

UJI MODEL PEMECAH GELOMBANG *RUBBLE MOUND* BERBASIS REKAYASA PROFIL LERENG

Muhammad Fadly¹, Muhammad Arsyad Thaha², Farouk Maricar²

¹Staf PNS, BPSPL Makassar, Ditjen PRL, Kementerian Kelautan dan Perikanan

²Dosen Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin

Email: dedet.tekla.uh@gmail.com

Abstrak

Batuan pelindung pemecah gelombang *rubble mound* umumnya direncanakan dengan menggunakan konsep stabil statis melalui persamaan Hudson, akan tetapi ukuran batuan yang diperoleh sangat besar dan sulit diperoleh dilapangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kemiringan struktur (θ), tinggi gelombang (H), periode gelombang (T), dan kedalaman (d) terhadap pembentukan profil lereng yang stabil pada pemecah gelombang *rubble mound* yang menggunakan batu pecah berukuran kecil. Penelitian model fisik dengan skala 1:20 dilakukan di Laboratorium Hidrolika dan Teknik Pantai, Jurusan Sipil, Unhas. Model pemecah gelombang sisi miring dengan kemiringan 1:1 dan 1:2 dibuat dari batu pecah dengan ukuran batu $D_{50} = 0,33$ cm dan $D_{50} = 0,725$ cm. Ukuran tersebut diperkecil rata-rata 5,7 kali dan 3,2 kali dari perhitungan berdasarkan metode Hudson, disimulasikan dalam 2 macam kedalaman (d), dengan 24 macam tinggi dan periode gelombang (Hi & T) dengan jumlah gelombang 2000-4000. Hasil penelitian menunjukkan lereng pemecah gelombang yang diuji mencapai kondisi stabil dengan profil persamaan $y = -y_1x^3 - y_2x^2 + y_3x + y_4$ dan faktor y_1, y_2, y_3 dan y_4 memiliki korelasi cukup, kuat dan sangat kuat terhadap bilangan tak berdimensi $H^3 [dDgT^2]^{-1} [\cot \theta]^{-1}$. Persamaan yang diperoleh dapat digunakan untuk memperkirakan profil lereng pemecah gelombang *rubble mound* dengan ukuran batuan yang telah diperkecil dalam rentang diameter tertentu.

Kata Kunci: Pemecah gelombang, *rubble mound*, profil lereng

PENDAHULUAN

Pemecah Gelombang dengan menggunakan material batu pecah seringkali menemukan kendala di fase konstruksi. Hasil analisis konvensional dengan menggunakan persamaan Hudson seringkali memberikan berat unit armor yang cukup besar, dimana pada praktiknya batuan berukuran sangat besar sulit ditemukan terlebih pada daerah-daerah yang tidak memiliki *quarry* yang memadai baik secara kualitas maupun kuantitas.

Pemecah gelombang *rubble mound* merupakan pemecah gelombang yang banyak digunakan di Indonesia sebab sebagian besar dasar laut di perairan Indonesia terdiri dari tanah lunak (*soft clay*) serta tersedianya batu alam sebagai bahan utama pemecah gelombang. Pada bagian atas Pemecah gelombang *rubble mound* dilengkapi dengan dinding beton yang berfungsi untuk menahan limpasan air di atas bangunan (Pratikto dkk., 1997).

Desain pemecah gelombang konvensional umumnya mengacu pada kondisi stabilitas statis dimana tidak diperkenankan terjadinya kerusakan unit sedikitpun. Tingkat kerusakan sendiri didefinisikan sebagai perpindahan dari unit batu pelindung (*armor*) (Meer, 1995).

Menurut Meer (1995), struktur pemecah gelombang *rubble mound* dapat diklasifikasikan berdasarkan parameter $H/\Delta D$ dimana, H adalah tinggi gelombang, Δ adalah kerapatan relatif massa dan D adalah karakteristik diameter batuan pelindung. Semakin kecil parameter $H/\Delta D$ maka menyebabkan semakin besar unit batuan pelindungnya.

Struktur dengan konsep stabil dinamis adalah struktur yang lebih menekankan terhadap perubahan profil lereng yang terjadi. Pada konsep ini, unit batuan pelindung akan bergerak secara dinamis sampai dengan terbentuknya keseimbangan yang dikenal dengan istilah *equilibrium profile*. Keseimbangan ini terbentuk diawali dengan bergesernya batuan pelindung akibat gaya gelombang yang terjadi sehingga terdapat bagian lereng yang hilang dan terdapat bagian lereng yang bertambah di daerah dasar. Unit batuan pelindung akan terus bergerak naik (*run up*) dan turun (*run down*). Ketika *net transport capacity* menjadi nol, maka profil mencapai keseimbangan (Meer, 1995).

Berdasarkan persamaan Hudson (1959), koefisien stabilitas dipengaruhi oleh empat variabel yaitu gelombang, berat material, fluida dan geometri struktur. Periode, tinggi, dan jumlah gelombang merupakan karakter gelombang. Menurut Rabung & Hinwood (1993), stabilitas profil lereng pemecah gelombang *rubble mound* tergantung pada



stabilitas massa batuan, sementara Ergin et al. (2010), menyatakan bahwa pemecah gelombang *rubble mound* tipe *berm* dengan kemiringan 1:2 dan terbagi pada 3 lereng memberikan kerusakan 90 persen lebih sedikit dibanding dengan kemiringan tunggal satu lereng. Subba et al. (2008), mencoba mengurangi mengurangi berat unit batu pelindung 20 persen lebih ringan dari berat batu pelindung yang dihitung dengan menggunakan persamaan Hudson untuk tinggi gelombang model 0,1 meter pada pemecah gelombang tipe *berm* dengan lebar 0,6 meter pada kedalaman 0,32 meter. Kemiringan di depan pemecah gelombang divariasikan menjadi 1:2 dan 1:1,5 kemudian dianalisis kemiringan lerengnya. Mandal et al. (2012), menggunakan metode proyeksi dengan berbasis *Artificial Neural Network* (ANN), *Support Vector Machine* (SVM) dan *Adaptive Neuro Fuzzi Inference System* (ANFIS) untuk memperkirakan profil lereng hasil pemecah gelombang tipe *berm* yang diuji dengan dengan model pada *flum* dengan variasi tinggi gelombang, periode dan berat batuan.

Upaya mereduksi ukuran batu dan merekonstruksi geometri struktur pemecah gelombang untuk mendapatkan keseimbangan profil stabil dinamis merupakan tantangan bagi peneliti/perencana mengingat belum adanya panduan baku mengenai perencanaan struktur dengan stabilitas dinamis, terlebih acuan desain yang ada sebagian besar membahas mengenai *berm breakwater*.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hubungan antara pengurangan berat batuan lindung yang menggunakan konsep pemecah gelombang statis, kemiringan pemecah gelombang, tinggi gelombang dan kedalaman muka air terhadap pembentukan profil lereng yang terjadi yang dinyatakan dalam hubungan persamaan profil lereng dengan bilangan tak berdimensi.

BAHAN DAN METODE

Lokasi dan Rancangan Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Hidraulika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Gowa.

Metode Pengumpulan Data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan melakukan pengujian model fisik di laboratorium. Model fisik diuji dengan serangan gelombang di *flume* dengan memvariasikan beberapa variabel yaitu berat unit *armor*, kemiringan struktur, tinggi muka air dan beberapa variasi tinggi gelombang untuk memperoleh profil lereng yang telah seimbang. Pergerakan unit batuan yang membentuk profil lereng dapat dipantau dan dicatat, atau lebih mudah dengan cara difoto atau film. Pada metode ini, perpindahan unit batuan harus didasarkan pada kriteria tertentu, misalnya tidak bergerak, bergerak tapi tidak berpindah, berpindah dari posisi semula dengan jarak tertentu (CERC, 1984).

Berat unit *armor* umumnya dihitung dengan menggunakan konsep Pemecah Gelombang Stabilitas Statis dimana tidak mengijinkan adanya kerusakan pada unit batuan pelindungnya selama beban kondisi rencana bekerja (Meer, 1995). Kerusakan itu sendiri didefinisikan sebagai perpindahan unit batuan pelindung. Untuk itu massa batuan pelindung itu sendiri harus cukup besar untuk mampu bertahan terhadap kondisi-kondisi beban rencana. Kemiringan struktur sangat berpengaruh terhadap penentuan *run up* gelombang dimana *run up* gelombang dapat didekati dengan persamaan *Irribaren* (Triatmodjo, 2011). Tinggi muka air sangat berpengaruh terhadap acuan perubahan profil lereng yang merupakan ilustrasi dari pasang surut di alam. Tinggi gelombang merupakan faktor yang berperan terhadap kerusakan struktur. Tinggi gelombang yang semakin tinggi menyebabkan energi gelombang juga semakin besar sehingga tingkat kerusakan yang ditimbulkan pada struktur juga makin besar. Sesuai dengan energi gelombang, tinggi gelombang berpengaruh terhadap stabilitas struktur (Meer, 1995). Gaya gelombang dipengaruhi oleh kemiringan struktur. Pada kemiringan landai, gaya *impact* gelombang makin berkurang, Gaya gelombang makin berkurang maka stabilitas pemecah gelombang makin meningkat (Jensen, 1984).

Metode Analisis Data

Dalam melakukan analisis data, metode yang digunakan adalah melakukan analisis dengan konsep analisis bilangan tak berdimensi dari model uji untuk memperoleh hubungan parameter dimensi batuan lindung, kemiringan, tinggi gelombang terhadap pembentukan profil lereng. Hubungan antara model dan prototipe diturunkan dengan skala, untuk masing-masing parameter mempunyai skala tersendiri dan besarnya tidak sama. Dalam konsep analisis bilangan tak



berdimensi, model dan prototipe harus memenuhi kriteria kesebangunan geometrik, kesebangunan kinematis serta kesebangunan dinamis.

Bilangan tak berdimensi (*Non Dimensional Parameters* = NDP) digunakan untuk menyatakan hubungan antar parameter serta dipakai untuk menggambarkan hasil-hasil penelitian. Untuk menentukan bilangan tak berdimensi tersebut dapat dilakukan dengan analisis dimensi. Analisis dimensi (*dimensional analysis*) yaitu suatu analisis yang dilakukan dengan tujuan disamping untuk mendapatkan bilangan tak berdimensi, juga untuk mereduksi jumlah parameter yang berpengaruh dalam masalah. Analisis dimensi dapat membantu menentukan bentuk hubungan tak berdimensi antara parameter-parameter tersebut.

Beberapa cara/metode yang umum digunakan dalam analisis dimensi yaitu metode *Basic echelon matrix*, metode *Buchingham*, metode *Rayleigh*, metode *Stepwise* dan metode *Langhaar* (Yuwono, 1994). Untuk penelitian ini digunakan metode *Basic echelon matrix*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Simulasi Model

Parameter simulasi meliputi karakteristik gelombang (H_i & T), diameter tengah butiran batu (D_{50}), kemiringan breakwater ($Cot \theta$), dan kedalaman air (d). Tabel 1 menyajikan nilai-nilai parameter simulasi yang digunakan untuk menguji dan mendapatkan profil lereng stabil model pemecah gelombang.

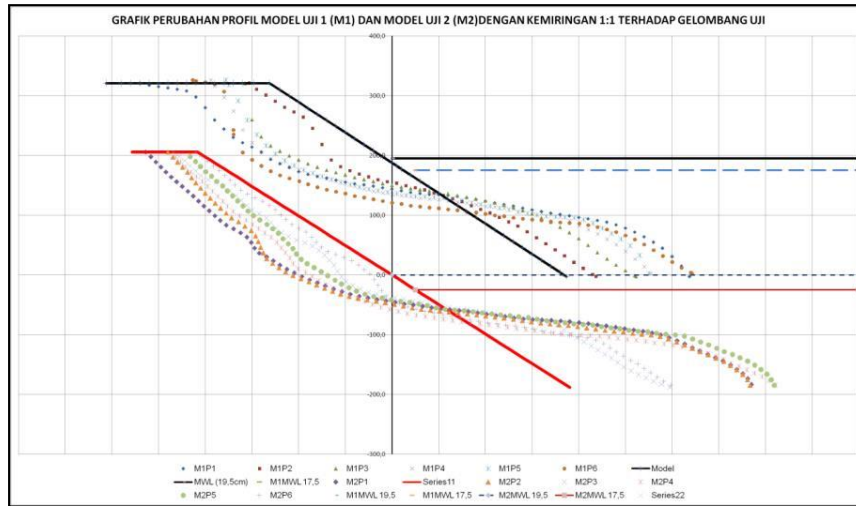
Tabel 1. Hasil Pengamatan Model Uji Pemecah Gelombang

Profil	Kedalaman	Kemiringan	Model Uji 1 ($D_{50} = 0,31$ cm)		Model Uji 2 ($D_{50} = 0,73$ cm)	
			T (s)	Hi (cm)	T (s)	Hi (cm)
P	d (cm)	Ctg θ				
1	19,5	1,0	1,4	6,2	1,7	7,5
2	19,5	1,0	2,1	2,8	1,4	7,3
3	19,5	1,0	2,6	4,8	1,5	7,2
4	17,5	1,0	2,2	4,4	1,7	6,7
5	17,5	1,0	3,9	4,8	1,4	6,5
6	17,5	1,0	3,1	4,4	1,5	6,3
7	19,5	2,0	1,3	5,3	1,7	7,5
8	19,5	2,0	1,4	6,8	1,4	7,3
9	19,5	2,0	1,7	6,4	1,5	7,2
10	17,5	2,0	2,5	5,0	1,8	6,7
11	17,5	2,0	1,6	5,8	1,6	6,5
12	17,5	2,0	1,3	4,6	1,9	6,3

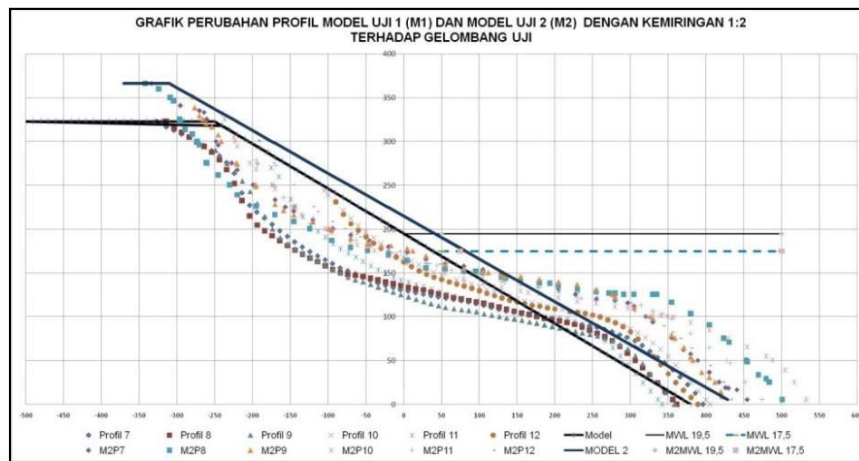
Sumber : Hasil pengolahan data (2015)

Hasil Simulasi Model

Model pemecah gelombang yang disimulasi adalah tipe *rubble mound* dengan dibagi pada dua kondisi model uji berdasarkan parameter diameter yaitu model uji 1 dengan tumpukan batu $D_{50} = 0,725$ cm dan model uji 2 dengan tumpukan batu $D_{50} = 0,313$ cm. Masing-masing model uji memvariasikan kemiringan dinding 1:1 dan 1:2. Selain itu model diuji pada 2 kedalaman air masing-masing 19,5 cm dan 17,5 cm. Tinggi gelombang yang diujikan bervariasi dari rentang 2,8 cm sampai dengan 7,5 cm dengan periode gelombang pada rentang 1,3 detik sampai dengan 3,9 detik. Gambar 1 dan Gambar 2 memperlihatkan hasil pengujian model untuk model uji 1 dan model uji 2. Pada gambar terlihat profil lereng awal sebelum diberi gelombang (kurva lurus) dan profil lereng stabil.



Gambar 1. Grafik Perubahan Profil Lereng Model Uji(M1) dan Model Uji 2 (M2) dengan kemiringan 1:1



Gambar 2. Grafik Perubahan Profil Lereng Model Uji 1 (M1) dan Model Uji 2 (M2) dengan kemiringan 1:2

Profil Lereng

Setelah model dibiarkan berinteraksi dengan gelombang untuk beberapa lama, akhirnya diperoleh profil stabil untuk masing-masing model uji seperti di tunjukkan dalam Gambar 1 dan Gambar 2. Dengan demikian, maka tujuan penelitian untuk mendapatkan profil stabil untuk semua kondisi simulasi telah diperoleh dalam gambar tersebut. Persamaan matematis yang menggambarkan bentuk profil tersebut masing-masing dapat dilihat pada tabel 2 dan tabel 3. Dari tabel tersebut terlihat bahwa profil lereng stabil yang terbentuk pada semua kondisi simulasi mendekati persamaan polinomial berpangkat tiga yang dapat ditulis secara umum: $y = -y_1x^3 + y_2x^2 - y_3x + y_4$ dimana x adalah jarak horizontal pada bangunan pemecah gelombang dan y = elevasi titik-titik pada lereng bentukan. Nilai faktor y_1 , y_2 , y_3 dan y_4 ditentukan oleh kemiringan struktur (θ), kedalaman relatif (H/d), periode gelombang (T), diameter relatif terhadap kedalaman (D/d), angka stabilitas batuan (H/D), kemiringan gelombang (H/gT^2). Tabel 2 dan Tabel 3 memperlihatkan persamaan polinomial orde 3 untuk masing-masing model uji.

Dari hasil analisis diketahui diketahui persamaan profil lereng yang terbentuk dari variasi diameter batuan lindung,

kemiringan pemecah gelombang, elevasi muka air pemecah gelombang, dan tinggi gelombang (H) dan Periode Gelombang (T) adalah persamaan polinomial orde 3 yaitu; $y = -y_1x^3 + y_2x^2 - y_3x + y_4$. Faktor y_1 , y_2 , y_3 dan y_4 mempunyai korelasi kuat dan sangat kuat terhadap bilangan tak berdimensi $H^3 [dDgT^2]^{-1} [\cot \theta]^{-1}$ yang ditunjukkan melalui Tabel 4. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara perubahan profil yang terjadi terhadap perubahan diameter batuan lindung, kemiringan pemecah gelombang, elevasi muka air pemecah gelombang, dan tinggi gelombang (H) dan Periode Gelombang (T). Persamaan yang diperoleh dapat digunakan untuk memperkirakan profil lereng pemecah gelombang *rubble mound* dengan ukuran batuan yang telah diperkecil dalam rentang diameter tertentu berdasarkan percobaan yaitu dalam rentang perkecilan ukuran batuan 3,2 kali sampai dengan 5,7 kali dari ukuran batuan yang diperoleh dengan menggunakan persamaan Hudson.

Tabel 2. Persamaan Profil Lereng Uji Model 1

Profil	Persamaan Profil Uji Model 1	R
1	$y = -0,000004x^3 + 0,000844x^2 - 0,242470x + 143,784652$	0,994
2	$y = -0,000012x^3 + 0,001911x^2 - 0,599628x + 156,72291$	0,995
3	$y = -0,000011x^3 + 0,001608x^2 - 0,278050x + 146,013459$	0,990
4	$y = -0,000010x^3 + 0,001888x^2 - 0,194860x + 129,986228$	0,996
5	$y = -0,000011x^3 + 0,002385x^2 - 0,229697x + 130,073741$	0,993
6	$y = -0,000008x^3 + 0,002110x^2 - 0,224368x + 111,861461$	0,989
7	$y = -0,000002x^3 + 0,000631x^2 - 0,241320x + 134,557732$	0,994
8	$y = -0,000003x^3 + 0,000602x^2 - 0,186161x + 133,123631$	0,994
9	$y = -0,000004x^3 + 0,001028x^2 - 0,214694x + 120,929294$	0,998
10	$y = -0,000005x^3 + 0,002095x^2 - 0,495694x + 166,098866$	0,999
11	$y = -0,000006x^3 + 0,001636x^2 - 0,300552x + 137,975900$	0,998
12	$y = -0,000005x^3 + 0,002095x^2 - 0,495694x + 166,098866$	0,858

Sumber : Hasil pengolahan data (2015)

Tabel 3. Persamaan Profil Lereng Uji Model 2

Profil	Persamaan Profil Uji Model 2	R
1	$y = -0,000004x^3 + 0,001521x^2 - 0,303866x - 45,859813$	0,9993
2	$y = -0,000005x^3 + 0,002006x^2 - 0,337825x - 53,682746$	0,9982
3	$y = -0,000005x^3 + 0,001203x^2 - 0,515972x - 21,840937$	0,995
4	$y = -0,000004x^3 + 0,002008x^2 - 0,470908x - 54,566595$	0,9986
5	$y = -0,000005x^3 + 0,002224x^2 - 0,461786x - 39,397006$	0,9985
6	$y = -0,000003x^3 + 0,001580x^2 - 0,675525x - 20,279596$	0,9946
7	$y = -0,000002x^3 + 0,000593x^2 - 0,218972x + 173,568332$	0,9971
8	$y = -0,000002x^3 + 0,000737x^2 - 0,150452x + 159,792264$	0,9977
9	$y = -0,000003x^3 + 0,000792x^2 - 0,165750x + 169,878694$	0,9987
10	$y = -0,000002x^3 + 0,001081x^2 - 0,306176x + 157,520529$	0,9985
11	$y = -0,000003x^3 + 0,001109x^2 - 0,270502x + 164,554990$	0,997
12	$y = -0,000004x^3 + 0,001382x^2 - 0,294274x + 167,454981$	0,9993



Tabel 4. Hubungan antara variabel Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 terhadap $x = H^3 [dDgT^2]^{-1} [\cot \theta]^{-1}$

No	Model Uji	Variabel Terikat	Persamaan Regresi Linear	Nilai Korelasi	Interpretasi R (Sarwono,2006)
1	Model Uji 1	Y_1	$Y_1 = 0,01788x - 0,000009$	0.54	KUAT
		Y_2	$Y_2 = -4,416 x + 0,002$	0.72	KUAT
		Y_3	$Y_3 = 400,1x - 0,346$	0.45	CUKUP
		Y_4	$Y_4 = 21353x + 132,1$	0.60	KUAT
2	Model Uji 2	Y_1	$Y_1 = -0,011160x - 0,000002$	0.68	KUAT
		Y_2	$Y_2 = -3,91361x + 0,00077$	0.53	KUAT
		Y_3	$Y_3 = 787,3x - 0,212$	0.45	CUKUP
		Y_4	$Y_4 = -2826.4x + 312.89$	0.87	SANGAT KUAT

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa lereng pemecah gelombang yang diuji mencapai kondisi stabil dengan profil yang mengikuti persamaan $y = -y_1x^3 - y_2x^2 + y_3x + y_4$. Hasil analisis menunjukkan bahwa faktor y_1, y_2, y_3 dan y_4 adalah fungsi dari kemiringan struktur (θ), kedalaman relatif (H/d), periode gelombang (T), diameter relatif terhadap kedalaman (D/d), angka stabilitas batuan (H/D), kemiringan gelombang (H/gT^2). Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa faktor y_1, y_2, y_3 dan y_4 mempunyai korelasi cukup, kuat dan sangat kuat terhadap bilangan tak berdimensi $H^3 [dDgT^2]^{-1} [\cot \theta]^{-1}$ sehingga dapat digunakan untuk memperkirakan profil lereng dari batuan yang ukuran diameternya telah dikurangi 3,2 kali sampai dengan 5,7 kali dari ukuran batuan yang dihitung melalui persamaan Hudson.

DAFTAR PUSTAKA

- CERC, 1984, Shore Protection Manual, Woshington: Departement of The Army Waterway Experiment Station, Corps of Engineering Research Center, Fourth Edition, US Government Printing Office.
- Ergin, A. et al., 2010, Rubble Mound Breakwater with S-Shape Design. J. Waterway, Port Coastal, Ocean Engineering, 115 (5): 573-593.
- Hudson, R.Y., 1959, Laboratory Investigation of Rubble-Mound Wave breaker, Waterways and Harbor Division, Vol. 85 No. WW3.
- Jensen, 1984, A Monograph on Rubble Mound Wave Breaker, Denmark: Danish Hydraulic Institute.
- Mandal, et al., 2012, Damage Level Prediction of Non Re-Shaped Berm Breakwater using ANN, SVM and ANFIS, International Journal of Naval Architect Ocean Engineering, 4: 112-122.
- Meer, V., 1995, Conceptual Design of Rubble Mound Wave breaker. Coastal Ocean Engineering, 11: 219-239.
- Pratikto, W. dkk., 1997, Perencanaan Fasilitas Pantai dan Laut, Yogyakarta: BPFE.
- Rabung, F., and Hinwood, J.B., 1993, From Dynamics Sand Beach to Static Rubble Mound, Makassar, Hasanuddin University.
- Sarwono, 2006, Analisis Jalur untuk Riset dan Bisnis: dengan SPSS, Yogyakarta: Andi Offset.
- Subba et.al., 2008, Stability Aspects of Nonreshaped Berm Wave breaker with Reduce Armor Weight, Journal Waterway Port Coastal Ocean Engineering, 134 (2): 81-87.
- Triatmodjo, B., 2011, Perencanaan Bangunan Pantai, Yogyakarta: Beta Offset.
- Yuwono, N., 1994, Teknik Pantai, Yogyakarta: Beta Offset.

