

FORMULASI ANALITIS GAYA GELOMBANG PADA *HANGING BREAKWATER*

Chairul Paotonan¹, Sabaruddin Rahman¹, Hasdinar Umar¹, Taufiqur Rachman¹, Teguh Pairunan Putra²
dan Abdy Kurniawan²,

¹Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

²Pusat Penelitian dan Pengembangan Transportasi Laut, Sungai, Danau dan Penyeberangan

Email: paotonan_ch@yahoo.com

Abstract

Salah satu tipe pemecah gelombang yang potensial dikembangkan untuk mengatasi permasalahan pantai dan pelabuhan adalah *hanging breakwater*. Pemecah gelombang ini relatif murah dibandingkan pemecah gelombang tumpukan batu. Dilihat dari sisi biaya, pemecah gelombang ini relatif murah. Namun perlu dilakukan kajian untuk mengetahui parameter yang berpengaruh terhadap besarnya gaya gelombang yang bekerja pada bangunan ini. Penelitian ini adalah penelusuran pustaka terkait untuk menyusun formula yang dapat digunakan untuk menghitung gaya gelombang secara analitis pada *hanging breakwater*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gaya gelombang yang bekerja pada *hanging breakwater* dipengaruhi oleh parameter gelombang dan parameter struktur. Semakin besar nilai H_i/D dan D/h , semakin besar nilai C_G dan semakin besar nilai L/B untuk B konstan dan B/L untuk L konstan maka semakin kecil nilai C_G .

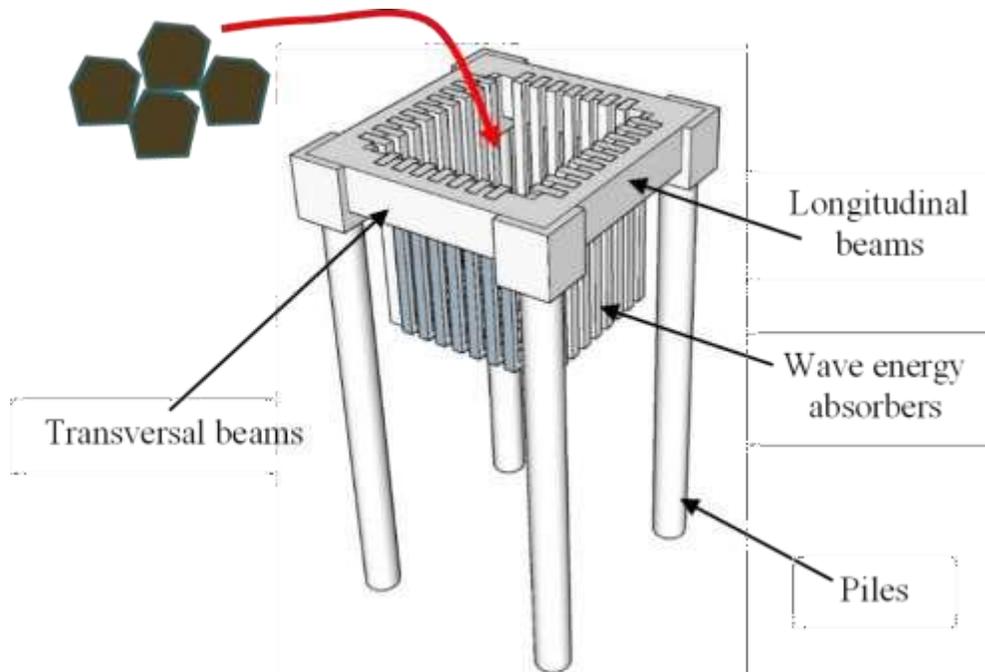
Keywords: *gaya gelombang dan hanging breakwater*

PENDAHULUAN

Bangunan pemecah gelombang membutuhkan biaya investasi yang tinggi. Pada sisi lain, pemecah gelombang sangat dibutuhkan untuk melindungi pelabuhan, terutama jika pelabuhan berada pada perairan laut yang terbuka. Umumnya jenis pemecah gelombang yang banyak diaplikasikan di Indonesia adalah pemecah gelombang tumpukan batu. Pemecah gelombang jenis ini sangat efektif dalam meredam gelombang. Kelemahannya adalah biaya pembangunan yang mahal. Selain itu, pemecah gelombang tipe ini menggunakan material batu alam yang cukup besar sehingga berpotensi mengganggu lingkungan akibat penambangan batu dengan ukuran yang relatif besar dan dalam jumlah yang banyak.

Salah satu tipe atau jenis pemecah gelombang yang dapat digunakan untuk melindungi kolam pelabuhan adalah *hanging breakwater*. Struktur ini terdiri dari 3 komponen utama, yaitu pondasi, bangunan atas dan peredam. Pondasi terbuat dari tiang pancang, bangunan atas terdiri dari balok memanjang dan melintang yang dapat dibuat dari material beton atau baja. Peredam terbuat dari beton atau baja dengan profil U yang diletakkan secara memanjang dan melintang. Peredam tersebut diisi dengan batu alam atau material lainnya. Adapun gambaran *hanging breakwater* dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.





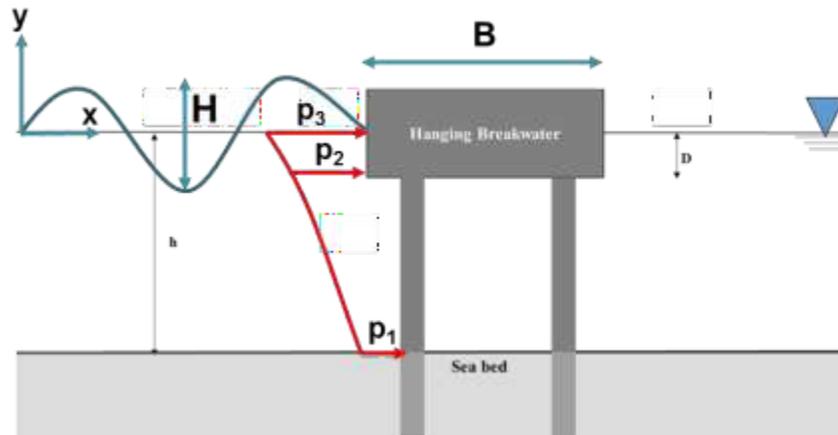
Gambar 1. Komponen *hanging breakwater*

Salah satu parameter yang sangat penting terkait *hanging breakwater* adalah gaya gelombang yang bekerja pada struktur tersebut. Gaya gelombang yang bekerja pada struktur *hanging breakwater* akan berpengaruh terhadap stabilitas struktur. Oleh sebab itu, perlu dilakukan kajian tentang untuk mendapatkan formulasi gaya gelombang yang bekerja pada *hanging breakwater*.

Beberapa penelitian yang mirip dengan penelitian ini, akan tetapi penelitian tersebut lebih fokus pada kinerja pemecah gelombang dalam meredam gelombang yang direpresentasikan oleh koefisien transmisi gelombang. Paotonan, dkk (2021) mengusulkan formula analitis untuk menghitung koefisien transmisi gelombang melalui *hanging breakwater*. Paotonan, dkk (2019a) dan (2019b) melakukan kajian eksperimental koefisien transmisi gelombang melalui sheetpile breakwater dan melaporkan bahwa transmisi gelombang melalui sheetpile dipengaruhi oleh sarat struktur, lebar gap struktur dan parameter gelombang meliputi tinggi dan periode gelombang. Penelitian lain yang terkait dengan transmisi gelombang adalah penelitian yang dilakukan oleh Wiegel, 1960, Heikal, 1997 and Koraim, A.S., 2005, Liu and Abbaspour, 1982 and Abul-Azm, 1993, Rageh and Koraim, 2010. dan Koraim A. S 2014.

FORMULASI GAYA GELOMBANG PADA HANGING BREAKWATER

Gaya gelombang yang bekerja pada *hanging breakwater* diformulasikan dengan mengakomodir tekanan gelombang pada gelombang linier. Distribusi tekanan gelombang linier atau amplitude kecil digambarkan seperti berikut:



Gambar 2. Distribusi tekanan gelombang linier

Pada Gambar 2, H , x , B , D , p_1 , p_2 dan p_3 , masing-masing adalah tinggi gelombang, jarak pada arah perambatan gelombang, lebar hanging breakwater pada arah perambatan gelombang, sarat hanging breakwater, tekanan gelombang di dasar perairan, tekanan gelombang pada dasar hanging breakwater dan tekanan gelombang pada muka air laut rata-rata. Berdasarkan teori gelombang linier, distribusi tekanan gelombang sebagai fungsi kedalaman air adalah berbentuk segi tiga. Secara umum, tekanan gelombang di bawah gelombang linier dirumuskan dengan:

$$p = \rho g \frac{H_i \cosh k(h+z)}{2 \cosh kh} \cos(kx - \sigma t) \quad (1)$$

Tekanan gelombang pada Persamaan 1 bernilai maksimum jika $\cos(kx - \sigma t) = 1$, sehingga Persamaan 1 menjadi :

$$p = \rho g \frac{H_i \cosh k(h+z)}{2 \cosh kh} \quad (2)$$

Dengan menggunakan Gambar 2 dan Persamaan 2, maka p_1 , p_2 dan p_3 masing-masing diformulasikan seperti berikut ini:

$$p_1 = \rho g \frac{H_i}{2 \cosh kh} \quad (3)$$

$$p_2 = \rho g \frac{H_i \cosh k(h+D)}{2 \cosh kh} \quad (4)$$

$$p_3 = \rho g \frac{H_i}{2} \quad (5)$$

Berdasarkan Gambar 2, gaya gelombang yang bekerja pada hanging breakwater dirumuskan seperti berikut ini :

$$F_G = \frac{1}{2} (p_2 + p_3) D \quad (6)$$

Dengan mensubstitusi Persamaan 3 dan 4 ke Persamaan 6 dan mengakomodir porositas hanging breakwater adalah β , maka gaya gelombang yang bekerja pada hanging breakwater, F_G dapat dirumuskan dengan:

$$F_G = \frac{1}{2} \left(\rho g \beta \frac{H_i}{2} + \rho g \beta \frac{H_i \cosh k(h-D)}{2 \cosh kh} \right) D \quad (7)$$

atau,

$$F_G = \frac{1}{4} \rho g \beta H_i D \left(\frac{\cosh kh + \cosh k(h-D)}{\cosh kh} \right) \quad (8)$$

Dimana:

$$F_G = \text{massa jenis air (kg/m}^3\text{)}$$



- ρ = massa jenis air (kg/m^3)
- g = percepatan gravitasi bumi (m/s^2)
- β = porositas struktur
- D = sarat struktur (m)
- H_i = tinggi gelombang (m)
- k = bilangan gelombang ($2\pi/L$)
- L = panjang gelombang (m)
- h = kedalaman air (m)

Apabila Persamaan 8 dibagi dengan ρgDB , maka diperoleh suatu parameter tidak berdimensi seperti berikut:

$$C_G = \frac{F_G}{\rho gDB} \quad (9)$$

METODOLOGI

Penelitian ini adalah studi literatur, yang dimulai dengan mengumpulkan publikasi dan teori yang terkait dengan penelitian ini. Selanjutnya gaya gelombang pada *hanging breakwater* dirumuskan dengan menerapkan tekanan gelombang di bawah gelombang linier. Asumsi yang digunakan adalah distribusi tekanan gelombang adalah linier di sepanjang kedalaman air. Setelah formula analitis gaya gelombang diperoleh, selanjutnya formula tersebut diaplikasikan dengan memvariasikan parameter gelombang dan struktur. Hasil perhitungan analitis disajikan dalam bentuk grafis yang selanjutnya dilakukan penarikan kesimpulan.

HASIL PENELITIAN

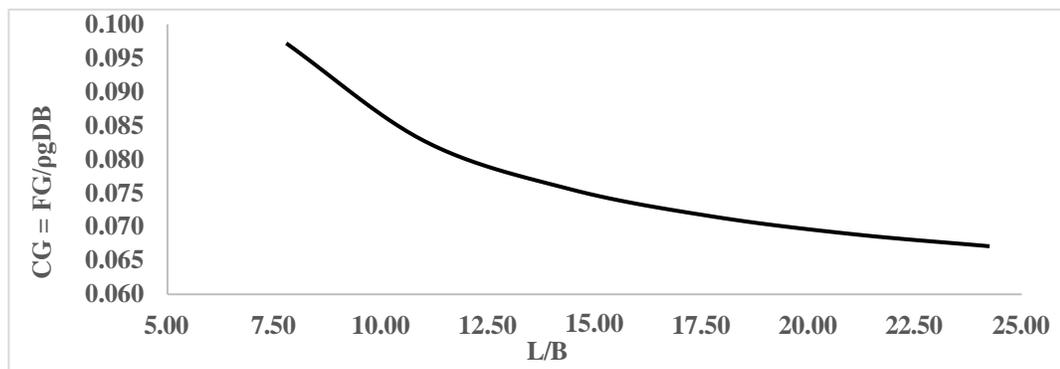
Dengan menggunakan Persamaan 8 dan memvariasikan parameter gelombang dan parameter struktur, maka gaya gelombang non dimensional pada *hanging breakwater* dapat dihitung. Dalam penelitian ini, jumlah parameter struktur dan parameter gelombang yang divariasikan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter penelitian

No	Nama Jurnal	Simbol	Satuan	Nilai
1	Tinggi gelombang	H_i	meter	1; 2; 3; 4; dan 5
2	Periode gelombang	T	detik	5; 6; 7; 8; 9; dan 10
3	Panjang struktur arah perambatan gelombang	B	meter	4; 6; 6; 8; 10; 12; dan 14
4	Sarat struktur	D	meter	1; 2; 4; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; dan 20
5	Kedalaman air	h	meter	20
4	Porositas Struktur	β	-	1.0

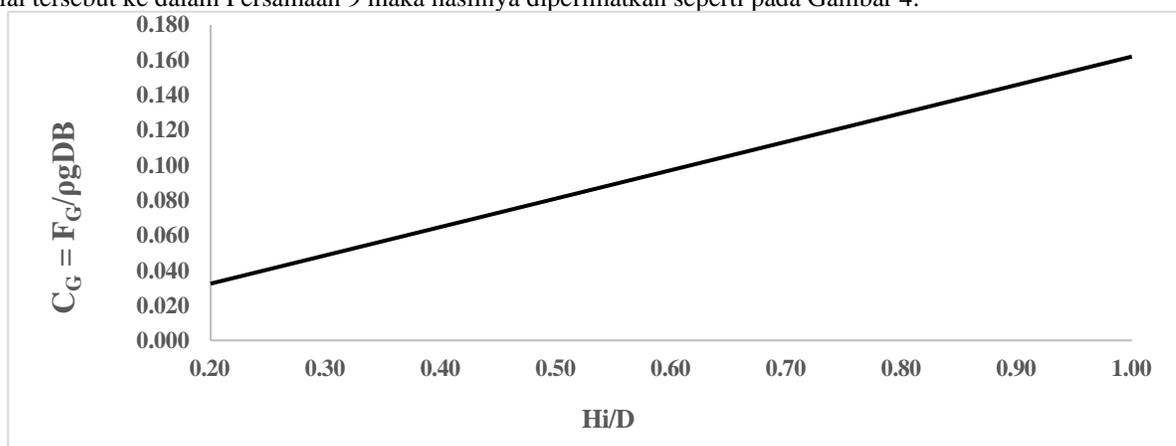
Dengan mensubstitusi nilai periode gelombang pada Tabel 1 dan menetapkan nilai D, B, H_i , h dan β masing-masing adalah 5 m, 5 m, 3 m, 1.0 dan 20 m ke Persamaan 8 maka pengaruh periode gelombang yang diwakili oleh nilai L/B terhadap gaya gelombang tak berdimensi dapat dihitung dan hasilnya disajikan pada Gambar 3.





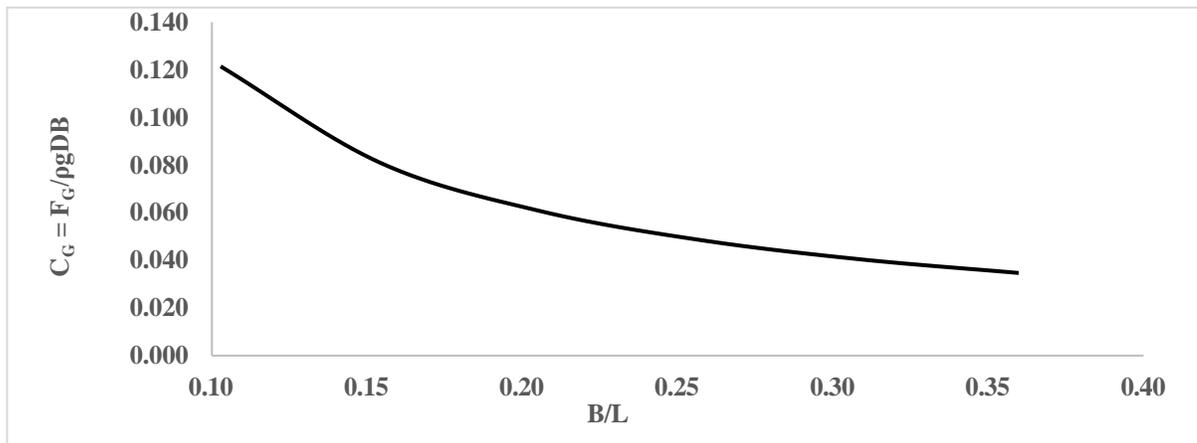
Gambar 3. Pengaruh L/B terhadap C_G

Gambar 3 memperlihatkan bahwa semakin besar nilai L/B semakin kecil nilai gaya gelombang tidak berdimensi pada hanging breakwater. Peningkatan L/B pada Gambar 3 murni diakibatkan oleh perubahan nilai L karena nilai B adalah konstan. Peningkatan nilai L merupakan konsekuensi dari peningkatan periode gelombang untuk kedalaman air konstan. Dengan demikian, pada grafik Gambar 3 dapat disimpulkan bahwa semakin besar periode gelombang, semakin kecil gaya gelombang tak berdimensi pada hanging breakwater. Untuk melihat pengaruh tinggi gelombang terhadap gaya gelombang hanging breakwater maka divariasikan tinggi gelombang seperti pada Tabel 1 dan memilih nilai D, B, T, β , dan h masing-masing adalah 5 m, 5 m, 5 detik, 1.0, dan 20 kemudian mensubstitusi nilai-nilai tersebut ke dalam Persamaan 9 maka hasilnya diperlihatkan seperti pada Gambar 4.



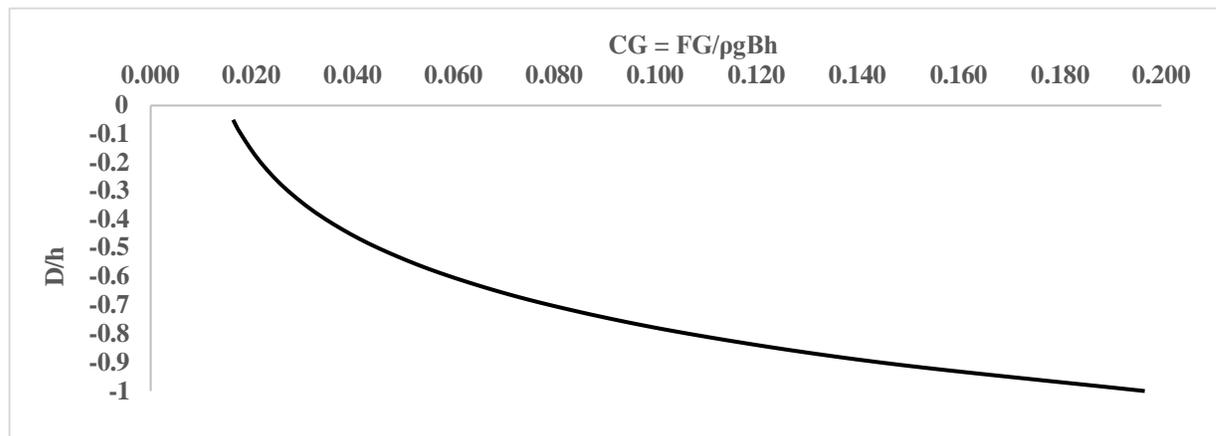
Gambar 4. Pengaruh H_i/D terhadap C_G

Gambar 4 memperlihatkan pengaruh H_i/D terhadap C_G atau gaya gelombang non dimensional. Peningkatan nilai H_i/D murni diakibatkan oleh peningkatan nilai H_i dikarenakan nilai D adalah konstanta sebesar 5 m. Nampak pada Gambar 4 bahwa semakin besar nilai H_i/D , maka nilai C_G semakin besar. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin besar tinggi gelombang untuk parameter lain konstan, maka semakin besar gaya gelombang yang terjadi pada hanging breakwater. Dengan memvariasikan nilai B maka pengaruh panjang struktur pada arah penjalaran gelombang dapat diketahui. Adapun pengaruh panjang struktur pada arah penjalaran gelombang terhadap gaya gelombang non dimensional dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Pengaruh B/L terhadap C_G

Pada Gambar 5 nilai B/L murni dipengaruhi oleh nilai B dikarenakan nilai L adalah konstan sebesar 38.91 m. Jumlah variasi nilai B disajikan pada Tabel 1. Nilai H_i , T, D, h dan β , masing-masing adalah 3 m, 5 detik, 5 m, 20 m dan 1.0. Gambar 5 memperlihatkan bahwa semakin besar nilai B/L, semakin kecil nilai C_G dengan penurunan tidak linier namun mendekati eksponensial. Hal ini memperlihatkan bahwa jika panjang struktur pada arah penjalaran gelombang meningkat, maka gaya gelombang pada *hanging breakwater* semakin kecil. Hal ini dikarenakan semakin besar nilai B atau panjang struktur, energy gelombang yang diredam semakin meningkat. Untuk mengidentifikasi pengaruh sarat struktur D terhadap gaya gelombang pada *hanging breakwater*, maka dalam penelitian ini divariasikan nilai B untuk nilai H_i , T, h dan β konstan. Adapun pengaruh sarat struktur D/h terhadap nilai $C_G = F_G / \rho h B h$ diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh D/h terhadap C_G

Gambar 5 memperlihatkan bahwa semakin besar harga mutlak dari D/h, maka semakin besar nilai C_G . Artinya semakin besar atau semakin dalam sarat struktur dari permukaan air rerata, maka gaya yang diterima oleh *hanging breakwater*. Hal ini dikarenakan semakin besar sarat struktur, maka luar bidang tangkap fluida oleh *hanging breakwater* juga semakin besar. Semakin luas bidang tangkap gelombang, maka gaya gelombang yang bekerja pada *hanging breakwater* semakin meningkat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Universitas Hasanuddin atas dana penelitian yang diberikan kepada penulis melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Hasanuddin Skim Penelitian Dasar Unhas.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengembangan rumus dan hasil perhitungan menggunakan formula analitik, disimpulkan beberapa hal berikut ini:

1. Parameter yang berpengaruh terhadap besarnya gaya gelombang yang bekerja pada hanging breakwater adalah parameter gelombang dan parameter struktur;
2. Parameter gelombang direpresentasikan oleh nilai tinggi, periode gelombang dan kedalaman air sedangkan parameter struktur diwakili oleh sarat struktur, panjang struktur pada arah perambatan gelombang dan porositas struktur;
3. Semakin besar nilai L/B , semakin kecil nilai C_G untuk nilai L bervariasi dan nilai H_i , D , B , h dan β konstan;
4. Semakin besar nilai H_i/D , semakin besar nilai C_G untuk nilai H_i bervariasi dan nilai L , D , B , h dan β konstan;
5. Semakin besar nilai B/L , semakin kecil nilai C_G untuk nilai B bervariasi dan nilai L , D , H_i , h dan β konstan;
6. Semakin besar nilai D/h , semakin besar nilai C_G untuk nilai D bervariasi dan nilai L , B , H_i , h dan β konstan;
7. Perlu dilakukan pengukuran gaya gelombang pada hanging breakwater secara eksperimental di laboratorium.

PUSTAKA

- Abul-Azm, A.G., 1993. Wave diffraction through submerged breakwaters. *J. Waterw. Port Coast. Ocean Eng.* 119 (6), 587–605.
- Heikal, E.M., 1997. Wave transmission over sloping beaches behind floating breakwaters. *J. Sci. Bull. Ain-Shams Univ.* 32 (4), 195–208.
- Koraim, A.S., 2005. *Suggested Model for the Protection of Shores and Marina* (Ph.D. Thesis in Civil Engineering). Zagazig University, Zagazig, Egypt.
- Koraim A. S 2014 Hydraulic characteristics of pile-supported L-shape bars used as screen breakwater *Ocean Engineering Journal* (Elsevier : Vol. 83 1 Juni 2014 p 36-51).
- Liu, P.L.F., Abbaspour, M., 1982. Wave scattering by a rigid thin barrier. *J. Waterw. Port Coast. Ocean Eng.* 108 (4), 479–491.
- Paotonan C, Rahman S, Umar H, Baeda A.Y, Mellolo A and Hidayat A 2019 *Proc. Int. Conf. on The 5th International Symposium on Material, Mechatronics and Energy* (Makassar/Indonesia : IOP Publishing) p 619.
- Paotonan C, Rahman S, Umar H, Baeda A.Y and Hasan W 2019 *Proc. Int. Conf. on The 2nd EPI International Conference on Science and Engineering* (Makassar/Indonesia : IOP Publishing) p 676.
- Paotonan C, Rahman T, Ashury and Putra T.P 2020 *Proc. Int. Conf. on The 2nd EPI International Conference on Science and Engineering* (Makassar/Indonesia : IOP Publishing) p 875.
- Rageh, O.S., Koraim, A.S., 2010. Hydraulic performance of vertical walls with horizontal slots used as breakwater. *Coast. Eng.* 57, 745–756.
- Wiegel, R.L., 1960. Transmission of wave past a rigid vertical thin barrier. *J. Waterw. Harb. Div.* 86 (1), 1–12.

