

TESIS

**UJI MODEL PEREDAM ENERGI FLIP BUCKET
PADA SPILLWAY BENDUNGAN KARALLOE**

NABILAH SHAHNAZ

D012 191 009



**PROGRAM MAGISTER DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

TESIS

UJI MODEL PEREDAM ENERGI FLIP BUCKET PADA SPILLWAY BENDUNGAN KARALLOE

NABILAH SHAHNAZ

NIM : D012191009

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

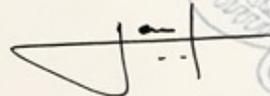
pada tanggal 16 Agustus 2022

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



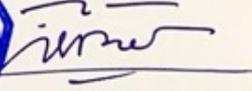
Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT
NIP. 19641020 199103 1 002



Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri, ST., MT
NIP. 19810425 200812 1 001

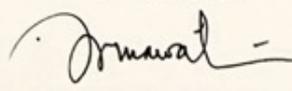


Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. H. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.
NIP. 19730926 200012 1 002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Sipil



Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.
NIP. 19720619 200012 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nabilah Shahnaz

Nomor mahasiswa : D012191009

Program studi : Teknik Sipil

Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa tulisan saya berjudul:

UJI MODEL PEREDAM ENERGI FLIP BUCKET PADA SPILLWAY BENDUNGAN KARALLOE Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Tesis yang saya tulis ini benar – benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Tesis ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 16 Agustus 2022

Yang menyatakan,



Nabilah Shahnaz

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Allah *Subhanahu Wata'ala* atas izin-Nya sehingga penulisan penelitian tesis dengan judul **“Uji Model Peredam Energi Flip Bucket pada Spillway Bendungan Karalloe”** dapat terselesaikan. Tak lupa pula penulis haturkan shalawat dan salam atas junjungan Nabi Muhammad *Shallallahu 'Alaihi Wasallam* sebagai suri tauladan bagi sekalian umat dalam segala aspek kehidupan, sehingga menjadi motivasi penulis dalam menuntut ilmu

Penulis menyadari bahwa selesainya Tesis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, utamanya dosen pembimbing:

Pembimbing I : Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT

Pembimbing II : Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri, ST. MT

Dengan segala kerendahan hati, pada bagian ini penulis juga ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Orang tua tercinta, Ayahanda Suardi dan Ibunda Siti Fatimah atas kasih sayang, dukungan dan doanya.
2. Rektor Universitas Hasanuddin Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc
3. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T
4. Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Bapak Prof. Dr. Ir. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST.,M.Eng

5. Ketua Program Studi S2 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Ibu Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawati, ST.,MT
6. Bapak Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT dan Bapak Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri, ST. MT selaku dosen pembimbing yang selalu meluangkan waktu dan tenaga untuk bimbingan dan pengarahan dalam penelitian ini.
7. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Muh. Saleh Pallu, M.Eng, Ibu Dr. Eng. Ir. Rita Tahir Lopa, MT dan Bapak Dr. Eng Ir. Mukhsan Putra Hatta, ST.,MT selaku dosen KKD Keairan yang telah banyak memberikan masukan dan bantuan selama penelitian.
8. Seluruh dosen, staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
9. Adik-adik Asisten Laboratorium Hidraulika Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan Aidita atas segala bantuannya selama pelaksanaan penelitian dilaboratorium.
10. Saudara-saudari SIPIL 2014 dan Apartemen Family yang selalu memberikan semangat dan doa dalam menyelesaikan tesis ini.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu telah membantu selama jalannya penelitian hingga proses pengujian.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan adanya masukan dan

saran yang dapat memberikan sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tesis ini.

Makassar, 16 Agustus 2022

Nabilah Shahnaz

ABSTRAK

Bendungan Karalloe dibangun dengan tujuan untuk memasok air baku, untuk pengendalian banjir dan sebagai objek wisata. Bendungan ini juga merupakan bendungan dengan tipe timbunan batuan dengan membran beton (*Concrete Face Rockfill Dam*) yang memiliki pelimpah samping tanpa pintu dengan model Mercuri tipe Mercuri Ogee. Tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui tingkat efektivitas peredam energi dengan variasi debit banjir yang telah ditentukan dengan menggunakan tipe Flip Bucket dan menghitung panjang loncatan yang terjadi.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidrolika Alam Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin. Jenis penelitian ini adalah eksperimental dengan uji model hidraulik fisik dengan menggunakan data primer yang meliputi data desain bangunan. Pengujian model desain dimaksudkan untuk mempelajari dan menyelidiki kesempurnaan desain yaitu pengamatan tinggi muka air sebelum loncatan dan setelah loncatan dan menganalisis jenis aliran yang terjadi sepanjang saluran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perhitungan dan pengujian pada model fisik bangunan pelimpah dengan skala 1:50 serta dilakukan simulasi dengan model numerik diperoleh hasil panjang loncatan semakin besar debit maka semakin besar panjang loncatan yang terjadi. Pada periode Q10th adalah 37.66 cm dan pada periode QPMF adalah 73.84 cm dan pada pengujian model diperoleh Efektivitas peredam energi yang menunjukkan pengurangan rata-rata kecepatan dari saluran Peluncur ke peredam energi tiap Periode yaitu Q10th 38.858%, Q20th 31.569%, Q50th 33.595%, Q100th 33.076%, Q1000th 27.299% dan QPMF 30.801%

Kata Kunci: Bendungan, Peredam Energi, Hidrolik, Flip Bucket

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Tinjauan Umum.....	7
2.3 Pemilihan Skala Model.....	20
2.4 Skala Model dan Konstruksi Model.....	21
2.5 Skala Model Tanpa Distorsi (<i>Undistorted</i>)	22
2.6 Kerangka Fikir Penelitian	23
BAB III METODE PENELITIAN	31
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	31
3.2 Jenis Penelitian dan Sumber Data	32
3.3 Pembuatan Skala Model	34
3.4 Peralatan dan Fasilitas.....	36
3.5 Kalibrasi dan Pengujian Model Desain	38
3.6 Metode Pengambilan Data	39
3.7 Bagan Alur Penelitian	40

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Debit Outflow pada Prototype	41
4.2 Pengamatan Tinggi Muka Air	44
4.3 Perhitungan Debit Aliran	48
4.4 Analisa Loncatan Hidrolik.....	53
4.5 Validasi Hasil Pengamatan dan Uji Numerik.....	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Pola Aliran.....	13
Gambar 2. Peredam Energi Tipe Flip Bucket.....	14
Gambar 3. Peredam Energi Tipe Flip Bucket.....	15
Gambar 4. Skema Peredam Energi Tipe Flip Bucket.....	15
Gambar 5. Lokasi Penelitian.....	32
Gambar 6. Tata Letak Bendungan Karalloe	33
Gambar 7. Typical Model Peredam Energi Bendungan Karalloe	37
Gambar 8. Peredam Energi.....	37
Gambar 9. Model Peredam Energi.....	38
Gambar 10. Sketsa Titik Pengambilan	43
Gambar 11. Sketsa Titik Pengambilan	44
Gambar 12. Lokasi Pengambilan Titik pada Saluran Peredam Energi	44
Gambar 13. Grafik Hubungan Tinggi Muka Air dan Debit Sebelum Loncatan	51
Gambar 14. Grafik Hubungan Kecepatan dan Debit Sebelum Loncatan .	51
Gambar 15. Grafik Hubungan Tinggi Muka Air dan Debit Setelah Loncatan	52
Gambar 16. Grafik Hubungan Kecepatan dan Debit Aliran Setelah Loncatan	52
Gambar 17. Grafik Hubungan Debit dan Panjang Loncatan	54

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Pelaksanaan Penelitian	31
Tabel 2. Data Utama Spillway Bendungan Karalloe	33
Tabel 4. Tinggi Muka Air Berdasarkan Perhitungan	41
Tabel 5. Parameter Skala Kalibrasi	42
Tabel 6. Perhitungan Skala Kalibrasi Pada Model	43
Tabel 7. Pengukuran Tinggi Muka Air Q10th.....	45
Tabel 8. Pengukuran Tinggi Muka Air Q20th.....	45
Tabel 9. Pengukuran Tinggi Muka Air 50th	46
Tabel 10. Pengukuran Tinggi Muka Air 100th	46
Tabel 11. Pengukuran Tinggi Muka Air 1000th	47
Tabel 12. Pengukuran Tinggi Muka Air QPMF	47
Tabel 13. Perhitungan Debit Aliran Q10th	48
Tabel 14. Perhitungan Debit Aliran Q20th	48
Tabel 15. Perhitungan Debit Aliran Q50th	49
Tabel 16. Perhitungan Debit Aliran Q100th	49
Tabel 17. Perhitungan Debit Aliran Q1000th	50
Tabel 18. Perhitungan Debit Aliran QPMF.....	50
Tabel 19. Rekapitulasi Analisa Loncatan Hidrolik.....	53
Tabel 20. Kondisi Muka Air Sebelum Loncatan	55
Tabel 21. Kondisi Muka Air Setelah Loncatan	56
Tabel 22. Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Energi	57
Tabel 23. Rekapitulasi Perbandingan Antara Model Test Dengan ANSYS pada debit Q20th, Q100th dan Q1000.....	58
Tabel 24. Hasil Pengamatan dan Uji Numerik.....	58

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan pertumbuhan jumlah penduduk yang pesat di Indonesia, sumber daya air menjadi salah satu kekayaan yang sangat penting. Air merupakan hal utama bagi kehidupan manusia, baik itu untuk dikonsumsi secara langsung, sanitasi maupun untuk memenuhi kebutuhan hidup, termasuk juga untuk pertumbuhan tanaman, peternakan maupun tenaga listrik. Kebutuhan air yang sangat besar, sedangkan volume air yang relatif tetap, membuat manusia harus berupaya untuk memanfaatkan sumber daya air seefisien mungkin (Aghaei et al. 2021).

Salah satu konstruksi bangunan air yang digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya air adalah bendungan. Dimana bendungan merupakan bangunan untuk meninggikan muka air yang ada di sungai, sampai ketinggian yang diperlukan agar air yang nantinya mengalir akan ke saluran irigasi dan petak sawah. Aspek Hidrolik pada bendungan merupakan salah satu faktor yang penting dalam perencanaan

Daerah Irigasi Kelara Karalloe memiliki jaringan irigasi yang disuplai oleh Bendung Kelara dan Bendung Karalloe. Namun kenyataannya pada musim kemarau Daerah Irigasi Kelara Karalloe seluas ± 7.004 Ha tidak dapat terairi seluruhnya karena keterbatasan ketersediaan air. Dalam rangka memenuhi kebutuhan pasokan air pada daerah tersebut, Direktorat

Jenderal Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat di Daerah Aliran Sungai (DAS) Kelara Karalloe membangun Bendungan Karalloe yang direncanakan akan memiliki kapasitas sebesar 39,3 m³/detik untuk dapat mengairi lahan seluas ±7.004 Ha, mengurangi debit banjir sebesar 610 m³/detik, menyediakan pasokan air baku sebesar 0,40 m³/detik, dan menghasilkan listrik sebesar 5,00 MW.

Loncatan air merupakan fenomena gerakan air yang terjadi akibat adanya aliran super kritis pada saluran sub kritis, sehingga dengan permasalahan ini akan terjadi penyusuaian aliran, dalam proses ini akan terbentuk kondisi aliran berubah cepat. Loncatan air bisa difungsikan sebagai peredam energi dan untuk menaikkan kembali permukaan air serta untuk memperbesar tekanan, sehingga dapat mengurangi gaya uplift dan pengendalian yang diakibatkan turbulensi dari efek loncatan air tersebut.

Air yang akan melimpas nantinya pada saluran pelimpah samping Bendungan Karalloe tersebut mempunyai volume yang beragam, tergantung dengan curah hujan yang turun tiap waktu. Kemudian yang akan terjadi adalah aliran pada saluran pelimpah samping dipengaruhi oleh model Mercu yang digunakan pada saluran tersebut. Adapun kesesuaian Bak Lontar atau Flip Bucket dapat digunakan bila pancaran jet dapat ditoleransi dan gerusan tidak menjadi masalah. Dengan demikian pada penelitian ini digunakan peredam energi tipe Flip Bucket agar sisa energi air yang berada di hilir kolam olak tidak lagi membahayakan, dan perencanaan kolam olak mengikuti standar yang ada. Model untuk

penelitian dilakukan di Laboratorium Alam (Outdoor) Hidraulika Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana panjang loncatan yang terjadi?
2. Bagaimana Efektivitas peredam energi dengan variasi debit banjir menggunakan tipe peredam energi Flip Bucket?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis panjang loncatan yang terjadi.
2. Mendapatkan efektivitas peredam energy dengan variasi debit banjir yang telah ditentukan menggunakan tipe Flip Bucket.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Mengetahui efektivitas peredam energy dengan variasi debit yang telah ditentukan menggunakan tipe Flip Bucket.
2. Mengetahui panjang loncatan yang terjadi.
3. Menambah pemahaman dan wawasan bagi peneliti.

1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian dilakukan dengan membuat model tes fisik tiga dimensi dengan skala yang ditetapkan.
2. Data yang digunakan adalah data desain Bendungan Karalloe.
3. Pembahasan difokuskan pada model peredam energi tipe Flip Bucket.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menyajikan informasi tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah, termasuk sistematika penulisan laporan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memberikan informasi mengenai uraian dan pengertian, teori-teori dari berbagai literatur juga serta penggunaan rumus-rumus atau pedoman lainnya yang dibutuhkan untuk mendukung hasil penelitian yang akan dilakukan oleh penulis.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menyajikan prosedur atau langkah-langkah, serta pendekatan dan metode yang akan dilakukan oleh penulis untuk menyelesaikan penelitian ini.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan tentang data-data yang diperoleh, Analisa data, hasil Analisa data dan pembahasan .

BAB V PENUTUP

Bab ini menguraikan tentang kesimpulan dan saran. Kesimpulan penelitian merangkum hasil penelitian yang telah diuraikan di bab V. Saran dibuat berdasarkan hasil penelitian dan pengalaman peneliti dan ditujukan pada peneliti lain yang melanjutkan atau mengembangkan penelitian ini lebih lanjut

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yang mungkin memiliki keterkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti. Penelitian terdahulu juga menjadi salah satu bahan pertimbangan sehingga dapat memberi referensi dalam menulis ataupun mengkaji penelitian yang akan dilakukan. Berikut adalah penelitian yang menjadi acuan dan referensi peneliti dalam melakukan penelitian :

1. Yasamin Aghaei (2021) yang berjudul "*Dynamic Pressure at Flip Buckets of Chute Spillways: A Numerical Study*". Menyimpulkan salah satu parameter terpenting dalam mendesain bak lontar adalah tekanan pada permukaannya. Untuk menjalankan simulasi tekanan pada permukaan bak lontar model FLOW-3D, dimana hasil numerik model akan dibandingkan dengan data dari model hidraulik pelimpah Bendungan Shafaroud. Dengan menggunakan hasil dari pemodelan numerik yang telah dijalankan bersamaan dengan analisa regresi, sehingga koefisien hubungan tekanan tanpa dimensi yang tidak diketahui sebelumnya dapat ditentukan yang nantinya akan menghasilkan persamaan akhir untuk tekanan dasar dan tekanan maksimum. Persamaan akhir ini berdasarkan dari: pengaruh terhadap kelengkungan relative; aliran *Froude Number* yang masuk ke dalam bak lontar; pengaruh sudut landasan; dan pengaruh sudut kemiringan

saluran peluncur sebelum bak lontar. Persamaan tanpa dimensi disajikan untuk menghitung tekanan maksimum sekaligus mempertimbangkan segala pengaruh dari nilai parameter, serta memiliki akurasi yang sesuai.

2. Sumit Gandhi (2014) "*Characteristics of Hydraulic Jump*" Penelitian ini menyimpulkan bahwa perhitungan karakteristik loncatan menggunakan *Martin's Formula* hasilnya bervariasi terhadap *Hagers Line* yang digunakan untuk mengukur panjang relatif loncatan dan panjang relatif roller. Terdapat sedikit variasi yang terlihat pada data eksperimental dari garis yang digambarkan pada *Rangga Raju's analytical equation* untuk mengukur *sequent depth* (hasil dari hubungan kedalaman antara hulu dan hilir pada loncatan hidraulik, dimana hulu merupakan aliran superkritis dan hilir merupakan aliran subkritis). Persamaan empiris yang diusulkan oleh Herbrand juga dapat memprediksi *sequent depth* y_2 . Sehingga dapat disimpulkan bahwa persamaan tersebut dapat digunakan di lapangan.
3. M. Omidvarinia dan S.H. Musavi Jahromi (2013) yang berjudul "*Effect of Wedge Shape Deflector on Dissipating Energy in Triangular Flip Buckets*". Penelitian ini menyimpulkan bahwa pelimpah dengan peredam energi tipe bak lontar yang menggunakan deflector dengan sudut $\theta=25^\circ$ dan $L=12$ cm pada salurannya dapat meredam energi hingga 70,3%. Redaman energi dapat meningkat dengan cara menaikkan *Froude Number* pada bak. Untuk peredaman energi pada hilir bak lontar memiliki ketentuan minimum 70% dan maksimum

100%. Apabila kedalaman air pada hilir bak lontar meningkat, akan menyebabkan pengurangan energi yang teredam. Oleh karena itu, deflector sangat penting untuk mereduksi aliran sehingga energi yang teredam lebih banyak.

2.2 Tinjauan Umum

2.2.1 Bendungan

Bendungan digunakan untuk menampung aliran, bila terjadi over flow diharapkan tidak terjadi banjir besar yang diakibatkan terlalu tingginya elevasi permukaan air yang mengalir pada saluran tersebut, atau dengan kata lain fungsi daripada bendungan tersebut sebagai pengendalibanjir. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia 03-2401-1991 tentang pedoman perencanaan hidrologi dan hidraulik untuk bangunan di sungai adalah bangunan ini dapat didesain dan dibangun sebagai bangunan tetap, bangunan gerak, atau kombinasinya, dan harus dapat berfungsi untuk mengendalikan aliran dan angkutan muatan di sungai sedemikian sehingga dengan menaikkan muka airnya, air dapat dimanfaatkan secara efisien sesuai dengan kebutuhannya..

Bendungan Karalloe merupakan bendungan dengan tipe urugan batu dengan membran beton (*Concrete Face Rockfill Dam*) yang memiliki jenis pelimpah samping tanpa pintu dengan model Mercur yang digunakan adalah tipe Mercur Ogee. Saluran pelimpah dibuat tanpa pintu agar saat air yang ditampung pada waduk mengalami volume yang berlebih, air dapat

melimpas secara langsung. Manfaat bendungan karalloe antara lain yaitu penyediaan air baku 440lt/detik, konservasi sumber daya air, pengendalian banjir, pembangkit listrik 4,5 megawatt dan pengembangan pariwisata.

2.2.2 Aliran Saluran Terbuka

Saluran terbuka adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada semua titik di sepanjang saluran, tekanan di permukaan air adalah sama, yang biasanya adalah tekanan atmosfer. Pengaliran melalui suatu pipa (saluran tertutup) yang tidak penuh (masih ada muka air bebas) masih termaksud aliran melalui saluran terbuka harus mempunyai muka air bebas, maka aliran ini biasanya berhubungan dengan zat cair dan umumnya adalah air (Bambang Triatmodjo, 1996).

Penggolongan dalam saluran terbuka berdasarkan aliran air dengan permukaan bebas oleh Ven Te Chow, 1992 membagi saluran menjadi dua yang pertama saluran alam (*natural*) yang dapat disebut sebagai aliran bawah tanah dengan permukaan bebas seperti, anak selokan kecil di pegunungan, selokan kecil, kali, sungai kecil dan sungai besar. Yang kedua yaitu saluran buatan (*artificial*) yang merupakan saluran yang dibuat oleh manusia yang diatur menurut keinginan atau dirancang untuk memenuhi persyaratan tertentu dengan menerapkan teori hidrolika.

Selanjutnya permasalahan teknik yang berhubungan dengan aliran terkadang tidak dapat di selesaikan dengan analisis, maka harus melakukan pengamatan dengan membuat suatu saluran atau alat peraga,

bentuk saluran ini mempunyai bentuk yang sama dengan permasalahan yang diteliti, tetapi ukuran dimensinya lebih kecil dari yang ada di lapangan.

2.2.3 Debit Aliran

Secara mendasar, debit adalah besaran satuan air yang keluar dari daerah-daerah aliran sungai (Triatmodjo, 1996). Sementara debit aliran adalah jumlah air yang mengalir dalam satuan volume per satuan waktu. Satuan debit yang digunakan adalah meter kubik per detik (m^3/det). Debit aliran adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu (asdak, 2002). Dalam praktek, sering variasi kecepatan pada tampang melintang diabaikan, dan kecepatan aliran dianggap seragam di setiap titik pada tampang melintang yang besarnya sama dengan kecepatan rerata V , sehingga debit aliran dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$Q = A \times V \quad (1)$$

Dimana :

Q = debit aliran (m^3/det)

A = luas penampang (m^2)

V = kecepatan aliran (m/det)

2.2.4 Angka Froude (*Froude Number*)

Parameter yang menentukan ketiga aliran (kritis, super kritis dan sub kritis) adalah parameter yang tidak berdimensi yang dikenal dengan Angka

Froude (Fr) yaitu angka perbandingan antara gaya kelembaman dan gaya gravitasi. Kecepatan aliran pada saluran terbuka dipengaruhi oleh gaya gravitasi. Efek dari gaya gravitasi pada aliran ditunjukkan dengan perbandingan rasio gaya antara inersia dan gaya gravitasi. Rasio antara gaya-gaya tersebut dinyatakan dalam bilangan Froude yang didefinisikan sebagai: (Chow V T, 1985) [4].

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h}} \quad (2)$$

Dimana:

Fr = Angka Froude

v = Kecepatan rata-rata aliran (m/detik)

h = Kedalaman aliran (m)

g = Gaya gravitasi (9,81 m/detik²)

Jenis aliran pada suatu saluran terbagi menjadi tiga jenis, yakni aliran subkritis, aliran kritis dan aliran superkritis. Yang ketiganya dapat diketahui dengan cara menghitung besarnya bilangan Froude (Fr), sehingga :

- a. Aliran bersifat kritis apabila $Fr = 1$, dimana kecepatan aliran sama dengan kecepatan rambat gelombang.
- b. Aliran bersifat subkritis apabila $Fr < 1$, dimana kecepatan aliran lebih kecil daripada kecepatan rambat gelombang.
- c. Aliran bersifat superkritis apabila $Fr > 1$, dimana kecepatan aliran lebih besar daripada kecepatan rambat gelombang.

Jika aliran yang terjadi disuatu saluran merupakan aliran subkritis maka perhitungan dimulai dari hilir kearah hulu saluran, sedangkan apabila

aliran yang terjadi adalah aliran superkritis maka sebaliknya perhitungan dimulai dari arah hulu ke arah hilir saluran.

2.2.5 Peredam Energi

Bangunan peredam energi adalah struktur dari bangunan di hilir tubuh bendungan yang terdiri dari beberapa tipe, bentuk dan di kanan kirinya dibatasi oleh tembok pangkal bendungan dilanjutkan dengan tembok sayap hilir dengan bentuk tertentu.

Adapun dua jenis metode dalam meredam energi tersebut, yaitu:

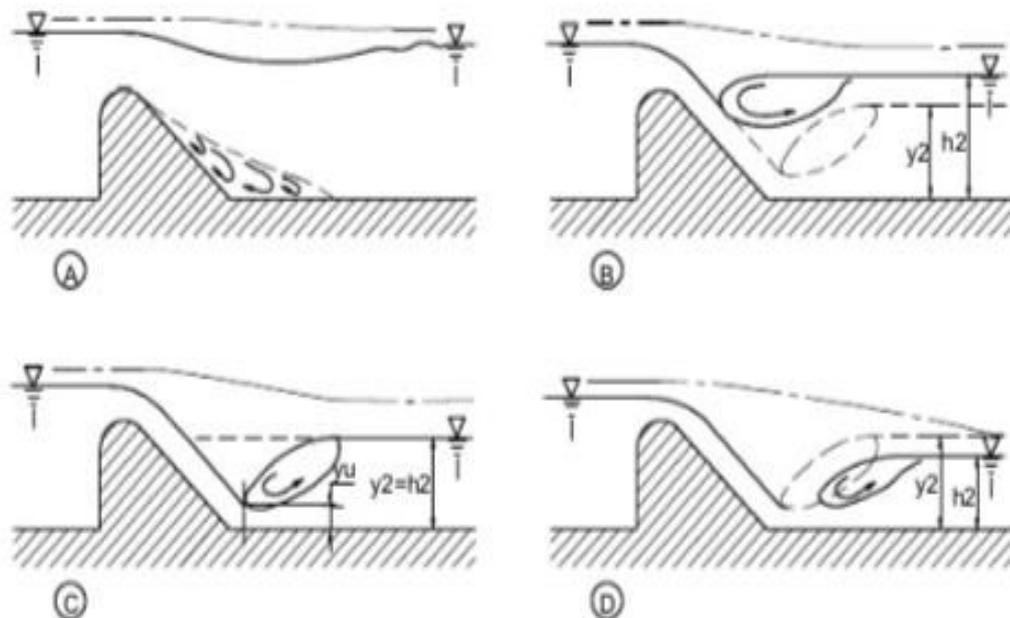
1. Mengurangi kecepatan aliran. Artinya, mulai saat akan mengalami loncatan hingga saat akan terjadi loncatan. Massa air akan dipecah hingga menjadi partikel-partikel, dan membenturkan sesamanya. Demikian dibuat konstruksi pemecah dan ditata saling silang. Agar menjadi inspirasi bangunan pemecah energi jenis olakan datar.
2. Meloncatkan air dan mengarahkannya ke sebuah kolam yang berisi air atau sungai dengan kedalaman yang cukup. Benturan antara air pada kolam tersebut mengondisikan dasar kolam terlindungi sehingga akan relatif aman.

Rumus hidrolika yang digunakan sebagai dasar perencanaan peredam energi adalah berasal dari prinsip hukum kekekalan energi dengan fenomena gaya-gaya yang mengalami perubahan dari super kritis menjadi aliran subkritis. Bangunan peredam energi berfungsi sebagai meredam energi akibat pembendungan, agar air di hilir bendungan tidak

menimbulkan penggerusan setempat yang membahayakan struktur. Fenomena aliran yang terjadi pada saluran peluncur dengan kecepatan aliran yang sangat tinggi, dengan kondisi pengaliran super kritis. Oleh karena itu sebelum aliran air dialirkan ke sungai harus diperlambat dan diubah pada kondisi aliran sub kritis, agar supaya tidak terjadi gerusan yang membahayakan, geometri sungai pada bagian dasar dan tebing sungai. Rumus hidrolika yang digunakan sebagai dasar perencanaan peredam energi adalah berasal dari prinsip hukum kekekalan energi dengan fenomena gaya-gaya yang mengalami perubahan dari super kritis menjadi aliran subkritis. Fungsi Bangunan adalah untuk meredam energi air akibat pembendungan, agar air di hilir bendungan tidak menimbulkan penggerusan setempat yang membahayakan struktur.

Aliran di atas bendungan di sungai dapat menunjukkan berbagai perilaku di sebelah bendungan akibat kedalaman air yang ada. Gambar 2 menyajikan kemungkinan-kemungkinan yang terjadi dari pola aliran di atas bendungan.

Kasus A menunjukkan aliran tenggelam yang menimbulkan sedikit saja gangguan di permukaan berupa timbulnya gelombang. Kasus B menunjukkan loncatan tenggelam yang lebih diakibatkan oleh kedalaman air hilir yang lebih besar, daripada oleh kedalaman konjugasi. Kasus C adalah keadaan loncat air di mana kedalaman air hilir sama dengan kedalaman konjugasi loncat air tersebut. Kasus D terjadi apabila kedalaman air hilir kurang dari kedalaman konjugasi; dalam hal ini loncatan akan bergerak ke hilir.



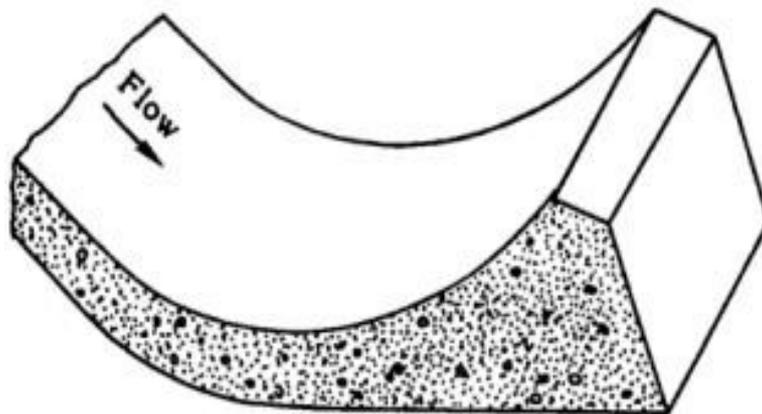
Gambar 1. Pola Aliran

Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP022010

Berdasarkan Standar Perencanaan irigasi KP-02 2010, Jika kedalaman konjungsi hilir dari loncatan air terlalu tinggi dibanding kedalaman air normal hilir atau kalau diperkirakan akan terjadi kerusakan pada lantai kolam yang panjang akibat batu-batu besar yang terangkut lewat atas bendungan, maka dapat dipakai peredam energi yang relative pendek tetapi dalam.

- a. Peredam energi tipe bak Tenggelam (*flip bucket*)

Kolam olak seperti penjabaran sebelumnya, berfungsi untuk meredam energi yang terjadi akibat aliran air yang melewati mercu suatu bangunan pelimpah yang akan kembali ke sungai. Sketsa bentuk aliran hidrolis dari saluran pengarah sampai ke kolam olak akan kehilangan energi berangsur-angsur pada saluran peluncur. Adapun salah-satu tipe bak digunakan pada kondisi muka air cukup dalam yang dapat mencegah peredaman energi dengan loncatan air pada lantai kolam olak adalah bak tenggelam, atau biasa disebut dengan flip bucket.

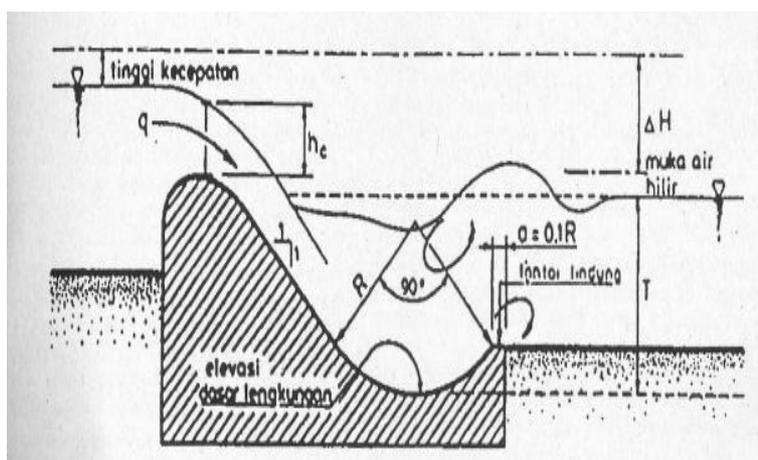


Gambar 2. Peredam Energi Tipe Flip Bucket

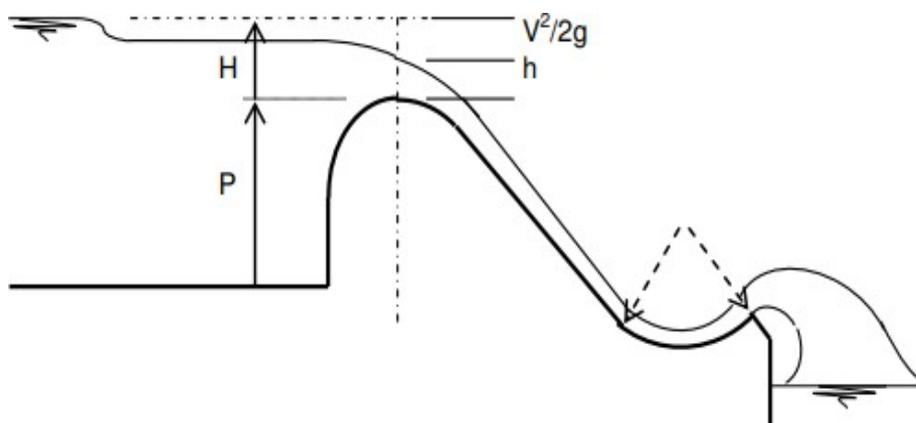
Peredam Energi tipe Flip Bucket diterapkan pada kondisi sungai membawa material batu-batu yang relative besar dan diperkirakan dapat mengakibatkan kerusakan lantai peredam energi lantai dasar .

Sejalan dengan itu keberadaan utama bangunan pelimpah (spillway) yakni membuang kelebihan air di waduk, sehingga air tidak melimpasi puncak bendungan yang overtopping sehingga dapat membahayakan bendungan. Lebih lanjut, karena kecepatan datang dan kecepatan saluran relatif lambat, maka terjadilah campuran aliran, yang menghasilkan aliran yang cukup halus pada saluran samping. Apabila kondisi aliran saluran

samping ini berada dalam kondisi superkritis, maka kecepatan saluran samping pun akan tinggi, kemudian percampuran aliran ke arah melintang berenergi tinggi pada aliran saluran yang akan menjadi turbulen dan kasar. Aliran ke arah melintang ini cenderung untuk menyapu aliran ke sisi saluran yang lebih jauh dan akan menghasilkan gelombang ekstrim disertai getaran akan tinggi, kemudian percampuran aliran ke arah melintang berenergi tinggi pada aliran saluran yang akan menjadi turbulen dan kasar. Aliran ke arah melintang ini cenderung untuk menyapu aliran ke sisi saluran yang lebih jauh dan akan menghasilkan gelombang ekstrim disertai getaran.



Gambar 3. Peredam Energi Tipe Flip Bucket



Gambar 4. Skema Peredam Energi Tipe Flip Bucket

Dengan demikian aliran yang terjadi harus di jaga tetap pada kondisi subkritis untuk memperoleh kinerja hidraulik yang baik. Hal ini dapat di capai dengan menetapkan bagian kendali di hilir saluran samping. Sebagaimana yang kita ketahui bersama bahwa elevasi dasar saluran biasanya sama dengan elevasi dasar *bucket*. Kemudian gaya-gaya hidraulis yang bekerja pada pelimpah tipe bak dan lengkung bak penting dalam desain struktural. Tekanan-tekanan hidraulis berubah secara menerus melalui bak dan dipengaruhi oleh radius bak, tinggi tekanan total, dan debit aliran. Sehingga dalam hal ini bak tenggelam atau Flip Bucket digunakan bila pancaran jet dapat ditoleransi dan gerusan tidak menjadi masalah.

2.2.6 Energi Spesifik

Energi Spesifik merupakan energi relatif terhadap dasar saluran. Energi spesifik juga merupakan tinggi tenaga pada sembarang tampang diukur dari dasar saluran . Besarnya energi spesifik adalah sebagai berikut (Ven Te Chow, 1959 dalam Robert, J.K., 2002) .

Dasar saluran diasumsikan mempunyai kemiringan landai atau tanpa kemiringan. Z adalah ketinggian dasar diatas garis sreferensi yang dipilih, h adalah kedalaman aliran, dan faktor koreksi energi (α) dimisalkan sama dengan satu. Energi spesifik aliran pada setiap penampang tertentu dihitung sebagai total energi pada penampang itu dengan menggunakan dasar saluran sebagai referensi (Rangga Raju, 1981). Persamaan energi secara umum adalah:

$$E_s = d \cos \theta + \alpha \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

Untuk aliran dengan kemiringan $d \cos \theta = y$ dan $\alpha = 1$ (kecepatan dianggap sama dengan kecepatan rata-rata), sehingga Pers. 3 berubah menjadi:

$$E_s = y + \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

Dimana:

E = Energi Spesifik

d = Kedalaman Penampang Aliran (m)

y = Kedalaman Aliran (m)

α = Koefisien Energi

θ = Sudut Kemiringan Dasar Saluran ($^\circ$)

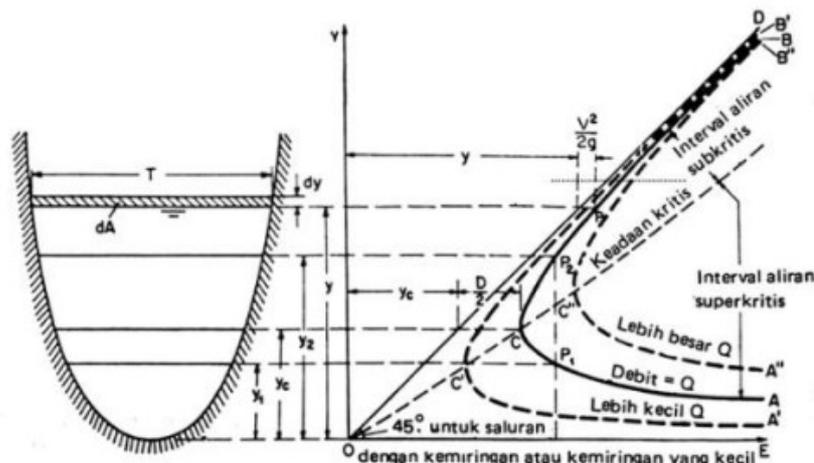
Kemudian karena $V = \frac{Q}{A}$ maka Pers. 4 dapat diubah menjadi:

$$E_s = y + \frac{Q^2}{2g A^3} \quad (5)$$

Untuk suatu harga Q tetap, dan untuk luas penampang A yang juga merupakan fungsi dari y , maka energi spesifik E hanya merupakan fungsi dari y saja, atau apabila dinyatakan dalam suatu persamaan adalah sebagai berikut:

$$E_s = f(y) \quad (6)$$

Dengan demikian untuk suatu penampang saluran tertentu dan suatu debit yang diketahui dapat digambar suatu lengkung hubungan antara energi spesifik E dan kedalaman aliran y seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva Energi Spesifik

Gambar 5 menjelaskan bahwa pada suatu energi spesifik (E_s) yang sama, dapat ditinjau 2 kemungkinan kedalaman, yaitu kedalaman y_1 yang disebut kedalaman lanjutan/ pengganti (*alternate depth*) dari kedalaman y_2 , begitu juga sebaliknya. Energi spesifik akan mencapai minimum pada titik C. Pada Titik tersebut kedua kedalaman seolah-olah menyatu dan dikenal sebagai kedalaman kritis (*critical depth*) y_c . Apabila kedalaman aliran melebihi kedalaman kritis, kecepatan aliran lebih kecil dari pada kecepatan kritis untuk suatu debit tertentu, dan aliran disebut sub-kritis. Akan tetapi bila kedalaman aliran kurang dari kedalaman kritis, aliran disebut super-kritis. Sehingga dapat dinyatakan bahwa y_1 merupakan kedalaman aliran superkritis dan y_2 adalah kedalaman aliran sub-kritis.

2.2.7 Sifat Dasar Loncatan Hidrolik

1. Kehilangan energi pada loncatan adalah sama dengan perbedaan energi spesifik sebelum dan sesudah terjadinya loncatan.

$$\Delta E_s = E_{S1} - E_{S2} = \left(\frac{y_2 - y_1}{4y_1 y_2}\right)^3 \quad (4)$$

2. Efisiensi loncatan hidrolis adalah perbandingan energi spesifik setelah loncatan air dengan sebelum loncatan hidrolis air.
3. Perbedaan kedalaman sebelum dan sesudah loncatan dinamakan tinggi loncatan dengan menyatakan setiap besaran sebagai rasio terhadap energi spesifik semuka.

2.2.7 Panjang Loncatan Hidraulik

Panjang loncatan hidrolis dapat didefinisikan sebagai jarak antara permukaan depan loncatan air sampai menuju pada suatu titik permukaan gelombang ombak dibagian hilir. Panjang loncatan hidrolis air secara teoritis sukar ditentukan, tetapi telah diselidiki beberapa kali percobaan oleh beberapa ahli hidrolis (Rangga Raju, KG, 1986).

Untuk mendapatkan panjang loncat air L, tidak ada rumus teoritis yang dapat digunakan untuk menghitungnya. Panjang loncat air dapat ditentukan dengan percobaan laboratorium.

Panjang loncatan menurut Smetana (1933) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$L = C (h_2 - h_1) \quad (5)$$

L = Panjang loncat air (m)

C = Nilai konstanta C = 6

h₁ = Kedalaman air sebelum loncatan terjadi

h₂ = Kedalaman air setelah terjadinya loncatan hidrolis

2.3 Pemilihan Skala Model

Pemodelan pada saluran terbuka akan dapat memprediksi suatu bangunan yang dibuat. Beberapa kekurangan yang tidak atau belum diperkirakan akan terjadi dapat segera diketahui sehingga kekurangan tersebut dapat segera dihindari pada prototip yang akan dibuat. Selain itu, dengan model ini dapat dipelajari beberapa alternatif perencanaan sehingga akan dapat dipilih bangunan yang paling optimum. (Triatmodjo, 1996).

Model fisik hidraulik atau sering disebut sebagai model skala adalah peniruan bangunan prototipe ke dalam suatu model miniatur skala tertentu, dengan memperhatikan prinsip kesebangunan dan hubungan antar skala parameter yang harus dipenuhi. Pemilihan skala geometris model yang cocok tergantung pada tipe system fluida yang akan distudi, dan tergantung pada ruang yang tersedia untuk membuat model, namun demikian persyaratan kesetaraan dinamis dapat dipakai juga untuk menentukan skala model. Sebagai contoh skala debit, memungkinkan untuk menentukan kisaran aliran dalam model yang harus dipakai untuk mensimulasi kisaran debit yang ada pada prototipe. Apabila hubungan antar skala dan kesebangunan telah dipenuhi, maka tingkat ketelitian perlu diperhatikan sehubungan dengan besarnya nilai skala yang digunakan. Pemilihan skala model umumnya didasarkan pada beberapa pertimbangan sebagai berikut:

1. Tujuan dari pengujian.
2. Ketelitian yang diharapkan.

3. Fasilitas yang tersedia di laboratorium.
4. Waktu dan biaya yang tersedia

2.4 Skala Model dan Konstruksi Model

Hubungan skala (scale relation) yang digunakan untuk pembuatan/perencanaan model fisik dibedakan menjadi dua kelompok (de Vries, 1977:28) :

1. *Scale Law*

Hubungan antar skala parameter yang harus dipenuhi (dalam hal ini adalah *Roughnes condition dan Froude condition*).

2. *Scale Condition*

Hubungan antar skala parameter yang harus dipenuhi untuk menghindari scale effects (dalam hal ini adalah kriteria kesebangunan).

Ada dua jenis yang dapat digunakan dalam pemakaian skala model fisik hidraulika, yaitu skala model sama (undistorted model) dan skala model yang tidak sama (distorted model). Skala model sama adalah skala yang dipakai dalam pembuatan model dimana perbandingan skala mendatar dan skala tegak adalah sama. Sedangkan skala model yang tidak sama adalah perbandingan antara skala mendatar dan skala tegak yang tidak sama. Hubungan antara model dan prototipe dipengaruhi oleh hukum-hukum sifat sebangun hidraulika. Perbandingan antara prototipe dan model disebut dengan skala model. Dalam merencanakan suatu model terdapat sifat-sifat kesebangunan model, yang amat menentukan ketelitian model tersebut.

1. Sebangun geometris, disebut juga dengan sebangun bentuk. Yaitu perbandingan antara ukuran analog prototipe dengan model harus sama besarnya. Perbandingan yang digunakan adalah Panjang, Luas dan Volume. Semua ukuran pada titik sembarang di model dan prototipe harus mempunyai skala yang sama. Sebangun geometris sempurna tidak selalu mudah dicapai, sehingga kekasaran permukaan dari model yang kecil tidak mungkin merupakan hasil dari skala model, tetapi hanya dibuat permukaan yang lebih licin daripada prototipe.
2. Sebangun kinematis, yaitu sebangun gerakan. Perbandingan yang digunakan adalah Waktu, Kecepatan dan Debit.
3. Sebangun dinamis, yaitu kesebangunan gaya-gaya yang terjadi bila gerakannya sebangun kinematis, dan rasio dari massa yang bergerak serta gaya penyebabnya sudah homolog besarnya.

2.5 Skala Model Tanpa Distorsi (*Undistorted*)

Jika gaya gravitasi dominan dalam suatu sistem, maka skala model yang dipakai berdasarkan bilangan Froude. Bilangan Froude harus sama antara model dan prototipe. Dengan menganggap bahwa percepatan gravitasi adalah konstan di seluruh muka bumi, maka $L_r = L_m/L_p$ dinamakan skala geometri.

2.6 Kerangka Fikir Penelitian

