dengan salah satu bagian untuk mengukur volume dan waktu tampungan guna menentukan debit aliran terletak pada sisi buang saluran.

3. Pompa Air

Pompa ini digerakkan oleh listrik dan terletak di bawah saluran. Alat ini memompakan air dari tangki ke dalam saluran, lalu air kembali ke dalam tangki sehingga persediaan air di dalam tangki terjaga dan pompa mendistribusikannya lagi ke dalam saluran. Seperti itulah untuk seterusnya. Pompa air merupakan perlengkapan standar dari *tilting flume* dengan kapasitas 340 liter per menit, total head 20,5 m dan output 400 watt. Alat ini dilengkapi dengan keran pengatur debit aliran. Alat ini adalah vital karena menentukan lancar atau tidaknya suatu aliran serta kapasitas yang dapat dipenuhi.

4. Water Tower

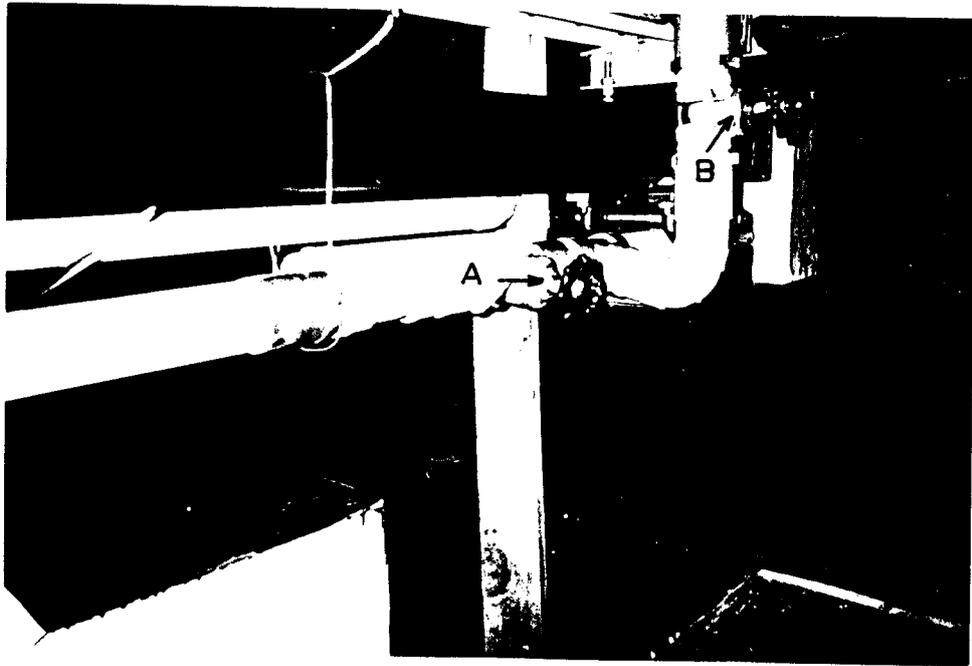
Alat ini berfungsi sebagai pengganti pompa air dengan kapasitas maksimal 1 m^3 dan mempunyai tinggi tenaga $1,95 \text{ m}$ dari dasar saluran *tilting flume*. Kedua alat ini akan dipakai secara terpisah untuk dilihat kemudahan pengoperasian dalam menentukan ketinggian muka air pada saluran *tilting flume*. Meski penggunaannya terpisah tetapi untuk mengisi water tower dengan air, digunakanlah pompa untuk mengangkat air dari bak tampungan (lihat gambar 4.1).



Gambar 4.1. Tilting Flume dengan bagian-bagian utamanya: 1. water tower, 2. inlet saluran, 3. dinding saluran, 4. outlet saluran, 5. bak tampungan, 6. pompa air, 7. pengatur kemiringan saluran.

Untuk membuat aliran dari pompa atau water tower dapat diatur dengan menutup salah satu keran yang ada ; keran A atau keran B. Bila keran A ditutup maka aliran di dalam saluran berasal dari water

tower dan sebaliknya bila keran B ditutup maka aliran berasal dari pompa air langsung (lihat gambar 4.2).



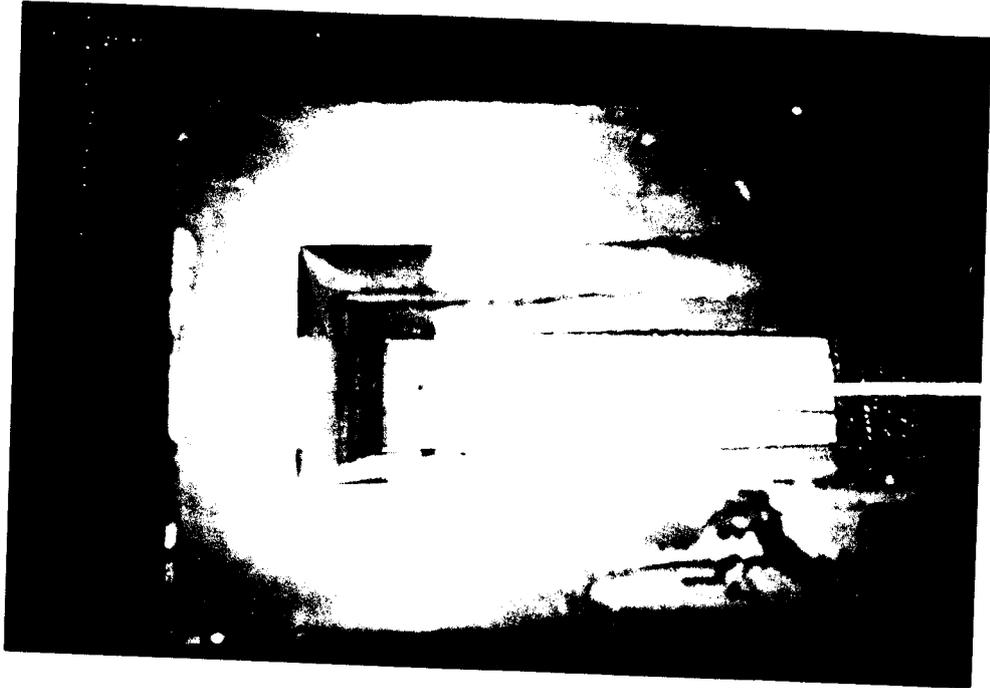
Gambar 4.2. Jaringan pipa pemberi *tilting flume*. (A) keran pengatur aliran yang berasal langsung dari pompa air, (B) keran pengatur aliran dari water tower.

5. Plat Pembendungan (*Adjustable Overshot Weir*)

Plat ini terdapat di ujung saluran, yaitu sebelum lubang pengeluaran air. Posisinya dapat diatur mulai dari posisi tidur (terbaring di dasar saluran; 0° terhadap dasar saluran) hingga posisi tegak (90° terhadap dasar saluran).

Apabila plat dalam posisi tidur maka air di dalam saluran akan mengalir lepas keluar melalui *outlet*, masuk ke dalam tangki.

Sedangkan bila sudut plat diperbesar maka aliran air di dalam saluran akan terbendung.



Gambar 4.3. Pelat Pembendungan

6. Penggerak Plat

Alat ini bersama-sama dengan plat itu sendiri terpasang pada bagian ujung saluran yaitu pada bagian outlet. Penggerak plat ini terdiri dari tangkai pemutar yang apabila diputar searah jarum jam akan dapat menggerakkan plat sehingga sudutnya bertambah. Sedangkan untuk arah sebaliknya plat harus didorong dengan tangan.

7. Pengatur Kemiringan Dasar Saluran

Kemiringan dasar saluran (S_0) dapat diubah-ubah sesuai keinginan dengan memutar alat pengaturnya. Alat ini dipasang pada salah satu sisi rangka dasar saluran bagian hilir.

Tabel 4.1. Bagian-bagian utama *tilting flume*

| Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi PAU-UGM | Laboratorium Hidrolika FTSP-UH |
|---|--|
| 1. Saluran panjang kerja 15 m, lebar 30 cm, kedalaman 46,5 cm | 1. Saluran panjang kerja 6 m, lebar 10 cm, kedalaman 40 cm |
| 2. Tangki Air segi empat, sepanjang saluran | 2. Tangki Air segi empat bersekat dengan salah satu bagian untuk mengukur volume dan waktu tahanan guna penentuan debit aliran |
| 3. Pompa kapasitas 0 - 30 l/dt | 3. Pompa kapasitas maksimum 340 ltr/menit |
| 4. Plat Pembendungan | 4. Plat Pembendungan |
| 5. Penggerak Plat Manual dan Elektrik | 5. Penggerak Plat Manual |
| 6. Pengatur Kemiringan Dasar Saluran secara elektrik | 6. Pengatur Kemiringan Dasar Saluran secara manual |
| 7. Orificemeter alat pengukur debit | 7. Water tower kapasitas 1 m ³ , tinggi dari lantai 2 m |

4.3 Perlengkapan Tambahan

Yang dimaksud dengan peralatan tambahan adalah alat-alat yang menjadi kelengkapan *tilting flume* dan mereka tidak permanen. Artinya alat-

alat tersebut dapat dibongkar pasang pada saluran serta digunakan untuk membantu percobaan. Perlengkapan tambahan yang dimiliki oleh saluran adalah seperti berikut ini.

1. *Point Gauge Instrument*

Alat ini digunakan untuk mengukur elevasi muka air di dalam saluran. Alat ini mempunyai bagian pokok berupa: bagian angka-ukur dan penopang, batang pengukur serta skrup penggunci elevasi. Ketelitian angka-ukur hingga 0,1 cm. Ujung batang pengukur berbentuk mata jarum. Peralatan ini dapat diletakkan padaudukan beroda (*instrument carrier*) yang dapat dijalankan di sepanjang rel pada bibir dinding saluran.

2. *Piezometer*

Piezometer digunakan sebagai alat pengukur ketinggian muka air. Alat ini terdapat pada perangkat tilting flume mempunyai lima tabung. Masing-masing tabung dapat dihubungkan dengan sebuah selang plastik ke ujung kran (*tapping*) yang terdapat di bawah dasar saluran. Jumlah kran yang dapat dibuka-tutup adalah lima buah. Kran-kran tersebut tersebar pada bagian tengah tiap-tiap ruas saluran.

Pada saat kran dalam keadaan terbuka maka tinggi air di dalam *piezometer* akan sama dengan tinggi air di dalam saluran.

Tabel 4.2. Perlengkapan tambahan.

| Laboratorium Hidrolika PAU-UGM | Laboratorium Hidrolika FTSP-UII |
|---|---|
| 1. Point Gauge | 1. Point Gauge |
| 2. Piezometer delapan selang untuk dua belas tapping | 2. Piezometer lima selang untuk lima tapping |
| 3. Batang Penguat penekan dinding saluran pada tempat di mana model diletakkan | - |

4.4 Model Percobaan

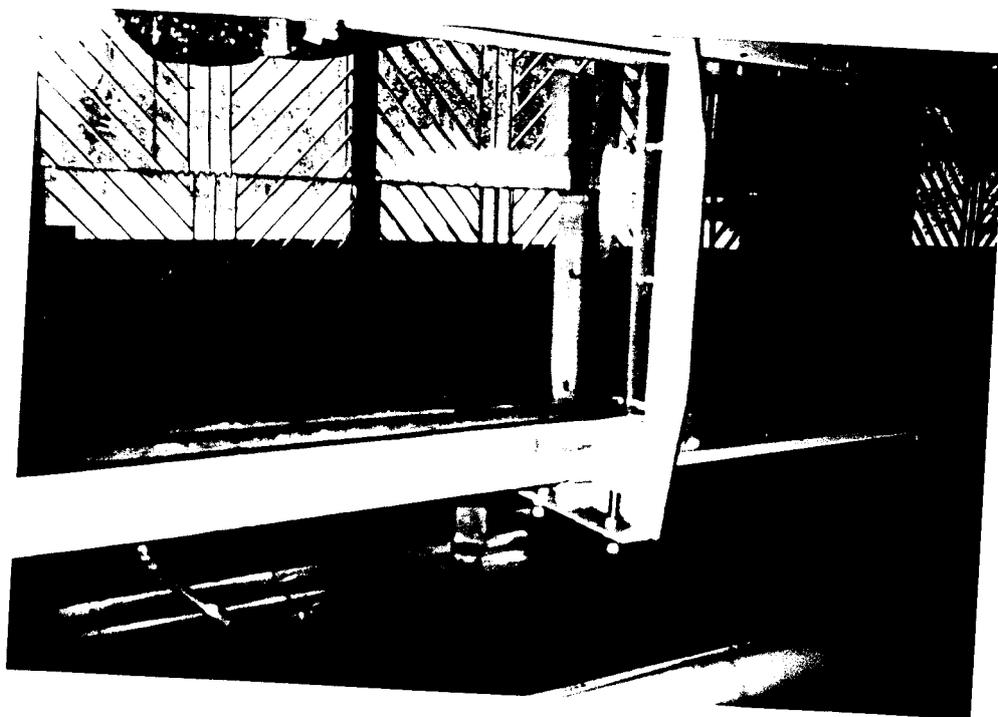
Ada beragam model bangunan air yang melengkapi peralatan *tiling flume*. Namun yang akan diterangkan di sini hanyalah model yang akan dijadikan perbandingan.

1. Pintu Sorong (*Slulce Gate*)

Bagian pokoknya, yaitu bagian pintu, terbuat dari bahan *acrylic*. Pada sisi-sisi tepi pintu ini diberi lapisan karet yang berguna untuk mencegah merembesnya air melalui celah antara pintu sorong dengan dinding saluran apabila pintu sorong tersebut telah terpasang di saluran. Pada bagian atas terdapat pemutar untuk membuka dan menutup pintu sorong serta sekrup pengunci yang digunakan untuk memantapkan kedudukan model pada saluran.

2. Pelimpah Ambang Tajam Segi Empat (*Rectangular Sharp Crested Weir*)

Model pelimpah ini tanpa kontraksi samping dan terbuat dari *acrylic*. Puncak ambang terbuat dari logam. Ambang ini berbentuk segi empat. Tiap sisinya terdapat penyekat karet. Model ini tidak memiliki pipa pengudaraan (*aeration pipes*) untuk membuat tekanan udara yang terperangkap di bawah terjunan menjadi sama dengan tekanan udara luar.

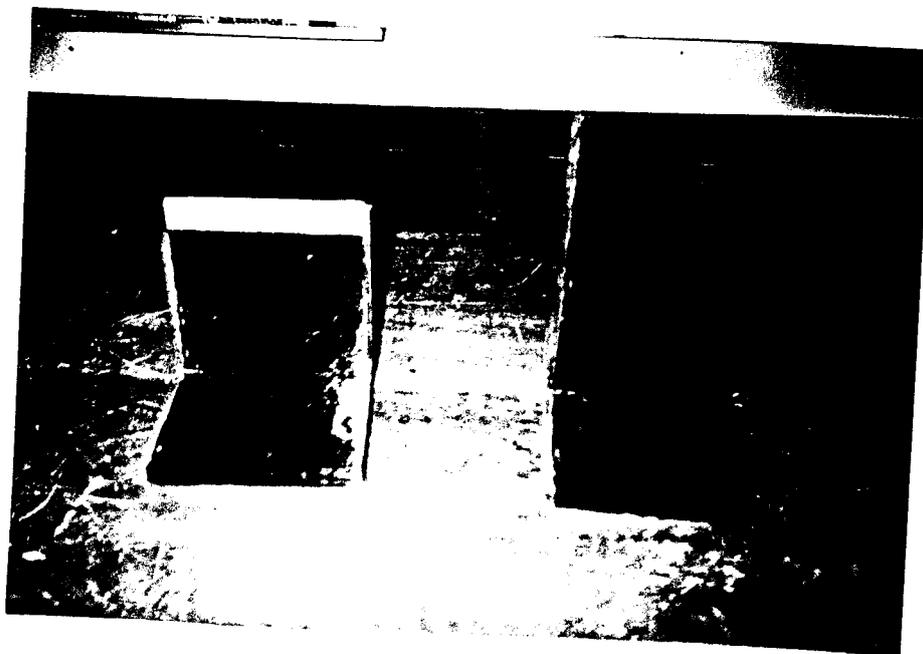


Gambar 4.4. Pintu Sorong.

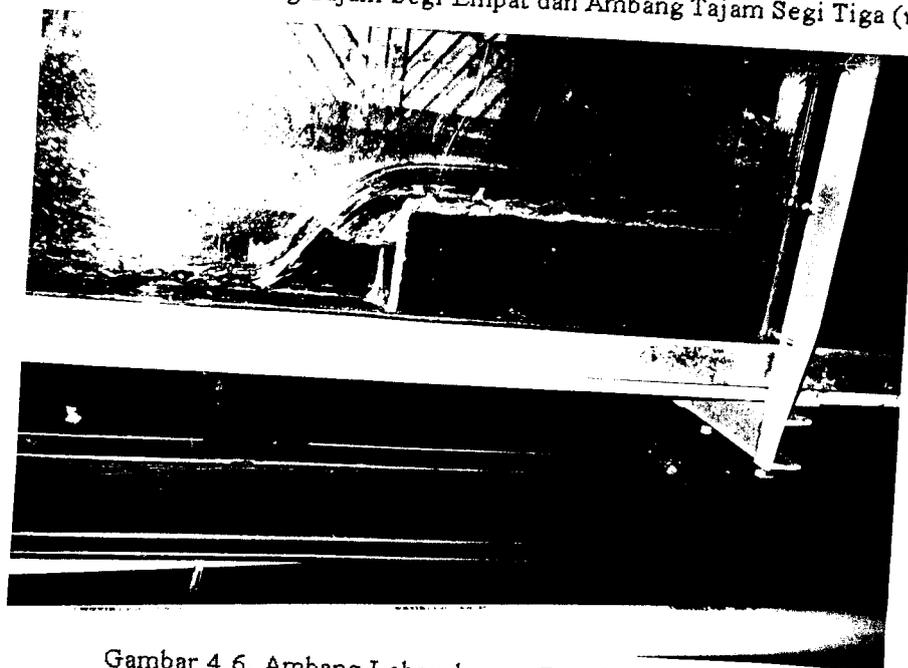
3. Pelimpah Ambang Tajam Segi Tiga (*V-Notch*)

Pelimpah ini terbuat dari *acrylic*. Ambang pelimpah ini berbentuk segi tiga dengan sudut 60° dan tiap sisinya terdapat penyekat karet.

Seperti pelimpah ambang segi empat, alat ini tidak memiliki pipa pengudaraan (*aeration pipes*) untuk membuat tekanan udara yang terperangkap di bawah terjunan menjadi sama dengan tekanan udara luar.



Gambar 4.5. Ambang Tajam Segi Empat dan Ambang Tajam Segi Tiga (*v-notch*)



Gambar 4.6. Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan.

4. Pelimpah Ambang Lebar Dengan Pangkal Dibulatkan (*Round-Nosed Broad Crested Weir*)

Model ini juga terbuat dari bahan *acrylic*.

Tabel 4.3. Model bangunan air

| Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi PAU-UGM | Laboratorium Hidrolika FTSP-UH |
|--|---|
| 1. Pintu Sorong | 1. Pintu Sorong |
| 2. Pelimpah Ambang Tajam Segi Empat tinggi 15 cm dengan <i>aeration pipes</i> | 2. Pelimpah Ambang Tajam Segi Empat tinggi 11 cm |
| 3. Pelimpah Ambang Tajam Segi Tiga sudut 90°, tinggi puncak 19,96 cm tinggi awal sudut 7,50 cm dengan <i>aeration pipes</i> | 3. Pelimpah Ambang Tajam Segi Tiga sudut 60°, tinggi puncak 16 cm tinggi awal sudut 10,3 cm |
| 4. Pelimpah Ambang Lebar pangkal dibulatkan panjang 39,90 cm, tinggi 12 cm | 4. Pelimpah Ambang Lebar pangkal dibulatkan panjang 35 cm, tinggi 9,8 cm |

4.5 Peletakan Model pada Saluran

Setiap model diletakkan dalam arah hulu ke hilir sesuai dengan arah aliran air. Peletakan model harus mantap agar tidak berubah posisinya pada saat saluran diairi. Diperhatikan juga kebersihan dasar dan dinding saluran yang akan diamati.

4.6 Penggunaan Bahan Pencegah Rembesan Air

Untuk menjaga agar tidak terjadi rembesan antara tepi model dan dinding saluran maka akan digunakan bahan pencegah rembesan air, biasa disebut plastisin.

4.7 Perlakuan Penelitian

Perlakuan penelitian yang akan dilakukan mengacu pada bentuk percobaan yang dilakukan Adiantara. Pada pengukuran ini kapasitas pengaliran tidak sama dengan yang dilakukan Adiantara karena keterbatasan kapasitas saluran dan kemampuan pompa air yang ada. Namun tetap akan dilihat seberapa jauh kemampuan pompa dan saluran dalam melayani kemampuan maksimalnya.

4.8 Jenis Percobaan

Secara keseluruhan, percobaan-percobaan pada penelitian ini dibedakan atas tiga jenis, yaitu:

- a. Pertama (percobaan satu; A) adalah percobaan pada kondisi debit berbeda, dapat berupa penambahan ataupun pengurangan. Tujuannya antara lain untuk mendapatkan nilai koefisien debit, hubungan debit dengan tinggi muka air hulu atau energi aliran hulu
- b. Kedua (percobaan dua; B) adalah percobaan dengan kondisi sudut plat pembendungan yang berubah berangsur-angsur pada keadaan debit aliran tetap. Perubahan sudut plat yang berangsur-angsur

mengakibatkan perubahan tinggi muka air hilir yang berangsur-angsur pula. Tujuan percobaan ini pada dasarnya adalah untuk mencari nilai batas modular, yang selanjutnya digunakan untuk menentukan kondisi suatu aliran percobaan A apakah dalam keadaan modular atau menyelam

- c. Ketiga (percobaan tiga; C) percobaan pada kondisi debit berbeda, serta pada kondisi debit tetap tanpa mengubah sudut plat pembendungan. Tujuannya antara lain juga untuk mendapatkan nilai koefisien debit serta hubungan antara energi spesifik aliran dan tinggi muka air.

Percobaan tiga diterapkan pada percobaan pintu sorong. Percobaan satu diterapkan pada percobaan ambang tajam segi empat dan segi tiga. Untuk model ambang lebar diterapkan percobaan satu dan dua sekaligus.

4.9 Prosedur Percobaan

Semua percobaan dilakukan pada kedudukan saluran mendatar (kemiringan 0°). Kedudukan ini diatur dengan memutar alat pengatur kemiringan dasar saluran.

1. Prosedur Penelitian Pintu Sorong

- a. Atur saluran dalam keadaan mendatar
- b. Letakkan pintu sorong pada tempat pengamatan
- c. Atur bukaan pintu (y_g) setinggi 20 mm di atas dasar saluran

- d. Rapatkan bagian tepi pintu dan dinding kaca dengan plastisin agar tak terjadi kebocoran air
- e. Tutup keran pipa aliran dari water tower (keran B) untuk aliran langsung dari pompa atau tutup keran dari pompa (keran A) untuk aliran dari water tower
- f. Alirkan air ke dalam saluran
- g. Atur tinggi muka air di bagian hulu setinggi 230 mm dengan menaikkan atau mengurangi debit aliran
- h. Tunggu hingga menghasilkan aliran langgeng (*steady*)
- i. Ukur dan catat debit (Q), kedalaman air hulu (h_1), tinggi tenaga (H) yang ditunjukkan oleh piezometer dan kedalaman air hilir (h_2)
- j. Naikkan bukaan pintu sorong setiap 5 mm dan atur kedalaman muka air hulu tetap pada 230 mm dengan mengatur debit aliran
- k. Ukur dan catat untuk setiap bukaan pintu : Q , h_1 , h_2 dan H
- l. Prosedur diulangi untuk percobaan dengan debit (Q) tetap atau h_1 berubah.

2. Prosedur Penelitian Ambang Tajam Segi Empat

- a. Atur saluran dalam keadaan mendatar
- b. Letakkan bendung ambang tajam kedalam dasar saluran lalu rapatkan sisi dan dasarnya dengan plastisin

- c. Tutup keran pipa aliran dari water tower (keran B) untuk aliran langsung dari pompa atau tutup keran dari pompa (keran A) untuk aliran dari water tower
- d. Alirkan air ke dalam saluran hingga melewati puncak ambang lalu pompa dimatikan atau tutup keran B untuk aliran dari water tower
- e. Catat tinggi muka air sampai puncak bendung sebagai kedalaman air datum atau cara lain adalah dengan mengukur tinggi alat dari dasar saluran hingga puncak ambang
- f. Alirkan lagi air ke dalam saluran hingga didapat tinggi tenaga (h_1)
- g. Ukur dan catat tinggi tenaga (h_1), tinggi air di atas ambang (h_2) dan debit (Q)
- h. Prosedur diulang untuk beberapa nilai h_1 dengan interval 5 mm.

3. Prosedur Penelitian Ambang Tajam Segi Tiga (*v-notch*)

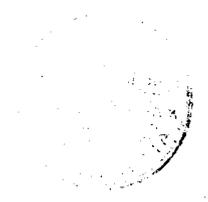
- a. Atur saluran dalam keadaan mendatar
- b. Letakkan bendung ambang segi tiga kedalam dasar saluran lalu rapatkan sisi dan dasarnya dengan plastisin
- c. Tutup keran pipa aliran dari water tower (keran B) untuk aliran langsung dari pompa atau tutup keran dari pompa (keran A) untuk aliran dari water tower
- d. Alirkan air ke dalam saluran hingga melewati puncak ambang lalu pompa dimatikan atau tutup keran B untuk aliran dari water tower

- e. Catat tinggi muka air sampai awal sudut ambang sebagai kedalaman air datum atau cara lain adalah dengan mengukur tinggi alat dari dasar saluran hingga sudut ambang
- f. Alirkan lagi air ke dalam saluran hingga didapat tinggi tenaga (h_1)
- g. Ukur dan catat tinggi tenaga (h_1), tinggi air di atas ambang (h_2) dan debit (Q)
- h. Prosedur diulang untuk beberapa nilai h_1 dengan interval 5 mm.

4. Prosedur Penelitian Ambang Lebar

- a. Atur saluran dalam keadaan mendatar
- b. Letakkan bendung ambang lebar kedalam dasar saluran lalu rapatkan sisi dan dasarnya dengan plastisin
- c. Tutup keran pipa aliran dari water tower (keran B) untuk aliran langsung dari pompa atau tutup keran dari pompa (keran A) untuk aliran dari water tower
- d. Alirkan air ke dalam saluran hingga melewati puncak ambang lalu pompa dimatikan atau tutup keran B untuk aliran dari water tower
- e. Catat tinggi muka air sampai puncak bendung sebagai kedalaman air datum atau cara lain adalah dengan mengukur tinggi alat dari dasar saluran hingga puncak ambang
- f. Alirkan lagi air ke dalam saluran hingga didapat tinggi tenaga (h_1)

- g. Ukur dan catat tinggi tenaga (h_1), tinggi air di atas ambang (h_2 dan h_3) dan debit (Q)
- h. Prosedur diulang untuk beberapa nilai h_1 dengan interval 5 mm
- i. Untuk mengetahui batas modular, plat pembendungan dinaikkan secara perlahan dan prosedur di atas dilakukan lagi dan tinggi muka air pada hulu (h_4) dan hilir (h_5) loncat air dicatat



BAB V

PEMBAHASAN PENELITIAN

5.1 Umum

Setelah melakukan pengambilan data dari percobaan yang telah dilakukan kemudian dilihat hasil-hasil yang akan diperoleh dan dibandingkan dengan hasil-hasil yang telah diperoleh oleh Adiantara. Hubungan antara debit dan tinggi muka air hulu, hubungan koefisien debit dengan tinggi muka air hulu serta kesaksamaan pengukuran diuraikan dalam sub bab – sub bab berikut.

5.2 Penentuan Kondisai Allran dan Batas Modular

Apa yang dimaksud dengan menentukan kondisi aliran adalah menentukan suatu aliran dalam keadaan modular ataukah menyelam.

Hal ini diterapkan pada percobaan ambang lebar dengan menaikkan pelat pembendungan (percobaan B). Hal yang pertama harus dilakukan adalah mencari nilai batas modular yang diketahui dengan mengamati tinggi muka air hulu pada setiap nomor percobaan.

Aliran hulu adalah bagian aliran yang berada di antara awal saluran dan model. Aliran hulu mulai mendapat pengaruh jika muka air hulu yang berada di dekat model sudah mulai terpengaruh. Pada seluruh percobaan B

ini tidak terdapat data tinggi muka air hulu dekat model yang ada adalah data h_1 yang diukur pada jarak minimal 60 cm sebelum model. Sebagai gantinya, tinggi muka air yang diamati untuk menentukan batas modular adalah tinggi muka air di atas model. Jika tinggi muka air di daerah ini telah terpengaruh maka muka air hulu di dekat model dicurigai telah terpengaruh. Jika muka air di atas model telah menunjukkan kenaikan pasti maka alirannya dianggap telah mencapai atas modular. Nilai SR pada kondisi ini menjadi nilai batas modular (lihat lampiran 27).

Nilai SR setiap percobaan ambang lebar dengan pelat pembendungan tidak dinaikkan (percobaan A) diperbandingkan dengan nilai batas modular tadi. Bila nilai SR-nya kurang atau sama dengan nilai batas modular alirannya dikatakan sebagai aliran modular. Bila melebihi, alirannya dikatakan sebagai aliran menyelam.

Sedangkan untuk percobaan ambang segi empat, ambang segi tiga dan pintu sorong dalam kondisi aliran bebas karena muka air hilirnya berada dibawah puncak ambang dan tidak ada pembendungan.

5.3 Pembahasan Penelitian Pintu Sorong

Dari data hasil percobaan dapat dicari besarnya nilai koefisien debit (C_d). Perhitungan nilai $C_{d_{ukur}}$ menggunakan rumus

$$C_d = \frac{Q/B}{h_c \sqrt{2gh_c}} \dots\dots\dots (5.1)$$

sedangkan $C_{d_{Teori}}$ memakai rumus

$$Cd = \frac{h_2/h_e}{\sqrt{1+(h_2/h_1)}} \dots\dots\dots(5.2)$$

Untuk memperoleh Kesaksamaan pengukuran Cd (\bar{K}) dipakai rumus

$$K = \left(1 - \frac{|Cd_{Ukur} - Cd_{Teori}|}{Cd_{Teori}}\right) \times 100\% \dots\dots\dots(5.3)$$

dan untuk Kesaksamaan rata-rata pengukuran Cd (\bar{K}) memakai rumus

$$\bar{K} = \sum_{j=1}^n K_j \dots\dots\dots(5.4)$$

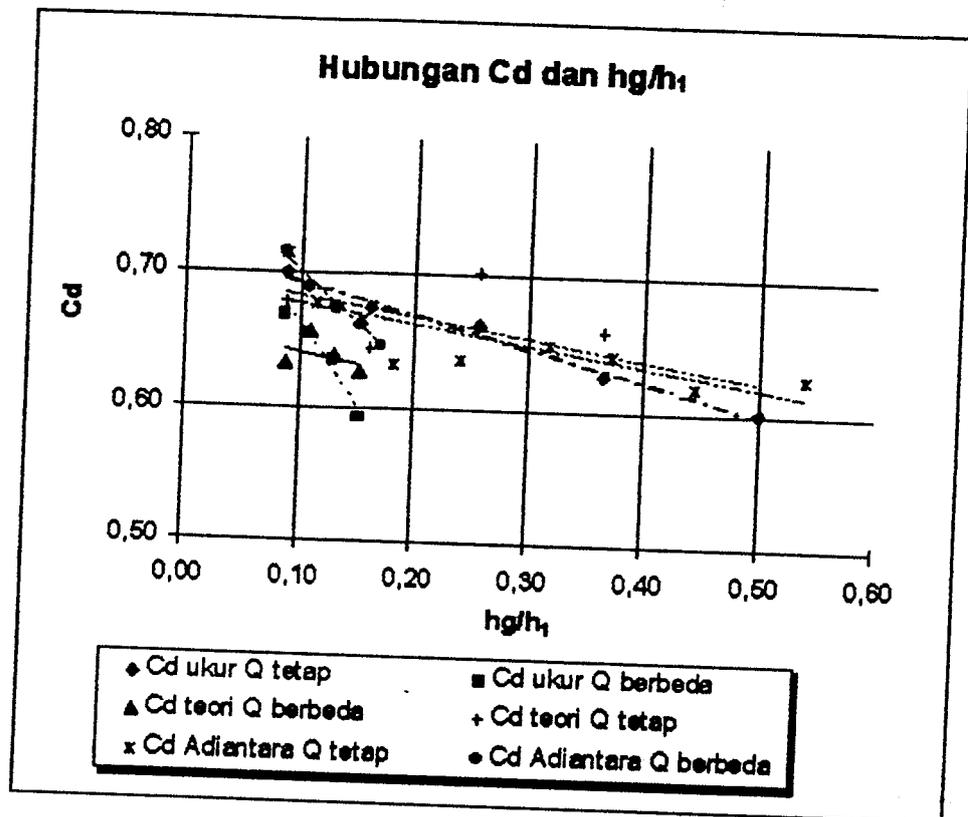
Hasil perhitungan dapat kita lihat pada tabel berikut.

Tabel 5.1. Perhitungan koefisien debit dan energi spesifik aliran pada pintu sorong.

| No. Percobaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------|---------|---------|----------|---------|---------|
| Keterangan | | | h1 Tetap | | |
| hg/h1 | 0,0870 | 0,1087 | 0,1304 | 0,1522 | 0,1860 |
| Cd Ukur | 0,6682 | 0,6551 | 0,6354 | 0,5932 | 0,6833 |
| Cd Teori | 0,63237 | 0,65618 | 0,63944 | 0,62656 | 0,65844 |
| Kesaksamaan Cd % | 94,3279 | 99,8299 | 99,3642 | 94,6813 | 96,2229 |
| No. Percobaan | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Keterangan | | | Q1 Tetap | | |
| hg/h1 | 0,0870 | 0,1613 | 0,2564 | 0,3648 | 0,5000 |
| Cd Ukur | 0,7004 | 0,6745 | 0,6627 | 0,6271 | 0,6011 |
| Cd Teori | 0,67962 | 0,64552 | 0,70087 | 0,65896 | 0,60246 |
| Kesaksamaan Cd % | 96,9357 | 95,5155 | 94,5549 | 95,1632 | 99,7694 |

Dengan menggunakan rumus 5.4 kita peroleh $\bar{K} = 96,64 \%$.

Untuk menjadikan koefisien debit ukur equivalen koefisien debit standar (Cd teori), koefisien debit ukur dikalikan suatu faktor pengali yang diambil dari angka kesaksamaan rata-rata yaitu 0,9664 . Lihat lampiran 21 juga lampiran 17 untuk olah data dan data hasil pengukuran.



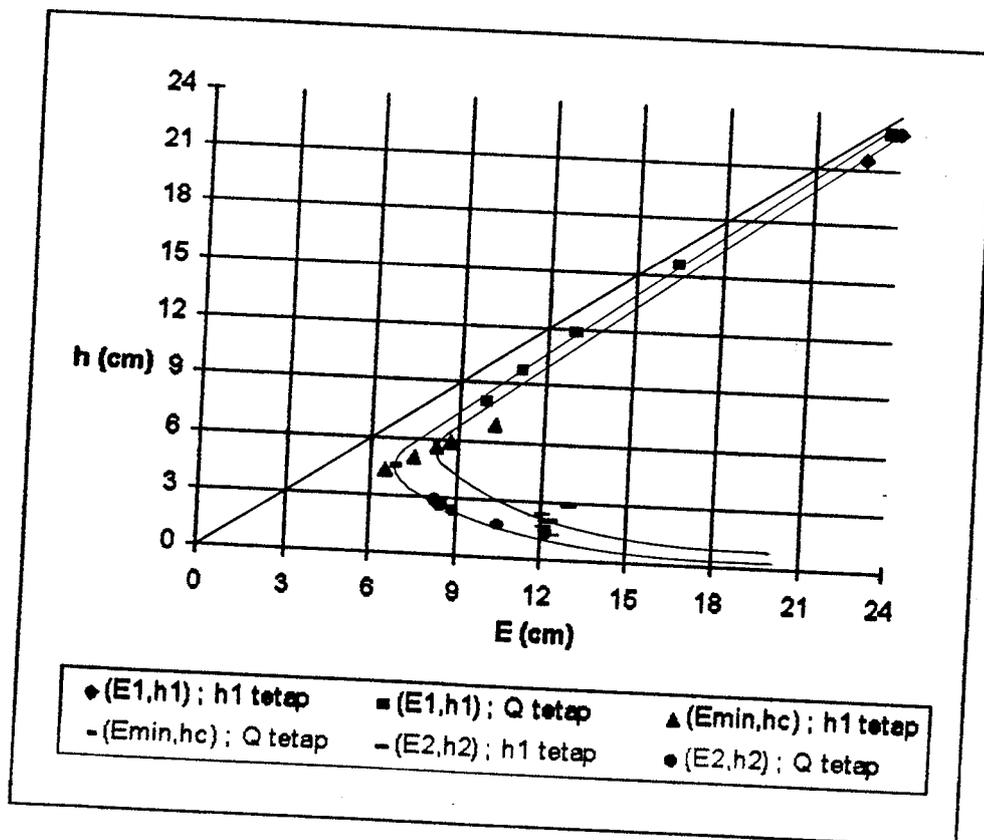
Gambar 5.1. Grafik hubungan antara Cd_{ukur} dan hg/h_1

Pada percobaan di atas diperoleh garis grafik Cd_{ukur} cenderung turun seperti garis grafik Cd_{teori} yang cenderung turun. Di dalam percobaan aliran di bawah Pintu Sorong yang dilakukan Adiantara pada fasilitas Laboratorium Hidrolika PAU-UGM diperoleh kesaksamaan rata-rata Cd sebesar 95,58 % dengan garis grafik Cd_{ukur} cenderung turun pula.

Kesaksamaan rata-rata pengukuran koefisien debit yang didapatkan Adiantara terhadap koefisien standar yang diperoleh lewat rumus lebih rendah dari kesaksamaan pengukuran yang penulis peroleh. Apabila pengukuran ini mengacu pada keakuratan percobaan Adiantara maka

koefisien debit yang diperoleh harus dikalikan dengan suatu faktor pengali. Faktor pengali tersebut diperoleh dengan membandingkan kesaksamaan pengukuran yang penulis peroleh dengan kesaksamaan yang Adiantara peroleh maka didapatkan faktor pengali 0,98903 .

Jadi dapat dikatakan bahwa kesaksamaan pengukuran aliran di bawah Pintu Sorong pada fasilitas Laboratorium Hidrolika FTSP-UH terhadap acuan standar mendekati sama dengan fasilitas yang pakai oleh Adiantara. Perhitungan kesaksamaan pengukuran yang dilakukan oleh Adiantara dapat dilihat pada lampiran 22. Gambar grafik hubungan C_d dengan h_g/h_1 serta tinggi energi aliran pada percobaan Adiantara dapat dilihat pada lampiran 9.



Gambar 5.2. Grafik hubungan Energi aliran dengan tinggi muka air.



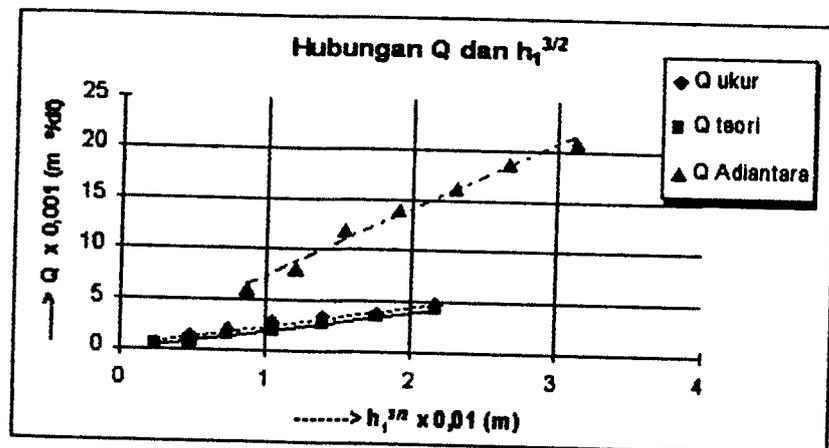
Gambar 5.3. Aliran di hulu dan hilir Pintu Sorong.

5.4 Pembahasan Penelitian Ambang Segi Empat

Dari data percobaan dapat dicari hubungan antara tinggi muka air hulu dengan debit aliran hasil pengukuran atau koefisien debit. Hubungan antara h dan Q dapat dicari dengan cara-cara berikut. Cara pertama adalah dengan menggunakan rumus pengaliran menurut dasar teori. Data hubungan $h^{3/2}$ dan Q ditabelkan pada tabel dibawah dan diplotkan pada gambar 5.4. yang mengikutinya.

Tabel 5.2. Hubungan Q dan $h_1^{3/2}$.

| No. Percobaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $h_1^{3/2} \times 0,01$ | 2,1784 | 1,7732 | 1,3968 | 1,0516 | 0,7408 | 0,4685 | 0,2415 |
| $Q \times 0,001 \text{ m}^3/\text{dt}$ | 4,7500 | 3,8000 | 3,2500 | 2,7444 | 2,0031 | 1,3351 | 0,8373 |



Gambar 5.4. Hubungan antara Q dan $h_1^{3/2}$ pada Ambang Tajam Segi Empat.

Pada gambar dapat kita lihat garis lurus yang mewakili setiap sebaran titik. Dari garis tersebut dapat kita peroleh gradien garisnya. Gradien yang didapat secara teoritis terbentuk dari $Cd \frac{2}{3} B \sqrt{2g}$. Dengan demikian diperoleh nilai gradiennya adalah 2.0255 dan koefisien debit Cd adalah 0,686. Persamaan aliran yang diperoleh adalah

$$Q = 0,686 \cdot \frac{2}{3} B \sqrt{2g} h_1^{3/2} \dots\dots\dots(5.5)$$

Sedangkan Adiantara memperoleh persamaan aliran di dalam percobaannya adalah

$$Q = 0,743 \cdot \frac{2}{3} B \sqrt{2g} h_1^{3/2} \dots\dots\dots(5.6)$$

Kesaksamaan pengukuran keduanya terhadap pengukuran standar yang dilakukan oleh Reginald adalah 66,45 % untuk percobaan ini dan 67,78 % untuk pengukuran yang dilakukan oleh Adiantara. Hal ini berasal dari rumus koefisien debit empiris Reginald yang digunakan, yaitu

$$Cd = 0,602 + 0,075 \frac{h_1}{w} \dots\dots\dots(5.7)$$

Sedangkan koefisien debit ukur diperoleh dengan rumus

$$Cd = \frac{Q}{\frac{2}{3} B \sqrt{2g} h_1^{3/2}} \dots\dots\dots(5.8)$$

Kesaksamaan pengukuran koefisien debit dan hubungan koefisien debit dengan tinggi muka air hulu dari puncak ambang h_1 dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

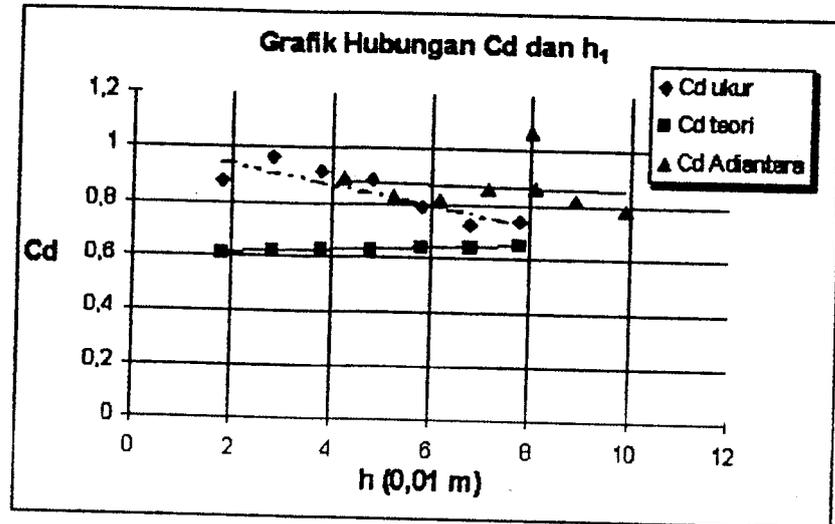
Tabel 5.3. Hubungan koefisien debit Cd dengan h_1 .

| No. Percobaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| h_1 (0,01 m) | 7,8 | 6,8 | 5,8 | 4,8 | 3,8 | 2,8 | 1,8 |
| Cd_{ukur} | 0,7384 | 0,7257 | 0,7879 | 0,8838 | 0,9180 | 0,9650 | 0,8769 |
| Cd_{teori} | 0,6508 | 0,6445 | 0,6383 | 0,6320 | 0,6258 | 0,6195 | 0,6133 |
| Kesaksamaan % | 86,5305 | 87,3998 | 76,5497 | 60,1646 | 53,2908 | 44,2283 | 57,0134 |

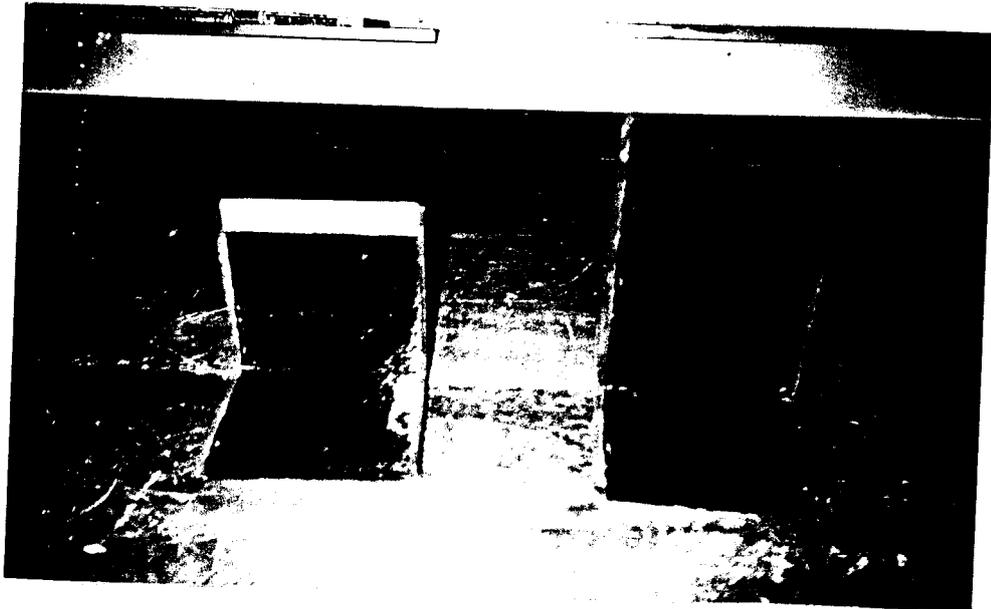
Kesaksamaan rata-rata koefisien debit menurut rumus 5.4 adalah 66,45 % .

Untuk memperoleh nilai pengukuran sama dengan nilai pengukuran standar maka nilai pengukuran dikalikan dengan suatu faktor yang diperoleh dari angka kesaksamaan rata-rata yaitu 0,6645 (lihat lampiran 18 dan 23). Sedangkan pengukuran yang mengacu pada percobaan Adiantara, koefisien debit yang diperoleh harus dikalikan dengan suatu faktor yang diperoleh dari perbandingan antara kesaksamaan pengukuran Adiantara dan penelitian ini yaitu 1,019994 .

Untuk kesaksamaan pengukuran koefisien debit pada percobaan Adiantara dapat dilihat pada lampiran 24 serta lampiran 10, 11, 12, 13.

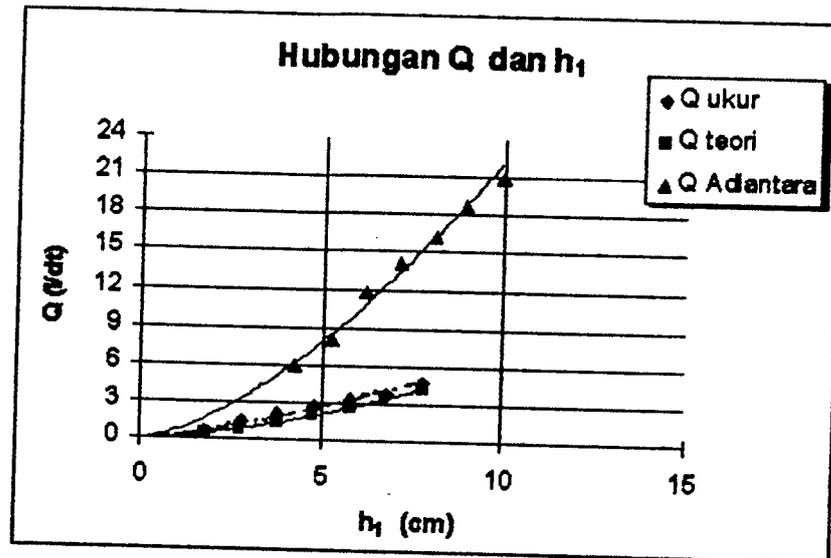


Gambar 5.5. Grafik hubungan antara Cd dan h data percobaan pada Ambang Segi Empat.



Gambar 5.6. Ambang Tajam Segi Empat dan Ambang Tajam Segi Tiga.

Cara kedua adalah dengan memplotkan Q dan h pada grafik dalam bentuk $Q = kh^n$. Grafik yang diperoleh terlihat pada gambar 5.7.



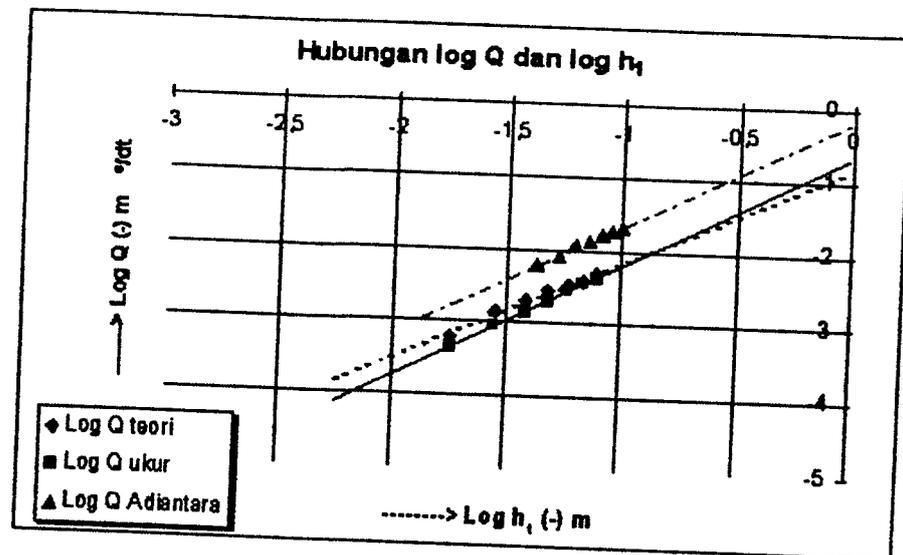
Gambar 5.7. Grafik hubungan Q dan h pada Ambang Segi Empat.

Hubungan antara debit (Q) dan tinggi air hulu dari puncak ambang (h_1) adalah $Q = 0,1483h_1^{1,3367}$ (5.9)

Cara ketiga adalah dengan dengan me-log-kan persamaan $Q = kh^n$ dalam bentuk persamaan garis lurus $\log Q = \log k + n \log h$. Data $\log Q$ dan $\log h$ tertera pada tabel di bawah. Bila data $\log Q$ dan $\log h$ diplotkan pada grafik maka diperoleh sebaran titik dengan garis yang mewakilinya berupa garis lurus (gambar 5.7). Di sini n merupakan gradien garis sedangkan $\log k$ nilainya sama dengan $\log Q$ pada perpotongan garis dengan sumbu $\log Q$.

Tabel 5.4. Data $\log Q$ dan $\log h$

| No. Percobaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Log h_1 (-) m | 1,1079 | 1,1675 | 1,2366 | 1,3188 | 1,4202 | 1,5528 | 1,7447 |
| Log Q (-) m^3/dt | 2,3233 | 2,4202 | 2,4881 | 2,5615 | 2,6972 | 2,8745 | 3,2039 |



Gambar 5.8. Hubungan log Q dan log h pada Ambang Segi Empat.

Dari grafik di atas diperoleh

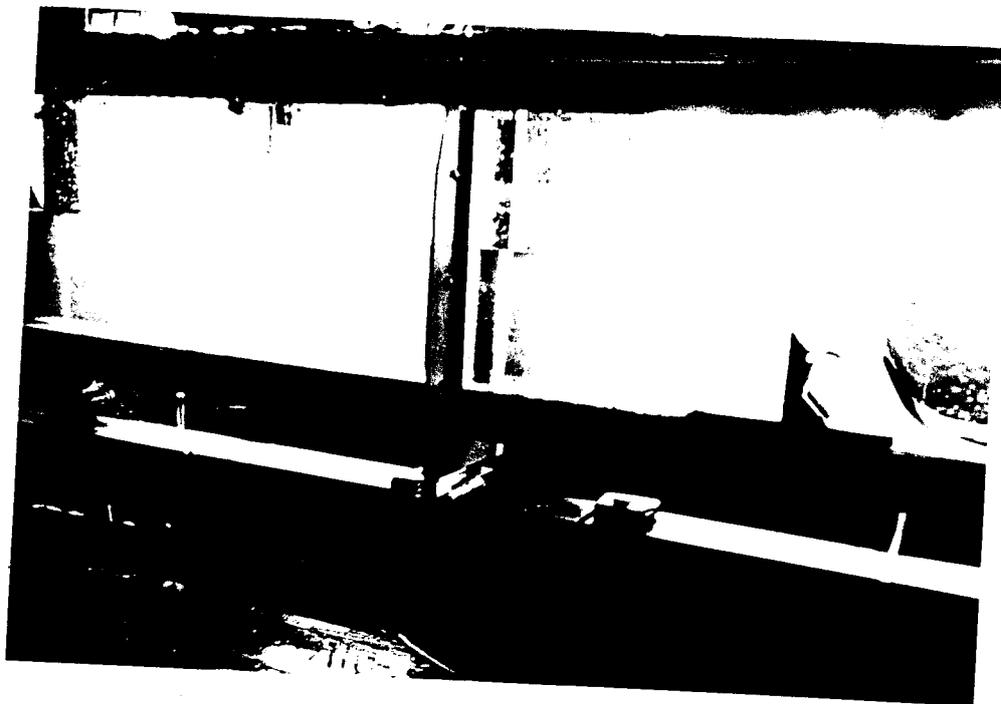
$$\begin{aligned} n &= 1,3367 \\ \log k &= -0,829 \\ k &= 0,1483 \end{aligned}$$

$$Q = 0,1483 \cdot h_1^{1,3367} \dots\dots\dots(5.10)$$

Untuk percobaan yang dilakukan oleh Adiantara diperoleh persamaan aliran

$$Q = 0,495 h_1^{1,377} \dots\dots\dots(5.11)$$

Perbedaan menyolok yang terjadi pada kedua persamaan di atas dikarenakan dimensi lebar saluran yang berbeda. Artinya bahwa masing-masing persamaan tersebut hanya cocok digunakan pada saluran dengan lebar yang sama. Tren garis yang diperoleh dalam penelitian ini sama dengan tren garis milik Adiantara, Meski tren garis koefisien debit adiantara lebih datara dari percobaan ini namun kedua-duanya menunjukkan trend garis turun.



Gambar 5.9. Percobaan Ambang Segi Empat.

5.5. Pembahasan Penelitian Ambang Segi Tiga

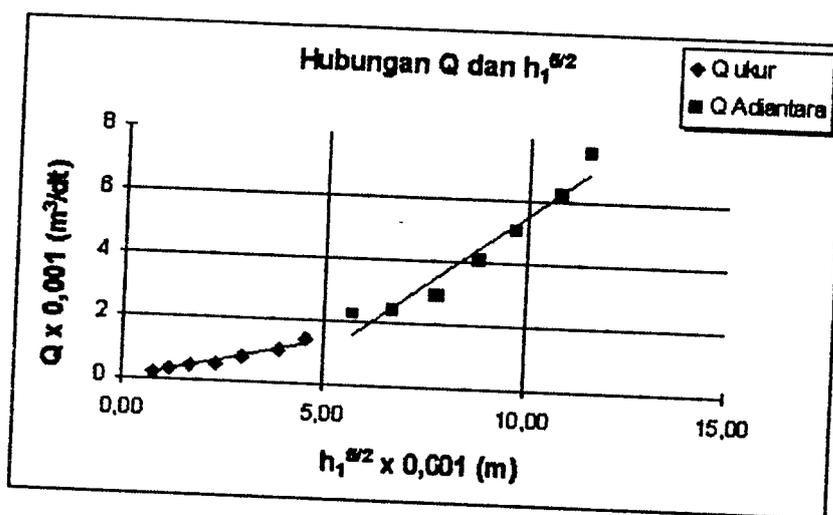
Seperti pada pembahasan ambang segi empat, dari data-data percobaan yang diperoleh dapat dicari hubungan antara tinggi muka air hulu dengan debit aliran hasil pengukuran atau koefisien debit. Namun untuk ambang segi tiga ini tidak dapat diperbandingkan dengan pengukuran standar dari Reginald karena sudut V model yang dicobakan tidak standar. Sudut V model standar adalah 90° sedangkan model yang dipakai bersudut 60° . Data pengukuran dan hitungan pada lampiran 19 dan 25.

Hubungan antara h dan Q dicari dengan cara menggunakan rumus pengaliran $Q = Cd \cdot \frac{8}{15} \cdot \tan(\frac{60^\circ}{2}) \sqrt{2gh_1^{\frac{3}{2}}}$ (5.12).

Data hubungan $h_1^{5/2}$ dan Q ditabelkan pada tabel dibawah dan diplotkan pada gambar 5.9. yang mengikutinya.

Tabel 5.5. Hubungan antara $h_1^{5/2}$ dan Q .

| No. Percobaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $h_1^{5/2} \times 0,001$ (m) | 0,7094 | 0,5590 | 0,4296 | 0,3200 | 0,2292 | 0,1559 | 0,0988 |
| $Q \times 0,001$ (m ³ /dt) | 1,3876 | 0,9960 | 0,7671 | 0,5300 | 0,4411 | 0,3127 | 0,2167 |



Gambar 5.10. Grafik hubungan $h_1^{5/2}$ dan Q pada Ambang Segi Tiga.

Kedua garis tersebut menunjukkan kecenderungan sama yaitu bertambahnya debit seiring dengan bertambahnya tinggi air hulu.

Pada gambar dapat kita lihat garis lurus yang mewakili setiap sebaran titik. Dari garis tersebut dapat kita peroleh gradien garisnya. Gradien yang didapat secara teoritis terbentuk dari $\frac{8}{15} Cd \sqrt{2g}$. Dengan demikian diperoleh nilai gradiennya adalah 1,861 dan koefisien debit Cd adalah 1,3645. Persamaan aliran yang diperoleh

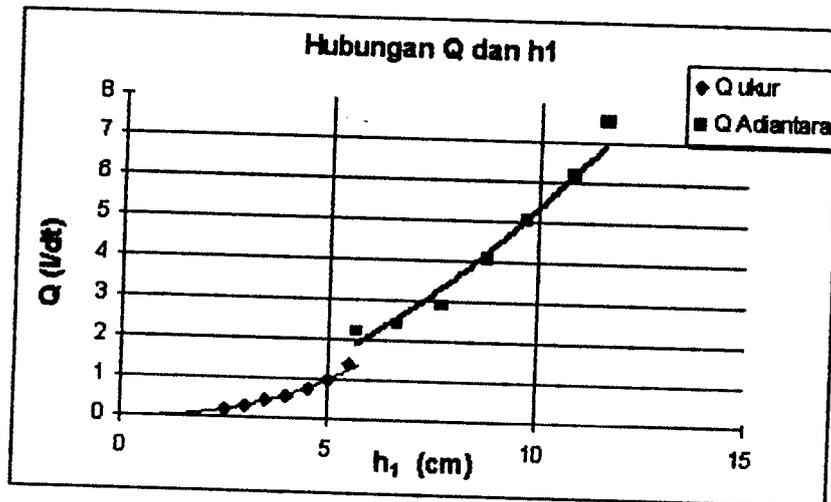
$$Q = 1,3645 \cdot \frac{8}{15} \cdot \tan(\frac{\alpha}{2}) \cdot \sqrt{2g} h_1^{\frac{5}{2}} \dots\dots\dots(5.13).$$

Adiantara memperoleh persamaan aliran pada percobaannya

$$Q = 0,743 \cdot \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot h_1^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots(5.14)$$

dengan sudut ambang 90°. Kesaksamaan pengukuran koefisien debit yang diperoleh Adiantara dalam percobaannya adalah 75,27 % (lampiran 26).

Dengan cara kedua akan diperoleh hubungan antara Q dan h pada grafik dalam bentuk $Q = kh^n$. Hubungan keduanya dapat dilihat pada gambar 5.11 di bawah ini.

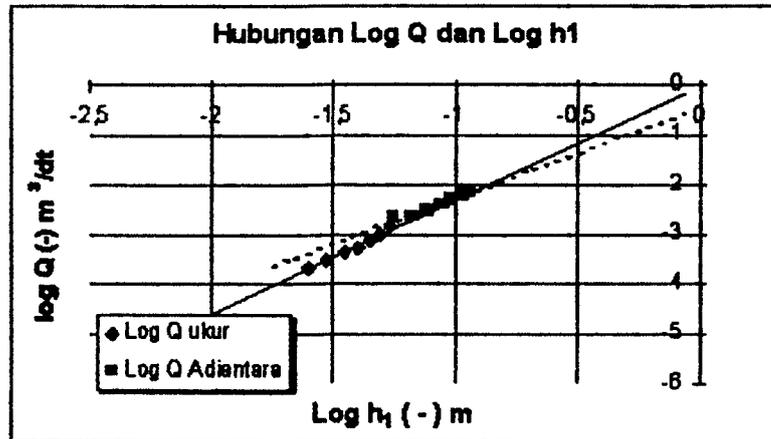


Gambar 5.11. Grafik hubungan Q dan h₁ pada Ambang Tajam Segi Tiga dengan persamaan garis $Q = 0,025h_1^{2,2928}$.

Cara berikutnya dengan me-log-kan setiap ruas persamaan di atas menjadi persamaan garis lurus $\log Q = \log k + n \log h$. Besar nilai log Q dan log h diperlihatkan pada tabel di bawah dan diplotkan pada gambar 5.12.

Tabel 5.6. Hubungan log Q dan log h₁.

| | | | | | | | |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| No. Percobaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Log h ₁ (-) m | 1,2596 | 1,3010 | 1,3468 | 1,3979 | 1,4559 | 1,5229 | 1,6021 |
| Log Q (-) m ³ /dt | 2,8577 | 3,0018 | 3,1152 | 3,2757 | 3,3555 | 3,5049 | 3,6642 |



Gambar 5.12. Grafik hubungan log Q dan log h₁ pada Ambang Tajam Segi Tiga.

Dari grafik di atas kita dapatkan

$$\begin{aligned}
 n &= 2,2958 \\
 \log k &= - 0,0111 \\
 k &= 0,975 \\
 Q &= 0,975 \cdot h_1^{2,2958} \dots\dots\dots(5.15)
 \end{aligned}$$

Adiantara memperoleh persamaan aliran dengan lebar saluran 30 cm

$$Q = 0,640 \cdot h_1^{1,377} \dots\dots\dots(5.16)$$

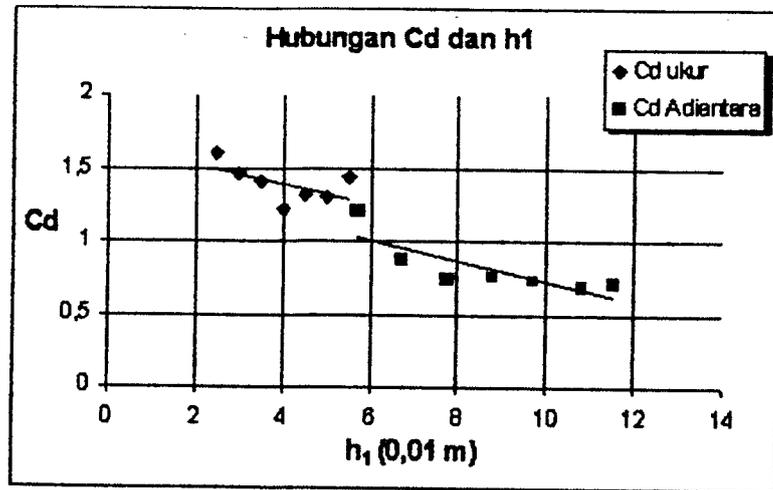
Nilai Cd selain diperoleh dengan cara pertama di atas, juga dapat di peroleh dari rumus pengaliran

$$Cd = \frac{Q}{\frac{8}{15} \tan(\frac{60}{2}) \sqrt{2g} h_1^{3/4}} \dots\dots\dots(5.17).$$

Nilai Q dan h₁ diperoleh dari data-data percobaan. Hasil perhitungannya ditampilkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 5.7. Hubungan Cd dan h₁.

| No. Percobaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| h ₁ (0,01 m) | 5,5 | 5,0 | 4,5 | 4,0 | 3,5 | 3,0 | 2,5 |
| Cd | 1,4341 | 1,3063 | 1,3092 | 1,2144 | 1,4111 | 1,4705 | 1,6075 |



Gambar 5.13. Hubungan C_d dan h pada Ambang Tajam Segi Tiga.



Gambar 5.14. percobaan pada Ambang Tajam Segi Tiga.

Perhitungan dan grafik pengujian pada ambang tajam segi Empat yang di lakukan Adiantara dapat dilihat pada lampiran 26, 10, 11, 12, 13. Grafik pengukuran dari Adiantara dan percobaan ini menunjukkan kecenderungan yang sama.

5.6 Pembahasan Penelitian Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan

Menurut cara penentuan batas modular aliran percobaan A menunjukkan keadaan aliran modular. Maka kita dapat dengan cara sama mencari hubungan debit dengan tinggi muka air dan koefisien debit seperti pada pembahasan ambang tajam segi empat dan segi tiga.

Cara pertama untuk mendapatkan rumus pengaliran adalah menurut dasar teori. Cara ini diterapkan pada aliran modular tetapi tidak bisa diterapkan pada aliran menyelam karena tidak mempunyai rumus pengaliran menurut dasar teori. Untuk setiap nomer percobaan dengan kondisi aliran modular, terlebih dahulu dihitung besarnya nilai $H^{1.5}$ di mana $H = E_1 - w$ dengan E_1 adalah tinggi energi spesifik aliran hulu dan w adalah tinggi ambang ($w = 10$ cm). Hubungan antara Q dan $h^{1.5}$ dapat dilihat pada tabel di bawah dan diplotkan pada gambar yang mengikutinya. Data pengukuran dan perhitungan dapat dilihat pada lampiran 20 dan 27.

Tabel 5.8. Hubungan antara Q dan $H^{1.5}$ pada ambang lebar.

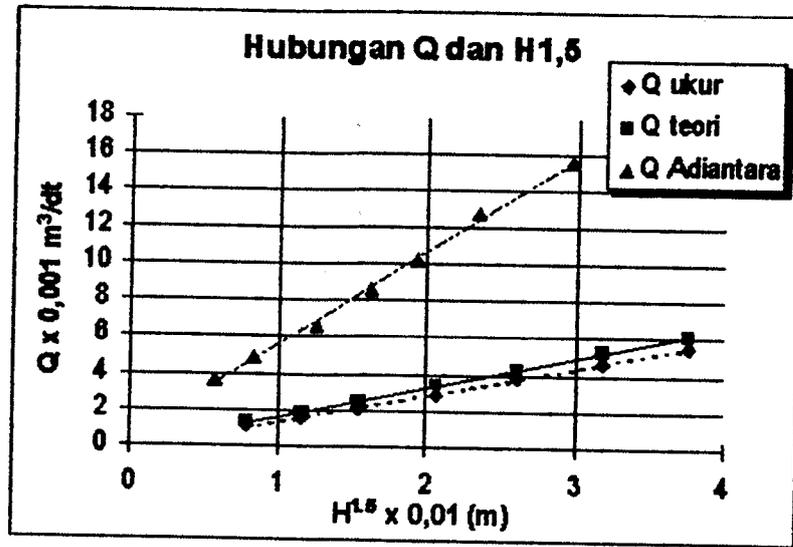
| No. Percobaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| H | 11,2010 | 10,0320 | 8,8084 | 7,5187 | 6,1790 | 5,1310 | 3,9596 |
| Q | 5,4889 | 4,6604 | 3,8000 | 2,9059 | 2,1111 | 1,5833 | 1,0511 |
| $H^{1.5} \times 0,01$ (m) | 3,7490 | 3,1775 | 2,6142 | 2,0616 | 1,5259 | 1,1623 | 0,7879 |

Untuk perbandingan digunakan standar Reginald memakai rumus pengaliran

$$Q = Cd \cdot B \sqrt{g} \cdot \left(\frac{2}{3}H\right)^{1.5} \dots\dots\dots(5.18)$$

dengan

$$Cd = \left(1 - \frac{0,006}{B}L\right) \left(1 - \frac{0,003}{h}L\right)^{1.5} \dots\dots\dots(5.19)$$



Gambar 5.15. Hubungan Q dan H^{1,5} ambang lebar.

Dari grafik di atas diperoleh gradien garis 0,15137 dengan koefisien debit aliran

$$Cd = \frac{0,15137}{(\frac{2}{3})^{1,5} B \sqrt{g}} = 0,888 \dots\dots\dots(5.20)$$

Persamaan aliran modular yang diperoleh adalah:

$$Q = 0,888 \cdot B \sqrt{g} (\frac{2}{3} H)^{1,5} \dots\dots\dots(5.21).$$

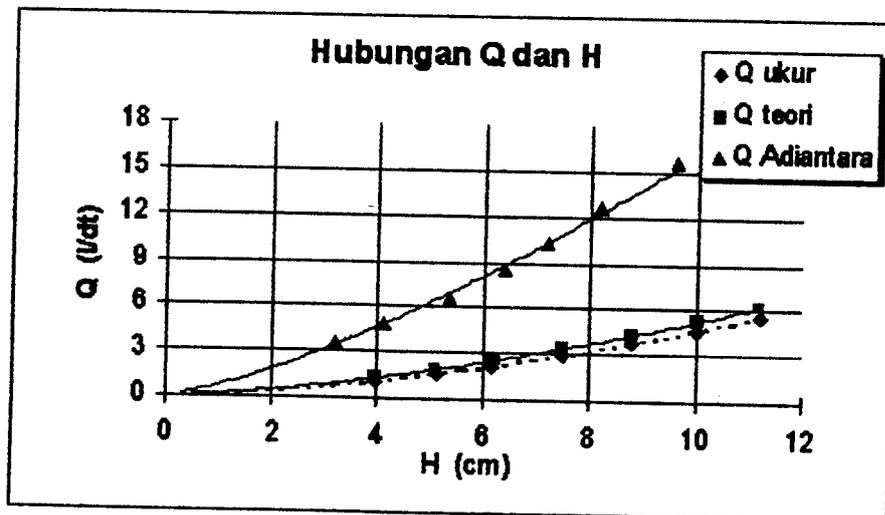
Adiantara di dalam percobaannya memperoleh rumus pengaliran

$$Q = 1,064 \cdot B \sqrt{g} \cdot (\frac{2}{3} H)^{1,5} \dots\dots\dots(5.22).$$

Kesaksamaan pengukuran dari koefisien debit pada percobaan yang dilakukan ini adalah 86,43 % (lihat lampiran 27). Adiantara di dalam pengujiannya memperoleh kesaksamaan pengukuran sebesar 88,16 % (lihat lampiran 28, 29). Agar pengukuran Ambang Lebar pada fasilitas tilting flume milik FTSP UII sesuai dengan pengukuran koefisien debit standar

Reginald maka perlu dikalikan dengan suatu faktor. Faktor tersebut diperoleh dari angka kesaksamaan rata-rata pengukuran yaitu 0,8643. Sedangkan terhadap koefisien yang diperoleh Adiantara, pengukuran koefisien debit ambang lebar pada fasilitas *tilting flume* FTSP UII harus dikalikan dengan suatu faktor. Nilai faktor tersebut diperoleh dari perbandingan kesaksamaan rata-rata pengujian Adiantara dengan pengujian ini yaitu 1,02. Perhitungan kesaksamaan dan grafik pengukuran percobaan Adiantara dapat dilihat pada lampiran 28, 29, 14, 15.

Cara berikutnya untuk mencari hubungan Q dan H adalah dengan memplotkan data-data Q dan H pada grafik dengan bentuk $Q = k H^n$. Grafik hubungan Q dan H dapat dilihat pada gambar 5.16.



Gambar 5.16. Hubungan antara Q dan H Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan.

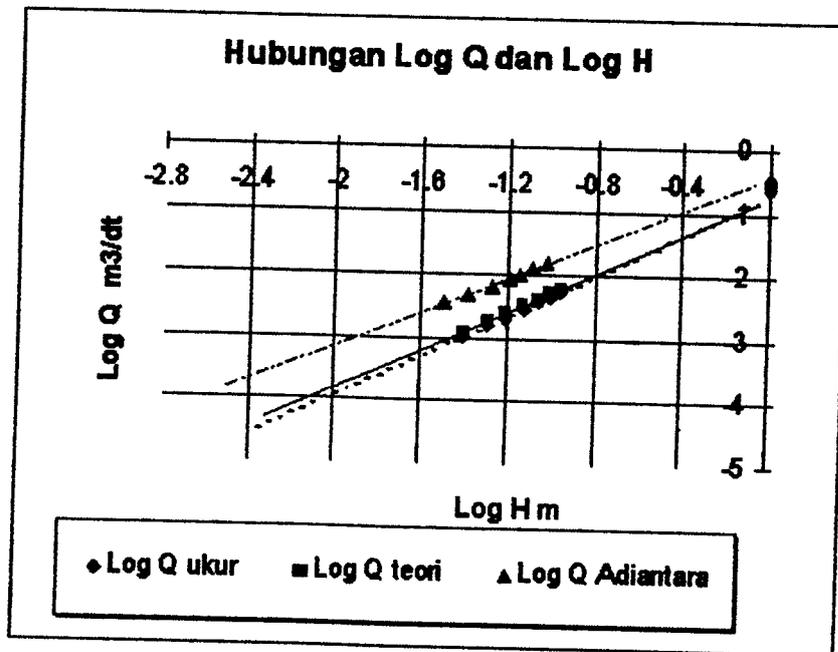
Dari grafik di atas didapatkan hubungan Q dan H dengan persamaan:

$$Q = 0,1157 H^{1,6002} \dots\dots\dots(5.23).$$

Dengan me-log-kan $Q = k H^n$ menjadi $\log Q = \log k + n \log h$ untuk sebuah persamaan garis lurus akan diperoleh hubungan Q dan H dalam $Q = k H^n$. Data log Q dan log H ditampilkan dalam tabel di bawah dan diplot pada gambar 5.17.

Tabel 5.9. Hubungan log Q dan log H Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan.

| No. Percobaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Log h_1 (-) m | 0,9507 | 0,9986 | 1,0551 | 1,1239 | 1,2091 | 1,2091 | 1,4023 |
| Log Q (-) m^3/dt | 2,2605 | 2,3316 | 2,4202 | 1,5367 | 2,6755 | 2,8004 | 2,9784 |



Gambar 5.17. Hubungan log Q dan log H pada Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan. .

Dari grafik kita peroleh:

$$\begin{aligned}n &= 1,6002 \\ \log k &= - 0,7363 \\ k &= 1,8352\end{aligned}$$

$$Q = 1,8352 \cdot H^{1,6002} \dots\dots\dots(5.24)$$

Adiantara pada percobaannya memperoleh persamaan aliran

$$Q = 0,543 \cdot H^{1,377} \dots\dots\dots(5.25).$$

Kedua persamaan di atas (5.24 dan 5.25) hanya untuk aliran modular dengan masing-masing lebar saluran.

Nilai Cd dapat diperoleh juga dari pengukuran dengan rumus

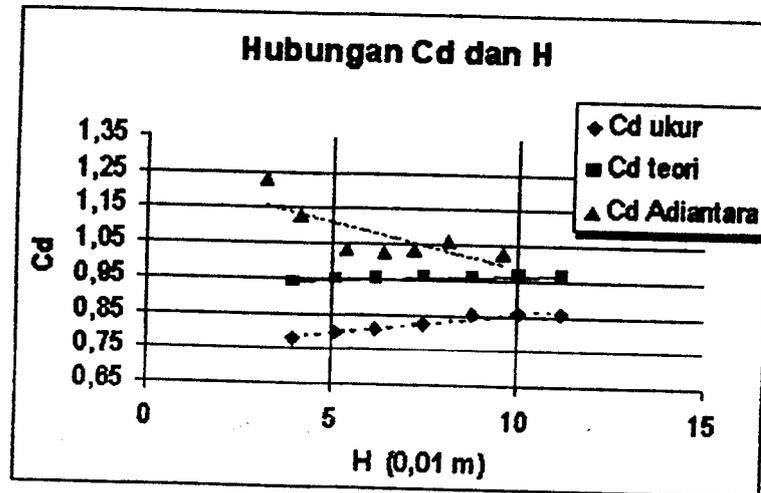
$$Cd = \frac{Q}{\left(\frac{2}{3}H\right)^{1,5} B\sqrt{g}} \dots\dots\dots(5.26)$$

Koefisien debit yang diperoleh ditampilkan pada tabel di bawah juga kesaksamaan pengukurannya dengan rumus 5.3 dan kemudian diplotkan pada gambar 5.17.

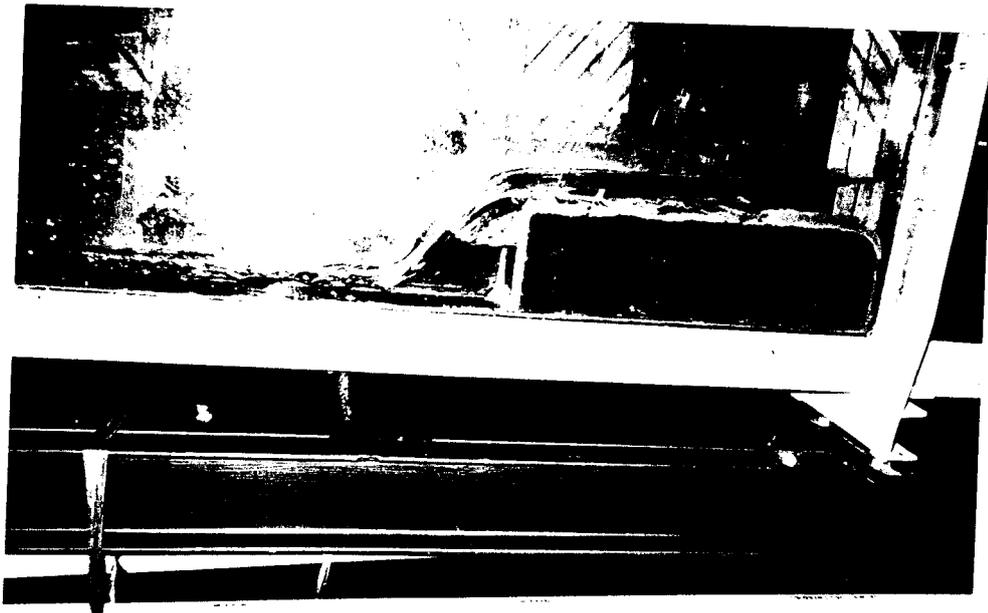
Tabel 5.10. Hubungan Cd dan H pada Ambang Lebar dengan Pangkal
Dibulatkan.

| No. Percobaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| H_i (0,01 m) | 11,2010 | 10,0320 | 8,8084 | 7,5187 | 6,1790 | 5,1310 | 3,9596 |
| Cd_{Ukur} | 0,8588 | 0,8603 | 0,8526 | 0,8267 | 0,8062 | 0,7990 | 0,7824 |
| Cd_{Teori} | 0,9653 | 0,9637 | 0,9616 | 0,9586 | 0,9542 | 0,9491 | 0,9403 |
| Kesaksamaan Cd % | 88,97 | 89,27 | 88,67 | 86,25 | 84,49 | 84,19 | 83,21 |

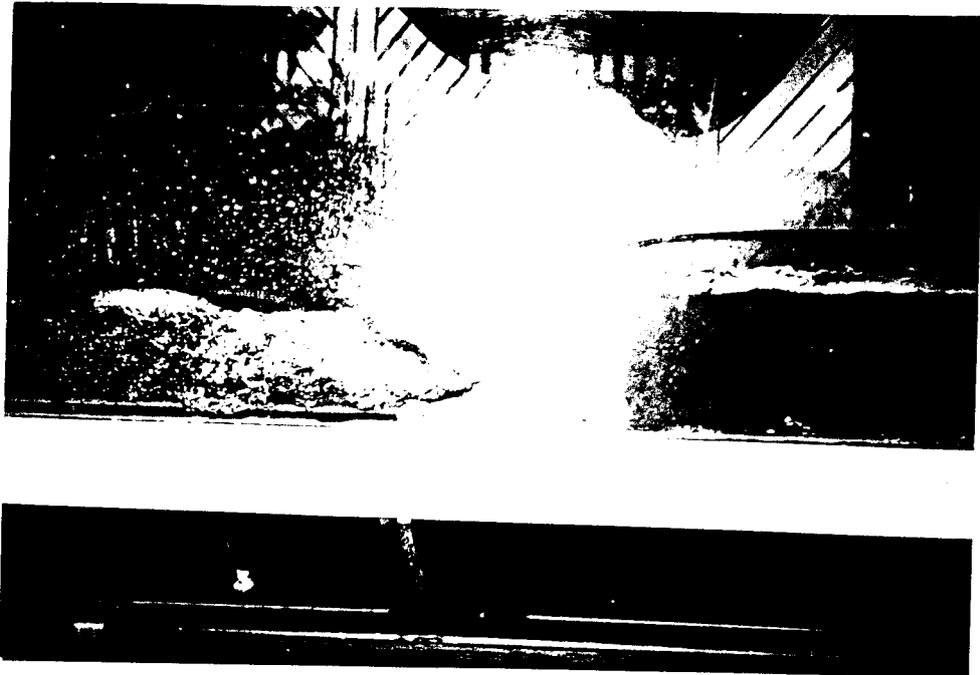
Dengan rumus 5.4 diperoleh kesaksamaan rata-rata Cd sebesar 86,43 % .



Gambar 5.18. Grafik hubungan Cd dan H Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan.



Gambar 5.19. Aliran pada Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan saat pelat pembendungan tidak dinaikkan.



Gambar 5.20. Aliran pada Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan saat pelat pembendungan dinaikkan.

Grafik percobaan Ambang Lebar ini menunjukkan kecenderungan yang sama dengan grafik percobaan Adiantara. Perbedaan sedikit terjadi pada grafik hubungan C_d dan h_1 . Pada garis grafik Adiantara tren garis liniernya turun sedangkan tren garis teori dan percobaan ini tren garisnya naik.

5.7 Angka Froude Aliran

Pada percobaan pintu sorong aliran di hulunya mempunyai angka froude di bawah satu antara 0,0822 sampai 0,4250 dan aliran di hilirnya di atas satu antara 2,0526 sampai 6,1154. Nilai ini untuk h_1 tetap dan Q tetap (lihat lampiran 21). Sedangkan Adiantara memperoleh 0,089 sampai 0,478 untuk aliran hulu dan 2,175 sampai 5,049 untuk aliran hilir.

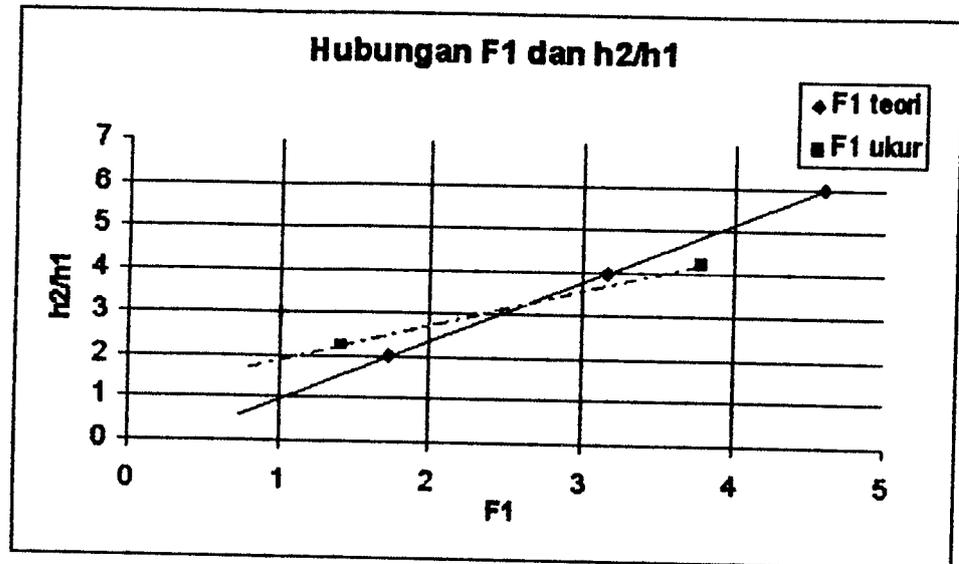
Untuk percobaan aliran di atas ambang tajam segi empat berkisar antara 0,6842 dan 0,9098 sedangkan untuk aliran hilir ambang berkisar antara 0,8745 dan 1,2339 (lihat lampiran 23). Secara umum Adiantara mendapatkan angka froude berkisar antara 0,900 dan 1,400 dan sebagian besar kurang dari 1,100.

Adiantara memperoleh kondisi aliran sub kritik pada seluruh percobaan ambang tajam segi tiga dan demikian juga percobaan ini. Hal ini disebabkan oleh debit aliran kecil untuk menjaga agar aliran hulu tidak melampoi segitiga ambang.

Pada percobaan ambang lebar, angka froude yang diperoleh dalam percobaan ini untuk aliran di awal ambang cenderung kritik antara 1,1717 sedangkan aliran di ujung ambang adalah super kritik yaitu antara 1,2972 hingga 1,4842 (lihat lampiran 27). Adiantara memperoleh aliran cenderung kritik pada awal ambang sedangkan secara umum aliran di atas ambang cenderung super kritik yaitu di atas 1,100.

5.8 Loncatan Hidrolik

Loncatan hidrolik terjadi pada percobaan ambang lebar dengan pelat pembendungan dinaikkan. Hal ini dapat dilihat pada hasil pengukuran tinggi muka air h_4 dan h_5 dalam uji 1 dan 2. Pemilihan kedua data uji ini karena hanya dua data ini yang memberikan angka froude di atas satu untuk aliran setelah ambang. Demikian juga Adiantara memperoleh loncatan hidrolik pada aliran setelah ambang (lihat lampiran 16).



Gambar 5.21. Hubungan h_2/h_1 dan F1 loncatan hidrolis Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan.

5.9 Unjuk Kerja Tilting Flume

Penggunaan dua sistem suplay air yaitu dengan menggunakan pompa atau dengan menggunakan water tower cukup menimbulkan kerepotan tersendiri. Saluran yang bersih sangat membantu selama dalam proses penelitian. Kecukupan air pada bak sumber menjaga pengaliran stabil dan memudahkan pengamatan pada saluran.

Pada penelitian ini dilakukan pengulangan pengambilan data. Hal ini disebabkan pada saat percobaan telah selesai dilaksanakan pada setiap model, ternyata dari data ditemukan bahwa aliran yang terjadi terutama untuk pintu sorong adalah aliran menyelam meskipun bukaan pintu baru pada bukaan 3,0 cm. Setelah berkonsultasi dengan kepala Laboratorium

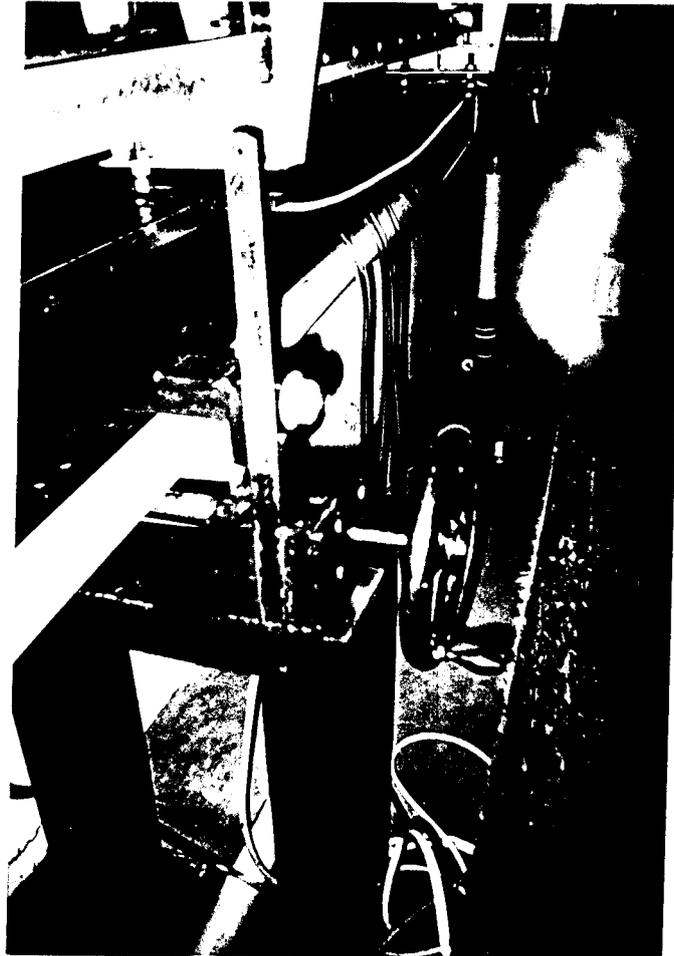
Hidrolika maka diizinkan untuk mengambil tindakan langsung yaitu menghentikan suplai air dari pompa ke water tower dan memotong pelat pembendungan. Pekerjaan ini dilaksanakan oleh pegawai laboratorium. Meskipun demikian, akan dijelaskan mengapa tindakan langsung tersebut diambil dalam sub bab – sub bab di bawah ini.

5.9.1 Saluran

Sebelum pengaliran air pada saluran dilakukan, terlebih dahulu diperiksa dan dibuat kemiringan saluran datar. Hal ini perlu dilakukan untuk memastikan bahwa saluran berada dalam keadaan datar yang merupakan batasan dalam penelitian.

Cara membuat kemiringan saluran menjadi datar adalah dengan menggunakan sifat datar air pada selang yang diisi air. Bagian hilir saluran adalah bagian yang dapat diturun-naikkan dengan alat pengatur kemiringan (lihat gambar 5.22) maka ujung awal selang diletakkan pada hulu saluran dan muka air selang setinggi dasar saluran. Kemudian ujung lain selang tersebut dibawa ke bagian hilir saluran, dengan memutar alat pengatur kemiringan kita sesuaikan ketinggian muka air selang di hilir dengan muka air selang di hulu saluran setinggi dasar saluran.

Pengecekan terhadap kemiringan dasar saluran tiap ruas menunjukkan bahwa dasar saluran tilting flume tidak rata, terutama pada ruas kedua dari hulu saluran terdapat cekungan sedalam 3 mm. Ini dapat dilihat dari perbedaan ketinggian muka air selang hulu dan selang hilir.



Gambar 5.22. Alat pengatur kemiringan.

Lebar saluran terutama pada ruas dua dan tiga lebih dari 10 cm, kelebihanannya sekitar 0,5 cm. Kemungkinan sebabnya adalah ruas kedua dari hulu selalu menjadi tempat peletakan model hidrolis.

Kebersihan dasar maupun dinding saluran sangat membantu dalam melakukan penelitian model terutama pada ruas yang rawan kotor yaitu ruas

dua di mana plastisin sering digunakan sebagai bahan pecegah rembesan air.

5.9.2 Pompa Air dan Water Tower

Penghubungan pompa air ke water tower dengan pipa dan jaringan pemipaannya menimbulkan kesulitan dalam memaksimalkan kemampuan kedua alat ini (lihat gambar 5.23). Kesulitan-kesulitan tersebut akan diuraikan dalam masing-masing pelaksanaan penelitian model bangunan air di bawah ini.

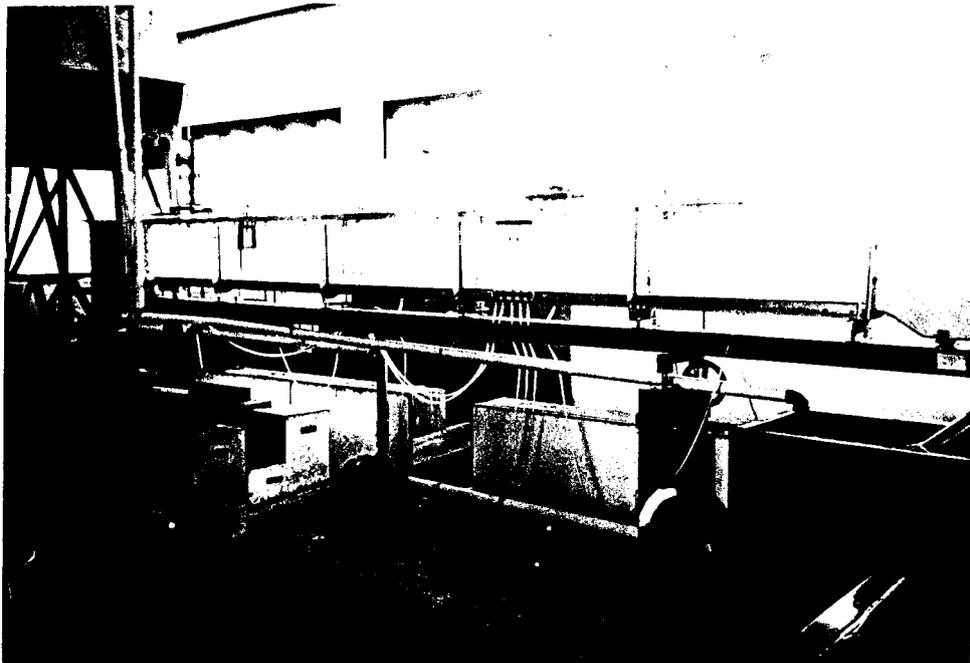
a. Pintu Sorong

Kesulitan terjadi pada saat penggunaan water tower sebagai penyuplai air. Untuk debit berbeda, water tower hanya mampu menaikkan muka air hulu 20,4 cm dari yang seharusnya 23 cm pada bukaan pintu 3,0 cm (lihat lampiran 2) sedangkan pompa mampu melayani kebutuhan tinggi muka air 23 cm dari bukaan awal 2,0 cm hingga bukaan akhir 4,0 cm. Penggunaan pompa dan water tower pada debit tetap memperlihatkan kinerja yang bagus pada saat pengukuran waktu tampungan. Mereka hampir tidak ada memberikan selisih waktu dengan waktu pengukuran berkisar antara 8,1 s.d. 8,4 detik. Perbedaan pengukuran tersebut kemungkinan terjadi akibat kekurangakuratan dalam mengukur waktu tampungan.

b. Ambang Tajam Segi Empat

Penggunaan pompa air dan water tower kedua duanya memberikan batas layan yang kecil. Untuk tinggi tenaga di hulu model batas aliran tertinggi adalah 7,0 cm (dari puncak ambang) karena pada ketinggian ini

aliran yang terjadi adalah aliran menyelim. Tinggi tenaga terendah yang dapat diukur dengan baik adalah 5,0 cm (lihat lampiran 3 dan 4). Ini disebabkan bila debit dicecilkan lagi untuk memperoleh tinggi tenaga yang lebih rendah maka air di dalam water tower akan melimpah keluar. Saat itu pipa buang dari water tower mengalirkan kelebihan air dari suplai pompa (lihat gambar 5.24).



Gambar 5.23. Bak resource sekaligus bak tampung di ujung kanan *tilting flume*.

c. Ambang Tajam Segi Tiga (*v-notch*)

Air tampungan di water tower tidak sampai melimpah meskipun dipakai debit rendah. Awalnya water tower dan bak penampungan dijaga tetap penuh, namun untuk menjaga agar air pada water tower tidak sampai melimpah maka air di bak penampungan dibuang sebagian. Kelebihan air

yang mungkin terjadi di water tower dibuang ke bak tampungan. Oleh karena itu, air di water tower terjaga suplainya dan tidak sampai ke elevasi pipa buangan sehingga pompa air maupun water tower dapat melayani debit kecil atau tinggi tenaga rendah pada percobaan dengan model ini. Ini bisa kita lihat pada data yang diperoleh (lampiran 5 dan 6).

d. Ambang Lebar

Pada pengujian ambang lebar ini, sama seperti pengujian ambang segi empat, pompa air dan water tower hanya memberikan batas layan yang kecil. Untuk elevasi muka air di atas 7,0 cm aliran menjadi menyelam sedangkan bila muka air di bawah 5,0 cm maka air di water tower akan melimpah (lihat lampiran 7 dan 8).

Dari semua kekurangan di atas ternyata ada kelebihan utama dari penggunaan water tower sebagai penyedia air. Kelebihan penggunaan water tower adalah aliran air yang dihasilkan lebih tenang dan lebih mudah untuk dikendalikan tinggi rendahnya muka air, sehingga pekerjaan menjadi lebih cepat.

5.9.3 Piezometer dan Point Gauge

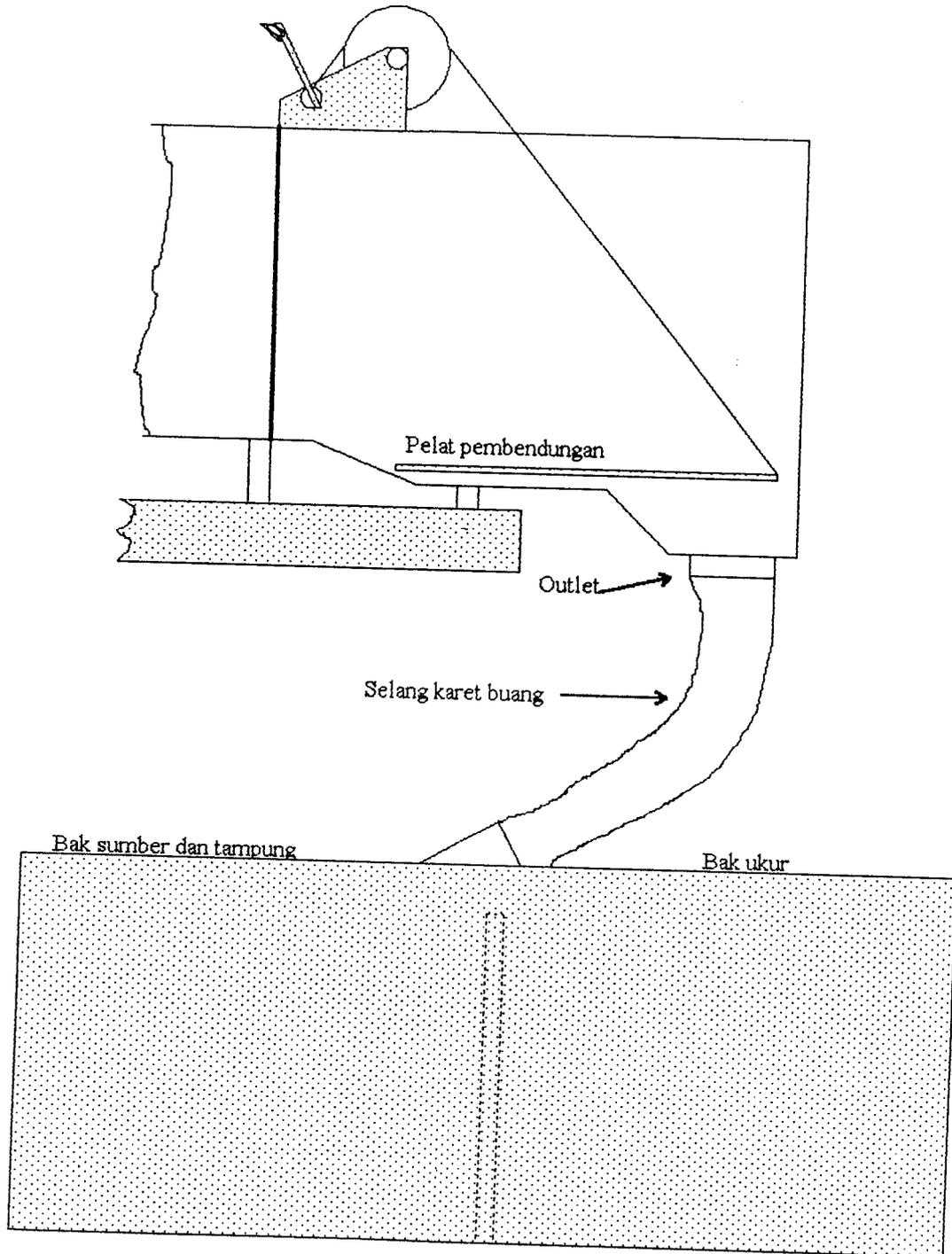
Penggunaan point gauge untuk mengukur ketinggian muka air perlu dicocokkan dengan pengukuran tinggi tekanan air menggunakan piezometer pada aliran steady. Berjarak 10 cm dari tapping satu tinggi muka air yang ditunjukkan oleh point gauge sama dengan tekanan air pada tapping satu dan di ruas lain dari tilting flume itu perbedaannya sekitar 1 - 4 mm.



Gambar 5.24. Water tower dengan pipa aliran dari pompa (pipa A), pipa aliran buang ke bak tampung (pipa B) dan pipa aliran ke *tilting flume* (C).

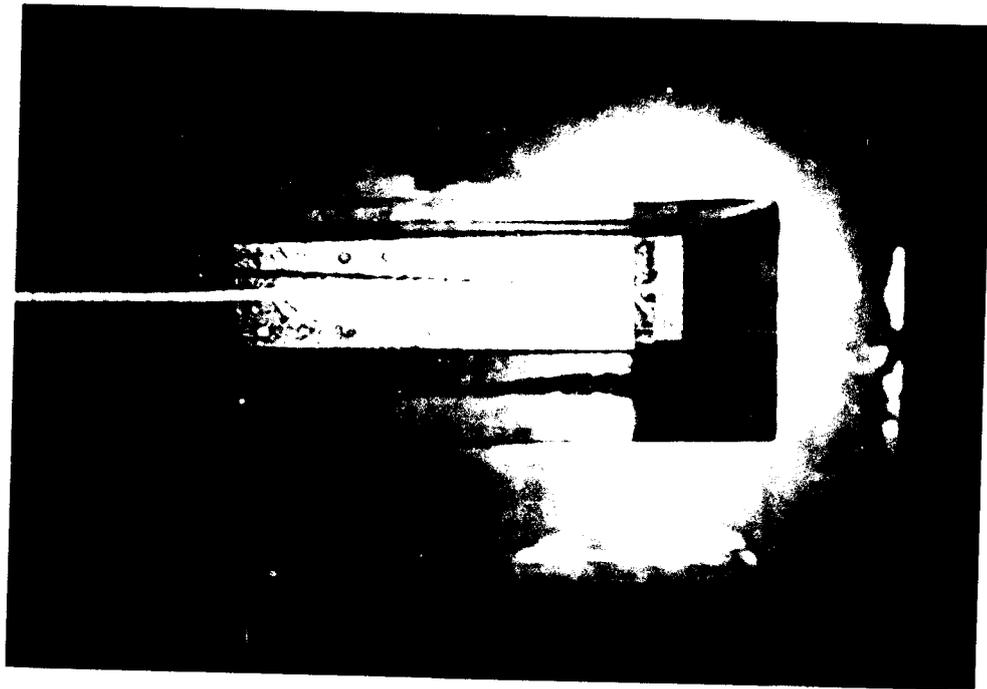
5.9.4 Sistem Outlet

Pada ujung hilir dari *tilting flume* terdapat lubang keluaran (outlet) saluran. Diameter lubang keluaran ini adalah pipa berdiameter 4 inchi. Namun air yang akan keluar melalui outlet ini terhambat pelat pembendungan (lihat gambar 5.25).

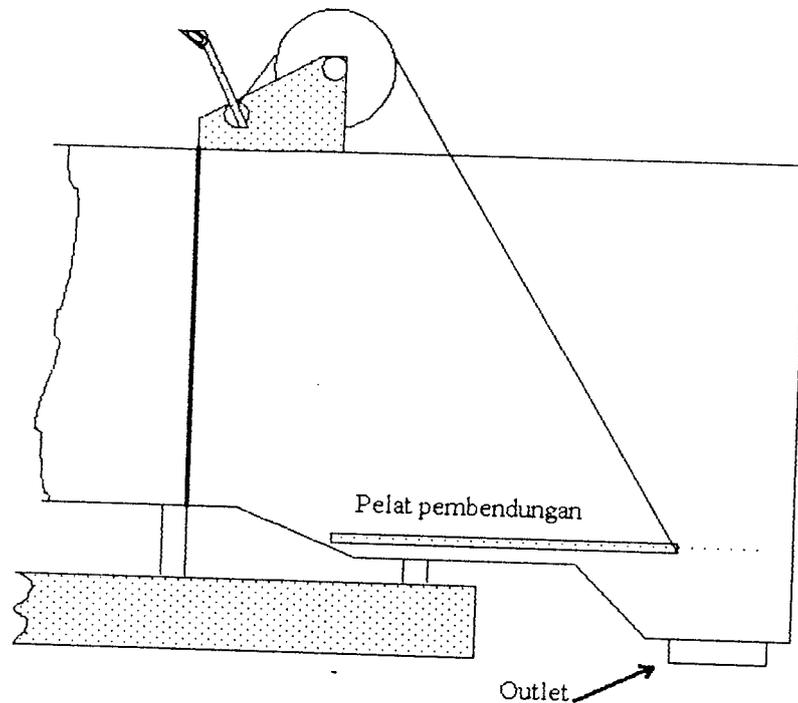


Gambar 5.25. Bagian pembuangan (outlet) *tilting flume* dengan pelat pembendungan yang belum dipotong dan bak penampungan.

Dari ujung pelat pembendungan ke dinding akhir saluran hanya menyisakan ruang sepanjang 3,0 cm. Akibat dari keadaan ini adalah pembendungan air sehingga aliran yang terjadi aliran menyelim dari yang seharusnya aliran bebas. Sebelum dilakukan pemotongan pelat pembendungan, bukaan pintu sorong yang masih menghasilkan aliran bebas adalah mulai dari bukaan kecil hingga bukaan 3,0 cm, sedangkan di atas itu aliran yang dihasilkan adalah menyelim. Pada keadaan ini tidak bisa dilakukan pengukuran. Oleh karena itu dilakukan pemotongan pelat pembendungan.



Gambar 5.26. Pelat pembendungan setelah dipotong 2,5 cm.



Gambar 5.27. Bagian buang tilting flume dengan pelat pembendungan yang sudah dipotong.

Pemotongan pelat pembendungan dilakukan secara bertahap sebanyak dua kali. Ini dimaksudkan agar penulis dapat melihat perubahan aliran secara bertahap. Pemotongan pertama pelat sepanjang 2,5 cm namun tidak memberikan perubahan yang berarti pada aliran (lihat gambar 5.26). Pemotongan kedua pelat dibuat sepanjang 5,5 cm dan ujung pelat pembendungan tepat secara vertikal di atas awal outlet. Jadi, pada bagian buang tilting flume terdapat ruang bebas untuk aliran tanpa terganggu pelat pembendungan sepanjang 11,0 cm (lihat gambar 5.27).

Pemotongan pelat yang terakhir ini cukup memberi pengaruh pada aliran di saluran. Untuk bukaan pintu sorong 4,0 cm aliran yang terjadi

bersifat bebas hingga beberapa menit lalu kembali menyelam. Ternyata masih ada penghambat aliran keluar yaitu kontraksi pada selang karet buang. Kita dapat menjaga agar aliran tetap modular dengan cara memegang selang buang agar tidak liar sehingga air tidak terhambat keluar. Selain itu, ukuran selang sendiri lebih kecil dari outlet.

5.10 Letak Water Tower

Seperti telah dijelaskan pada sub bab 5.9.2 point a di atas tentang kekurangan water tower dalam melayani tinggi muka air yang dibutuhkan maka dicari apa yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan tinggi muka air tersebut. Dari kebutuhan tinggi muka air 23 cm ternyata hanya terpenuhi 20,4 cm dengan debit 4,12 l/dt (lihat lampiran 2). Tinggi muka air tersebut terpenuhi dengan debit 5,613 l/dt saat menggunakan pompa air (lihat lampiran 17 dan 21). Untuk itu dilakukan perhitungan dengan beberapa tahap.

Pertama adalah menghitung daya pompa yang dibutuhkan untuk memompa air ke water tower.

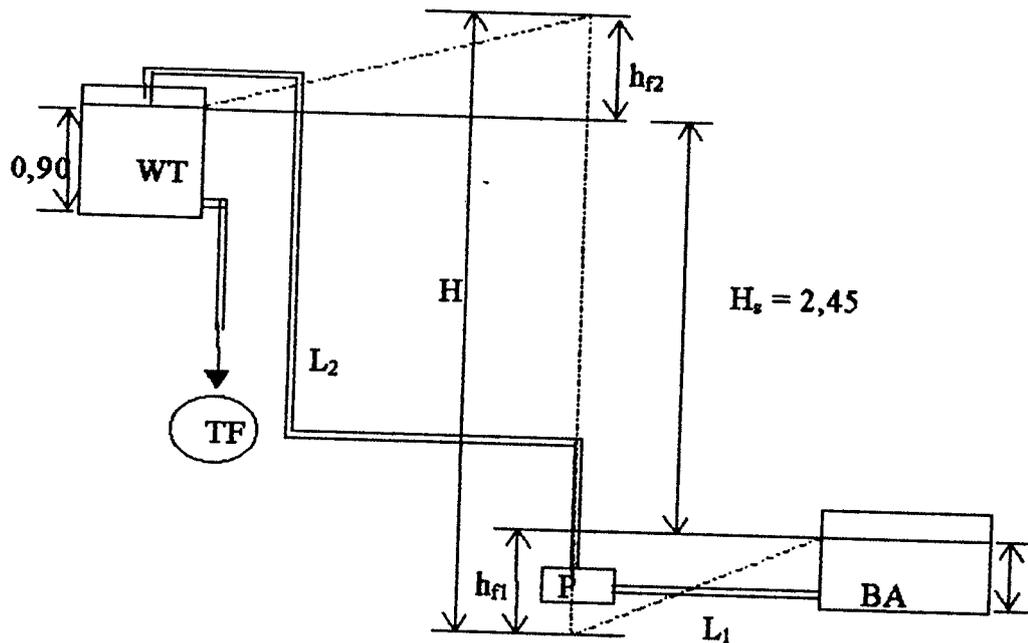
Dari spesifikasi pada label pompa diperoleh bahwa pompa tersebut berkapasitas maksimum 340 ltr/menit, total head 20,5 m dan output 400 watt. Rumus kehilangan tenaga :

$$h_f = \frac{8fLQ^2}{g\pi^2 D^5} \dots\dots\dots (5.27)$$

dengan rumus yang mengikutinya (3.54) dan (3.55) maka :

$$h_f = \frac{8 \cdot \left(\frac{0,316 \cdot 0,25^{0,25} \cdot \pi^{0,25} \cdot D^{0,5} \cdot \nu^{0,25}}{Q^{0,25} \cdot D^{0,25}} \right) \cdot LQ^2}{g\pi^2 D^5} \dots\dots\dots (5.28)$$

dengan kekentalan kinematik air $\nu = 2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.



Gambar 5.28. Skema kehilangan tenaga pada pemipaan fasilitas *tilting flume* (WT=Water Tower, TF = Tilting Flume, P = Pompa, BA = Bak Air, L_1 = Panjang pipa dari bak air ke pompa, L_2 = Panjang pipa dari pompa ke water tower)

Menghitung h_{f1} dan h_{f2} :

Panjang pipa $L_1 = 2,20 \text{ m}$

Panjang pipa $L_2 = 5,85 \text{ m}$

Debit pompa $Q = 340 \text{ ltr/menit}$ (η dipakai 100%)

Diameter pipa $D = 2 \text{ inchi}$ (10,16 cm)

Dengan menggunakan rumus (5.28) didapatkan :

$$h_{f1} = 0,334 \text{ m}$$

$$h_{f2} = 0,888 \text{ m}$$

$$H_s = 2,45 \text{ m}$$

Tinggi tenaga total $H = H_s + h_{f1} + h_{f2}$ maka $H = 3,672 \text{ m}$.

Mencari daya pompa :

$$D = \frac{QH\gamma}{75\eta} \text{ (hp)} \dots\dots\dots(5.29)$$

Diperoleh $D = 0,277 \text{ hp}$ atau sama dengan 207 watt.

Batas kemampuan output 400 watt dan debit 340 ltr/menit dalam melayani total head didapat dengan merubah rumus (5.29) menjadi :

$$H = D \frac{75\eta}{Q\gamma} \text{ (m)} \dots\dots\dots(5.30)$$

Diperoleh total head $H = 7,56 \text{ m}$.

Jadi agar pompa dapat bekerja tetap dalam performanya maka batas total head pompa harus lebih kecil dari 7,56 m.

Tahap kedua adalah mengetahui kemampuan water tower dan pemipaannya dalam melayani debit yang dibutuhkan.

Dari percobaan pintu sorong dengan sumber air dari water tower diperoleh debit 4,12 ltr/d dan tinggi muka air pada saluran hanya 20,4 cm. Jika diinginkan debit yang terjadi seperti pada percobaan pintu sorong dengan debit 5,6136 ltr/d dan head rancangan 1,62 m (saat muka air dalam tilting flume 23 cm dan air dalam water tower lebih rendah 10 cm dari puncaknya) serta panjang pipa $L = 1,70 \text{ m}$, maka dengan menggunakan

rumus (5.28) diperoleh diameter pipa sebesar 3,6 cm. Dan bila digunakan diameter pipa yang ada di pasaran 1,5 inchi maka tinggi tekananya akan mengecil menjadi 1,00 m.

Jika diinginkan menggunakan debit sama 5,6136 ltr/d dan panjang pipa tetap 1,70 maka dicari dahulu koefisien debitnya dengan menggunakan debit 4,12 l/d dan tinggi muka air 20,4 cm. Setelah itu didapatkan diameter pipa sebesar 2,34 inchi atau 2,5 inchi sesuai yang ada dipasaran. Lihat lampiran 30.

Jika diinginkan total head 7,10 m, dengan water tower yang sama maka dapat dianggap panjang pipa $L = 14,00$ m serta diameter pipa tetap 4 inchi. Untuk memenuhi ketentuan seperti ini maka dengan memakai rumus (5.28) di atas dibutuhkan debit masuk minimal 19,75 ltr/d atau 1185 ltr/menit.

5.11 Pengukuran Debit dan Tangki Penampungan

Pengukuran debit dilakukan dengan cara memasukkan selang karet buang ke dalam bak ukur yang merupakan bagian dari tangki penampungan. Untuk mendapatkan volume yang diinginkan, kita hanya perlu menentukan tinggi tampungan. Bagian bak ukur berukuran 50,0 cm x 49,4 cm. Bak ukur pada tangki penampungan terbuat dari bahan multipleks yang dicat dengan cat minyak. Pada sudut-sudut bak itu dicat tebal. Pada saat bak ukur digunakan, retak-retak sudah terlihat pada sudut-sudut tersebut meski air dari tampungan belum merembes ke dalamnya.

5.12 Kesulitan yang Dihadapi Adiantara

Pada pengujian di Laboratorium Hidrolika PAU-UGM Adiantara juga mengalami kesulitan-kesulitan yang relatif sama. Kesulitan utama percobaan adalah pada sulitnya menjaga agar debit aliran konstan. Hal ini menyebabkan tinggi muka air gampang turun naik. Selain itu pembacaan piezometer tidak sesuai dengan point gauge. Adiantara mengemukakan salah satu kendala dalam membaca piezometer adalah karena pipa piezometer tidak bersih, juga kedalaman saluran tidaklah selalu sama dengan perbedaannya sekitar 0,5 cm. Tinggi ruang antara rel terdapat perbedaan hingga satu centimeter. .

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari percobaan model bangunan air pada fasilitas *tilting flume* laboratorium Hidrolika FTSP-UH yang dibandingkan dengan percobaan yang dilakukan Adiantara pada fasilitas *tilting flume* milik laboratorium Hidrolika PAU-UGM didapatkan kesimpulan bahwa:

1. dilihat dari kapasitas pompa dan kemampuan layan saluran, fasilitas *tilting flume* laboratorium Hidrolika PAU-UGM lebih baik dari fasilitas *tilting flume* milik laboratorium FTSP-UH
2. kedua *tilting flume* memperlihatkan kinerja yang tidak jauh berbeda dengan menunjukkan kesulitan-kesulitan yang sama pada pengaturan tinggi muka air hulu, ketidakrataan dasar saluran dan perbedaan lebar dinding saluran
3. perbandingan kesaksamaan pengukuran koefisien debit percobaan ini terhadap pengukuran yang dilakuran Adiantara memberikan angka koreksi untuk fasilitas *tilting flume* milik Laboratorium Hidrolika FTSP UH dengan angka koreksi koefisien debit untuk Pintu Sorong 0,98903, Ambang Tajam Segi Empat 1,019994, Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan 1,02

4. Ambang Tajam segi Tiga tidak dapat dibandingkan dengan standar Reginald karena berada di luar daftar tabel pengukuran Reginald
5. terhadap pengukuran standar Reginald sendiri, angka koreksi yang didapat untuk fasilitas *tilting flume* Laboratoium Hidrolika FTSP UII adalah 0,9664 pada Pintu Sorong, 0,6645 pada Ambang Tajam Segi Empat dan 0,8643 untuk Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan
6. garis dari persamaan garis pada grafik hubungan debit dengan tinggi muka air hulu serta hubungan koefisien debit dan tinggi muka air hulu pada keempat model bangunan air menunjukkan kecenderungan garis yang sama dengan milik Adiantara
7. dengan kapasitas dan kemampuan layan dari kedua fasilitas *tilting flume* berbeda maka diperoleh koefisien debit, energi spesifik serta angka froude yang berbeda pula
8. penggunaan water tower sangat mempermudah pemakai dalam mengatur ketinggian muka air hulu.

6.2 Saran

1. Untuk mempermudah pengguna fasilitas *tilting flume* akan lebih baik bila fasilitas tersebut didukung dengan water tower yang memadai. Bila diinginkan menggunakan water tower dan pompa yang sudah ada sekarang maka diameter pipa dari water tower ke *tilting flume* harus diganti dengan diameter 3,6 cm (bila ada) atau yang lebih kecil lagi sesuai dengan yang ada di pasaran. Jika diinginkan

menggunakan pipa dengan debit 5,6136 ltr/d dan panjang pipa 1,70 m maka diperlukan pipa dengan diameter 2,34 inchi atau dengan diameter pipa yang tersedia di pasaran 2,5 inchi. Misalkan diinginkan water tower dengan total head 7,10 m dengan panjang pipa 14,00 m dan diameter 4 inchi maka dibutuhkan pompa dengan kapasitas minimal 19,75 ltr/d atau 1185 ltr/menit

2. perlu penyetelan rel point gauge *tilting flume* agar didapat hasil pengukuran tinggi muka air yang lebih baik
3. untuk menjaga kebutuhan air saat pengujian dengan *tilting flume*, diperlukan bak sumber yang dapat menyimpan air dalam jumlah yang lebih banyak dari sebelumnya agar tidak mempengaruhi kinerja pompa
4. saluran buang diganti dengan pipa diameter sama dengan outlet agar air keluar konstan
5. perlu dibuat penguat dinding saluran agar dinding saluran tidak melebar akibat peletakan model pada suatu ruas secara terus-menerus
6. kebersihan selang dan pipa kapiler piezometer dijaga dengan melakukan perawatan secara berkala agar tidak terjadi kesalahan pembacaan akibat kotoran.

menggunakan pipa dengan debit 5,6136 ltr/d dan panjang pipa 1,70 m maka diperlukan pipa dengan diameter 2,34 inchi atau dengan diameter pipa yang tersedia di pasaran 2,5 inchi. Misalkan diinginkan water thorn dengan total head 7,10 m dengan panjang pipa 14,00 m dan diameter 4 inchi maka dibutuhkan pompa dengan kapasitas minimal 19,75 ltr/d atau 1185 ltr/menit

2. perlu penyetelan rel point gauge *tilting flume* agar didapat hasil pengukuran tinggi muka air yang lebih baik
3. untuk menjaga kebutuhan air saat pengujian dengan *tilting flume*, diperlukan bak sumber yang dapat menyimpan air dalam jumlah yang lebih banyak dari sebelumnya agar tidak mempengaruhi kinerja pompa
4. saluran buang diganti dengan pipa diameter sama dengan outlet agar air keluar konstan
5. perlu dibuat penguat dinding saluran agar dinding saluran tidak melebar akibat peletakan model pada suatu ruas secara terus-menerus
6. kebersihan selang dan pipa kapiler piezometer dijaga dengan melakukan perawatan secara berkala agar tidak terjadi kesalahan pembacaan akibat kotoran.

PENUTUP

Telah selesai penelitian tentang perbandingan *tilting flume* dalam pengoperasian beberapa bangunan air yaitu pada model Pintu Sorong, Ambang Tajam Segi Empat, Ambang Tajam Segi Tiga dan Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan antara fasilitas milik Laboratorium Hidrolika FTSP UII dengan fasilitas milik Laboratorium Hidrolika PAU UGM yang diambil dari penelitian milik Sabka Adiantara tahun 1993. Besar harapan agar hasil penelitian ini dapat dipakai khususnya bagi Laboratorium Hidrolika FTSP UII dan rekan-rekan mahasiswa yang tertarik dengan saluran terbuka sebagai pembanding.

Penyusun

DAFTAR PUSTAKA

1. **Ackers, Peter, weir dan Flumes for Measurement**, 1980, John Wiley and Sons, Ltd
2. **Adiantara, Sabka, Studi Pengoperasian Beberapa Model Bangunan Air pada Tilting Flume**, Tugas Akhir, 1989, Jurusan Teknik Sipil, FT UGM, Yogyakarta
3. **Anonimus, Panduan Praktikum**, 1996, Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
4. **Chow, Van Te, Hidrolika Saluran Terbuka**, terjemahan, 1985, Penerbit Erlangga Jakarta
5. **Herschly, Reginald W., Streamflow Measurement**, 1985, Elsevier Applied Science Publisher, London and New York
6. **Henderson, FM, Open Channel Flow**, 1966, Macmillan Publishing CO., INC., New York, Collier Macmillan Publishers, London
7. **Rangga Raju, KG, Aliran Melalui Saluran Terbuka**, terjemahan, 1996, Penerbit Erlangga, Jakarta
8. **Triatmodjo, Bambang, Hidrolika I**, 1993, Beta Offset, Yogyakarta
9. **Triatmodjo, Bambang, Hidrolika II**, 1995, Beta Offset, Yogyakarta
10. **Wignyosukarto B, Hidrolika II**, 1988, KMTS UGM, Yogyakarta

Pengujian aliran melalui pintu sorong dengan menggunakan pompa

| NO. PER COBAN | PINTU SORONG (cm) hg | TAMPUNGAN | | GAUGE | | PIEZOMETER | | | | | KETERANGAN |
|---------------|----------------------|---------------|--------------|-------|------|------------|------|-----|------|-----|-----------------------------|
| | | VOLUME (Lt) V | WAKTU (dt) t | h1 | h2 | p1 | p2 | p3 | p4 | p5 | |
| | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2,00 | 24,7 | 12,4 | 23,0 | 2,5 | 235 | 8 | 30 | 22,5 | 25 | Sudut Plat Permbendungan 0° |
| 2 | 2,5 | 24,7 | 6,6 | 23,4 | 2,75 | 230 | 10 | 34 | 26 | 30 | |
| 3 | 3,00 | 24,7 | 5,5 | 23,3 | 11,5 | 233 | 86 | 177 | 113 | 114 | |
| 4 | 3,5 | 24,7 | 5,3 | 23,0 | 12,6 | 230 | 93 | 127 | 124 | 124 | |
| 5 | 4,00 | 24,7 | 5,3 | 22,8 | 14,3 | 228 | 113 | 146 | 143 | 144 | |
| 6 | 2,00 | 24,7 | 8,4 | 23,0 | 2,4 | 230 | 7,5 | 30 | 24 | 25 | Sudut Plat Permbendungan 0° |
| 7 | 2,5 | 24,7 | 8,4 | 17,5 | 2,6 | 175 | 10 | 30 | 26 | 29 | |
| 8 | 3,00 | 24,7 | 8,4 | 13,7 | 3,0 | 137 | 14,5 | 31 | 31 | 40 | |
| 9 | 3,5 | 24,7 | 8,3 | 11,3 | 5,5 | 113 | 18 | 32 | 55 | 50 | |
| 10 | 4,00 | 24,7 | 8,2 | 9,2 | 5,5 | 92 | 22 | 63 | 55 | 50 | |

Pengujian aliran melalui Pintu Sorong dengan menggunakan Water Tower.

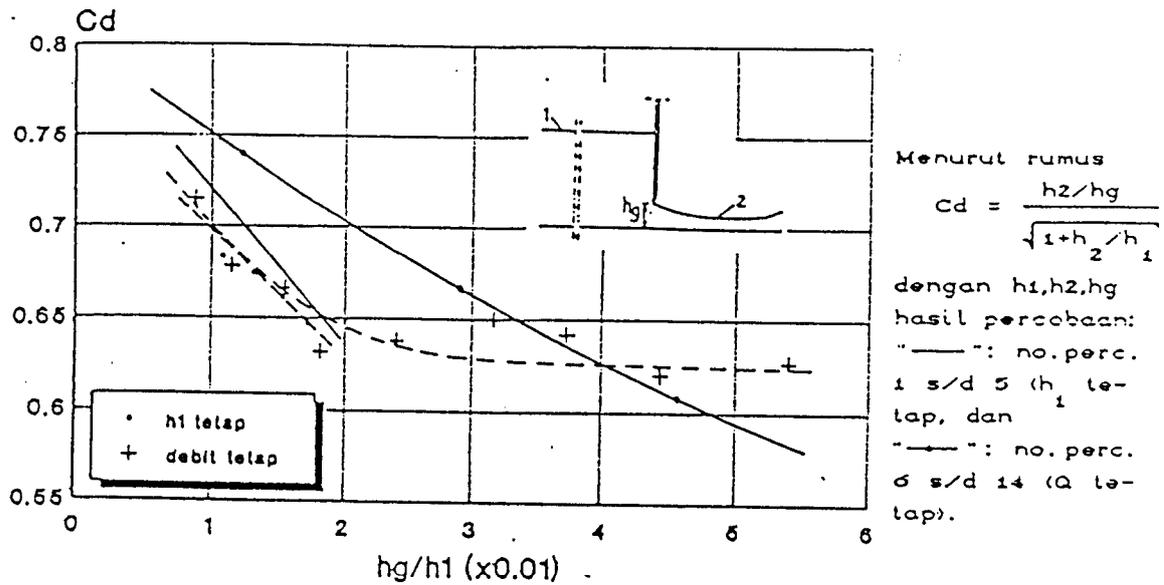
| NO. PER COBA AN | PINTU SORONG (cm) hg | TAMPUNGAN | | GAUGE | | PIEZOMETER | | | | | KETE-RANGAN |
|-----------------|----------------------|---------------|--------------|---------|---------|------------|------|---------|------|----|-----------------------------|
| | | VOLUME (Lt) V | WAKTU (dt) t | h1 (cm) | h2 (cm) | p1 | p2 | p3 (mm) | p4 | p5 | |
| 1 | 2,00 | 24,7 | 7,7 | 23,0 | 2,4 | 230 | 8 | 30 | 23 | 26 | Sudut Plat Pem-bendungan 0° |
| 2 | 2,5 | 24,7 | 7,1 | 23,0 | 2,8 | 230 | 10 | 33 | 25,5 | 28 | |
| 3 | 3,00 | 24,7 | 6,0 | 20,4 | 3,1 | 203 | 13 | 34 | 30 | 34 | |
| 4 | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | |
| 6 | 2,00 | 24,7 | 8,2 | 23,0 | 2,4 | 230 | 5,5 | 28 | 22 | 25 | Sudut Plat Pem-bendungan 0° |
| 7 | 2,5 | 24,7 | 8,3 | 15,3 | 2,8 | 153 | 10 | 29 | 28 | 32 | |
| 8 | 3,00 | 24,7 | 8,1 | 12,4 | 3,3 | 124 | 13 | 30 | 32 | 47 | |
| 9 | 3,5 | 24,7 | 8,3 | 9,7 | 5,2 | 97 | 17,5 | 58 | 52,5 | 49 | |
| 10 | 4,00 | 24,7 | 8,4 | 8,3 | 5,3 | 83 | 60 | 60 | 52,5 | 50 | |

Pengujian aliran melalui Ambang Tajam Segi Tiga dengan menggunakan Pompa.

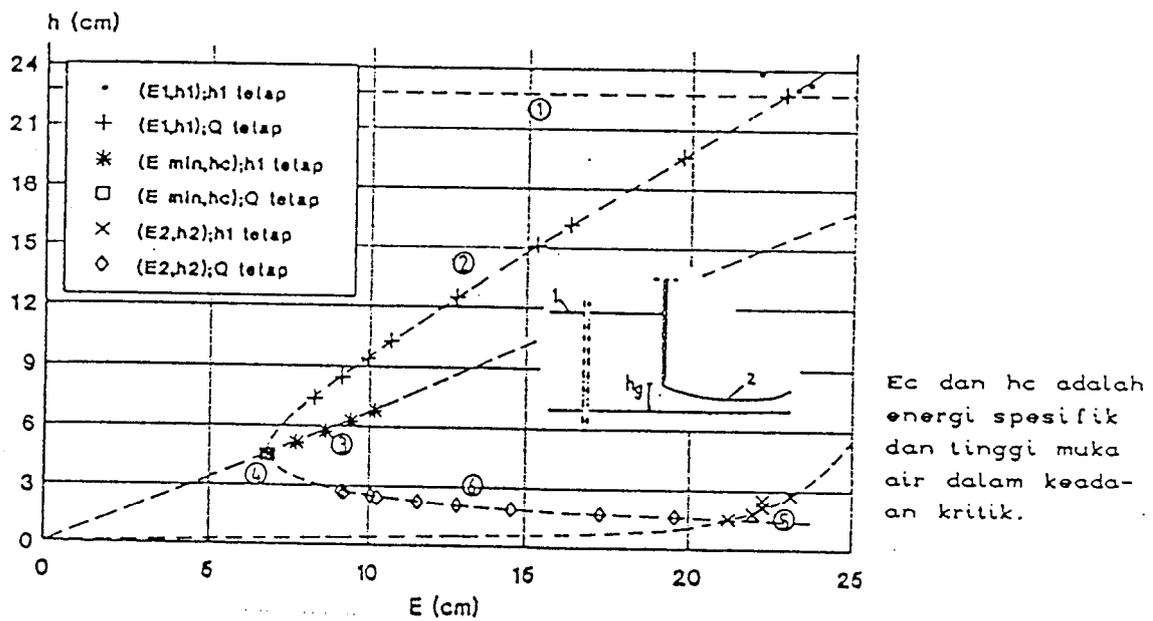
| NO. PER COBA AN | TAMPUNGAN | | GAUGE | | PIEZOMETER | | | | | KETE- RANGAN |
|--------------------------|---------------------|--------------------|-------|------|------------|-----|----|----|----|--|
| | VOLUME (Lt) V | WAKTU (dt) t | (cm) | | (mm) | | | | | |
| | | | h1 | h2 | p1 | p2 | p3 | p4 | p5 | |
| 1 | 12,35 | 17,1 | 5,5 | 5,2 | 160 | 5 | 25 | 21 | 19 | Sudut Plat Perr- bendungan 0° |
| 2 | 12,35 | 26 | 5,0 | 4,8 | 153 | 15 | 13 | 18 | 17 | |
| 3 | 12,35 | 32,8 | 4,5 | 4,2 | 150 | 15 | 20 | 17 | 16 | |
| 4 | 12,35 | 38,9 | 4,0 | 3,7 | 144 | 14 | 17 | 15 | 14 | |
| 5 | 12,35 | 66 | 3,5 | 3,35 | 138 | 12 | 15 | 12 | 12 | |
| 6 | 12,35 | 97,5 | 3,0 | 2,8 | 134 | 9 | 13 | 10 | 10 | |
| 7 | 12,35 | 123 | 2,5 | 2,3 | 130 | 7,5 | 11 | 8 | 8 | |

Pengujian aliran melalui Ambang Tajam Segi Tiga dengan menggunakan Water Tower.

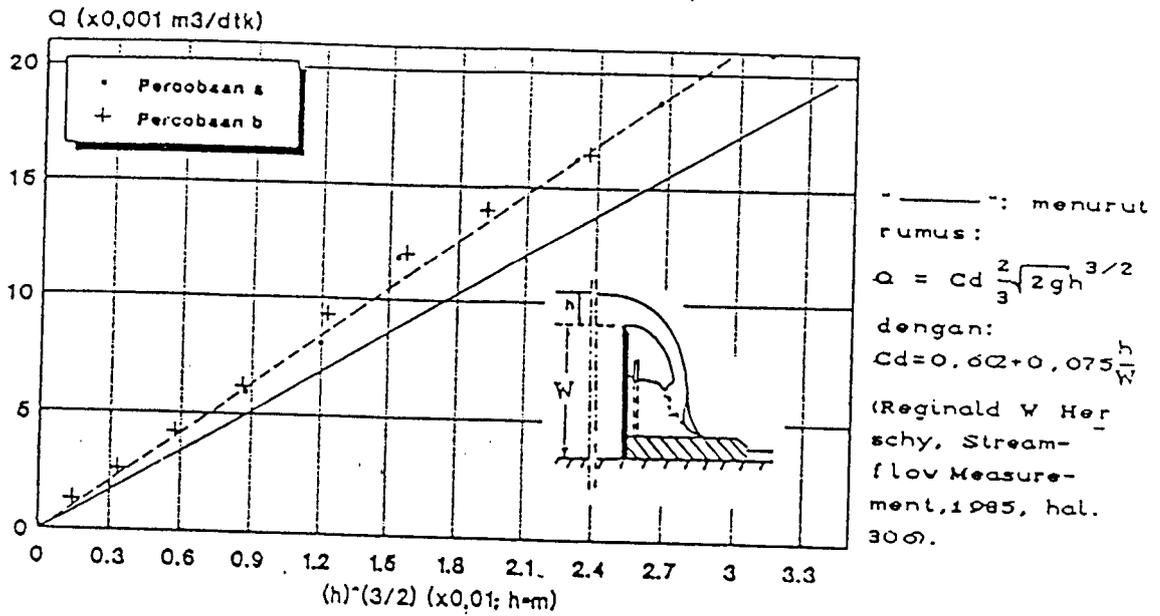
| NO. PER COBAN | TAMPUNGAN | | GAUGE | | PIEZOMETER | | | | | KETERANGAN |
|---------------|---------------|--------------|---------|---------|------------|------|---------|----|----|----------------------------|
| | VOLUME (Lt) V | WAKTU (dt) t | h1 (cm) | h2 (cm) | p1 | p2 | p3 (mm) | p4 | p5 | |
| 1 | 12,35 | 26,7 | 5,4 | 4,80 | 163 | 16 | 25 | 20 | 20 | Sudut Plat Pembendungan 0° |
| 2 | 12,35 | 27,8 | 5,0 | 4,50 | 155 | 17 | 22 | 18 | 17 | |
| 3 | 12,35 | 32,5 | 4,5 | 4,05 | 150 | 15 | 20 | 16 | 15 | |
| 4 | 12,35 | 39,6 | 4,0 | 3,65 | 145 | 13 | 17 | 14 | 14 | |
| 5 | 12,35 | 50,9 | 3,5 | 3,30 | 141 | 12 | 16 | 13 | 13 | |
| 6 | 12,35 | 66 | 3,0 | 2,80 | 135 | 11,5 | 14 | 10 | 11 | |
| 7 | 12,35 | 93,3 | 2,5 | 2,15 | 130 | 7 | 11 | 8 | 8 | |



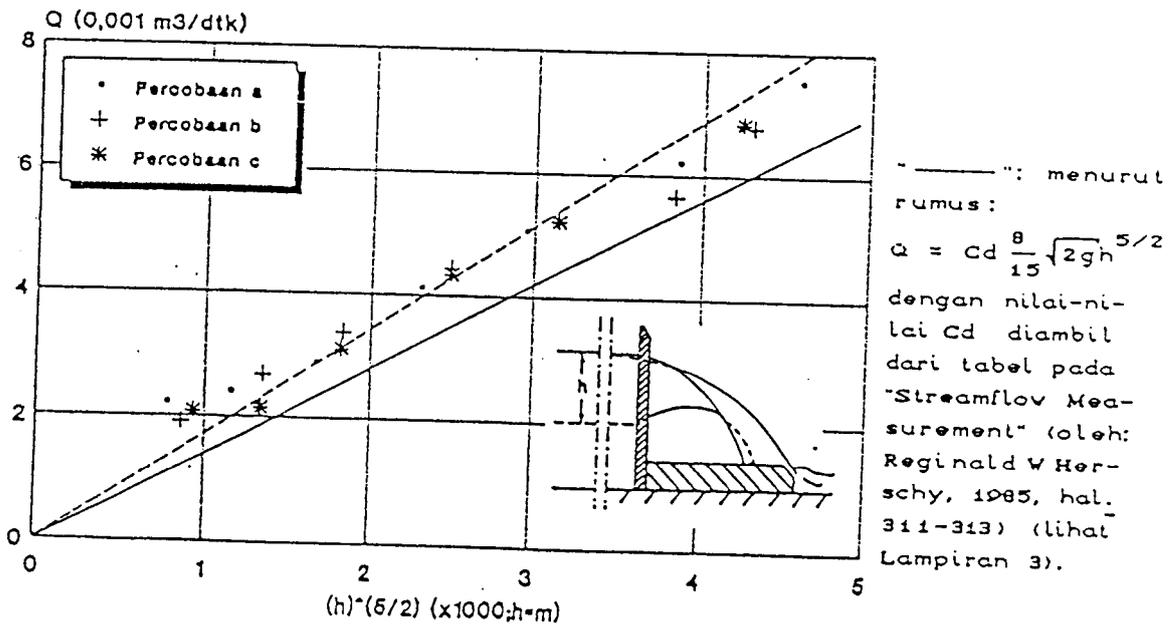
Gambar 5.2. Hubungan C_d dengan h_g/h_1 pada Pintu Sorong (Aliran Bebas)



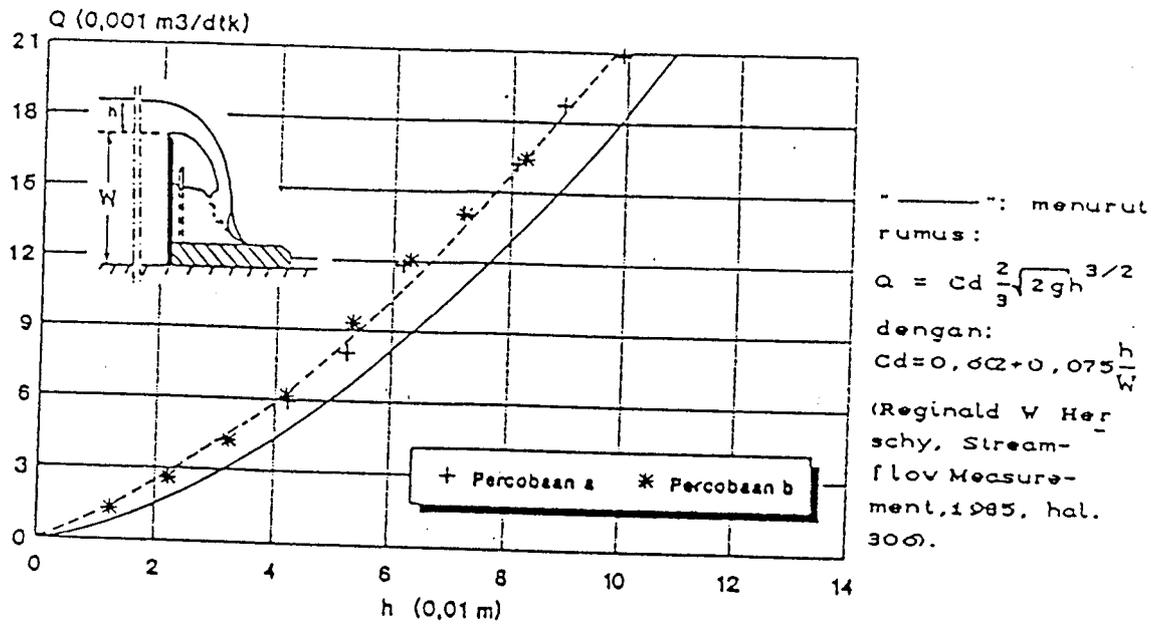
Gambar 5.3. Hubungan E dengan h_1 Serta Keadaan Kritis pada Pintu Sorong (Aliran Bebas)



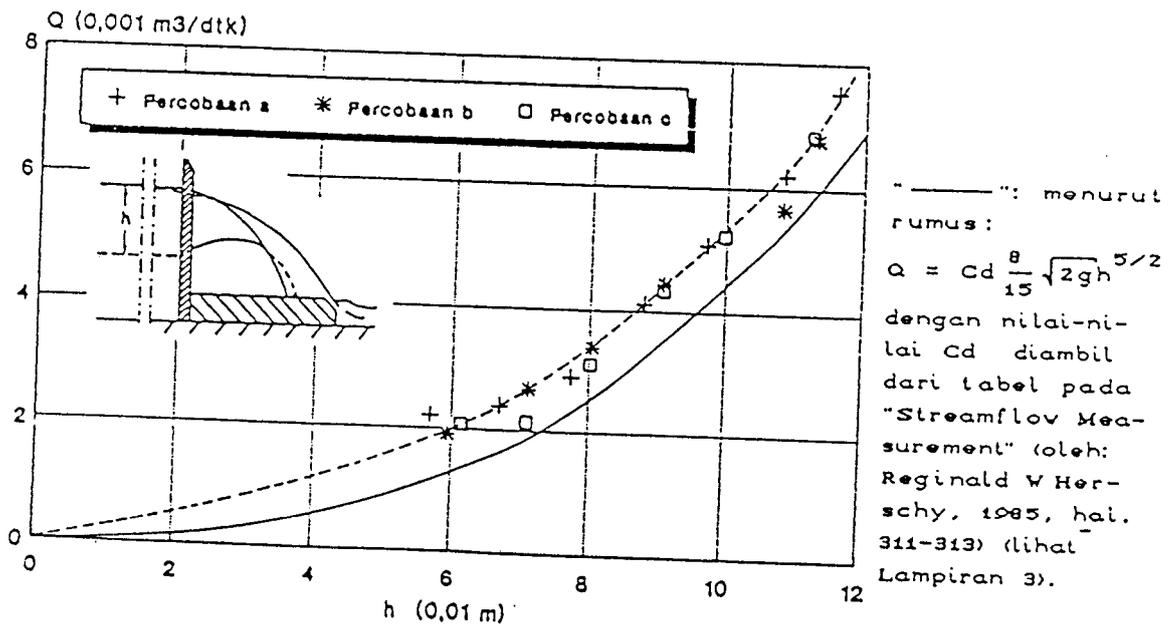
Gambar 5.4.a. Hubungan Antara Q dan h^{3/2} pada Ambang Tajam Segi Empat (Aliran Bebas)



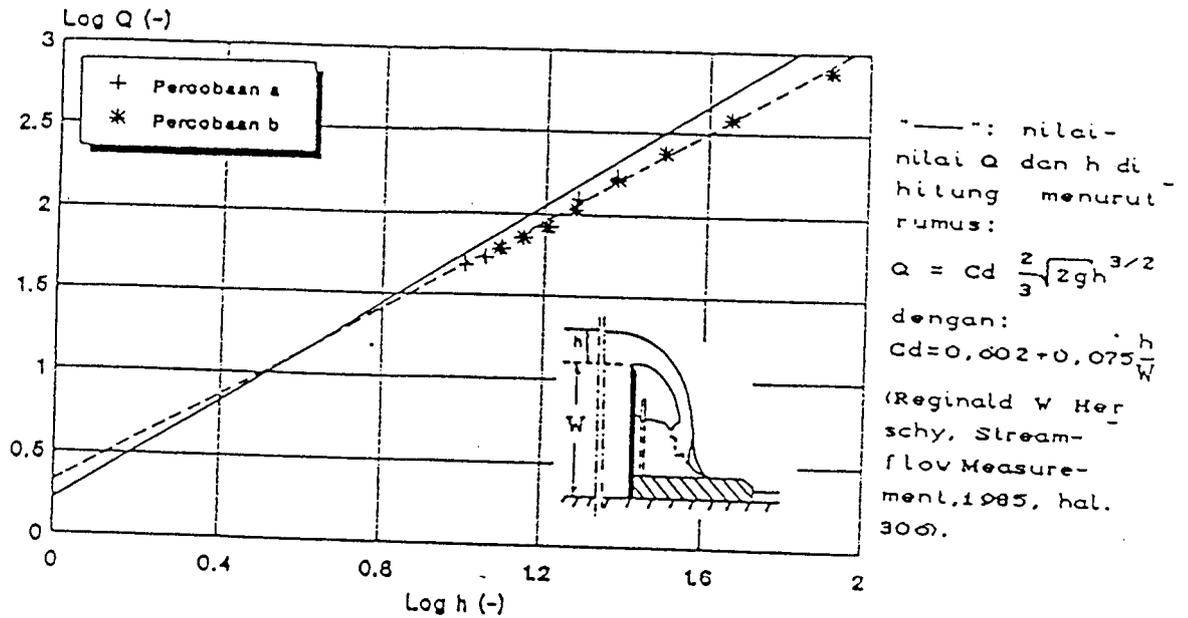
Gambar 5.4.b. Hubungan Antara Q dan h^{5/2} pada Veenotch (Aliran Bebas)



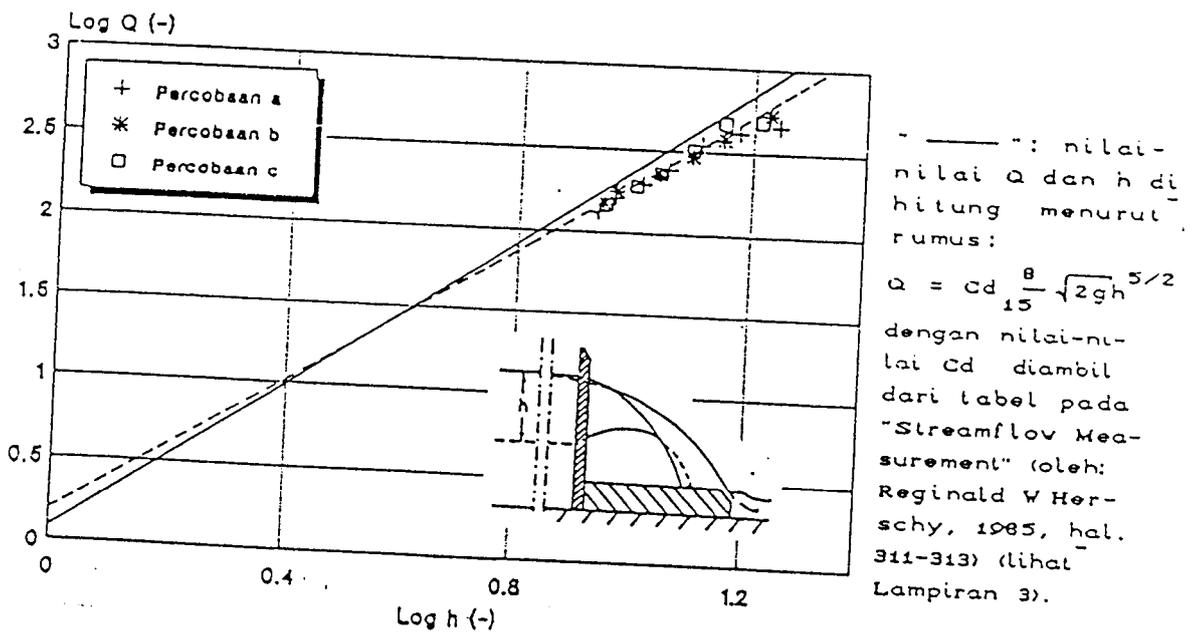
Gambar 5.5.a. Hubungan Antara Q dan h pada Ambang Tajam Segi Empat (Aliran Bebas)



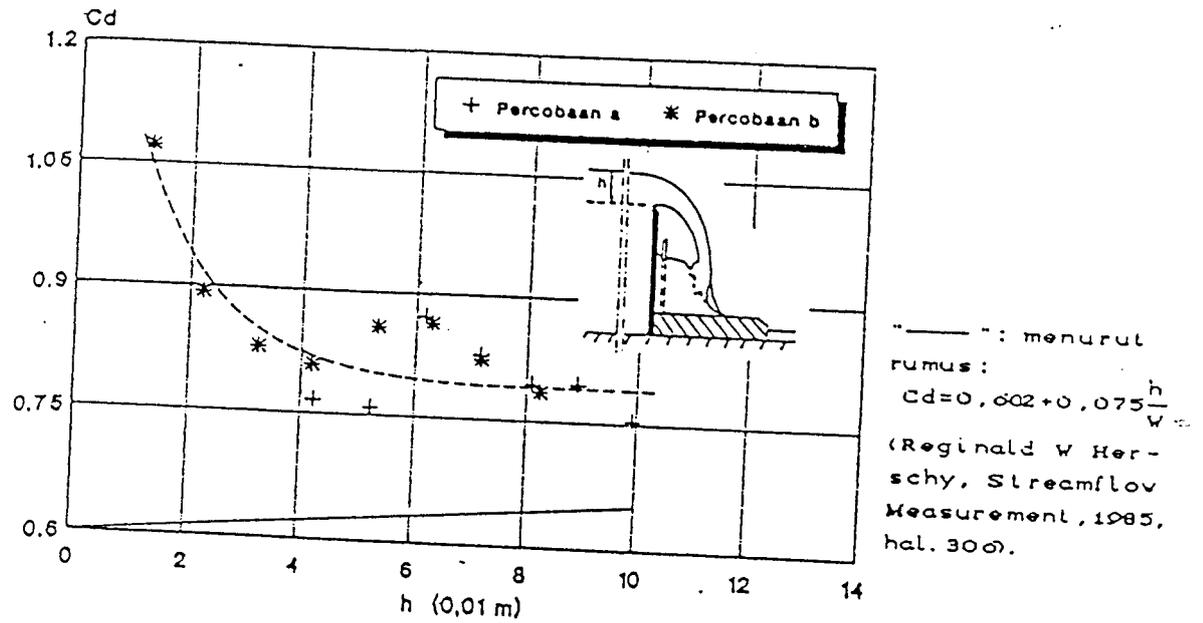
Gambar 5.5.b. Hubungan Antara Q dan h pada Vee-notch (Aliran Bebas)



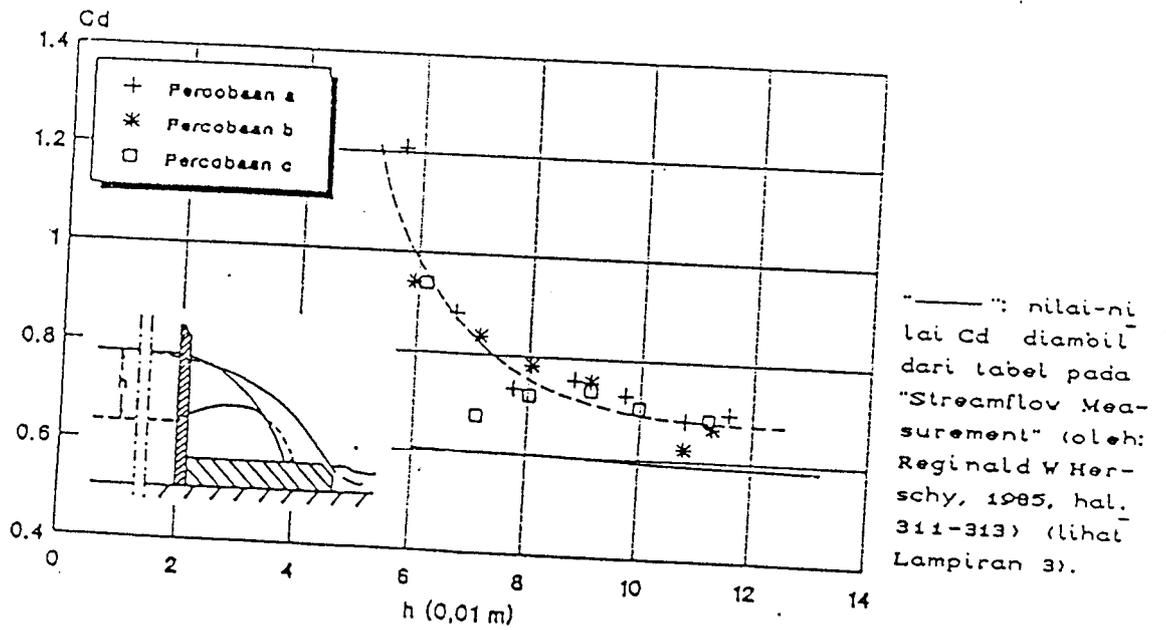
Gambar 5.6.a. Hubungan Antara Log Q dan Log h pada Ambang Tajam Segi Empat (Aliran Bebas)



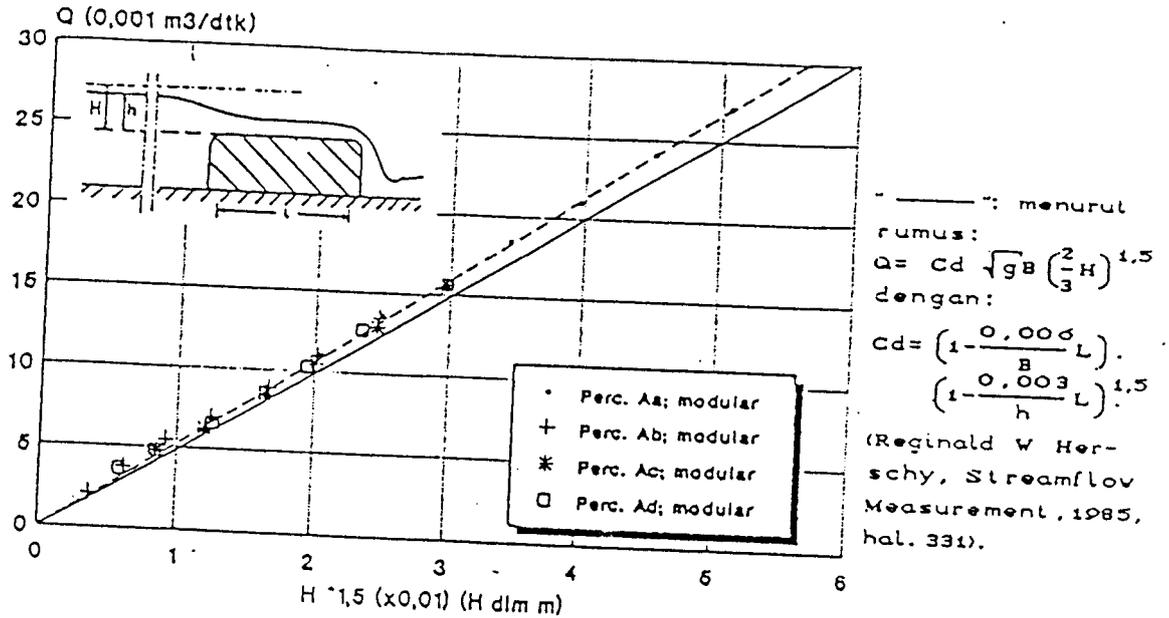
Gambar 5.6.b. Hubungan antara Log Q dan Log h pada Vee notch (Aliran Bebas)



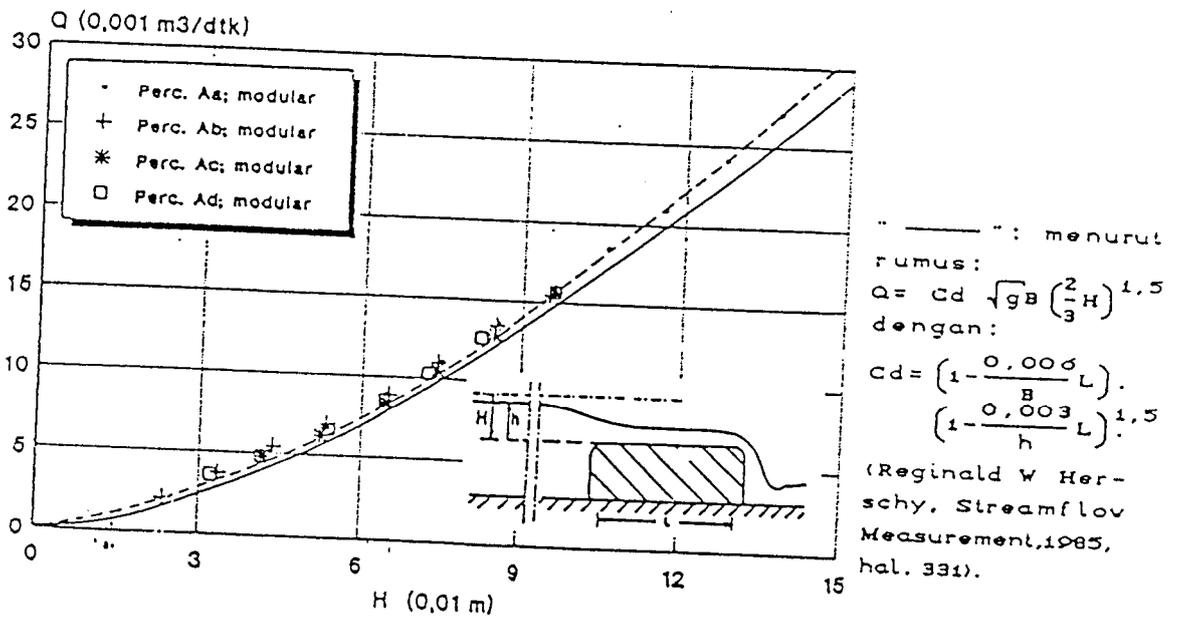
Gambar 5.7. a. Hubungan Antara Cd dan h pada Ambang Tajam Segi Empat (Aliran Bebas)



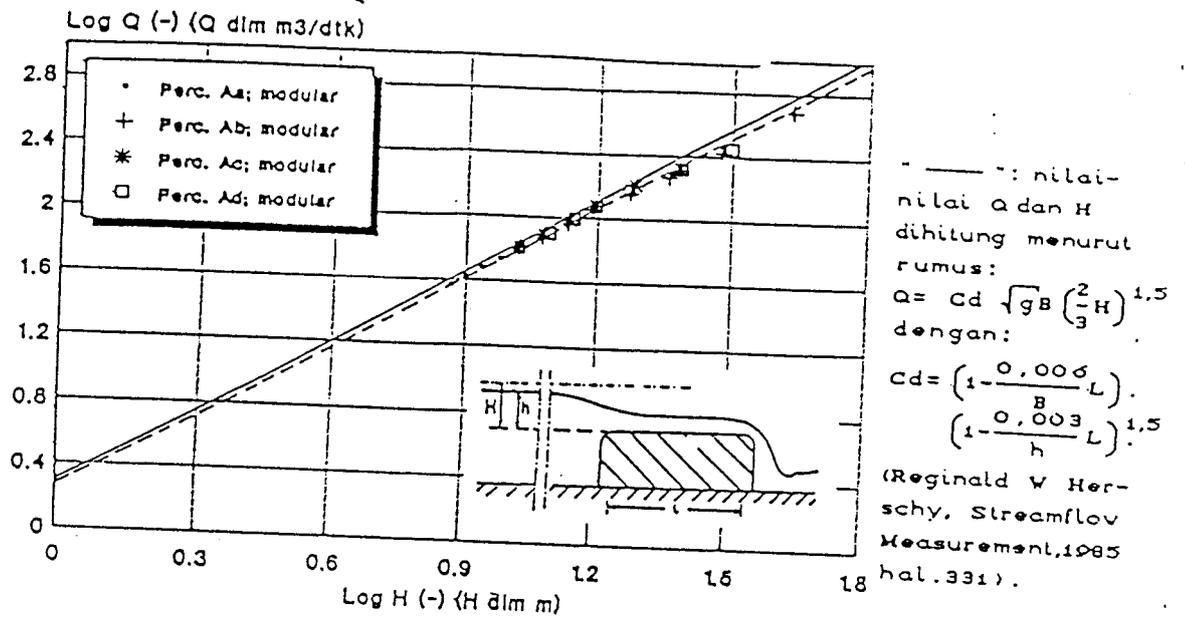
Gambar 5.7. b. Hubungan Antara Cd dan h pada Veenotch (Aliran Bebas)



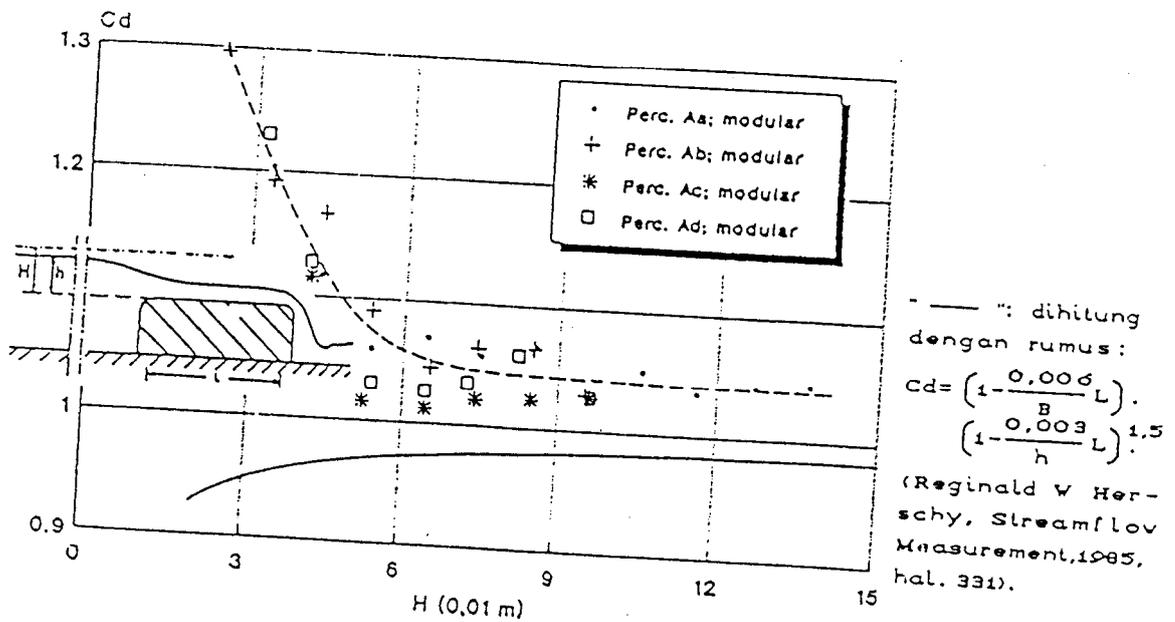
Gambar 5.18. Hubungan Antara Q dan $H^{1,5}$ pada Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan (Aliran Modular)



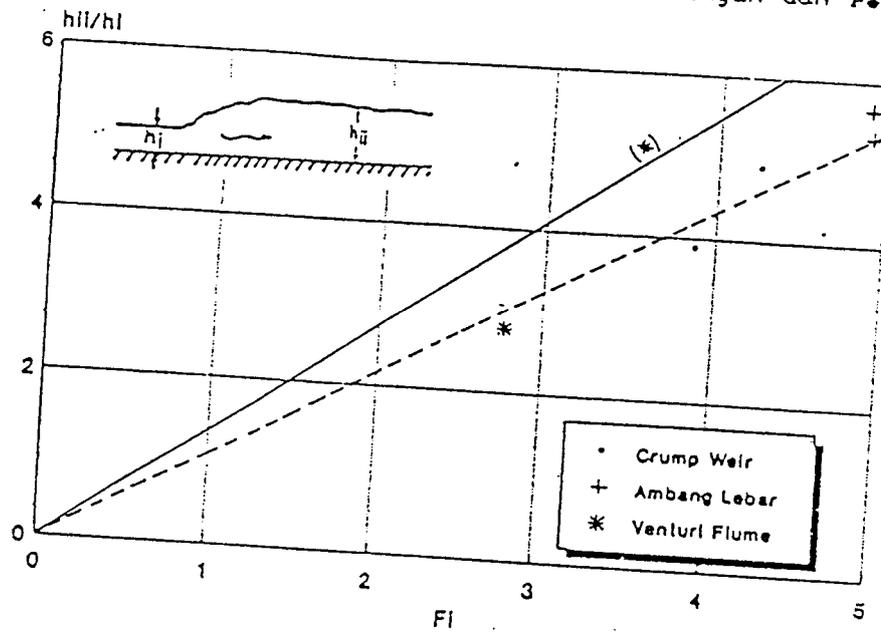
Gambar 5.19. Hubungan Antara Q dan H pada Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan (Aliran Modular)



Dambar 5. 20. Hubungan Antara Log Q dan Log H pada Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan (Aliran Modular)



Dambar 5. 21. Hubungan Antara Cd dan H pada Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan (Aliran Modular)



Gambar 5.1. a. Hubungan Antara F_1 dan h_{11}/h_1 pada Loncatan Hidrolik yang Terjadi Sesudah Model

Aliran melalui Pintu Sorong (Data baru)

| NO. PER COBA AN | PINTU SORONG (cm) hg | TAMPUNGAN | | GAUGE | | PIEZOMETER | | | | | KETE- RANGAN |
|--------------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------|------------|-----|------------|----|------------|----|----|---------------------------------------|
| | | VOLUME (Lt) V | WAKTU (dt) t | h1 (cm) | h2 | p1 | p2 | p3 (mm) | p4 | p5 | |
| | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2,00 | 24,7 | 8,7 | 23,0 | 1,3 | 230 | 22 | 28 | 20 | 24 | Sudut Plat Pem- bendungan 0° |
| 2 | 2,5 | 24,7 | 7,1 | 23,0 | 1,7 | 229 | 23 | 32 | 24 | 27 | |
| 3 | 3,00 | 24,7 | 6,1 | 23,0 | 2,0 | 230 | 26 | 35 | 27 | 30 | |
| 4 | 3,5 | 24,7 | 5,6 | 23,0 | 2,3 | 230 | 30 | 39 | 31 | 34 | |
| 5 | 4,00 | 24,7 | 4,4 | 21,5 | 2,8 | 215 | 33 | 40 | 37 | 40 | |
| 1 | 2,00 | 24,7 | 8,3 | 23,0 | 1,4 | 230 | 24 | 30 | 22 | 24 | Sudut Plat Pem- bendungan 0° |
| 2 | 2,5 | 24,7 | 8,4 | 15,5 | 1,7 | 157 | 24 | 30 | 25 | 26 | |
| 3 | 3,00 | 24,7 | 8,2 | 11,7 | 2,3 | 119 | 25 | 31 | 30 | 35 | |
| 4 | 3,5 | 24,7 | 8,2 | 9,6 | 2,6 | 97 | 25 | 32 | 45 | 43 | |
| 5 | 4,00 | 24,7 | 8,2 | 8 | 2,8 | 82 | 27 | 57 | 49 | 45 | |

Pengujian aliran melalui Ambang Tajam Segi Empat (Data baru)

| NO. PER COBA AN | TAMPUNGAN | | GAUGE | | PIEZOMETER | | | | | KETE-RANGAN |
|-----------------|------------------|-----------------|-------|-----|------------|----|----|----|----|------------------------------|
| | VOLUME (Lt) V | WAKTU (dt) t | (cm) | | (mm) | | | | | |
| | | | h1 | h2 | p1 | p2 | p3 | p4 | p5 | |
| 1 | 24,7 | 5,2 | 7,8 | 6,7 | 193 | 42 | 45 | 42 | 44 | Sudut Plat Perm-berdungan 0° |
| 2 | 24,7 | 6,5 | 6,8 | 5,8 | 184 | 35 | 40 | 40 | 40 | |
| 3 | 24,7 | 7,6 | 5,8 | 4,8 | 475 | 30 | 35 | 33 | 35 | |
| 4 | 24,7 | 9,0 | 4,8 | 4,0 | 165 | 25 | 30 | 29 | 32 | |
| 5 | 24,7 | 12,3 | 3,8 | 3,0 | 154 | 23 | 23 | 23 | 26 | |
| 6 | 24,7 | 18,5 | 2,8 | 2,3 | 144 | 20 | 19 | 20 | 26 | |
| 7 | 24,7 | 39,5 | 1,8 | 1,5 | 134 | 10 | 19 | 19 | 19 | |

Pengujian aliran melalui Ambang Tajam Segi Tiga (Data baru)

| NO. PER COBA AN | TAMPUNGAN | | GAUGE | | PIEZOMETER | | | | | KETE- RANGAN |
|--------------------------|---------------------|--------------------|-------|-----|------------|----|----|----|----|--|
| | VOLUME (Lt) V | WAKTU (dt) t | (cm) | | (mm) | | | | | |
| | | | h1 | h2 | p1 | p2 | p3 | p4 | p5 | |
| 1 | 12,35 | 17,8 | 5,5 | 5,1 | 164 | 18 | 27 | 22 | 16 | Sudut Plat Paim- berdungan 0° |
| 2 | 12,35 | 24,,8 | 5,0 | 4,5 | 157 | 41 | 23 | 18 | 17 | |
| 3 | 12,35 | 32,2 | 4,5 | 4,0 | 152 | 18 | 21 | 16 | 15 | |
| 4 | 12,35 | 46,6 | 4,0 | 3,5 | 146 | 16 | 17 | 13 | 12 | |
| 5 | 12,35 | 56,0 | 3,5 | 3,2 | 142 | 14 | 15 | 12 | 11 | |
| 6 | 12,35 | 79,0 | 3,0 | 2,6 | 136 | 12 | 13 | 10 | 9 | |
| 7 | 12,35 | 114,0 | 2,5 | 2,1 | 132 | 8 | 10 | 7 | 7 | |

Pengujian aliran melalui Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan menggunakan Pompa (Data baru)

| NO. PER COBA AN | TAMPLUNGAN | | GAUGE | | | | | PIEZOMETER | | | | | KETE-RANGAN |
|-----------------|---------------|--------------|-------|-----|---------|----|------|------------|-----|---------|-----|-----|------------------------------|
| | VOLUME (lt) V | WAKTU (dt) t | h1 | h2 | h3 (cm) | h4 | h5 | p1 | p2 | p3 (mm) | p4 | p5 | |
| A | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 24,7 | 4,5 | 9,5 | 6,5 | 5,2 | | | 195 | 125 | 45 | 47 | 48 | Plat Pem-bendungan |
| 2 | 24,7 | 5,3 | 8,5 | 5,8 | 4,8 | | | 185 | 105 | 40 | 35 | 38 | |
| 3 | 24,7 | 6,5 | 7,5 | 4,8 | 4,2 | | | 176 | 65 | 35 | 31 | 34 | |
| 4 | 24,7 | 8,5 | 6,5 | 4,0 | 3,6 | | | 165 | 33 | 30 | 27 | 30 | |
| 5 | 24,7 | 11,7 | 5,4 | 3,3 | 3,0 | | | 155 | 20 | 25 | 24 | 26 | |
| 6 | 24,7 | 15,6 | 4,5 | 2,8 | 2,4 | | | 145 | 17 | 20 | 20 | 24 | |
| 7 | 24,7 | 23,5 | 3,5 | 2,0 | 1,8 | | | 135 | 15 | 15 | 20 | 23 | |
| B | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 24,7 | 6,4 | 7,5 | 4,8 | 4,1 | | 2,2 | 175 | 80 | 92 | 87 | 87 | Plat Pem-bendungan dinaikkan |
| 2 | 24,7 | 6,5 | 7,5 | 4,8 | 4,1 | | 4,2 | 175 | 95 | 96 | 92 | 92 | |
| 3 | 24,7 | 6,5 | 7,5 | 4,8 | 4,1 | | 6,0 | 175 | 110 | 100 | 96 | 97 | |
| 4 | 24,7 | 6,4 | 7,5 | 4,8 | 4,2 | | 9,0 | 175 | 120 | 115 | 110 | 111 | |
| 5 | 24,7 | 6,5 | 7,5 | 4,8 | 4,2 | | 11,1 | 175 | 108 | 131 | 127 | 126 | |
| 6 | 24,7 | 6,5 | 7,5 | 4,8 | 4,2 | | 11,0 | 175 | 122 | 142 | 138 | 136 | |
| 7 | 24,7 | 6,5 | 7,5 | 5,0 | 4,4 | | 15,0 | 175 | 143 | 156 | 150 | 150 | |

Olah data Pintu Sorong

Volume = 24.7 liter (tinggi tampungan 10 cm)

| No. Percobaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Keterangan | | | h1 tetap | | | | | Q tetap | | |
| Waktu tampung (dt) | 8,7 | 7,1 | 6,1 | 5,6 | 4,4 | 8,3 | 8,4 | 8,2 | 8,2 | 8,2 |
| Debit (l/dt) | 2,8391 | 3,4789 | 4,0492 | 4,4107 | 5,6136 | 2,9759 | 2,9405 | 3,0122 | 3,0122 | 3,0122 |
| hg (cm) | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 |
| h1 (cm) | 23 | 23 | 23 | 23 | 21,5 | 23 | 15,5 | 11,7 | 9,6 | 8 |
| h2 (cm) | 1,3 | 1,7 | 2 | 2,3 | 2,8 | 1,4 | 1,7 | 2,3 | 2,6 | 2,8 |
| hg/h1 | 0,0870 | 0,1087 | 0,1304 | 0,1522 | 0,1860 | 0,0870 | 0,1613 | 0,2564 | 0,3646 | 0,5000 |
| cd | 0,6682 | 0,6551 | 0,6354 | 0,5932 | 0,6833 | 0,7004 | 0,6745 | 0,6627 | 0,6271 | 0,6011 |
| hc x 0,01 (m) | 4,3474 | 4,9782 | 5,5084 | 5,8315 | 6,8487 | 4,4860 | 4,4503 | 4,5224 | 4,5224 | 4,5224 |
| Ermin x 0,01 (m) | 6,5211 | 7,4672 | 8,2625 | 8,7473 | 10,2730 | 6,7290 | 6,6754 | 6,7835 | 6,7835 | 6,7835 |
| E1 x 0,01 (m) | 23,6291 | 23,7709 | 23,8973 | 23,9774 | 22,8308 | 23,6595 | 16,4669 | 13,0122 | 11,1992 | 9,9191 |
| E2 x 0,01 (m) | 12,4310 | 12,1302 | 12,3190 | 12,0742 | 13,0185 | 12,2341 | 10,5160 | 8,9751 | 8,5049 | 8,2831 |
| Bilangan Froude 1 | 0,0822 | 0,1007 | 0,1172 | 0,1277 | 0,1798 | 0,0861 | 0,1538 | 0,2403 | 0,3233 | 0,4250 |
| Bilangan Froude 2 | 6,1154 | 5,0111 | 4,5708 | 4,0372 | 3,8254 | 5,7358 | 4,2355 | 2,7571 | 2,2940 | 2,0526 |
| Cd teori | 0,632374 | 0,656182 | 0,639444 | 0,626561 | 0,658437 | 0,679621 | 0,645521 | 0,700867 | 0,658963 | 0,602464 |
| Kesaksamaan Cd % | 94,32785 | 99,82994 | 99,36417 | 94,68126 | 96,22293 | 96,93567 | 95,51552 | 94,55487 | 95,16318 | 99,76942 |
| Kes. rata-rata Cd % | 96,63649 | | | | | | | | | |

Kecenderungan Cd penulis lebih besar dari Cd teori maka faktor pengalirnya: 0,96637



Olah Data Ambang Tajam Segi Empat

Volume = 24.7 liter (tinggi tampungan 10 cm)

| No. Percobaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------------------------|----------|-------------|----------|----------|---------|----------|----------|
| t (dt) | 5,2 | 6,5 | 7,6 | 9 | 12,3 | 18,5 | 39,5 |
| $h_1 \times 0.01$ (m) | 7,8 | 6,8 | 5,8 | 4,8 | 3,8 | 2,8 | 1,8 |
| $h_2 \times 0.01$ (m) | 6,7 | 5,8 | 4,8 | 4 | 3 | 2,3 | 1,5 |
| $h_1^{3/2} \times 0.01$ | 2,1784 | 1,7732 | 1,3968 | 1,0516 | 0,7408 | 0,4685 | 0,2415 |
| Q x 0.001 (m ³ /dt) | 4,7500 | 3,8000 | 3,2500 | 2,7444 | 2,0081 | 1,3351 | 0,6253 |
| E1 (m) | 0,0782 | 0,0682 | 0,0582 | 0,0482 | 0,0381 | 0,0281 | 0,0181 |
| E2 (m) | 0,0673 | 0,0582 | 0,0482 | 0,0402 | 0,0302 | 0,0232 | 0,0151 |
| Bilangan Froude 1 | 0,6962 | 0,6842 | 0,7429 | 0,8332 | 0,8655 | 0,9098 | 0,8267 |
| Bilangan Froude 2 | 0,8745 | 0,8686 | 0,9867 | 1,0953 | 1,2339 | 1,2221 | 1,0867 |
| Cd ukur | 0,73840 | 0,72571 | 0,78792 | 0,88376 | 0,91803 | 0,96501 | 0,87687 |
| Cd teori | 0,65075 | 0,6445 | 0,63825 | 0,632 | 0,62575 | 0,6195 | 0,61325 |
| Kesaksamaan Cd % | 86,53046 | 87,39982554 | 76,54966 | 60,16456 | 53,2908 | 44,22828 | 57,01341 |
| Kes. rata-rata Cd % | 66,45386 | | | | | | |

Tabel data dan hitungan percobaan Ambang Tajam Segi Empat Adiantara

| No. Percobaan | | | | | | | | |
|---------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| h1 cm | 9,92 | 8,9 | 8,09 | 7,16 | 6,17 | 5,23 | 4,23 | |
| Q t/d | 8,23 | 7,18 | 6,28 | 5,32 | 4,19 | 3,21 | 2,22 | 1,25 |
| h1 ^{3/2} | 20,8693 | 18,7225 | 16,2132 | 14,0397 | 11,8322 | 8,0507 | 5,9084 | |
| Cd | 16,4276 | 14,0116 | 12,0330 | 9,3209 | 6,1480 | 4,2198 | 2,6138 | 1,3268 |
| | 3,1244 | 2,6551 | 2,3010 | 1,9159 | 1,5326 | 1,1961 | 0,8700 | |
| | 2,3610 | 1,9239 | 1,5738 | 1,2271 | 0,8577 | 0,5751 | 0,3308 | 0,1398 |
| | 0,7540 | 0,7960 | 0,7954 | 0,8272 | 0,8715 | 0,7598 | 0,7666 | |
| Cd Reginald | 0,7854 | 0,8221 | 0,8631 | 0,8575 | 0,8092 | 0,8282 | 0,8920 | 1,0717 |
| | 0,6516 | 0,6465 | 0,6425 | 0,6378 | 0,6329 | 0,6282 | 0,6232 | |
| Kesaksamaan Cd % | 0,6432 | 0,6379 | 0,6334 | 0,6286 | 0,6230 | 0,6181 | 0,6131 | 0,6083 |
| | 84,2876 | 76,8794 | 76,1982 | 70,3047 | 62,2925 | 79,0410 | 76,9767 | |
| Kes. rata-rata Cd % | 77,8812 | 71,1249 | 63,7373 | 63,5930 | 70,1087 | 65,9919 | 54,5104 | 23,8110 |
| | 67,78256 | | | | | | | |

Tabel data dan hitungan percobaan Ambang Tajam Segi Tiga Adiantara

| No. Percobaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| h1 cm | 11,53 | 10,82 | 9,72 | 8,81 | 7,74 | 6,68 | 5,69 |
| Q It/d | 11,3 | 10,8 | 9,09 | 8,03 | 7,11 | 5,93 | |
| | 11,23 | 9,97 | 9,09 | 8,01 | 7,09 | 6,13 | |
| h1 ^{5/2} | 7,5313 | 6,2054 | 5,064 | 4,1065 | 2,891 | 2,3964 | 2,2078 |
| | 6,7809 | 5,6507 | 4,432 | 3,3716 | 2,6635 | 1,9023 | |
| | 6,8423 | 5,2214 | 4,3282 | 3,0912 | 2,1383 | 2,0648 | |
| | 4,514122 | 3,850952 | 2,945545 | 2,303773 | 1,666681 | 1,153297 | 0,77229 |
| | 4,29236 | 3,833182 | 2,491206 | 1,827212 | 1,347951 | 0,856321 | |
| | 4,226194 | 3,138614 | 2,491206 | 1,815856 | 1,338491 | 0,93036 | |
| | 0,706234 | 0,682108 | 0,727746 | 0,754543 | 0,734256 | 0,879569 | 1,210127 |
| | 0,668718 | 0,624014 | 0,753081 | 0,781086 | 0,836432 | 0,94036 | |
| | 0,685337 | 0,704208 | 0,735444 | 0,720606 | 0,676246 | 0,939461 | |
| | 0,58907 | 0,59006 | 0,59226 | 0,59418 | 0,59718 | 0,60056 | |
| | 0,5894 | 0,5901 | 0,59352 | 0,59631 | 0,59863 | | |
| | 0,58954 | 0,59184 | 0,59352 | 0,59637 | 0,59904 | 0,60262 | |
| | 6,281862 | 5,368001 | 4,121225 | 3,233747 | 2,351288 | 1,636235 | |
| | 5,976604 | 5,343591 | 3,492957 | 2,574004 | 1,906254 | | |
| | 5,885873 | 4,388241 | 3,492957 | 2,558264 | 1,894173 | 1,324473 | |
| | 80,11039 | 84,40016 | 77,1239 | 73,01109 | 77,04613 | 53,54186 | |
| | 86,54259 | 94,25277 | 73,11612 | 69,0134 | 60,27568 | | |
| | 83,75047 | 81,01382 | 76,08781 | 79,16805 | 87,11168 | 44,10398 | |
| Kes. rata-rata Cd % | 75,2747 | | | | | | |

Olah data Ambang Lebar dengan Pangkal Dibulatkan
Volume = 24.7 liter (tinggi tampungan 10 cm)

| No. percobaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| h1 | 9,5 | 8,5 | 7,5 | 6,5 | 5,4 | 4,5 | 3,5 |
| h2 | 6,5 | 5,8 | 4,8 | 4 | 3,3 | 2,8 | 2 |
| h3 | 5,2 | 4,8 | 4,2 | 3,6 | 3 | 2,4 | 1,8 |
| h4 | - | - | - | - | - | - | - |
| h5 | - | - | - | - | - | - | - |
| t | 4,5 | 5,3 | 6,5 | 8,5 | 11,7 | 15,6 | 23,5 |
| Q | 5,4889 | 4,6604 | 3,8000 | 2,9059 | 2,1111 | 1,5833 | 1,0511 |
| E1 | 21,2015 | 20,0322 | 18,8084 | 17,5187 | 16,1790 | 15,1310 | 13,9596 |
| E2 | 20,1345 | 19,0907 | 17,9944 | 16,6899 | 15,3859 | 14,4298 | 13,4077 |
| E3 | 20,8789 | 19,6046 | 18,3722 | 16,9209 | 15,5239 | 14,6183 | 13,5379 |
| E4 | - | - | - | - | - | - | - |
| E5 | - | - | - | - | - | - | - |
| F1 | 0,5985 | 0,6004 | 0,5907 | 0,5599 | 0,5371 | 0,5296 | 0,5125 |
| F2 | 1,0575 | 1,0652 | 1,1537 | 1,1597 | 1,1244 | 1,0789 | 1,1865 |
| F3 | 1,4779 | 1,4149 | 1,4095 | 1,3583 | 1,2972 | 1,3596 | 1,3896 |
| F4 | - | - | - | - | - | - | - |
| F5 | - | - | - | - | - | - | - |
| SR | - | - | - | - | - | - | - |
| H1 | 11,2015 | 10,0322 | 8,8084 | 7,5187 | 6,1790 | 5,1310 | 3,9596 |
| H2 | 10,1345 | 9,0907 | 7,9944 | 6,6899 | 5,3859 | 4,4298 | 3,4077 |
| H3 | 10,8789 | 9,6046 | 8,3722 | 6,9209 | 5,5239 | 4,6183 | 3,5379 |
| H4 | - | - | - | - | - | - | - |
| H5 | - | - | - | - | - | - | - |
| H = E - w | 10,1777 | 10,2329 | 10,7360 | 10,7360 | 12,0740 | 13,4355 | 14,8501 |

| No. Percobaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Cd ukur | 0,85877 | 0,86026 | 0,85259 | 0,82674 | 0,80619 | 0,79905 | 0,78243 |
| Cd teori | 0,96527 | 0,96367 | 0,96155 | 0,95856 | 0,95415 | 0,9491 | 0,94032 |
| Kesaksamaan Cd % | 88,9667 | 89,2695 | 88,6684 | 86,2479 | 84,4927 | 84,1899 | 83,2093 |
| Kes. rata-rata Cd % | 86,4349 | - | - | - | - | - | - |

dengan w adalah tinggi ambang (w = 10 cm diukur setelah model diletakkan pada dasar saluran dengan point gauge.

| No. Percobaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Cd ukur | 0,85877 | 0,86026 | 0,85259 | 0,82674 | 0,80619 | 0,79905 | 0,78243 |
| Cd teori | 0,96527 | 0,96367 | 0,96155 | 0,95856 | 0,95415 | 0,9491 | 0,94032 |
| Kesaksamaan Cd % | 88,9667 | 89,2695 | 88,6684 | 86,2479 | 84,4927 | 84,1899 | 83,2093 |
| Kes. rata-rata Cd % | 86,4349 | - | - | - | - | - | - |

Tabel data dan hitungan percobaan Ambang Lebar Adiantara

| No. Percobaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
|--------------------------|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| H (0,01 m) | Aa | 13,672 | 12,686 | 11,614 | 10,563 | 9,517 | 8,524 | 7,466 | 6,435 | 5,356 | 4,327 | 3,324 |
| | Ab | 9,51 | 8,481 | 7,404 | 6,513 | 5,351 | 4,363 | 3,344 | 2,356 | | | |
| | Ac | 2,356 | 4,141 | 5,224 | 6,43 | 7,378 | 8,449 | 9,595 | | | | |
| | Ad | 9,595 | 8,179 | 7,214 | 6,413 | 5,382 | 4,111 | 3,192 | | | | |
| H ^{1,5} (x0,01) | Aa | 5,055313 | 4,518425 | 3,957972 | 3,433056 | 2,93596 | 2,488658 | 2,040009 | 1,632386 | 1,239541 | 0,900078 | 0,606026 |
| | Ab | 2,932721 | 2,46985 | 2,01465 | 1,662155 | 1,237806 | 0,911335 | 0,611504 | 0,361629 | | | |
| | Ac | 0,361629 | 0,842671 | 1,194001 | 1,630484 | 2,004047 | 2,455885 | 2,972128 | | | | |
| | Ad | 2,972128 | 2,339108 | 1,9376 | 1,624022 | 1,248578 | 0,83353 | 0,570288 | | | | |
| Q (0,001 m3/dt) | Aa | 27,0368 | 24,1053 | 20,9651 | 18,4634 | 15,3736 | 13,5827 | 11,0347 | 8,937 | 6,7189 | 5,1438 | 3,7292 |
| | Ab | 15,4497 | 13,4659 | 10,967 | 8,8931 | 6,903 | 5,4434 | 3,7292 | 2,3964 | | | |
| | Ac | 2,3964 | 4,8106 | 6,2054 | 8,438 | 10,478 | 12,8642 | 15,6256 | | | | |
| | Ad | 15,6256 | 12,6776 | 10,2594 | 8,5314 | 6,5924 | 4,8106 | 3,5877 | | | | |
| Cd | Aa | 1,045655 | 1,043054 | 1,035632 | 1,051506 | 1,02378 | 1,067093 | 1,057571 | 1,07041 | 1,059787 | 1,117339 | 1,20311 |
| | Ab | 1,029984 | 1,065972 | 1,064313 | 1,046075 | 1,090352 | 1,167814 | 1,192333 | 1,29562 | | | |
| | Ac | 1,29562 | 1,11615 | 1,016123 | 1,011822 | 1,022237 | 1,024132 | 1,027899 | | | | |
| | Ad | 1,027899 | 1,059663 | 1,035235 | 1,027093 | 1,032308 | 1,12839 | 1,229994 | | | | |
| Cd Reginald | Aa | 0,98428 | 0,983523 | 0,982555 | 0,981416 | 0,980033 | 0,978407 | 0,9762 | 0,973353 | 0,969205 | 0,963332 | 0,954132 |
| | Ab | 0,980023 | 0,978328 | 0,976051 | 0,9736 | 0,969182 | 0,963584 | 0,954369 | 0,937898 | | | |
| | Ac | 0,937898 | 0,961961 | 0,96858 | 0,973337 | 0,975988 | 0,978269 | 0,980147 | | | | |
| | Ad | 0,980147 | 0,97775 | 0,975579 | 0,973282 | 0,969324 | 0,961728 | 0,952494 | | | | |

Tabel kesaksamaan pengukuran Cd Ambang Lebar Adiantara

| No. | Aa | | | Ab | | | Ac | | | Ad | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
| | 1* | 2* | 3* | 1* | 2* | 3* | 1* | 2* | 3* | 1* | 2* | 3* | |
| 1 | 1,045655 | 0,98428 | 93,76448 | 1,029984 | 0,980023 | 94,90206 | 1,29562 | 0,937898 | 61,85927 | 1,027899 | 0,980147 | 95,12806 | |
| 2 | 1,043054 | 0,983523 | 93,94725 | 1,065972 | 0,978328 | 91,0414 | 1,11615 | 0,961961 | 83,97137 | 1,059663 | 0,97775 | 91,62223 | |
| 3 | 1,035632 | 0,982555 | 94,59814 | 1,064313 | 0,976051 | 90,95721 | 1,016123 | 0,96858 | 95,09154 | 1,035235 | 0,975579 | 93,88505 | |
| 4 | 1,051506 | 0,981416 | 92,85827 | 1,046075 | 0,9736 | 92,55597 | 1,011822 | 0,973337 | 96,04604 | 1,027093 | 0,973282 | 94,47125 | |
| 5 | 1,02378 | 0,980033 | 95,53619 | 1,090352 | 0,969182 | 87,49772 | 1,022237 | 0,975988 | 95,26128 | 1,032308 | 0,969324 | 93,50235 | |
| 6 | 1,067093 | 0,978407 | 90,93571 | 1,167814 | 0,963584 | 78,80521 | 1,024132 | 0,978269 | 95,31177 | 1,12839 | 0,961728 | 82,67059 | |
| 7 | 1,057571 | 0,9762 | 91,66443 | 1,192333 | 0,954369 | 75,06592 | 1,027899 | 0,980147 | 95,12806 | 1,229994 | 0,952494 | 70,86601 | |
| 8 | 1,07041 | 0,973353 | 90,0286 | | | | | | | | | | |
| 9 | 1,059787 | 0,969205 | 90,65401 | | | | | | | | | | |
| 10 | 1,117339 | 0,963332 | 84,01313 | | | | | | | | | | |
| 11 | 1,20311 | 0,954132 | 73,90535 | | | | | | | | | | |
| Kesaksamaan rata-rata pengukuran debit | | | | 88,16379 | | | | | | | | | |

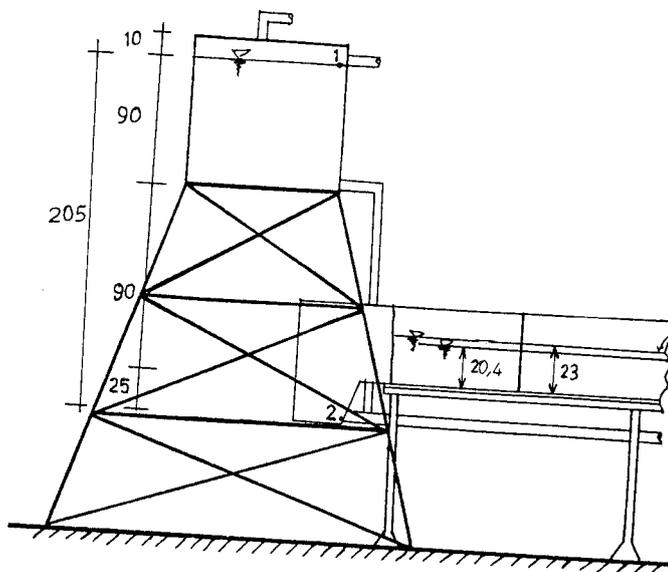
Keterangan:

1* Cd ukur Adiantara

2* Cd dengan formula Reginald

3* Kesaksamaan pengukuran

Hitungan kehilangan tenaga pemipaan water tower.



$$* Q = 4,1167 \text{ l/d} ; D = 2 \text{ inchi} ; h_2 = 20,4 \text{ cm} + 25 \text{ cm} = 45,4 \text{ cm}$$

$$z_1 + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$2,05 + 0 + 0 = 0 + 0,454 + \frac{v_2^2}{2g} \longrightarrow v_2 = 5,595 \text{ m/d}$$

$$Q = Cd \cdot A \cdot v$$

$$Cd = \frac{4,1167}{0,25 \cdot \pi \cdot (0,0508)^2 \cdot 5,595} \longrightarrow Cd = 0,363$$

$$* Q = 5,6136 \text{ l/d} ; h_2 = 23 \text{ cm} + 25 \text{ cm} = 48 \text{ cm}$$

$$2,05 + 0 + 0 = 0 + 0,48 + \frac{v_2^2}{2g} \longrightarrow v_2 = 5,55 \text{ m/d}$$

$$A = \frac{0,0056136}{0,363 \cdot 5,55} \longrightarrow A = 0,002786 \text{ m}^2$$

$$\therefore D = 0,0595 \text{ m atau } D = 2,34 \text{ inchi}$$

Dipakai diameter yang ada di pasaran $D = 2,5 \text{ inchi}$.

