

# FORMULA ANGKA STABILITAS UNIT LAPIS LINDUNG PEMECAH GELOMBANG TIPE GELOMBANG TAK PECAH

## *Formula of Stability Number of Breakwater Armor Units for Non-Broken Wave*

Sriyana

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Tembalang, Semarang. E-mail: sri\_bibeh@yahoo.com

### ABSTRACT

The objective of research is to evaluate variables that influence the stability number of breakwater armor units ( $N_s$ ), such as height of wave, wave period, wave angle direction, layer coefficient, and porosity. While the aim of this research is to find a new Number stability formula, that is ( $H_s/D_n$  or  $N_s$ ), at non breaking wave, that can be applied on all type of breakwater armor units. The research used undistorted physical model method. Furthermore, wave data is analyzed using Zero up crossing and regression analysis using least square method. Mat Lab software version 6.5. is used as a tool in analysis. The result of this research is stability number of breakwater armor units ( $N_s$ ) for non-broken wave, that is  $N_s = 0,0874 P_o^{-4,1580} d^{0,0486} N^{0,0278} C^{7,3935} (\cos \theta)^{0,5385} \xi_z^{-0,4640}$

Then the evaluation result is compared with the existing formula, such as Hudson formula and Vander Meer formula, with armor units material are stones, cube, tetrapod and dolos. It can be seen that in new formula, stability number ( $N_s$ ) is the smallest number, therefore it is the most reliable or optimal, if compared with Vander Meer formula, and Hudson. The formula is applied for slope angle of the structure ( $\cot 1,5$ ), until slope angle of the structure ( $\cot 3$ ). The result also shows that the number of stability being bigger, in a row to the number of ( $H/L$ ) value, and being smaller in increasing angle wave direction for slope ( $\cot 1,5$ ), ( $\cot 2,5$ ) and ( $\cot 3$ ).

Keywords: New formula, stability number, armor units, non-broken wave

### PENDAHULUAN

Kegagalan suatu struktur bangunan dapat ditinjau dari berbagai aspek diantaranya aspek perencanaan, aspek konstruksi dan aspek lingkungan. Ditinjau dari aspek perencanaan bahwa hasil perencanaan harus aman dan ekonomis, maka dalam penggunaan suatu formula harus mempertimbangkan sejauh mana keandalan dari formula tersebut. Seperti terjadinya kegagalan bangunan pemecah gelombang di pelabuhan Sines Pantai Atlantik, Portugal bahwa kegagalan diakibatkan karena tidak memperhitungkan periode gelombang panjang (*long period waves*), saat pelaksanaan model test mengabaikan adanya kelompok gelombang (*wave grouping*), tidak menggunakan gelombang tak teratur (*irregular wave*) dan pengaruh refleksi gelombang diabaikan (Joseph, 1978.). Apabila dalam perencanaan stabilitas unit lapis Lindung pemecah gelombang akan menggunakan formula Hudson, agar struktur bangunan tidak rusak maka tinggi gelombang, harus dikalikan faktor 1,06 tinggi gelombang yang ada (Zwamborn, 1979). Dengan demikian maka dalam perencanaan suatu bangunan pemecah gelombang harus berhati-hati dalam menggunakan formula berikut batasan batasannya.

Iribarren (1938), merumuskan bahwa angka stabilitas atau koefisien empirik ( $K$ ) dapat diperoleh

dengan menganggap gaya gesek material sebagai penahan benda stabil di tempatnya, pengaruh bentuk material terhadap stabilitas dimasukkan dalam koefisien gesek  $\mu$ , termasuk didalamnya sifat saling mengunci antara unit lapis Lindung belum didefinisikan. Rumusan Iribarren menjelaskan bahwa berat lapis Lindung berbanding lurus tinggi gelombang, koefisien empirik dan kerapatan relatif dan berbanding terbalik terhadap sudut kemiringan struktur dan kerapatan relatif.

Formula Hudson (1958), merupakan pengembangan dari formula Iribarren, untuk analisis stabilitas lapis Lindung pemecah gelombang hanya memperhitungkan beberapa variabel yang dianggap dominan diantaranya berat lapis Lindung, tinggi gelombang signifikan, berat jenis, rapat masa relatif, sudut kemiringan dan koefisien stabilitas ( $K_D$ ). Nilai koefisien stabilitas ( $K_D$ ). sangat relatif, dimana besaran tersebut mencakup variabel kekasaran dasar permukaan lapisan termasuk permeabel atau impermeabel, sifat saling mengunci (*interlocking*), bentuk material dan cara penempatan acak atau tak acak. Disini terlihat bahwa variabel variabel tersebut belum diinterpretasikan dengan jelas, baru sebagian yang diperhitungkan yaitu variabel penempatan acak atau tak acak Disamping itu apabila dikaitkan dengan nilai angka stabilitas ( $N_s$ ), maka besaran angka stabilitas hanya tergantung pada nilai

koefisien kerusakan ( $K_D$ ) dan sudut kemiringan struktur. Dari formula yang telah dikemukakan tersebut nampak bahwa ada beberapa variabel yang masih diabaikan diantaranya variabel tingkat kerusakan, periode gelombang, jumlah gelombang, permeabilitas dan sudut datang gelombang.

Formula untuk menentukan angka stabilitas ( $N_s$ ) unit lapis lindung pemecah gelombang yang berlaku untuk jenis lapis lindung batuan dibedakan tipe gelombang pecah (*plunging*) dan gelombang tak pecah (*surging*). Stabilitas minimum diperoleh dari nilai transisi perpotongan antara tipe gelombang dan gelombang tak pecah. (Van deer Meer, 1988a).

Untuk gelombang tak pecah (*surging*) bahwa angka stabilitas unit lapis lindung berat unit lapis lindung adalah berbanding lurus terhadap permeabilitas, tingkat kerusakan, jumlah gelombang, sudut kemiringan struktur dan angka Iribarren (*surf similarity*). Formula ini memperhitungkan variabel yang bersifat menyerang diantaranya tinggi gelombang, jumlah gelombang, periode gelombang, dan variabel yang menahan diantaranya sudut kemiringan struktur, permeabilitas. Pengujian Vander Meer (1988b), menunjukkan bahwa permeabilitas akan mempengaruhi stabilitas lapis lindung dan tergantung pada ukuran lapisan batuan, lapisan filter berikut inti (*cor*). Koefisien permeabilitas yang digunakan disini tidak mempunyai arti fisik, tetapi dimasukkan kedalam rumus untuk memastikan bahwa permeabilitas struktur tersebut sudah diperhitungkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar nilai permeabel pada lapisan batuan pada struktur maka stabilitas lapis lindung semakin lebih tinggi. Besaran permeabilitas berkisar antara 0,1 sampai 0,6, dan dapat meningkatkan stabilitas sebesar 35 persen. Disamping formula untuk jenis unit lapis lindung batu, juga mengembangkan formula yang berlaku untuk jenis unit lapis lindung buatan yaitu kubus, tetrapod dan accropod, dimana angka stabilitas hanya memperhitungkan tingkat kerusakan, jumlah gelombang tinggi gelombang dan panjang gelombang, dan belum memperhitungkan tipe gelombang pecah.

Lebih lanjut hasil penelitian dengan percobaan skala besar dimana angka stabilitas, adalah berbanding lurus faktor stabilitas upgrading, faktor stabilitas vander meer yang tergantung pada permeabilitas, tingkat kerusakan, jumlah gelombang, dan sudut kemiringan struktur dan berbanding terbalik terhadap angka iribarren (Pilarczyk, 1990). Formula ini merupakan kombinasi dengan formula Vander Meer dan berlaku untuk material batuan., dari formula yang dikemukakan tersebut nampak bahwa ada beberapa variabel yang masih diabaikan diantaranya variabel sudut datang gelombang.

Besaran angka stabilitas ( $N_s$ ), disamping tergantung pada nilai koefisien kerusakan ( $K_D$ ) dan sudut kemiringan struktur, juga tergantung pada sudut datang gelombang. (Yu-Xiu Yu,dkk, 2002). Formula ini merupakan modifikasi dari formula Hudson, dimana variabel sudut datang gelombang, mempunyai pengaruh terhadap stabilitas. Dari hasil penelitian, dijelaskan bahwa semakin besar atau tumpul sudut datang gelombang, maka kecenderungan semakin banyak yang rusak pada unit lindung buatan (tetrapod, dolos), tetapi untuk unit lapis lindung batu alam kecenderungan rusak tidak banyak perubahan.

Berdasarkan uraian dari berbagai formula seperti yang telah disebutkan maka selain variabel tipe gelombang, periode gelombang, jumlah gelombang, sudut datang gelombang, sudut kemiringan struktur, permeabilitas masih diperhitungkan secara parsial oleh peneliti sebelumnya. Juga pengaruh variabel porositas, koefisien lapisan yang menginterpretasikan sifat saling mengunci (*interlocking*) belum diperhitungkan oleh peneliti sebelumnya.

Maksud penelitian ini adalah untuk mendapatkan formula angka stabilitas lapis lindung pemecah gelombang akibat gelombang tak pecah. Sedangkan tujuannya adalah menguji variabel-variabel yang mempengaruhi angka stabilitas ( $N_s$ ) dari unit lapis lindung pemecah gelombang antara lain meliputi tinggi gelombang, periode gelombang, sudut kemiringan struktur, jumlah gelombang, tingkat kerusakan, sudut datang gelombang, koefisien lapisan, dan porositas.

## METODE PENELITIAN

### Tempat Penelitian

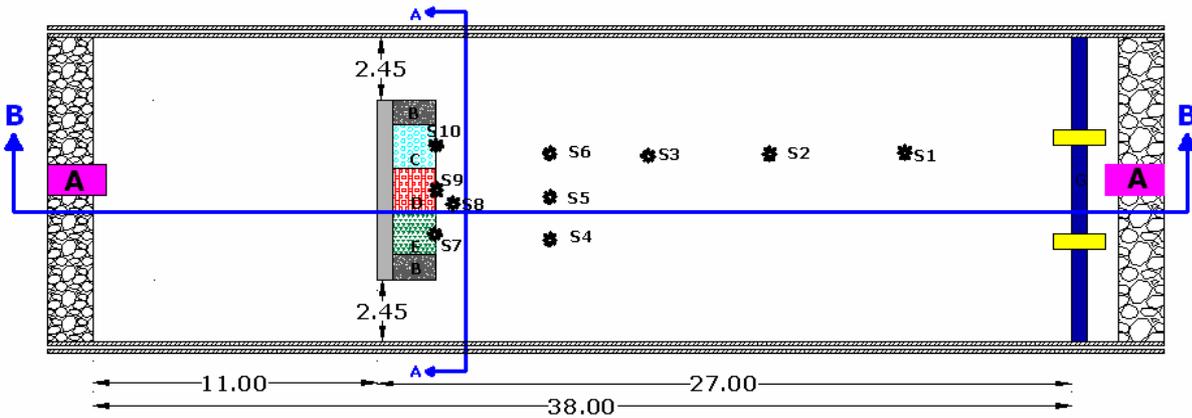
Penelitian dilakukan di Laboratorium Pengkajian Teknik Pantai (LPTP) berupa Kolam Gelombang (*Wave Basin*) milik Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), dengan alamat Jalan Grafika Sekip Bulak sumur P.O. Box 42, Yogyakarta 55281. Indonesia. Sedang waktu penelitian dilaksanakan selama kurang lebih 4 bulan.

### Pelaksanaan Penelitian

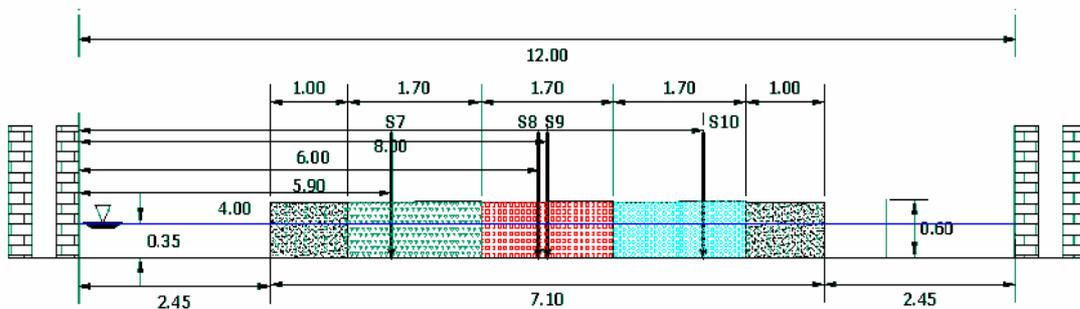
Kolam gelombang yang digunakan untuk penelitian berukuran panjang 38 m dan lebar kolam adalah 12 m. Penempatan model pemecah gelombang dipasang pada posisi 27 m, terhadap papan gelombang. Lebar model pemecah gelombang total 7,1 m, masing-masing 1,7 m, baik untuk benda uji tetrapod, kubus dan batu dan 1 m, kanan kiri di isi batu blondos. Ukuran model pemecah gelombang yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah tinggi 60 cm, lebar puncak 20 cm, lebar dasar 80

cm, dengan kemiringan 1 : 1 dan kemiringan 1 : 2. Untuk mengetahui pengaruh sudut datang gelombang maka model pemecah gelombang dipasang pada sudut  $0^{\circ}$ , sudut  $15^{\circ}$  dan sudut  $30^{\circ}$ . Penempatan sensor dipasang sejumlah 10 (sepuluh) dan dipasang sesuai obyek penelitian, diantaranya 3 (tiga) sensor ditempatkan pada masing-masing benda uji tetrapod, kubus dan batu pecah. Sedangkan sisanya sejumlah 7 (tujuh) ditempatkan secara merata pada kolam

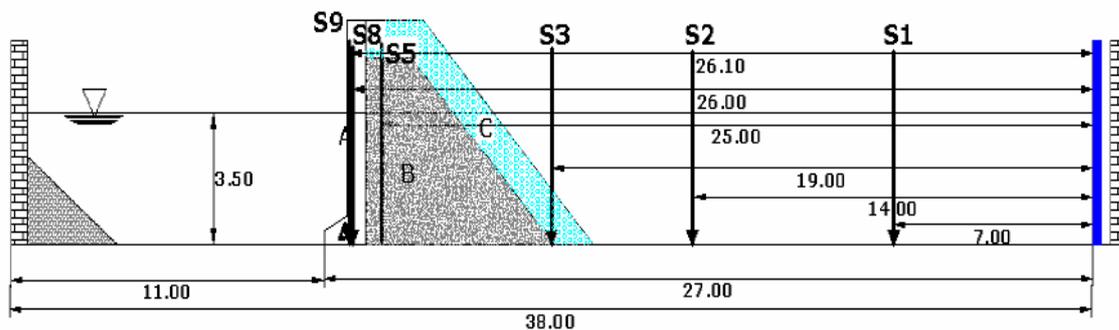
gelombang, sehingga diperkirakan bangkitan gelombang yang terjadi dapat tercatat dengan baik. Untuk lebih jelasnya contoh penempatan model dan sensor dapat dilihat dalam Gambar 1. yaitu tentang denah titik sensor dan pemecah gelombang untuk sudut datang  $0^{\circ}$ , sedangkan potongan melintang (A-A) dapat dilihat pada Gambar 2 dan potongan memanjang (B-B) dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini :



Gambar 1. Denah titik sensor dan pemecah gelombang , sudut datang  $0^{\circ}$



Gambar 2. Potongan melintang (A-A)

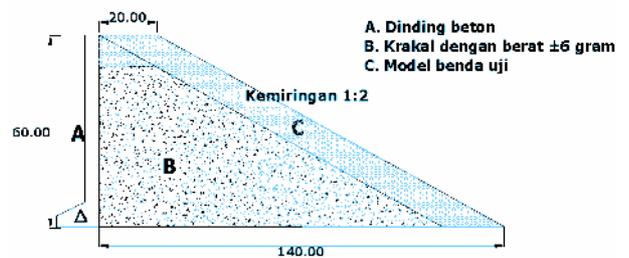


Gambar 3. Potongan memanjang (B-B)

Sedangkan detail model pemecah gelombang pada kemiringan 1 : 2, dapat dilihat pada Gambar 4, dengan A adalah peredam gelombang, B adalah batu pecah bebas masing-masing lebarnya 1 m, C adalah model benda uji batu pecah lebarnya 1,7 m, D adalah model benda uji kubus lebarnya 1,7 m, E adalah model benda uji tetrapod lebarnya 1,7 m, F adalah pembangkit gelombang (*wave generator*), S1...n adalah Sensor no =1 sampai sensor ke n. Sedangkan Gambar 5, berupa contoh pemasangan model pemecah gelombang, menata model benda uji tetrapod, kubus dan batu pecah sesuai bentuk dan warnanya.

Sesuai rancangan penelitian bahwa untuk *running* penelitian akan dilakukan di setiap perubahan variable yaitu kemiringan 1 : 1 dan 1 : 2, perubahan sudut arah gelombang  $0^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ , dan  $30^{\circ}$ , kemudian setiap perubahan jumlah gelombang ( N ) yaitu N = 1000 dan N = 2500. Kemudian setiap perubahan tinggi dan periode gelombang masing – masing H = 12 cm dan H = 14 cm dan periode T = 1,1 detik dan T = 1,4 detik. Masing – masing perubahan setiap parameter tersebut dilaksanakan dengan perulangan 3 (tiga) kali percobaan. Sehingga jumlah waktu yang dibutuhkan pada kondisi gelombang tak pecah adalah 3516 menit. Ulangi setiap perubahan variabel – variabel tersebut sehingga diperoleh 144 data untuk kondisi gelombang tak pecah.

Sesuai rancangan penelitian bahwa untuk *running* penelitian akan dilakukan di setiap perubahan variable yaitu kemiringan 1 : 1 dan 1 : 2, perubahan sudut arah gelombang  $0^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ , dan  $30^{\circ}$ , kemudian setiap perubahan jumlah gelombang ( N ) yaitu N = 1000 dan N = 2500. Kemudian setiap perubahan tinggi dan periode gelombang masing – masing H = 12 cm dan H = 14 cm dan periode T = 1,1 detik dan T = 1,4 detik. Masing – masing perubahan setiap parameter tersebut dilaksanakan dengan perulangan 3 (tiga) kali percobaan. Sehingga jumlah waktu yang dibutuhkan pada kondisi gelombang tak pecah adalah 3516 menit. Ulangi setiap perubahan variabel – variabel tersebut sehingga diperoleh 144 data untuk kondisi gelombang tak pecah.



Gambar 4. Detail pemecah gelombang kemiringan 1:2



Gambar 5. Foto Pemasangan Model Pemecah Gelombang

### Analisis Data Gelombang Laboratorium

Untuk mendapatkan tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang, dihitung dengan menggunakan metode *zero upcrossing*. Urutan analisis metode tersebut adalah pertama-tama tetapkan elevasi rerata dari permukaan air berdasarkan fluktuasi muka air pada waktu pencatatan, dimana muka air tersebut didefinisikan sebagai garis nol. Kemudian kurva gelombang ditelusuri dari awal sampai akhir.

Untuk keperluan penelitian ini tinggi dan periode gelombang signifikan adalah  $H_{33}$  atau tinggi rerata dari 1/3 nilai tertinggi dari pencatatan gelombang; yang juga disebut sebagai tinggi gelombang signifikan. Cara yang sama juga digunakan untuk periode gelombang.

**Analisis Porositas ( n ) Dan Koefisien Lapisan ( C )**

Porositas (Po), merupakan perbandingan antara volume rongga dengan volume keseluruhan.

$$Po = \frac{V_v}{V} \tag{1}$$

dengan

- Po = porositas
- V<sub>v</sub> = volume rongga (m<sup>3</sup>)
- V = volume keseluruhan (m<sup>3</sup>)

Pengujian ini dilakukan pada benda uji tetrapod, kubus dan batu pecah, masing-masing dalam kondisi kering. Koefisien lapisan dihitung dengan rumus

$$C = \frac{t}{Po \cdot Dn} \tag{2}$$

- dengan t = tebal lapisan (m)
- Dn = diameter nominal.

**Penurunan Formula Stabilitas**

Pada analisis dimensi menggunakan pendekatan metode Buckimhang (*phi-theorema*). Variabel yang mempunyai pengaruh terhadap stabilitas adalah hubungan fungsional antara angka stabilitas dengan variabel *surf similarity*, porositas, tingkat kerusakan, jumlah gelombang, koefisien lapisan, sudut datang gelombang. Berdasarkan hasil seleksi variabel-variabel yang mempengaruhi dalam analisis stabilitas adalah variabel tanpa dimensi.

Secara matematis hubungan fungsional antara N<sub>s</sub> dengan variabel P<sub>o</sub>, d, N, C dan Cot α, Cos θ, ξ<sub>z</sub>, dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$N_s = f(P_o, d, N, C, Cot \alpha, Cos \theta, \xi_z) \tag{3}$$

dengan

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta \cdot Dn} = \text{angka stabilitas}$$

$$\xi = \left( \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_z}} \right) = \text{bilangan Iribarren}$$

$$S_z = \frac{2\pi H_s}{g T_z^2} = \text{wave steepness}$$

- Dn = diameter nominal (m)
- α = sudut kemiringan struktur (°)
- d = tingkat kerusakan,
- Po = porositas,
- C = koefisien lapisan,
- S<sub>z</sub> = wave steepness

- H<sub>s</sub> = tinggi gelombang signifikan (m)
- T<sub>z</sub> = periode gelombang (detik)
- g = percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)
- N = jumlah gelombang,
- θ = sudut datang gelombang (°)
- Δ = rapat masa relatif.

**ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

**Tinggi Gelombang Dan Periode Gelombang**

Berdasarkan hasil running diperoleh hasil pencatatan gelombang sebanyak 144 data tipe gelombang tidak pecah. Besaran tinggi gelombang dan periode gelombang signifikan yang digunakan dalam penelitian ini adalah berdasarkan metode *zero upcrossing*. Hasil perhitungan tinggi gelombang, periode gelombang dan kerusakan pada gelombang tak pecah dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Perhitungan Tinggi gelombang, Periode gelombang dan kerusakan

| No | Benda Uji | Tinggi Gelombang<br>( m ) |        |          | Periode Gelombang<br>( detik ) |       |          | Kerusakan<br>( % ) |       |          | No. sensor |
|----|-----------|---------------------------|--------|----------|--------------------------------|-------|----------|--------------------|-------|----------|------------|
|    |           | H mak                     | H min  | H rerata | T mak                          | T min | T rerata | d mak              | d min | d rerata |            |
| 1  | Benda Uji | 0,1306                    | 0,0765 | 0,1036   | 1,757                          | 1,11  | 1,4333   | 7,41               | 0,21  | 3,81     | 8          |
| 2  | Kubus     | 0,1059                    | 0,0701 | 0,088    | 1,647                          | 1,13  | 1,3883   | 4,88               | 0,42  | 2,65     | 9          |
| 3  | Batu      | 0,1481                    | 0,0783 | 0,1132   | 1,703                          | 1,12  | 1,4117   | 6,84               | 0,61  | 3,73     | 10         |

Sumber: Hasil analisis

**Porositas Dan Koefisien Lapisan Benda Uji**

Berdasarkan uji porositas untuk masing-masing benda uji batu pecah, kubus dan tetrapod diperoleh nilai porositas sebesar 45,764 persen untuk benda uji batu pecah, 48,114 persen untuk benda uji kubus dan 62,888 persen untuk benda uji tetrapod.

Hasil koefisien lapisan untuk benda uji batu pecah dengan berat (W) = 0,170 kg, berat jenis (γ s) = 2508,82 kg/m<sup>3</sup>, diameter nominal (Dn) = 0,041m, tebal lapisan (t) = 0,083 m (dua lapisan) adalah sebesar (C) = 1,01163.

Koefisien lapisan untuk benda uji kubus dengan berat (W) = 0,234 kg, berat jenis (γ s) = 2500,00 Kg/m<sup>3</sup>, diameter nominal (Dn) = 0,04955 m, tebal lapisan (t) = 0,1018 m (dua lapisan) adalah sebesar (C) = 1,02674.

Koefisien lapisan untuk benda uji tetrapod dengan berat (W) = 0,067 kg, berat jenis (γ s) = 2208,02 Kg/m<sup>3</sup>, diameter nominal (Dn) = 0,03143 m, tebal lapisan (t) = 0,0828 m (dua lapisan) adalah sebesar (C) = 1,31652).

### Formulasi Model Angka Stabilitas

Secara matematis hubungan fungsional antara  $N_s$  dengan variabel-variabel ( $P_o, d, N, C, Cot \alpha, Cos \theta, \xi_z$ ) dapat dinyatakan sebagai berikut

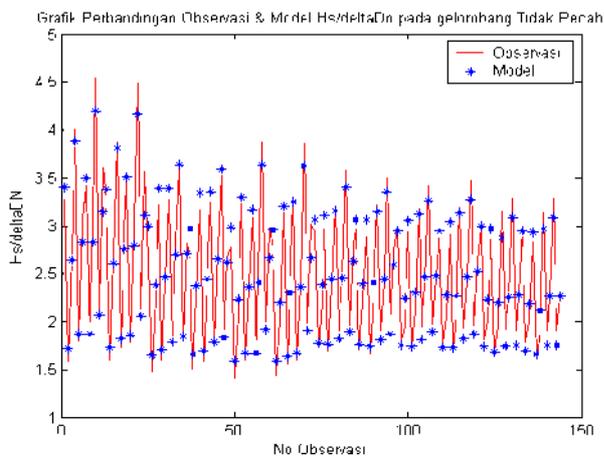
$$N_s = a.f (P_o, d, N, C, Cot \alpha, Cos \theta, \xi_z) \quad (4)$$

Untuk mendapatkan formulasi model digunakan analisis regresi metode kuadrat terkecil dengan menggunakan paket program *matlab versi 6.5*.

Berdasarkan hasil tersebut di atas, maka diperoleh model persamaan regresi non linear, kondisi gelombang tak pecah adalah

$$N_s = 0,0374 P_o^{4,1580} d^{0,0486} N^{-0,0278} C^{7,3935} (\cos \theta)^{0,5385} \xi_z^{-0,4640} \dots\dots\dots(5)$$

dengan  $N_s$  = angka stabilitas,  $P_o$  = porositas,  $d$  = tingkat kerusakan,  $N$  = jumlah gelombang,  $C$  = koefisien lapisan,  $\cos \theta$  = sudut datang gelombang,  $\cot \alpha$  = sudut kemiringan struktur,  $\xi_z$  = *surf similarity*



Gambar 6. Perbandingan data Observasi dengan model

Hasil evaluasi dengan membandingkan formula Hudson, formula Vander Meer dan formula Hudson modifikasi dengan jenis unit lapis lindung yaitu jenis batu, kubus dan tetrapod nampak bahwa formula Baru, angka stabilitas ( $N_s$ ) kecenderungan lebih kecil, dibandingkan formula Vander Meer, formula Hudson maupun Hudson. modifikasi pada sudut kemiringan struktur ( $\cot 1$ ), sampai ( $\cot 3$ ).

### SARAN

a. Mengingat penelitian ini diasumsikan struktur ambang tinggi, maka dapat dilakukan penelitian

dengan asumsi struktur ambang rendah, Struktur dinamis dan memperhitungkan berm, tetapi sudah memperhitungkan berbagai variabel koefisien lapisan, porositas, sudut kemiringan struktur, tinggi gelombang, periode gelombang, jumlah gelombang, tingkat kerusakan dan sudut datang gelombang.

b. Perlu melakukan penelitian dengan memperhitungkan lapisan sekunder (Inti) yang menjadi satu kesatuan dengan lapisan primer.

### DAFTAR PUSTAKA

Hudson, R.Y. 1958., “*Design of Quarry Stone Cover Layer for Rubble Mound Breakwaters,*” US Army Corps of Engineers, W.E.S., Research Report 2-2.

Iribarren, C. 1938., “*Una Formula par el Calculo de Diques de Escollera ,*” Revista de Obras Publicas.

Joseph M. Caldwell, 1978., “*Failure of The Breakwater at Port Sines, Portugal*”. Published by American Society of Civil Engineers, 345 East 47<sup>th</sup>, Street New York, New York 10017.

Pilarczyk, K.W. 1990., “*Coastal Protection,*” A.A, Balkema Publiscer, Rosterdam.

Sriyana, 2007., “*Formula Baru Unit Lapis Lindung Pemecah Gelombang akibat Gelombang Tak Teratur,*” Disertasi Program Doktor, Program Pasca Sarjana, Universitas Diponegoro.

Vander Meer, J. W. 1988a., “*Rock Slope and Gravel Beaches under Wave Attack,*” Delt Hydraulics Comunication No.396.

Vander Meer, J. W. 1988b., “*Stability of cubes, tetrapods and Accropode,*” Proceedings Breakwaters '88, Eastbourne, UK.

Yu-Xiu-Yu, Shu-Xue-Liu, Chuan-Hua Zhu, .2002., “*Stability of Armour Units on Rubble-Mound Breakwater Under Multy Multy-directional Waves,*” Coastal Engineering Journal vol 44, no ; 2, pp 179 -201. Japan Society Of Civil Engineering (JSCE).

Zwamborn, J.A. 1979., “*Analysis of Couses of Damage to Sines Breakwater,*” Proceeding Coastal Structures 79, Vol. 1. ASCE, Alexandria, Virginia, March (1979).