

TESIS

**PENGARUH KEKASARAN DINDING LERENG REVETMENT
TERHADAP RUN-UP DAN RUN-DOWN GELOMBANG**

**THE INFLUENCE OF ROUGHNESS SLOPE WALL REVETMENT
ON WAVE RUN UP AND RUN DOWN**

**WAHYU TRI NUGROHO
P2304216003**



**PROGRAM STUDI S2 TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2020**

**PENGARUH KEKASARAN DINDING LERENG REVETMENT
TERHADAP RUN-UP DAN RUN-DOWN GELOMBANG**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Mencapai Gelar Magister

Program Studi

S2 Teknik Sipil

Disusun dan Diajukan Oleh

WAHYU TRI NUGROHO

Kepada

PROGRAM STUDI S2 TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2020

TESIS

**PENGARUH KEKASARAN DINDING LERENG REVETMENT
TERHADAP RUN-UP DAN RUN-DOWN GELOMBANG**

Disusun dan diajukan oleh :

WAHYU TRI NUGROHO

Nomor Pokok P2304216003

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

pada tanggal 11 November 2020


dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasehat,


Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.T

Ketua


Dr. Eng. Ir. Farouk Maricar, M.T.

Sekretaris

Ketua Program Studi
S2 Teknik Sipil

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin


Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.


Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.T.

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS/DISERTASI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Wahyu Tri Nugroho, ST

Nomor Mahasiswa : P2304216003

Program Studi : S2 Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tesis/disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis/disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 11 November 2020

Yang menyatakan



Wahyu Tri Nugroho

PRAKATA

Assalamu Alaikum Waramatullahi Wabarakatu, segala Puji bagi Allah SWT, karena dengan Rahmat dan kehendak-Nya Penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan Tesis dengan judul “ Pengaruh Kekasaran Dinding lereng Revetment terhadap Run-Up dan Run-down Gelombang “. Berbagai kendala dan tantangan yang menyertai selama penyusunan tesis ini, namun dengan bantuapn berbagai Pihak sehingga dapat selesai.

Penulis menyadari bahwa penulisan tesis ini tidak akan selesai tanpa adanya bantuan dan dukungan dari berbagai Pihak. Dalam Kesempatan ini Penulis dengan tulus menyampaikan terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT sebagai ketua Komisi Penasehat dan Dr.Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT sebagai anggota komisi yang telah meluangkan waktunya dalam memotivasi dan membimbing Penulis mulai persiapan penulisan, penelitian sampai dengan penyelesaian tesis ini.
2. Dr.Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, MT, Dr.Eng. Mukhsan Putra Hatta, ST, MT, Dr.Eng. Bambang Bakri, ST, MT selaku tim penguji yang telah memberikan masukan dalam perbaikan penulisan tesis ini.
3. Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT. Selaku Ketua program Studi S2 Teknik Sipil yang telah membantu penulisan selama Pendidikan.
4. Para Dosen dan Staf yang telah membantu penulisan selama mengikuti Pendidikan pada Program Studi S2 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar.
5. Orang tua tercinta serta keluarga besar Jogjakarta yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada Penulis.
6. Soulmate Laksmi tercinta yang selalu mendoakan, memberi semangat dan dukungan.
7. Previa Ailsa Nathanneila dan Kenzo Oswald selalu semangat Nak

8. Teman-teman seperjuangan S2 Teknik Sipil Kelas Manokwari (Wendy, Roman, Pak Dominggus, Ibu Delina, Ika) dan S2 Teknik Sipil angkatan 2016 pada umumnya
9. Kabalai BPPW Papua Barat Bapak H. Marsudi, ST, SE, MM beserta jajarannya yang telah memberikan bantuan dan dukungannya selama pelaksanaan pembelajaran.
10. Construction Squad PS dan PBL BPPW Papua Barat (Marchel, Isrofi, Dany, Pak Sukadi, Agus, Fadly, Yadi, Sugeng, Ona, Nur, Dirga, Riston, gunawan) kompak selalu Squad.
11. Bapak Silauddin Hasta Perkasa Beserta Tim.
12. Dan teman-teman lain yang telah membantu selesainya Penulisan Tesis ini yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Akhir kata Penulis mengharapkan Tesis ini dapat berguna bagi pengembangan ilmu pengetahuan Khususnya di bidang Pengamanan Pantai.

Manokwari, November 2020

Wahyu Tri Nugroho

ABSTRAK

Wahyu Tri Nugroho. Pengaruh kekasaran dinding lereng revetment terhadap Run-up dan Run-down gelombang (dibimbing oleh M. Arsyad Thaha dan Farouk Maricar).

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan parameter yang berpengaruh terhadap pengurangan Tinggi Run-up dan run-down pada revetment dan mendapatkan hubungan bilangan tak berdimensi antara gelombang datang dan run-up dan rundown pada revetment.

Penelitian ini bersifat eksperimental dengan uji fisik yang dilakukan di saluran gelombang pada laboratorium Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar dengan membuat beberapa kekasaran buatan yang terbuat dari kayu dengan ukuran volume balok yang berbeda. Skala model yang digunakan adalah 1: 20 dengan 9 Variasi kekasaran dan variasi panjang gelombang serta tinggi gelombang pada kedalaman air 20 Cm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter yang berpengaruh adalah periode gelombang (T), Tinggi gelombang datang (h), kedalaman air (d) Volume Kekasaran (D), run-up yang terjadi cenderung menurun dengan semakin besar nilai Kekasaran. Secara umum hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa dengan adanya kekasaran buatan pada lereng revetmen dapat mengurangi tinggi Run-up pada revetmen dengan kemiringan 30° sebesar 18,89% dan run-down sebesar 22,33% dan menghasilkan persamaan yang menunjukkan hubungan parameter tak berdimensi antara tinggi gelombang datang dan run-up gelombang pada revetment dalam bentuk persamaan $R_u/H_i = 2,5767 e^{-0.334x}$; dimana $x = I_r D^{1/3}/d$.

Kata kunci : *Run-up, Kekasaran Revetment*



ABSTRACT

Wahyu Tri Nugroho. The Influence of Roughness slope wall revetmen on Wave Run-up and Run-down (supervised by M. Arsyad Thaha dan Farouk Maricar).

This Research is aimed to obtain parameters that affect reduction of Run-up and Run-down on Revetment and to obtain a dimensionless number relationship between the incoming waves and the run-up and the rundown of the revetment.

This research is experimental with physical tests carried out in the wave channel Flume in the Laboratory of the Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar by making some artificial roughness made of wood with different beam volume sizes. The scale of the model used is 1: 20 with 9 variations of roughness and variations in wavelength and wave height at a water depth of 20 cm.

The results showed that the influencing parameters were the wave period (T), wave height (h), water depth (d) roughness volume (D), the run-up that occurred tended to decrease with the greater roughness value. In general, the results obtained indicate that the presence of artificial roughness on the revetment slope can reduce the run-up height of the revetment with a slope of 30° by 18.89% and Produces equation that shows the relationship between Wave Heigh with Run-up on Revetment, Obtained $R_u/H_i = 2,5767 E^{-0.334X}$; where $x = I_r D^{1/3}/d$.

Keywords: *Run-up, Revetment Roughness*



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xviii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	4
D. Batasan Masalah	4
E. Manfaat Penelitian	5
F. Sistematika Penulisan	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. 7	
1. Parameter gelombang	8
2. Perambatan gelombang	7
B. Klasifikasi Gelombang	10
C. Deformasi Gelombang	10
1. Refraksi dan Pendangkalan (<i>Wave Shaoling</i>)	10
2. Refleksi Gelombang	11

	iii
D. Gelombang Pecah	12
E. Run up dan Run down	13
F. Kekasaran Permukaan	15
1. Kehilangan Energi (head losses)	18
a. Pipa Halus	19
b. Pipa kasar	20
G. Hukum Dasar Model	23
1. Sebangun geometrik	24
2. Sebangun Kinematik	24
3. Sebangun dinamik	25
H. Penelitian Sebelumnya	26
I. Metode Analisa Dimensi	29
J. Kerangka Pikir	31
III. METODE PENELITIAN	
A. Tempat dan Waktu Penelitian	32
B. Metode dan Jenis Penelitian	32
C. Sumber Data	33
D. Deskripsi Alat Laboratorium	34
E. Alat dan Bahan	35
F. Variabel yang Diteliti	37
G. Perancangan model	37
H. Simulasi Model	41
I. Prosedur Pengambilan Data	41
J. Diagram proses penelitian laboratorium	45
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil Penelitian	46
1. Panjang Gelombang	46
2. Data Tinggi Gelombang	46

	iv
3. Data Run up dan Run down Gelombang	47
B. Analisis Dimensi	49
C. Pembahasan	52
1. Refleksi Gelombang	52
2. Run Up dan Run Down	54
a. Run up dan Run down Terhadap gelombang datang	54
b. Pengaruh kekasaran Revetmen terhadap Run up/ Run down gelombang	56
c. Perbandingan Nilai Run Up model dengan beberapa Jenis Sisi Miring	57
3. hubungan Antar Parameter	58
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
A. KESIMPULAN	61
B. SARAN	62

DAFTAR TABEL

Nomor		halaman
1	Klasifikasi gelombang (Shore Protection Manual Volume I, 1984)	10
2	Koefisien refleksi gelombang	11
3	Tinggi Kekasaran Pipa	22
4	Tipikal harga koefisien kekasaran maning, n yang sering digunakan	23
5	Tabel kekasaran permukaan model revetment	37
6	Skala model	40
7	Nama dan karakteristik model	40
8	Rancangan Simulasi Model	41
9	Kalibrasi Alat Wave Probe 1	42
10	Kalibrasi Alat Wave Probe 2	43
11	Panjang Gelombang	46
12	Penentuan Nilai α β τ	50

DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
1	Sketsa definisi gelombang linier ((Shore Protection Manual Volume I, 1984)	8
2	Profil permukaan dan gerak orbit partike air pada penjalaran gelombang (Triatmodjo, 2003)	9
3	Grafik penentuan kedalaman pada gelombang	13
4	Definisi run-up dan run-down	14
5	Grafik perbandingan Run up dan Run down untuk berbagai tipe sisi miring	15
6	Menentukan Kekasaran rata-rata	16
7	Menentukan kekasaran rata-rata (Ra)	17
8	Pengaruh kekasaran pada sub lapis	18
9	Hasil percobaan Nikuradse	21
10	Grafik moody	22
11	Grafik hubungan irribaren number dan nilai Ru/H Alfansuri, 2010	27
12	Grafik hubungan irribaren number dan nilai Ru/H Janaka, 2008	27
13	Grafik hubungan irribaren number dan nilai Ru/H Shankar dan Jayaratne, 2002	28
14	Grafik hubungan irribaren number dan nilai Ru/H Ahrens dan Heimbaugh, 1988	29
15	Kerangka Pikir Penelitian	31
16	Saluran Gelombang (<i>Wave Flume</i>)	34
17	Alat pembangkit gelombang (<i>wave generator</i>)	35
18	Tampak samping model revetment kayu	36

19	Skema Flume Pengujian gelombang	36
20	Model Revetmen Kayu	38
21	Wave Probe 1 Kedalaman 20 CM	42
22	Wave Probe 2 Kedalaman 20 CM	43
23	Diagram Proses penelitian	45
24	Pengaruh H/L terhadap Koefisien Refleksi (K_r)	52
25	hubungan run-up (R_u) terhadap refleksi Gelombang (K_r)	53
26	hubungan run-down (R_d) terhadap refleksi Gelombang (K_r)	54
27	Hubungan Gelombang Datang (H_i) terhadap Run Up (R_u)	55
28	Hubungan Gelombang Datang (H_i) terhadap Run Down (R_d)	55
29	Hubungan I_r terhadap R_u/H_i dan R_d/H_i	56
30	Perbandingan run-up (R_u) model terhadap beberapa jenis sisi Miring	57
31	Hubungan $H_i D^{1/3} / L_d$ terhadap K_r	58
32	Hubungan $I_r D^{1/3} / d$ terhadap R_u/H_i	59
33	Hubungan $I_r D^{1/3} / d$ terhadap R_d/H_i	59

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/singkatan	Arti dan keterangan
c	Cepat Rambat Gelombang
d	Kedalaman Air
D	diameter
f	frekuensi gelombang
Fr	Angka <i>Froude</i> , akar perbandingan antara gaya inersia dan gaya gesek
g	Percepatan Gravitasi : 9,81 m/det ²
H	Tinggi Gelombang
H_i	Tinggi Gelombang Datang
H_{max}	Tinggi Gelombang Maksimum
H_{min}	Tinggi Gelombang Minimum
Irr	Bilangan Irribaren
K_r	Koefisien Refleksi Gelombang
K_t	Koefisien Transmisi Gelombang
L	Panjang Gelombang
L_o	Panjang Gelombang di Air Dalam
H_m	Ukuran Panjang di Model
n_a	Skala Percepatan
n_v	Skala kecepatan
NDP	<i>Non Dimensional Parameter</i> (parameter tak berdimensi)
n_L	Skala Panjang

n_t	Skala Waktu
n_v	Skala Kecepatan
Ra	Kekasaran rata-rata
ρ	Rho, Rapat Massa
SWL	Muka air rata
T	Perioda Gelombang
t_m	Waktu di Model
t_p	Waktu di Prototip
v	Kecepatan aliran
v_m	Kecepatan di Model
v_p	Kecepatan di Prototip
θ	sudut kemiringan sisi miring revetmen

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pantai merupakan perbatasan antara daratan dan lautan, yaitu sebuah perairan yang sangat dinamis. Pantai selalu menyesuaikan bentuk profilnya sehingga mampu meredam energi gelombang datang. Penyesuaian bentuk tersebut merupakan tanggapan dinamis alami pantai terhadap laut. Seringkali pertahanan alami pantai ini tidak mampu menahan serangan aktifitas laut (gelombang, Arus, Angin, dan Pasang Surut).

Dalam beberapa Tahun Terakhir, garis pantai di beberapa daerah di Indonesia mengalami erosi yang cukup memprihatinkan. Data menunjukkan lebih dari 40% total panjang pantai di Indonesia mengalami kerusakan (erosi/abrasi). Dari fakta yang ada maka diperlukan penanganan terhadap Permasalahan erosi pantai. Salah satu bentuk penanganan terhadap Permasalahan erosi pantai adalah membuat system perlindungan pantai.

Upaya untuk mengatasi erosi di daerah pantai yang telah dilakukan dapat dibagi menjadi dua pendekatan utama, yaitu dengan hard approach dan soft approach. Penanganan erosi dengan hard approach dapat berupa pembangunan struktur pantai seperti *breakwater*, *groin*, *jety*, *revetment* dan *seawall* (*tembok laut*).

Revetment adalah bangunan yang dibangun sejajar garis pantai, memisahkan antara daratan dan perairan pantai. Fungsi utama dari *revetment* adalah mencegah terjadinya erosi pantai dan limpasan gelombang (*overtopping*) ke daratan. *Revetment* mempunyai sisi miring dan bisa terbuat dari tumpukan batu dan bronjong, sehingga lebih fleksibel dan dapat menyesuaikan diri terhadap gerusan dikaki bangunan (Triatmodjo, 2011).

Permasalahan yang sering ditemukan pada bangunan pelindung pantai termasuk *revetment* adalah terjadinya kerusakan pada bangunan akibat gerusan pada kaki bangunan atau erosi dasar bangunan. Air yang melintas (*overtopping*) dibelakang struktur/bangunan akan terinfiltrasi melalui permukaan tanah dan mengalir kembali kelaut, Apabila perbedaan elevasi muka air dibelakang dan didepan bangunan cukup besar dapat menimbulkan kecepatan aliran cukup besar yang dapat menarik butiran tanah di belakang dan pada fondasi bangunan (*piping*), keadaan ini dapat mengakibatkan rusak/runtuhnya bangunan (CERC, 1984).

Overtopping yang terjadi pada struktur/bangunan pelindung pantai (*revetment*) disebabkan oleh run up dan run down gelombang yang besar pada dinding *revetment*, dampak yang ditimbulkan oleh run up dan run down gelombang dapat dikurangi dengan berbagai cara diantaranya meninggikan mercu bangunan, dinding dibuat dari material kasar atau

berpori serta mengurangi energi gelombang yang sampai kedinding revetment dengan membangun rintangan.

Penelitian ini mengkaji salah satu alternative untuk mengurangi run up dan run down yang terjadi pada dinding revetment yakni dengan menggunakan kekasaran pada dinding revetment, dengan menggunakan kekasaran diharapkan mampu mengurangi run up dan run down yang terjadi pada dinding revetment. Peneliti mencoba mengkaji hubungan antara kekasaran terhadap Run up dan run down gelombang yang terjadi dan menuangkan dalam bentuk penulisan thesis berjudul: “ **Pengaruh kekasaran dinding lereng revetment terhadap Run-up dan Run-down gelombang** “.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan di atas, maka dirumuskan beberapa masalah yaitu :

1. Bagaimana pengaruh Kekasaran dinding lereng revetment terhadap besaran *run-up* dan *run-down* gelombang
2. Bagaimana bentuk hubungan non-dimensional dari eksperimen ini.

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh Kekasaran dinding lereng revetment terhadap besaran *run-up* dan *run-down* gelombang.
2. Untuk mendapatkan hubungan bilangan tak berdimensi antara gelombang datang dan tinggi *run-up* dan *run-down* gelombang pada revetment.

D. Batasan Masalah

Permasalahan *run-up* dan *run-down* gelombang sangat luas, sehingga dipandang perlu membatasi masalah penelitian ini agar dapat lebih terarah sehingga penelitian ini fokus pada hal-hal yaitu:

1. Arah datang gelombang tegak lurus terhadap struktur.
2. Gelombang model yang dibangkitkan adalah gelombang teratur (*regular wave*) belum pecah.
3. Kedalaman air adalah tetap atau konstan.
4. Kekasaran adalah kekasaran buatan dengan menggunakan material kayu.
5. Fluida yang digunakan dalam flume merupakan air tawar, salinitas dan pengaruh mineral air tidak diperhitungkan.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

Dapat dimanfaatkan sebagai bahan referensi dalam perencanaan dinding lereng revetment yang efektif dan efisien pada bangunan pelindung pantai dengan bahan yang mudah didapat sehingga dapat dilaksanakan sendiri oleh masyarakat dalam mengatasi struktur revetment dari kerusakan.

Dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan permasalahan tersebut.

F. Sistematika Penulisan

Agar lebih terarah tulisan ini, sistematika penulisan thesis yang akan dilakukan sesuai tahapan-tahapan yang dipersyaratkan sehingga produk yang dihasilkan lebih sistematis sehingga susunan disertasi ini dapat diurutkan yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Dalam Bab ini, memberikan gambaran tentang pentingnya masalah ini diangkat sebagai sebuah disertasi. Pokok-Pokok bahasan dalam Bab ini adalah latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, maksud dan tujuan dari penelitian ini, manfaat dari penelitian ini, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini, memberikan gambaran tentang landasan teori dan studi literatur atau kajian pustaka dimana penelitian dimulai dengan melakukan studi awal berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya dan ditunjang dengan literatur-literatur yang mendukung, seperti jurnal, proceeding, buku, dan lain-lain, serta persiapan percobaan dan perancangan model.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini, dijelaskan metode yang digunakan dalam penelitian ini, rancangan penelitian, lokasi dan rencana jangka waktu penelitian, pemodelan fisik, pengukuran, pengambilan data serta analisis dan validasi data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, disusun deskripsi hasil-hasil penelitian, analisis data dan pembahasan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab yang menyimpulkan hasil dari analisis penelitian dan memberikan saran-saran dan rekomendasi penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Teori Gelombang Linier

Gelombang merupakan salah satu fenomena proses fisik yang terjadi di pantai. Gelombang pada perairan dapat didefinisikan sebagai perubahan elevasi perairan secara harmonik yang ditimbulkan oleh beberapa gaya angin, gaya gempa di laut, kapal yang bergerak, dan lain- lain (Triatmodjo, 1999). Di antara beberapa bentuk gelombang tersebut, yang paling dominan adalah gelombang angin (gelombang yang dibangkitkan oleh gaya angin). Gelombang merupakan faktor penting di dalam perencanaan revetmen. Gelombang mempunyai energi, maka semua bangunan revetmen harus dapat memikul gaya gelombang tersebut.

Teori gelombang linier didasarkan pada anggapan air laut adalah sebagai fluida ideal, sehingga aliran yang terjadi bersifat irrotasional. Persamaan yang diselesaikan pada teori gelombang adalah persamaan Laplace dan persamaan Bernoulli tak permanen yang telah dilinierkan dalam dua dimensi (x, z).

1. Parameter Gelombang

Berdasarkan teori Airy, maka teori gerak gelombang dianggap sebagai kurva sinus harmonis (*sinusoidal progressive wave*), gelombang dapat dijelaskan secara geometris (Triatmodjo, 1999) berdasarkan :

- a) Tinggi gelombang (H), yaitu jarak antara puncak dan lembah dalam satu periode gelombang.
- b) Panjang gelombang (L), jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan

$$L = \left(\frac{gT}{2\pi}\right)^2 \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \dots\dots\dots (1)$$

Dengan menggunakan persamaan (1), jika kedalaman air dan periode gelombang diketahui, maka dapat diselesaikan dengan metode iterasi untuk menentukan panjang gelombang (L). Apabila kedalaman relatif d/L adalah lebih besar dari 0,5; nilai $\tanh(2\pi d/L) \approx 1,0$ dan percepatan gravitasi diketahui sehingga persamaan (1) menjadi :

$$L_0 = 1,56 T^2 \dots\dots\dots (2)$$

Parameter tersebut diatas digunakan untuk menentukan parameter gelombang lainnya seperti :

- 1) Kemiringan gelombang (*wave steepness*) = H/L
- 2) Ketinggian relatif (*relative height*) = H/d
- 3) Kedalaman relatif (*relative depth*) = d/L

Parameter Penting Lainnya seperti:

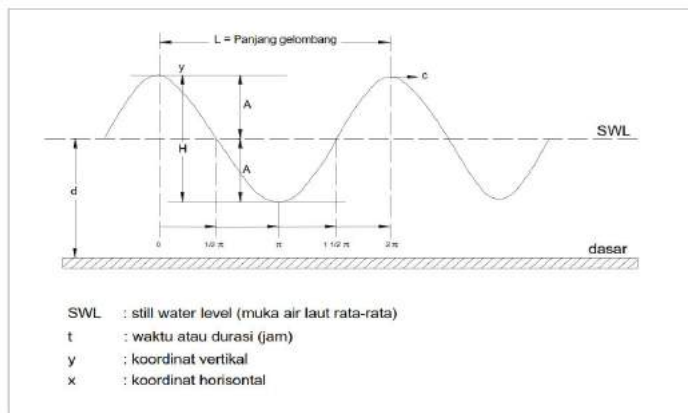
- 1) Amplitudo gelombang (A), biasanya nilainya adalah setengah tinggi Gelombang ($\frac{H}{2}$)
- 2) Periode gelombang (T), yaitu interval waktu yang dibutuhkan antara 2 puncak gelombang (*wave crest*)
- 3) Frekuensi (f), yaitu jumlah puncak gelombang yang melewati titik tetap pertitik. Frekuensi berbanding terbalik dengan periode, $f = \frac{1}{T}$. satu periode gelombang dapat juga dinyatakan dalam ukuran sudut (θ) = 2π seperti yang dijelaskan pada gambar dibawah ini :

Sehingga frekuensi sudut gelombang (σ) yang didefinisikan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{2\pi}{T} \text{ atau } \sigma = 2\pi \cdot f \dots\dots\dots (3)$$

Cepat rambat gelombang (c), dimana :

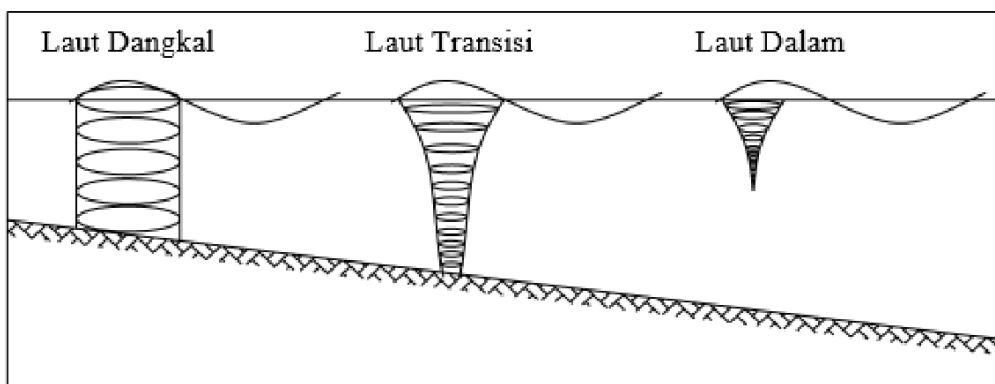
$$c = \frac{L}{T} \dots\dots\dots (4)$$



Gambar 1. Sketsa Definisi gelombang linier (shore Protection Manual Volume I, 1984)

2. Perambatan Gelombang

Ketika gelombang menjalar, partikel air di permukaan bergerak dalam suatu lingkaran besar membentuk puncak gelombang pada puncak lingkarannya dan lembah pada lintasan terendah. Di bawah permukaan, air bergerak dalam lingkaran-lingkaran yang makin kecil. Saat gelombang mendekati pantai, bagian bawah gelombang akan mulai bergesekan dengan dasar laut yang menyebabkan pecahnya gelombang dan terjadi putaran pada dasar laut yang dapat membawa material dari dasar pantai serta menyebabkan perubahan profil pantai.



Gambar 2. Profil permukaan dan gerak orbit partikel air pada penjalaran gelombang (Bambang Triatmodjo, 2003)

Dalam perambatannya gelombang menjalar dari laut dalam ke perairan dangkal/pantai dimana bangunan pantai (*breakwater*) tersebut akan dibangun, gelombang tersebut mengalami perubahan kecepatan, tinggi dan mungkin arahnya. Parameter gelombang yang dianggap tidak mengalami perubahan sepanjang perambatannya adalah periode.

Penyebab utama perubahan karakteristik gelombang tersebut adalah kedalaman dan variasi kedalaman perairan dangkal.

Perubahan parameter itu karena adanya pendangkalan (*shoaling*), pembelokan (*refraksi*) dan pemecahan gelombang (*breaking*). Jika dalam penjalarnya gelombang menemui suatu halangan struktur atau karang, maka gelombang akan mengalami hamburan (*difraksi*). Pada saat gelombang bergerak menuju ke garis pantai (*shoreline*), gelombang mulai bergesekan dengan dasar laut dan

menyebabkan pecahnya gelombang ditepi pantai. Hal ini juga dapat terjadi pengaruh pada garis pantai dan bangunan yang ada disekitarnya.

B. Klasifikasi Gelombang

Berdasarkan nilai-nilai pendekatan, persamaan untuk laut dalam, laut dangkal dan laut antara (transisi), maka perbandingan antara kedalaman air (d) dan panjang gelombang (L) atau d/L , gelombang dapat diklasifikasikan menjadi 3 macam seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Gelombang

Klasifikasi	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tan h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)$
Perairan dalam	$>1/2$	$>\pi$	≈ 1
Perairan transisi	$1/25 - 1/2$	$<1/4 - \pi$	$\tan h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)$
Perairan dangkal	$<1/25$	$<1/4$	$\approx \frac{2\pi d}{L}$

Sumber : (*Shore Protection Manual Volume I, 1984*)

Perbandingan antara kedalaman d dan panjang gelombang L , perbandingan d/L ini disebut kedalaman relatif (*relative depth*). Bila kedalaman relatifnya dibawah $1/25$, maka kedalaman adalah kecil dibandingkan dengan panjang gelombang. Gelombang ini disebut gelombang laut dangkal (*shallow water waves*) atau gelombang panjang (*long waves*). Bila perbandingannya lebih besar $1/2$, maka disebut gelombang laut dalam (*deep water waves*) atau gelombang pendek (*short waves*). Untuk harga perbandingan antara $1/25 < d/L < 1/2$ disebut gelombang transisi (*intermediate depth waves*).

C. Deformasi Gelombang

1. Refraksi dan Pendangkalan Gelombang (Wave shoaling)

Refraksi dan wave shoaling dapat menentukan tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang. Refraksi mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap tinggi dan arah gelombang serta distribusi energi gelombang

disepanjang pantai (Triatmodjo, 1999). Tinggi gelombang akibat pengaruh refraksi gelombang dan pendangkalan (wave shoaling) diberikan rumus :

$$H = K_s \times K_r \times H_0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

H = Tinggi gelombang akibat pengaruh refraksi

K_s = Koefisien Pendangkalan (shoaling)

K_r =Koefisien Refraksi

H_0 =Tinggi gelombang laut dalam (m)

2. Refleksi Gelombang

Gelombang datang yang mengenai/membentur suatu rintangan akan dipantulkan sebagian atau seluruhnya, sehingga menyebabkan ketidaktenangan pada perairan. Besarnya kemampuan suatu bangunan memantulkan gelombang diberikan oleh koefisien refleksi yaitu perbandingan antara tinggi gelombang refleksi (H_r) dan tinggi gelombang datang dan (H_i)

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} \quad \dots\dots\dots (6)$$

Koefisien refleksi berbagai tipe bangunan diberikan dalam Tabel 2

Tabel 2. Koefisien Refleksi Gelombang

Tipe bangunan	Kr
Dinding Vertikal diatas puncak air	0,7 – 1,0
Dinding vertical dengan puncak terendam air	0,5 – 0,7
Tumpukan batu sisi miring	0,3 – 0,6
Tumpukan blok beton	0,3 – 0,5
Bangunan vertical dengan peredam energy (diberi lubang)	0,05 – 0,2

Sumber : Triatmojo, 1999, hal.91

Menurut teori gelombang amplitudo kecil fluktuasi gelombang datang adalah :

$$\eta = \eta_i + \eta_r = \frac{H_i}{2} \cos(kx - \sigma t) + x \frac{H_i}{2} \cos(kx - \sigma t) \dots\dots\dots (7)$$

Apabila refleksi sempurna X=1, maka :

$$H = H_i \cos kx \cos \sigma t \dots\dots\dots (8)$$

D. Gelombang Pecah

Gelombang yang menjalar dari laut menuju pantai mengalami perubahan bentuk karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Gelombang yang mencapai batas kemiringan akan mulai pecah dan sebagian energinya akan terdissipasi. Berdasarkan pertimbangan teoritis Michell (1893) menemukan batas kemiringan tersebut.

$$\frac{H_0}{L_0} = \frac{1}{7} = 0,142 \dots\dots\dots (9)$$

Apabila gelombang bergerak menuju laut dangkal, kemiringan batas tersebut tergantung pada kedalaman relatif d/L dan kemiringan dasar laut (m). Gelombang dari laut dalam yang bergerak menuju pantai akan bertambah kemiringannya sampai akhirnya tidak stabil dan pecah pada kedalaman tertentu, yang disebut dengan kedalaman gelombang pecah (db). Tinggi gelombang pecah diberi notasi (Hb). Munk (1949, dalam CERC, 1984) memberikan persamaan untuk menentukan tinggi dan kedalaman gelombang pecah.

$$\frac{H_b}{H'_0} = \frac{1}{3,3 \left(\frac{H'_0}{L_0}\right)^{\frac{1}{3}}} \dots\dots\dots (10)$$

$$\frac{d_b}{H^b} = 1,28 \dots\dots\dots (11)$$

Parameter $\frac{H_b}{H'_0}$ disebut indek tinggi gelombang pecah.

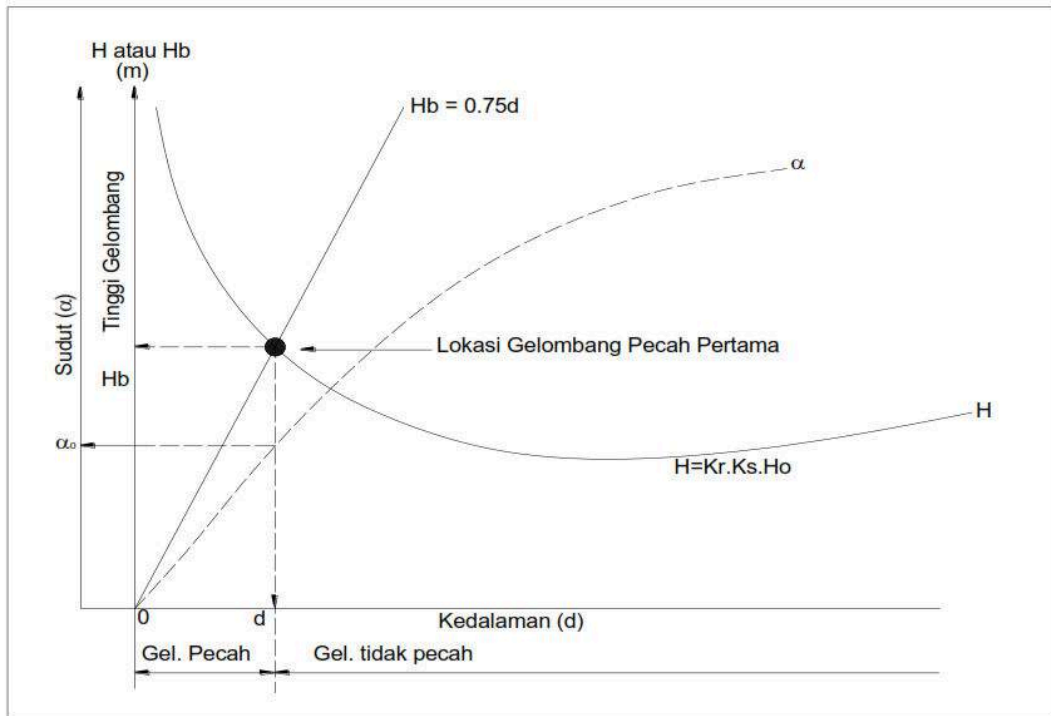
CERC, 1984 memberikan grafik seperti Gambar 3 yang menunjukkan hubungan antara kedalaman dan ketinggian gelombang pecah untuk berbagai kemiringan dasar laut. Grafik yang diberikan dapat ditulis dalam persamaan berikut :

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - \left(\frac{aH_b}{g.T^2}\right)} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana a dan b merupakan fungsi kemiringan pantai (m) dengan Persamaan :

$$a = 43,75 (1 - e^{-19m}) \dots\dots\dots (13)$$

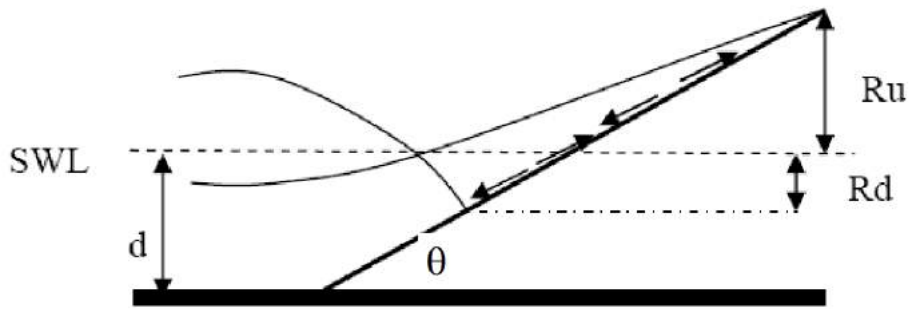
$$b = \frac{1.56}{1 + e^{-19.5m}} \dots\dots\dots (14)$$



Gambar 3. Grafik Penentuan Kedalaman Pada gelombang

E. Run UP dan Run Down Gelombang

Run Up gelombang terjadi pada saat gelombang datang bergerak menuju ke pantai dan membentur kemiringan garis pantai atau bangunan pelindung pantai maka sebagian energi gelombang akan diubah menjadi gerakan air yang meluncur ke arah lereng bangunan. Setelah mencapai elevasi maksimum, akan terjadi aliran balik yang disebut *Run Down* akibat gaya gravitasi. *Run Down* akan terus berlangsung sampai datang *Run Up* dari gelombang berikutnya atau *Run Down* mencapai lembah dari gelombang berikutnya. Tinggi elevasi *Run Up* dan *Run Down* diukur secara vertikal dari muka air rerata seperti gambar 4.



Gambar 4. Definisi Run Up dan Run Down

Berbagai penelitian tentang *Run Up* gelombang telah dilakukan di laboratorium, dari hasil penelitian tersebut berupa grafik-grafik yang digunakan untuk menentukan tinggi *Run Up*. Gambar 5 adalah hasil percobaan di laboratorium yang dilakukan Iribaren untuk menentukan besar *Run Up* gelombang pada bangunan dengan permukaan miring untuk berbagai tipe material, sebagai fungsi bilangan Iribaren untuk berbagai jenis lapis lindung yang mempunyai bentuk sebagai Berikut :

$$Ir = \frac{\tan\theta}{\left(\frac{H}{L_0}\right)^{0.5}} \dots\dots\dots (15)$$

Dengan :

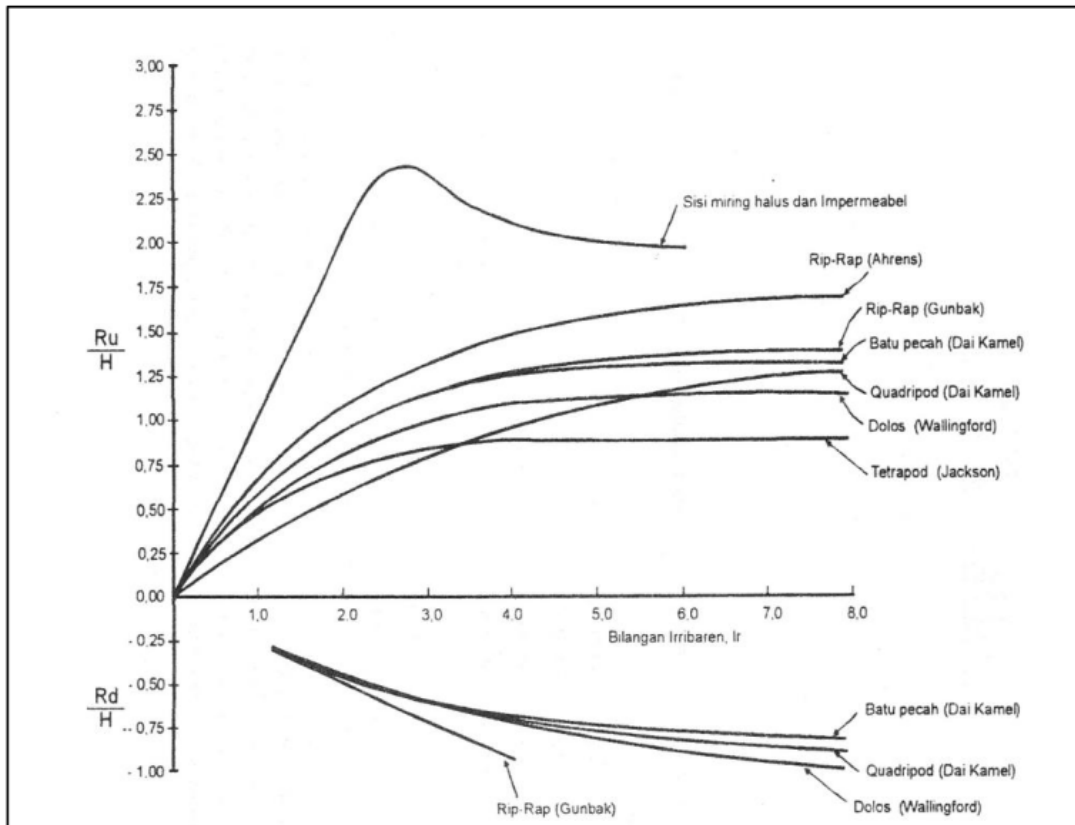
Ir = Bilangan Iribaren

θ = Sudut kemiringan sisi bangunan pemecah gelombang

H = tinggi gelombang di lokasi bangunan

L_0 = panjang gelombang di laut dalam

Grafik tersebut juga dapat digunakan untuk menghitung (R_d) yaitu turunnya permukaan air karena gelombang pada sisi bangunan pemecah gelombang.



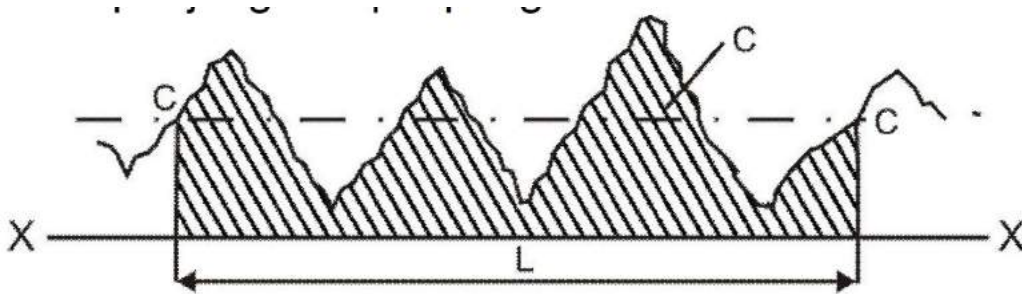
Gambar 5. Grafik perbandingan Run up dan Run down untuk berbagai tipe sisi miring

Kurva pada gambar 5 tersebut mempunyai bentuk tak berdimensi untuk *Run Up* relatif R_u/H atau *Run Down* relatif R_d/H sebagai fungsi dari bilangan Iribaren, dimana R_u dan R_d adalah *Run Up* dan *Run Down* yang dihitung dari muka air laut rerata.

F. Kekasaran Permukaan

Menurut istilah keteknikan, permukaan adalah suatu batas yang memisahkan benda padat dengan sekitarnya. Kekasaran rata-rata merupakan harga-harga rata-rata secara aritmetis dari harga absolut antara harga profil terukur dengan profil tengah. Salah satu cara menentukan kekasaran rata-rata (R_a) adalah dengan grafis, adapun caranya sebagai berikut :

Pertama gambarkan sebuah garis lurus pada penampang permukaan yang diperoleh dari pengukuran (profil terukur) yaitu garis X – X yang posisinya tepat menyentuh lembah paling dalam, gambar 6



Gambar 6. menentukan kekasaran rata-rata (R_a)

Kedua ambil sampel panjang pengukuran sepanjang L yang memungkinkan memuat sejumlah bentuk gelombang yang hampir sama.

Ketiga, ambil luasan daerah A di bawah kurve dengan menggunakan planimeter atau dengan metode ordinat. Dengan demikian diperoleh jarak garis center $C - C$ terhadap garis $X - X$ secara tegak lurus yang besarnya adalah :

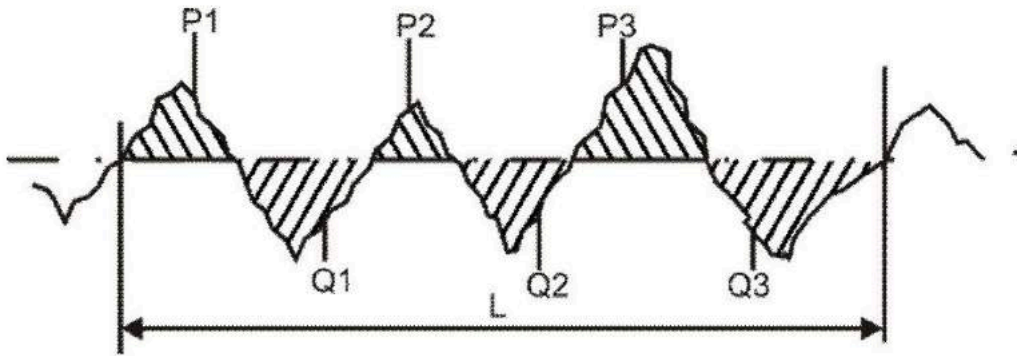
$$Hm = \frac{\text{daerah A}}{L} \dots\dots\dots (16)$$

Keempat, sekarang diperoleh suatu garis yang membagi profil terukur menjadi dua bagian yang hampir sama luasnya, yaitu luasan daerah diatas ($P_1 + P_2 + \dots$ dan seterusnya) dan luasan daerah dibawah ($Q_1 + Q_2 + \dots$ Dan seterusnya). Dengan demikian maka R_a dapat ditentukan besarnya yaitu :

$$Ra = \frac{\text{Luas Daerah P} + \text{Luas Daerah Q}}{L} \times \frac{1000}{Vv} (\mu m) \dots\dots\dots (17)$$

Dimana : Vv = Perbesaran vertical. Luas P dan Q dalam Milimeter

L = Panjang sampel pengukuran dalam millimeter



Gambar 7. menentukan kekasaran rata-rata (R_a)

Menurut Triadmojo 1996, pada zat cair ideal aliran melalui bidang batas mempunyai distribusi kecepatan merata. Sedang pada Zat Cair Riil, karena adanya pengaruh kekentalan kecepatan didaerah dekat bidang batas mengalami perlambatan dan pada bidang batas kecepatan adalah nol. Lapis Zat cair didekat bidang batas dimana pengaruh kekentalan dominan disebut dengan lapis batas.

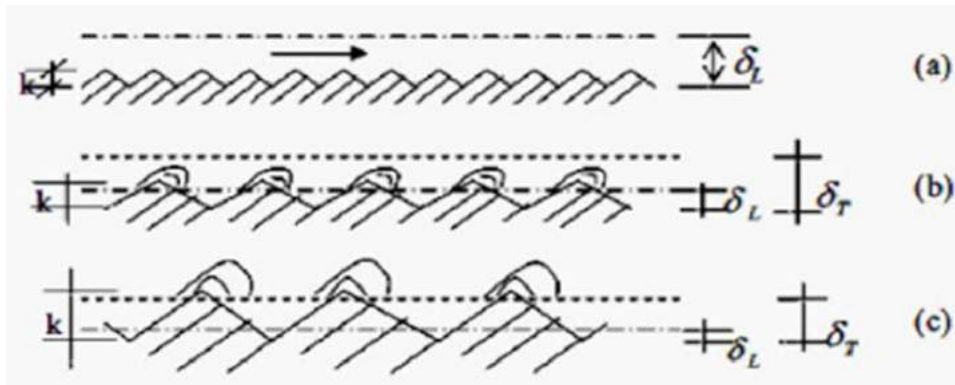
Konsep adanya sub lapis laminar didalam lapis batas pada aliran turbulen dapat digunakan untuk menjelaskan perilaku kekasaran permukaan. Apabila permukaan bidang batas dibesarkan, Akan terlihat bahwa permukaan tersebut tidak halus seperti yang ditunjukkan dalam gambar 8. Tinggi efektif ketidakaturan permukaan yang membentuk kekasaran disebut dengan tinggi kekasaran k . perbandingan antara tinggi kekasaran dan jari-jari hidraulic (k/R) atau diameter pipa (k/D) disebut dengan kekasaran relative.

Pada gambar 8.a tinggi kekasaran lebih kecil dari tebal sub lapis laminar ($k < L\delta$) sehingga ketidakaturan permukaan akan sedemikian kecil sehingga kekasaran akan seluruhnya terendam didalam lapis laminar. Dalam hal ini kekasaran tidak mempunyai pengaruh terhadap aliran diluar sub lapis laminar, dan permukaan batas tersebut dengan hidraulic licin.

Pada gambar 8.b tinggi kekasaran berada di daerah transisi ($L\delta < k < T\delta$), dan aliran adalah dalam kondisi transisi.

Pada gambar 8.c tinggi kekasaran berada diluar lapis transisi ($k > T\delta$), maka kekasaran permukaan akan berpengaruh didaerah turbulen sehingga

mempengaruhi aliran didaerah tersebut. Permukaan ini disebut dengan hidraulis kasar.



Gambar 8. Pengaruh kekasaran pada sub lapis (triatmodjo1993, hal. 22)

1. Kehilangan energi (head losses)

Zat cair yang ada dialam ini mempunyai kekentalan, meskipun demikian dalam berbagai perhitungan mekanika fluida ada yang dikenal atau dianggap sebagai fluida ideal. Menurut Triatmojo(1993), adanya kekentalan fluida akan menyebabkan terjadinya tegangan geser pada waktu bergerak. Tegangan geser ini akan merubah sebagai energy aliran menjadi bentuk energy lain seperti panas, suara dan sebagainya. Pengubahan bentuk energy tersebut menyebabkan terjadinya kehilangan energy.

Secara umum didalam suatu instalasi jaringan pipa dikenal dua macam kehilangan energy :

1. Kehilangan energy Akibat gesekan disebut juga kehilangan energy primer (Triatmojo 1996:58) atau major loss (Kodoatie 2002 :245). Terjadi akibat adanya kekentalan zat cair dan turbulensi karena adanya kekasaran dinding batas pipa dan menimbulkan gaya gesek yang akan menyebabkan kehilangan energy disepanjang pipa dengan diameter konstan pada aliran seragam. Kehilangan energy sepanjang satu satuan panjang akan konstan selama kekasaran dan diameter tidak berubah.

2. Kehilangan energy akibat perubahan penampang dan aksesoris lainnya disebut juga kehilangan energy sekunder (Triatmojo 1996:58) atau minor loss (Kodaite 2002:245) misalnya terjadi pada pembesaran tampang (Expansion), Pengecilan penampang (contraction), belokan atau tikungan. Kehilangan energy sekunder atau minor loss ini akan mengakibatkan adanya tumbukan antara partikel zat cair dan meningkatnya gesekan karena turbulensi serta tidak seragamnya distribusi kecepatan pada suatu penampang pipa.

Pada aliran laminer akan terjadi bila bilangan reynold (Re) < 2000 , dengan persamaan kehilangan energi pada aliran laminer sepanjang pipa L menurut Hagen- Poiseuille adalah sebagai berikut :

$$h_f = \frac{32v}{gD^2} VL \dots\dots\dots (18)$$

Persamaan tersebut dapat ditulis dalam bentuk :

$$h_f = \frac{64v}{VD} \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = \frac{64}{Re} \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (19)$$

Persamaan diatas dapat ditulis dalam bentuk persamaan Darcy-weisbach

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (20)$$

Dengan $f = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots (21)$

Dengan demikian untuk aliran laminar koefisien gesekan mempunyai bentuk

persamaan $f = \frac{64}{Re}$

Dengan : f = Faktor Gesek

Re = Angka reynold

a. Pipa Halus

Koefisien gesekan pipa tergantung pada parameter aliran (Triatmojo 1996 : 31), apabila pipa adalah hidrolis halus parameter tersebut adalah kecepatan aliran diameter pipa dan kekentalan zat cair dalam bentuk angka reynolds. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Blasius, dia mengemukakan rumus gesekan f untuk pipa halus dalam bentuk :

$$f = \frac{0.316}{Re^{0.25}} \text{ berlaku untuk } 400 < Re < 10^5 \text{ (22)}$$

Dari persamaan empiris koefisien gesekan tersebut diatas akan dapat dihitung kehilangan energi disepanjang pipa berdasar persamaan Darcy-Weisbach.

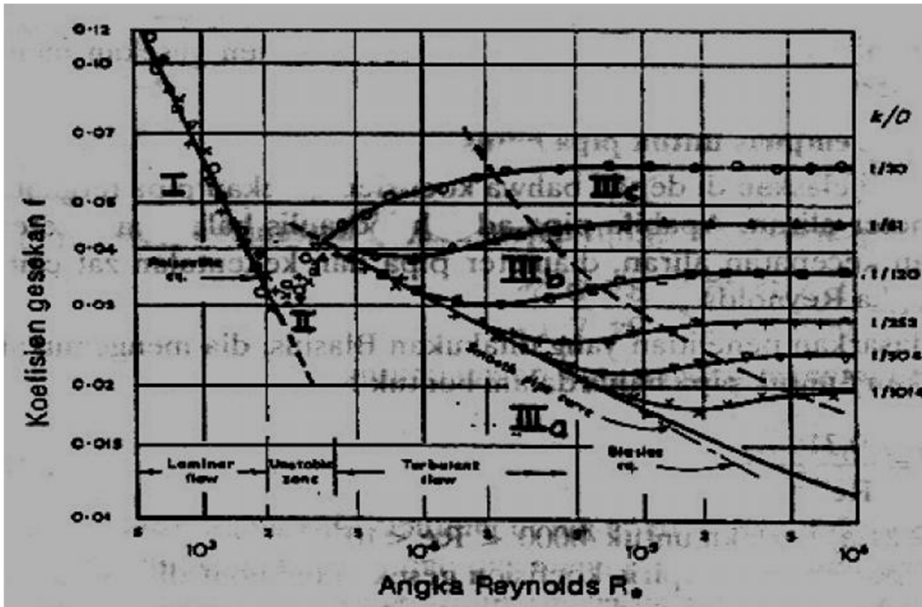
Sedangkan percobaan Nikuradse memberikan persamaan yang agak berbeda dengan Blasius. Persamaan tersebut adalah :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{Re\sqrt{f}}{2,51} \text{ (23)}$$

b. Pipa Kasar

Tahanan pada pipa kasar lebih besar dari pada pipa halus, untuk pipa halus nilai f hanya tergantung pada angka Reynolds. Untuk pipa kasar nilai f tidak hanya tergantung angka Reynolds, tetapi juga pada sifat-sifat dinding pipa yaitu kekasaran relatif k/D , atau $f/(Re, D k \varphi =$ dengan $k =$ kekasaran dinding pipa, $D =$ diameter Pipa.

Nikuradse (dalam Triatmojo 1996 :36) melakukan percobaan tentang pengaruh kekasaran pipa. Percobaan tersebut meliputi daerah aliran laminar dan turbulen sampai pada angka Reynolds $Re = 6 \cdot 10^4$, dan untuk enam kali percobaan dengan nilai k/D (kekasaran relatif) yang bervariasi antara 0.0333 sampai 0.000985. Hasil percobaan merupakan hubungan antara f , Re , dan k/D seperti gambar dibawah ini.



Gambar 9. Hasil percobaan Nikuradse (triatmodjo1993, hal. 36)

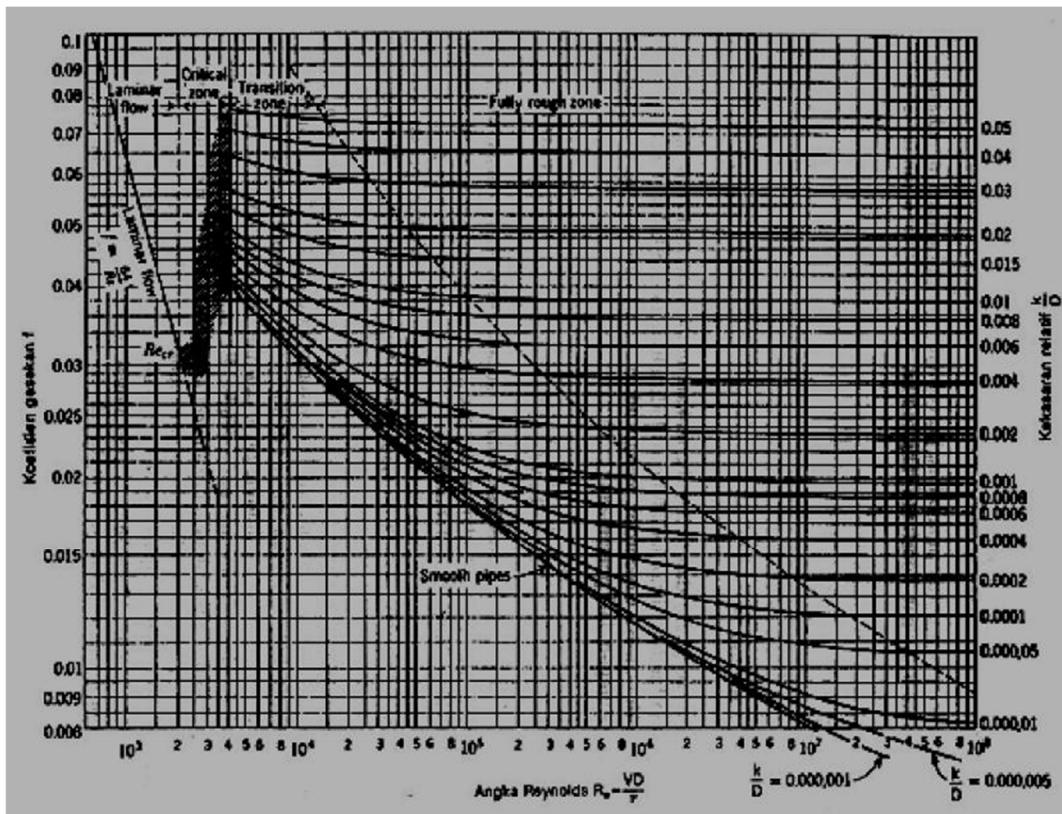
Rumus empiris untuk pipa kasar hasil percobaan nikuradse adalah :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{3.7D}{k} \dots\dots\dots (24)$$

Untuk aliran didaerah transisi, Colebrook menggabungkan persamaan untuk pipa halus dan pipa kasar sebagai berikut:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \dots\dots\dots (25)$$

Persamaan – persamaan di atas memberikan nilai f dalam suatu persamaan implisit Moody (1944) (dalam Triatmojo 1996 :40) menyederhanakan prosedur hitungan tersebut dengan membuat suatu grafik berdasarkan persamaan Colebrook. Grafik tersebut dikenal sebagai grafik Moody seperti terlihat pada gambar 8.



Gambar 10. Grafik moody (triatmodjo1993, hal. 40)

Untuk menggunakan grafik tersebut, nilai k diperoleh dari table 2.2. Untuk pipa tua nilai f dapat jauh lebih besar dari pipa baru, yang tergantung pada umur pipa dan sifat zat cair yang dialirkan. Untuk pipa kecil, endapan atau kerak yang terjadi dapat mengurangi diameter pipa.

Tabel 3. Tinggi Kekasaran Pipa

Jenis Pipa (Baru)	Nilai k (mm)
Kaca	0.0015
Besi dilapis aspal	0.06 - 0.24
Besi tuang	0.18 - 0,90
Plester semen	0,27 - 1.20
Beton	0.30 - 3.00
Baja	0.03 - 0.09
Baja Keling	0.90 - 9.00
Pasangan batu	6

Sumber: Bambang Triatmojo 1996 : 41

Putro dan hadihardaja (2013) dari percobaan penelitian pada flume dengan bahan akrilic dengan variasi kemiringan dasar saluran dan debit aliran terdapat variasi nilai koefisien kekasaran maning (n), perbedaan nilai n ini selain dari perbedaan keliling basah yang terjadi pada saluran namun juga dipengaruhi oleh kemiringan saluran.

Tabel 4. Tipikal harga koefisien Kekasaran manning, n yang sering digunakan

No	Tipe Saluran dan Jenis bahan	Harga n		
		Minimum	Normal	Maksimum
1	Beton			
	• Gorong-gorong lurus dan bebas dari kotoran	0,010	0,011	0,013
	• Gorong-gorong dengan lengkung dan sedikit kotoran/gangguan	0,011	0,013	0,014
	• Beton di poles	0,011	0,012	0,014
	• Saluran pembuang dengan bak kontrol	0,013	0,015	0,017
2	Tanah, Lurus dan Seragam			
	• Bersih baru	0,016	0,018	0,020
	• Bersih telah melapuk	0,018	0,022	0,025
	• Berkerikil	0,022	0,025	0,030
	• Berumput pendek, sedikit tanaman pengganggu	0,022	0,027	0,033
3	Saluran Alam			
	• Bersih Lurus	0,025	0,030	0,033
	• Bersih, berkelok-kelok	0,033	0,040	0,045
	• Banyak tanaman Pengganggu	0,050	0,070	0,08
	• Dataran banjir berumput pendek-tinggi	0,025	0,030	0,035
	• Saluran di belukar	0,035	0,050	0,07

Daftar lengkap dapat dilihat dalam open Chanel Hydraulic oleh Ven Te Chow

G. Hukum Dasar Model

Konsep dasar pemodelan dengan bantuan skala model adalah membentuk kembali masalah atau fenomena yang ada di prototipe dalam skala yang lebih kecil, sehingga fenomena yang terjadi di model akan sebangun (mirip) dengan yang ada di prototipe. Kesebangunan yang dimaksud adalah berupa sebangun geometrik, sebangun kinematik dan sebangun dinamik (Nur Yuwono, 1996)

Hubungan antara model dan prototipe diturunkan dengan skala, untuk masing-masing parameter mempunyai skala tersendiri dan besarnya tidak sama. Skala dapat didefinisikan sebagai rasio antara nilai yang ada di prototipe dengan nilai parameter tersebut pada model .

1. Sebangun Geometrik

Sebangun geometrik adalah suatu kesebangunan dimana bentuk yang ada di model sama dengan bentuk prototipe tetapi ukuran bisa berbeda. Perbandingan antara semua ukuran panjang antara model dan prototipe adalah sama. Ada dua macam kesebangunan geometrik, yaitu sebangun geometrik sempurna (tanpa distorsi) dan sebangun geometrik.

dengan distorsi (*distorted*). Pada sebangun geometrik sempurna skala panjang arah horisontal (skala panjang) dan skala panjang arah vertikal (skala tinggi) adalah sama, sedangkan pada *distorted* model skala panjang dan skala tinggi tidak sama. Jika memungkinkan sebaiknya skala dibuat tanpa distorsi, namun jika terpaksa, maka skala dapat dibuat distorsi. Sebangun geometrik dapat dinyatakan dalam bentuk :

$$n_L = \frac{L_p}{L_m} \dots\dots\dots (26)$$

$$n_h = \frac{h_p}{h_m} \dots\dots\dots (27)$$

Dengan

n_L =skala panjang

n_h = Skala Tinggi

L_p = Ukuran Panjang Prototipe

L_m =Ukuran Panjang model

h_p = Ukuran Tinggi Pada Prototipe

h_m = Ukuran Tinggi pada model

2. Sebangun Kinematik

Sebangun kinematik adalah kesebangunan yang memenuhi kriteria sebangun geometrik dan perbandingan kecepatan dan percepatan aliran di dua titik pada model dan prototipe pada arah yang sama adalah sama besar. Pada model tanpa distorsi, perbandingan kecepatan dan percepatan pada semua arah arah adalah sama, sedangkan pada model.

dengan distorsi perbandingan yang sama hanya pada arah tertentu saja, yaitu pada arah vertikal atau horisontal. Oleh sebab itu pada permasalahan yang menyangkut tiga dimensi sebaiknya tidak menggunakan *distorted* model. Skala kecepatan diberi notasi n_v , skala percepatan n_a , dan skala waktu n_T didefinisikan sebagai berikut :

$$n_v = \frac{V_p}{v_m} = \frac{n_l}{n_T} \quad \text{untuk Kecepatan} \quad \dots\dots\dots (28)$$

$$n_a = \frac{a_p}{a_m} = \frac{n_l}{n_T^2} \quad \text{Untuk percepatan} \quad \dots\dots\dots (29)$$

$$n_Q = \frac{Q_p}{Q_m} = \frac{n_l^2}{n_T} \quad \text{untuk debit aliran} \quad \dots\dots\dots (30)$$

$$n_T = \frac{T_p}{T_m} \quad \text{Untuk Waktu} \quad \dots\dots\dots (31)$$

3. Sebangun Dinamik

Sebangun dinamik adalah kesebangunan yang memenuhi kriteria sebangun geometrik dan kinematik, serta perbandingan gaya-gaya yang bekerja pada model dan prototipe untuk seluruh pengaliran pada arah yang sama adalah sama besar. Gaya-gaya yang dimaksud adalah gaya inersia, gaya tekanan, gaya berat, gaya gesek, gaya kenyal dan tegangan permukaan.

Beberapa sebangun dinamik yaitu sebangun dinamik Reynold (*Reynold number*) yang diekspresikan sebagai perbandingan gaya inersia terhadap gaya gesek, sebangun dinamik froude (*froude number*) yaitu perbandingan gaya inersia dan gaya gravitasi, bilangan Cauchy (*Cauchy Number*) yaitu perbandingan gaya inersia dan gaya elastik serta bilangan Weiber (*Weiber Number*) yaitu perbandingan antara gaya inersia dan gaya tegangan permukaan.

Untuk penelitian refleksi dan transmisi gelombang terhadap gelombang yang merambat banyak dipengaruhi gaya gravitasi sehingga digunakan kesebangunan *Froude*. Dengan pertimbangan fasilitas yang ada di laboratorium, maka pada penelitian ini, akan menggunakan skala panjang yang sama dengan skala tinggi (*undistorted models*) dan menggunakan kesebangunan *Froude*.

$$F_r = \frac{(\rho L^3) \left(\frac{v^2}{L}\right)}{\rho g L^3} = \frac{v^2}{gL} \quad \dots\dots\dots (32)$$

Dengan demikian, bila gaya gravitasi memegang peranan penting dalam permasalahan, maka perbandingan gaya inersia dan gaya gravitasi pada model dan prototipe harus sama.

$$n_{Fr} = \frac{n_v}{n_L^{0.5}} \quad \dots\dots\dots (33)$$

$$n_{Fr} = \frac{Fr_p}{Fr_m} = 1 \quad \dots\dots\dots (34)$$

Oleh karena digunakan model tanpa distorsi, maka skala panjang gelombang n_L , skala panjang struktur n_B , skala kedalaman n_d dan skala sarat n_s adalah sama seperti berikut :

$$n_L = n_B = n_H = n_d = n_s \quad \dots\dots\dots (35)$$

Sedangkan skala waktu n_T dan skala gravitasi ditulis seperti berikut :

$$n_T = n_L^{1/2} \text{ atau } n_T = \sqrt{n_L} \quad \dots\dots\dots (36)$$

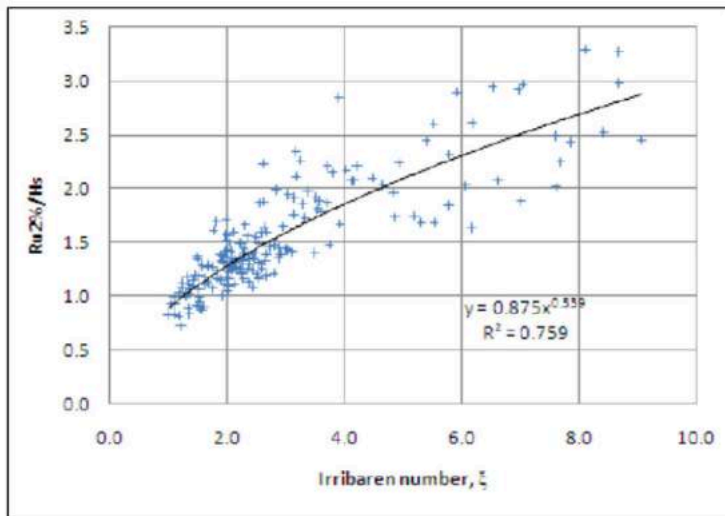
Semua gaya-gaya tersebut diatas merupakan fungsi variabel tetap. Variabel yang mempengaruhi gaya-gaya tersebut di klasifikasikan dalam tiga tipe :

- a. *Linear dimensions* didefinikan sebagai kondisi batas geometrik seperti panjang (L), lebar (B), tinggi (H), dan kedalaman air (d)
- b. *Fluida Properties* disebut sebagai kerapatan fluida (ρ), viskositas (μ), tegangan permukaan (λ), dan elastisitas (E)
- c. *Kinematic and dynamic characteristics of flow* disebut sebagai kecepatan aliran (v), intensitas tekanan (p), percepatan gravitasi (g)

H. Penelitian Sebelumnya

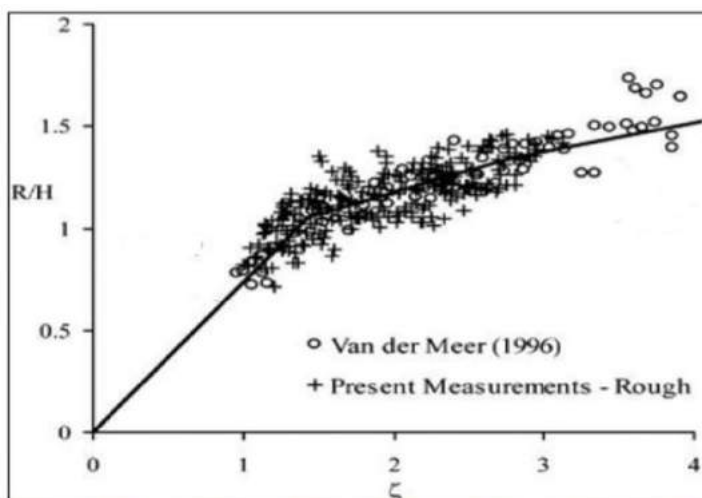
Alfansuri, (2010) meneliti perbandingan formula *Run Up* gelombang dan *overtopping* untuk gelombang *Irregular* pada struktur dasar kasar dan menjelaskan bahwa nilai *Run Up* gelombang merupakan fungsi dari *irribaren number*. Hasil penelitian dari Alfansuri memperlihatkan suatu persamaan regresi baru yang

merupakan hubungan bilangan tak berdimensi berupa persamaan regresi *non linier* seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik hubungan irribaren number dan nilai Ru/h alfansuri, 2010

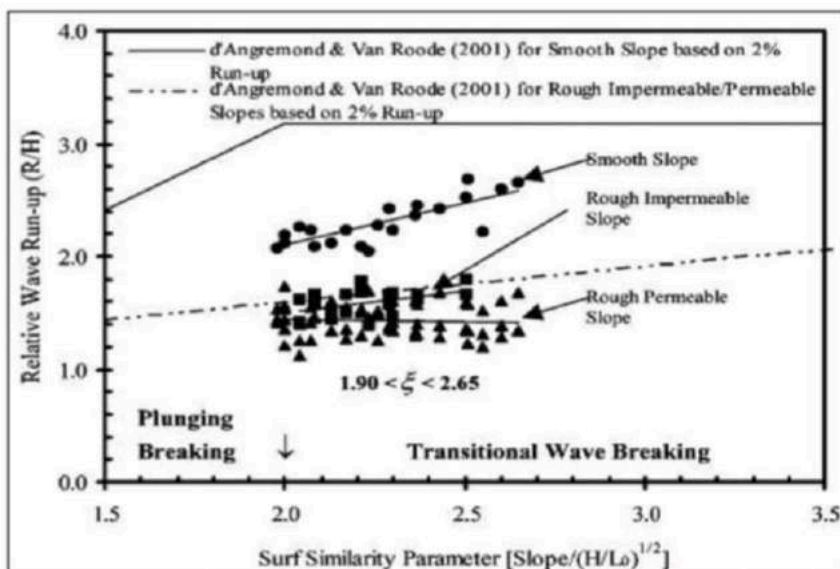
Janaka, (2008) melakukan eksperimen *Run Up* gelombang di *wave flume Fluids Laboratory of the University of Peradeniya* dengan dimensi flume (40m x 2m x 2.13m), rang berat batu (stone) adalah 1.80 kg – 2.0 kg dan nilai kerapatannya 0.1-1.2 slope 23.3°. Hasil pengujian yang diperoleh diperbandingkan dengan data *Run Up* milik Van Der Meer yang merupakan hubungan bilangan tak berdimensi dan memperlihatkan kurva linier seperti pada Gambar 12.



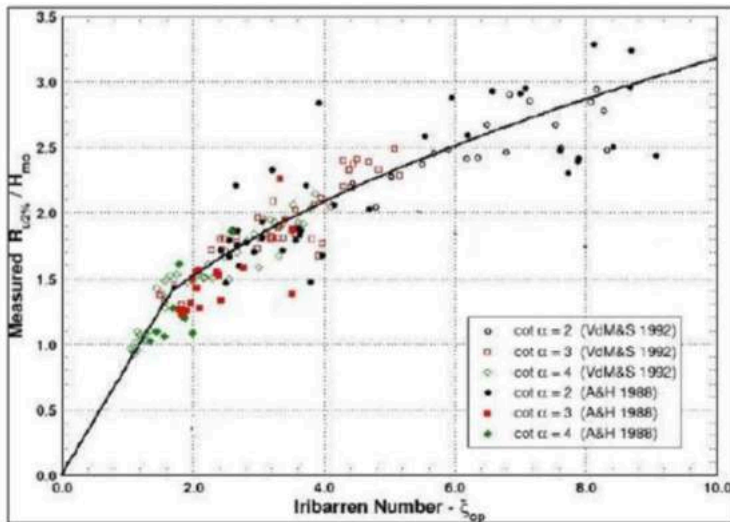
Gambar 12. Grafik hubungan irribaren number dan nilai Ru/h Janaka, 2008

Shankar dan Jayaratne, (2002) melakukan eksperimen *Run Up* gelombang di laboratorium *wave flume Hydraulic Engineering Laboratory of the National, University of Singapore* dengan dimensi flume (39m x 0.9m x 0.9m) dan *water deep* 0.4 meter dengan menggunakan model *breakwater (armor)*. Dari hasil eksperimen mendapatkan hubungan bilangan tak berdimensi dan memperlihatkan kurva seperti pada gambar 13.

Ahrens dan Heimbaugh, (1988) telah melakukan penelitian terhadap run-up gelombang untuk gelombang *irregular* dan menjelaskan bahwa nilai *Run Up* gelombang merupakan fungsi *irribaren number*. Percobaan dilakukannya di laboratorium wave flume A&M University, Texas. Dengan dimensi flume (32m x 0.9m x 1.2m). Dari hasil penelitian mendapatkan hubungan bilangan tak berdimensi dan memperlihatkan kurva linier seperti pada Gambar 14.



Gambar 13. Grafik hubungan irribaren number dan nilai *Ru/h* Shankar dan jayaratne, 2002



Gambar14. Grafik hubungan irribaren number dan nilai Ru/h Jahrens dan Heimbaugh, 1988

I. Metode Analisis Dimensi

Bilangan tak berdimensi digunakan untuk menyatakan hubungan antar parameter serta dipakai untuk menggambarkan hasil-hasil penelitian. Untuk menentukan bilangan tak berdimensi dapat dilakukan dengan analisis dimensi. Beberapa cara/metode yang umum digunakan untuk analisis dimensi yaitu Metode *Basic Echelon*, Metode *Buckingham*, Metode *Rayleigh*, Metode *Stepwise* dan Metode *Langhaar*. Untuk penelitian ini digunakan metode *Langhaar* karena variabel yang berpengaruh relatif sedikit serta metode ini tersusun sistemik.

Metode *Langhaar* menjelaskan fenomena model hidraulik dengan n parameter π_i dengan $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Jika parameter tersusun oleh m elemen pokok, maka produk bilangan tak berdimensi dapat diturunkan sejumlah $(n-m)$. Untuk keperluan teknik hidraulik biasanya ada 3 elemen pokok yaitu Massa (M), Panjang (L) dan Waktu (T).

Bilangan tak berdimensi dapat dinyatakan :

$$\pi_j = P_1^{k_1} P_2^{k_2} P_3^{k_3} \dots \dots \dots P_n^{k_n} \dots \dots \dots \quad (37)$$

Dimana π_j = produk bilangan tak berdimensi dengan $j = 1, 2, 3, \dots, n$

Jika π_j mempunyai dimensi $M^{\alpha_1} L^{\beta_1} T^{\gamma_1}$, maka dapat ditulis :

$$\pi_j = (M^{\alpha_1} L^{\beta_1} T^{\gamma_1})^{k_1} \cdot (M^{\alpha_2} L^{\beta_2} T^{\gamma_2})^{k_2} \dots \dots \dots (M^{\alpha_n} L^{\beta_n} T^{\gamma_n})^{k_n}$$

Atau

$$\pi_j = (M^{\alpha_1 k_1 + \alpha_2 k_2 + \dots \dots \dots \alpha_n k_n}) \cdot (L^{\beta_1 k_1 + \beta_2 k_2 + \dots \dots \dots \beta_n k_n}) \cdot (T^{\gamma_1 k_1 + \gamma_2 k_2 + \dots \dots \dots \gamma_n k_n}) \dots \dots \dots (38)$$

π_j Merupakan bilangan tak berdimensi jika :

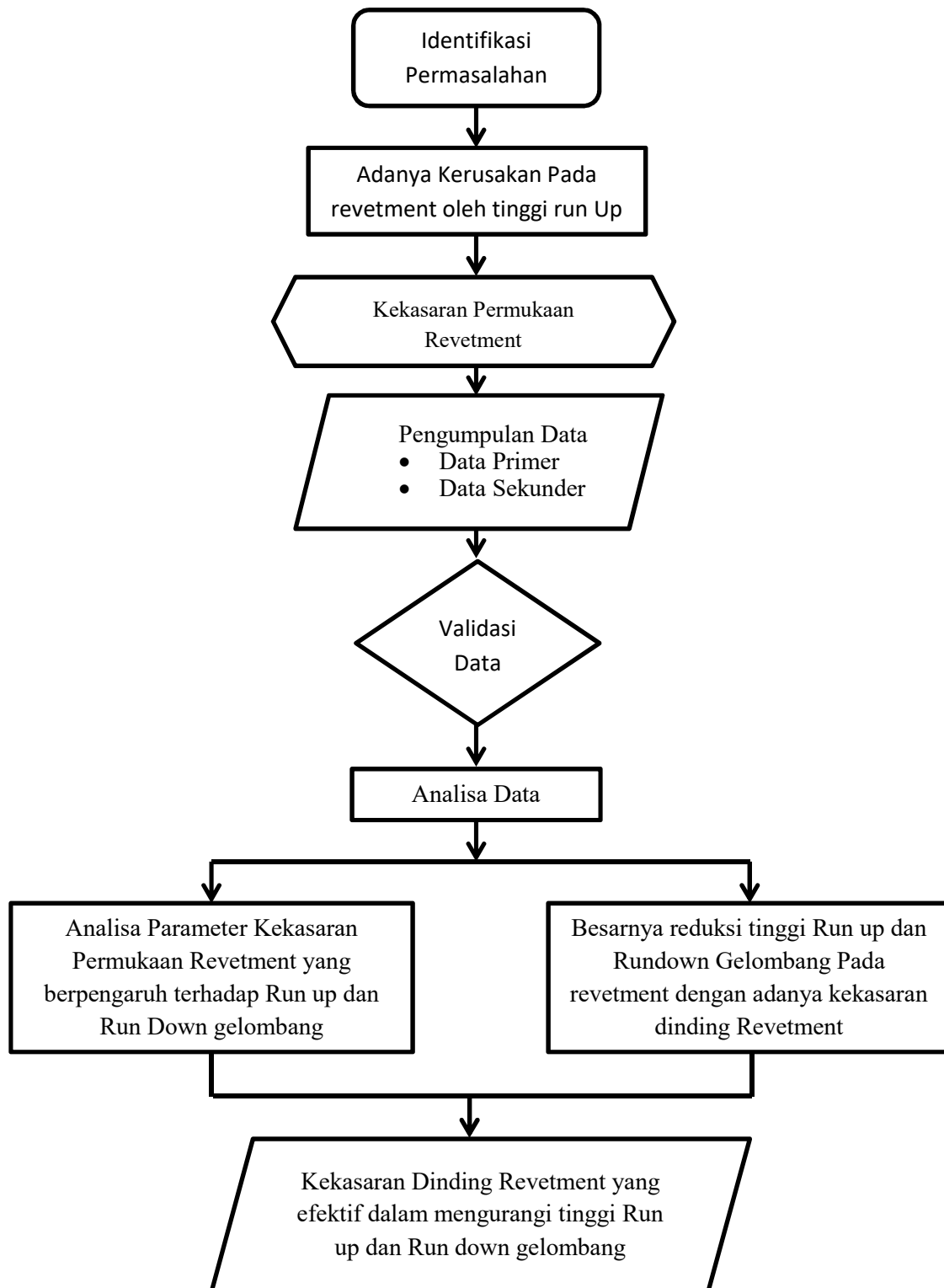
$$\alpha_1 k_1 + \alpha_2 k_2 + \dots \dots \dots \alpha_n k_n = 0$$

$$\beta_1 k_1 + \beta_2 k_2 + \dots \dots \dots \beta_n k_n = 0$$

$$\tau_1 k_1 + \tau_2 k_2 + \dots \dots \dots \tau_n k_n = 0 \dots \dots \dots (39)$$

J. Kerangka Pikir Penelitian

Adapun Kerangka pikir dalam penelitian ini sebagai berikut :



Gambar 15. Kerangka pikir penelitian