

REFLEKSI DAN *RUN UP* GELOMBANG MELALUI PEMECAH GELOMBANG BERLUBANG TIPE *BOX CULVERT*

WAVE REFLECTION AND RUN UP IN A BOX CULVERT-TYPE SLOTTED BREAKWATER

Nastain^{*1,2}, Suripin³, Nur Yuwono⁴, Ignatius Sriyana⁵

*Email: nastain@unsoed.ac.id

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto

²Program Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang

^{3,5}Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang

⁴Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta

Abstrak— Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji refleksi dan tinggi *run-up* gelombang pada pemecah gelombang berlubang tipe *box culvert*, yaitu struktur pemecah gelombang dengan bagian atas berbentuk dinding kedap air dan bagian bawah berbentuk lubang tipe *box culvert*. Metode penelitian dilakukan dengan eksperimen model fisik di laboratorium. Parameter struktur lubang dan parameter gelombang divariasikan untuk mengetahui unjuk kerja pemecah gelombang berdasarkan indikator nilai koefisien refleksi (K_R) dan tinggi *run-up* (R_u). Parameter penelitian berdasarkan analisis non dimensional adalah tinggi lubang relatif (h_L/d), panjang lubang relatif (B/L) dan kecuraman gelombang (H/L). Eksperimen model fisik di laboratorium menggunakan saluran gelombang dengan panjang 15,0 m, lebar 0,3 m dan tinggi 0,45 m. Simulasi gelombang menggunakan gelombang reguler dan tinggi gelombang diukur menggunakan alat *wave probe* yang ditempatkan di depan model. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai K_R dan R_u akan meningkat dengan menurunnya nilai h_L/d , meningkatnya nilai B/L dan meningkatnya nilai H/L .

Kata kunci — Pemecah gelombang, *box culvert*, koefisien refleksi, run-up gelombang

Abstract— This research was conducted to examine the reflection and run up height of waves in a box culvert-type slotted breakwater which was designed as a breakwater structure with a watertight wall at the top and a box culvert type hole at the bottom. The process involved the physical modeling of this structure in the laboratory using a wave flume which has a length of 15.0 m, a width of 0.3 m, and a height of 0.45 m. Moreover, the hole and wave parameters were varied to determine the breakwater performance using the reflection coefficient (K_R) and run up height (R_u) values as the indicators. The parameters used such as relative hole height (h_L/d), relative hole length (B/L), and wave steepness (H/L) were also determined using non-dimensional analysis. Furthermore, the wave was simulated using the regular waves while the height was measured through a wave probe placed at the front of the model. The results showed that the K_T and R_u value increased as the h_L/d value was decreasing and the B/L and H/L values were increasing.

Keywords — Breakwater, box culvert, reflection coefficient, run up of wave

I. PENDAHULUAN

Perlindungan pantai menggunakan pemecah gelombang tipe tumpukan batu (*rubble mound breakwater*) akan membutuhkan material konstruksi dalam jumlah yang relatif banyak. Secara umum semakin dalam perairan, maka dimensi struktur pemecah gelombang tipe tumpukan batu akan bertambah besar, sehingga kebutuhan material konstruksi akan bertambah [1-4]. Pada sisi lain, penggunaan batu alam dalam jumlah yang besar

untuk material konstruksi akan menyebabkan kerusakan lahan di lokasi penambangan (*quarry*) dan habisnya sumberdaya alam karena keberadaannya yang terbatas. Pemecah gelombang tipe tumpukan batu juga membutuhkan daya dukung tanah dasar yang relatif baik [1,5-6].

Salah satu usaha untuk mengatasi masalah pemecah gelombang tipe tumpukan batu adalah penggunaan pemecah gelombang berlubang tipe *box culvert*. Pemecah gelombang berlubang memiliki keuntungan hemat material konstruksi dan juga

ramah lingkungan, karena sirkulasi air masih dapat berjalan dengan baik [4,7-9]. Pemecah gelombang berlubang tipe *box culvert* pada prinsipnya memiliki dua bagian, bagian atas berbentuk struktur dinding kedap air dan bagian bawah berbentuk lubang model *box culvert*. Tetapi karena pemecah gelombang berbentuk dinding tegak, maka tinggi *run-up* gelombang menjadi sangat penting dikaji untuk menentukan tinggi elevasi puncak pemecah gelombang. Hal ini karena tinggi elevasi puncak bangunan pantai harus dihitung berdasarkan kemungkinan tinggi *run-up* yang akan terjadi. Tinggi *run up* gelombang pada dinding tegak sangat dipengaruhi oleh besarnya tinggi gelombang datang (H_i) dan tinggi gelombang refleksi (H_r) yang terjadi.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan refleksi dan tinggi *run-up* gelombang melalui pemecah gelombang berlubang type *box culvert*. Paramater penting struktur lubang dan gelombang ditentukan berdasarkan analisis non dimensional yaitu tinggi lubang relatif (h_l/d), panjang lubang relatif (B/L) dan kecuraman gelombang (H/L). Parameter divariasi untuk mengetahui unjuk kerja pemecah gelombang berdasarkan indikator nilai koefisien refleksi (K_R) dan tinggi *run-up* (R_u) gelombang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Run-up adalah tinggi muka air yang dicapai akibat luncuran gelombang ke atas saat mengenai bangunan pantai, yang dihitung dari elevasi muka air tenang (SWL) dan akibat gaya gravitasi kemudian akan bergerak balik sampai pada posisi nol lembah yang disebut *run-down* [10]. Gelombang yang bergerak menuju bangunan akan dipantulkan atau pecah dan sebagian dari momentum gelombang tersebut akan diubah menjadi gerakan air yang meluncur ke atas [11]. Pada bangunan dinding tegak maka tinggi R_u dan tinggi *run-down* (R_d) adalah sama besar dan dipengaruhi oleh tinggi gelombang refleksi dan tinggi gelombang datang [12].

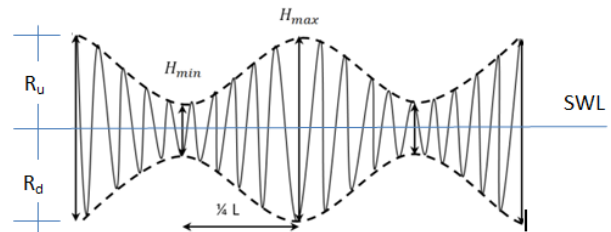
Gelombang refleksi pada dinding tegak berlubang akan berbentuk gelombang berdiri tidak sempurna (*partial standing wave*), yaitu dimana akan dicirikan dengan gelombang yang terdapat selubung atas dan selubung bawah gelombang atau *envelop* gelombang [12]. *Envelop* gelombang dapat ditunjukkan pada Gambar-1.

Tinggi H_i dan H_r dapat dihitung berdasarkan tinggi gelombang refleksi maksimum (H_{maks}) dan

tinggi gelombang refleksi minimum (H_{min}) berdasarkan Persamaan (1) dan Persamaan (2) [12].

$$H_i = \frac{(H_{maks} + H_{min})}{2} \quad (1)$$

$$H_r = \frac{(H_{maks} - H_{min})}{2} \quad (2)$$



Gambar-1. Gelombang Berdiri Tidak Sempurna

Rasio tinggi gelombang H_r dengan H_i disebut sebagai K_R ditunjukkan seperti pada Persamaan (3) [13].

$$K_R = H_r/H_i \quad (3)$$

Sedangkan nilai tinggi R_u gelombang untuk dinding tegak porus dapat ditentukan berdasarkan Persamaan (6) yang diturunkan dari Persamaan (1) dan Persamaan (2).

$$H_i + H_r = H_{maks} \quad (4)$$

$$H_{maks} = R_u + R_d \quad (5)$$

$$R_u = \frac{1}{2}(1 + K_R) \times H_i \quad (6)$$

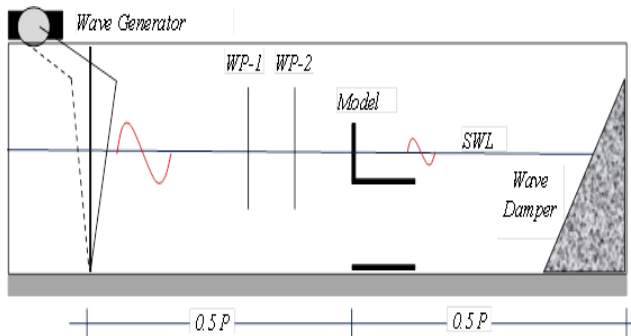
III. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen model fisik pada saluran gelombang (*wave flume*) yang dilengkapi dengan pembangkit gelombang (*wave generator*), peredam gelombang (*wave damper*), dan alat ukur tinggi gelombang (*wave probe*). Gelombang yang digunakan adalah gelombang reguler, tidak pecah dan arah datang gelombang tegak lurus terhadap pemecah gelombang. Percobaan dilakukan untuk menentukan nilai K_R dan tinggi R_u gelombang pada model pemecah gelombang berlubang tipe *box culvert* menggunakan parameter gelombang dan parameter struktur lubang yang berbeda. Parameter gelombang dan parameter struktur lubang ditentukan berdasarkan analisis non dimensional [14].

A. Alat Penelitian

Saluran gelombang yang digunakan memiliki panjang $P = 15$ meter, lebar $l = 0,3$ meter dan tinggi $t = 0,45$ meter. Pembangkit gelombang tipe *flap* dipasang pada salah satu ujung saluran gelombang dan peredam gelombang dipasang pada ujung sisi yang lain untuk mereduksi pantulan di ujung saluran. *Wave probe* (WP) berjumlah 2 (dua) buah digunakan

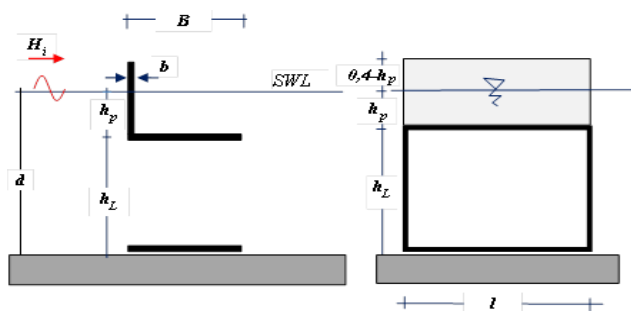
untuk mengukur elevasi muka air, dipasang di depan model dengan ketelitian 0,01 cm. Kalibrasi terhadap setiap *wave probe* dilakukan sebelum digunakan untuk pengukuran. Model pemecah gelombang ditempatkan di tengah saluran gelombang atau kurang lebih berjarak 0,5 panjang saluran gelombang dari pembangkit gelombang. Skema saluran gelombang, letak model dan alat *wave probe* ditunjukkan pada Gambar-2.



Gambar-2. Skema saluran gelombang, letak model dan alat *wave probe*

B. Bahan dan Model

Model pemecah gelombang dibuat dari bahan *acrylic* dengan tebal $b=0,01$ meter dan terdiri atas dua bagian. Bagian atas berbentuk struktur dinding kedap air dengan ketebalan konstan ($b=0,01$ m) dengan tinggi ketenggelaman (h_p) bervariasi 0,1; 0,05; 0,025 dan 0,0 meter dari muka air tenang (*still water level*). Bagian bawah berbentuk lubang model *box culvert* dengan tinggi lubang (h_L) bervariasi 0,1; 0,15; 0,175 dan 0,2 meter diukur dari dasar saluran dan panjang lubang (B) bervariasi 0,2; 0,4 dan 0,6 meter. Sehingga model yang digunakan dalam percobaan ini berjumlah 12 (dua belas) model. Sketsa model pemecah gelombang berlubang tipe *box culvert* ditunjukkan pada Gambar-3.



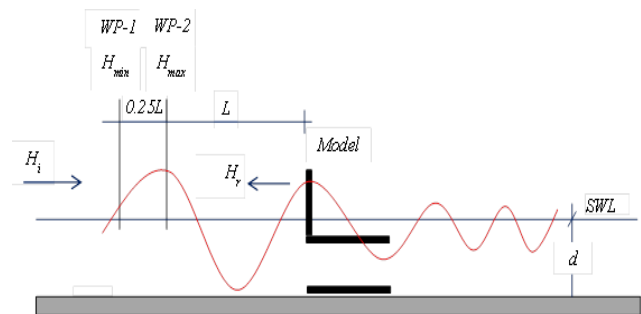
Gambar-3. Sketsa model pemecah gelombang berlubang tipe *box culvert*

C. Pengukuran Tinggi Gelombang

Pengukuran tinggi gelombang dilakukan menggunakan alat *wave probe* yang terhubung dengan WTM (*wave tide meter*) dan komputer untuk merekam gelombang. Tinggi gelombang yang diukur adalah H_{max} dan H_{min} .

Wave probe yang digunakan berjumlah 2 (dua) buah. *Wave probe* 1 (WP-1) untuk mengukur tinggi gelombang H_{min} diletakan pada lokasi sejauh 1,25L di depan model. *Wave probe* 2 (WP-2) untuk mengukur H_{max} diletakan pada lokasi sejauh L di depan model [1,5,15-18]. Penempatan lokasi *wave probe* terhadap model ditunjukkan pada Gambar-4.

Percobaan dilakukan dengan kedalaman air konstan yaitu $d = 0,2$ m dan menggunakan empat variasi periode gelombang $T = 1,61; 1,34; 1,15$ dan $1,02$ detik atau $H/L = 0,0161; 0,0238; 0,0329$ dan $0,0452$. Parameter non dimensional struktur lubang digunakan empat variasi $h_L/d = 0,5; 0,75; 0,875$ dan $1,0$ dan dua belas variasi $B/L = 0,093; 0,115; 0,138; 0,160; 0,186; 0,230; 0,277; 0,279; 0,319; 0,345; 0,415$ dan $0,479$.



Gambar-4. Penempatan lokasi alat *wave probe* terhadap model

D. Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk mengetahui hubungan K_R dan tinggi R_u gelombang dengan parameter non dimensional struktur lubang dan gelombang yaitu h_L/d , B/L dan H/L .

$$K_R, R_u = f(h_L/d, B/L, H/L) \quad (7)$$

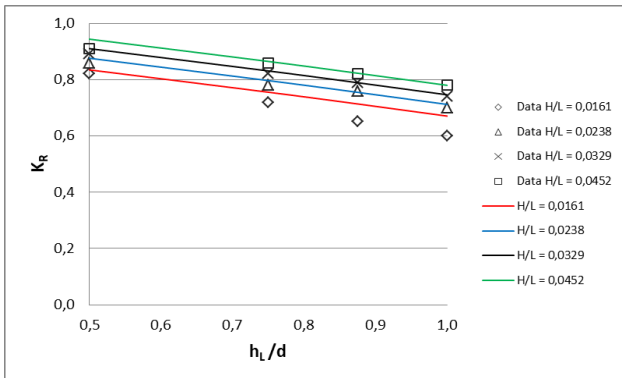
Nilai K_R dihitung berdasarkan Persamaan (3) dan tinggi R_u dihitung berdasarkan Persamaan (6) [13,19]. Tinggi H_i dan tinggi H_r dihitung berdasarkan data tinggi H_{max} dan tinggi H_{min} menggunakan teori *partial standing wave* berdasarkan Persamaan (1) dan Persamaan (2) [12].

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

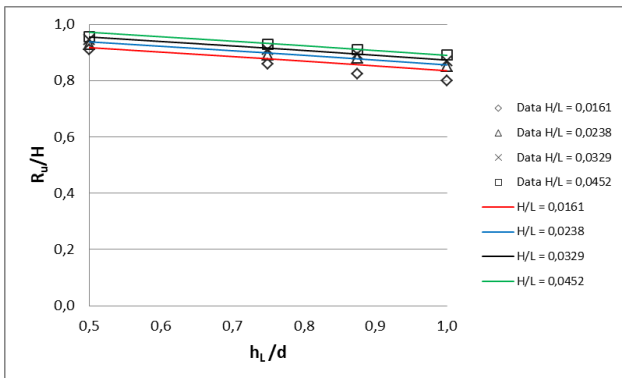
A. K_R dan R_u Fungsi dari h_L/d dan H/L

Percobaan dilakukan dengan nilai B yang tetap yaitu sebesar 0,6 m. Parameter h_L/d divariasi sebesar

0,5; 0,75; 0,875, dan 1,0 dan parameter H/L divariasi sebesar 0,0161; 0,0238; 0,0329 dan 0,0452. Hubungan h_L/d dan H/L terhadap nilai K_R ditunjukkan pada Gambar-5. Hubungan tinggi h_L/d dan H/L terhadap nilai tinggi R_u ditunjukkan pada Gambar-6.



Gambar-5. K_R fungsi dari h_L/d dan H/L



Gambar-6. R_u fungsi dari h_L/d dan H/L

Gambar-5 dan Gambar-6 menunjukkan bahwa semakin meningkat nilai parameter H/L dan semakin menurun nilai parameter h_L/d maka nilai K_R dan R_u akan semakin meningkat. Penggunaan nilai $B = 0,6$ m, $h_L/d = 0,5 - 1,0$ dan $H/L = 0,0161 - 0,0452$ memberikan nilai $K_R = 0,6 - 0,91$ atau meningkat sebesar 0,31. Nilai K_R dan R_u terkecil terjadi pada saat nilai $h_L/d = 1,0$ dan $H/L = 0,0161$ dan terbesar terjadi pada saat nilai $h_L/d = 0,5$ dan $H/L = 0,0452$. Hal ini terjadi karena semakin besar nilai H/L maka kecuraman gelombang akan semakin besar dan semakin kecil nilai h_L/d maka porositas struktur akan semakin kecil. Kondisi ini mengakibatkan gelombang akan sulit diteruskan melewati pemecah gelombang, sehingga tinggi gelombang refleksi dan tinggi *run up* akan semakin besar. Kondisi nilai H/L yang besar juga akan mengakibatkan daya luncuran gelombang ke atas permukaan struktur saat mengenai dinding pemecah gelombang juga akan bertambah besar sehingga akan menyebabkan tinggi *run up* akan bertambah besar. Berdasarkan analisis

regresi *nonlinear multivariate* terhadap data hasil percobaan didapatkan persamaan hubungan koefisien refleksi (K_R) terhadap fungsi h_L/d dan H/L ditunjukkan pada Persamaan (8). Sedangkan persamaan hubungan koefisien tinggi *run up* (R_u) terhadap fungsi h_L/d dan H/L ditentukan berdasarkan Persamaan (6) dengan mensubstitusikan Persamaan (8).

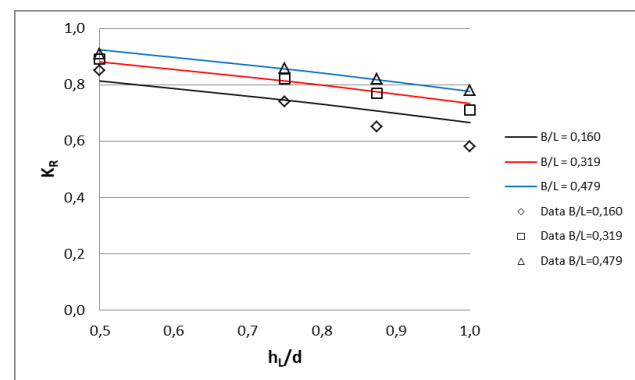
$$K_R = 18,031 (H/L)^{0,006} - 0,291 (h_L/d)^{1,198} - 16,628 \quad (8)$$

dengan $R^2 = 0,947$.

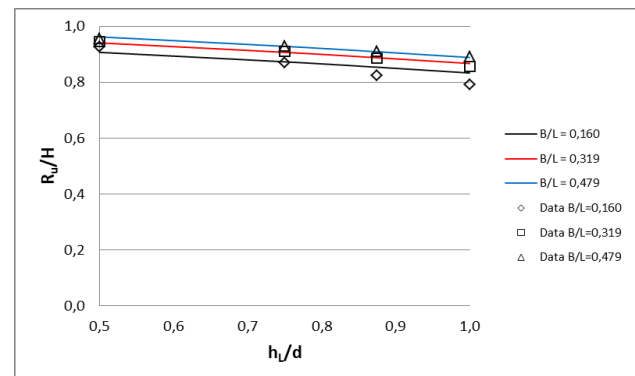
Berdasarkan Persamaan (8) K_R akan mendekati nilai 1 jika $h_L/d = 0$ dan besarnya tinggi R_u berdasarkan Persamaan (6) akan mendekati nilai $2H_i$. Hal ini karena pemecah gelombang akan berubah menjadi dinding tegak solid tidak porous.

B. K_R dan R_u Fungsi dari h_L/d dan B/L

Percobaan dilakukan dengan nilai parameter H/L yang tetap yaitu sebesar 0,0452. Nilai B divariasi sebesar 0,2 m, 0,4 m, dan 0,6 m dan nilai parameter h_L/d divariasi sebesar 0,5; 0,75; 0,875 dan 1,0. Hubungan B/L dan h_L/d terhadap nilai K_R ditunjukkan pada Gambar-7 dan hubungan B/L dan h_L/d terhadap nilai tinggi R_u ditunjukkan pada Gambar-8.



Gambar-7. K_R fungsi dari h_L/d dan B/L



Gambar-8. R_u fungsi dari h_L/d dan B/L

Gambar-7 dan Gambar-8 menunjukkan bahwa semakin meningkat nilai parameter B/L dan semakin

menurun nilai parameter h_L/d maka nilai K_R dan R_u akan semakin meningkat. Penggunaan nilai $H/L = 0,0452$; $B/L = 0,160 - 0,479$ dan $h_L/d = 0,5 - 1,0$ akan memberikan nilai $K_R = 0,58 - 0,91$ atau meningkat sebesar 0,33. Nilai K_R dan R_u terkecil terjadi pada saat nilai $B/L=0,160$ dan $h_L/d = 1,0$ dan terbesar terjadi pada saat nilai $B/L = 0,479$ dan $h_L/d = 0,5$. Hal ini terjadi karena semakin besar nilai B/L maka efek gesekan turbulensi fluida dengan panjang lubang B akan semakin besar dan semakin kecil nilai h_L/d maka porositas struktur akan semakin kecil. Kondisi ini mengakibatkan gelombang akan sulit diteruskan melewati pemecah gelombang, sehingga tinggi gelombang refleksi dan tinggi *run up* semakin besar. Berdasarkan analisis regresi *nonlinear multivariate* terhadap data hasil percobaan didapatkan persamaan hubungan koefisien refleksi (K_R) terhadap fungsi B/L dan h_L/d ditunjukkan pada Persamaan (9). Sedangkan persamaan hubungan koefisien tinggi *run up* (R_u) terhadap fungsi B/L dan h_L/d ditentukan berdasarkan Persamaan (6) dengan mensubstitusikan Persamaan (9).

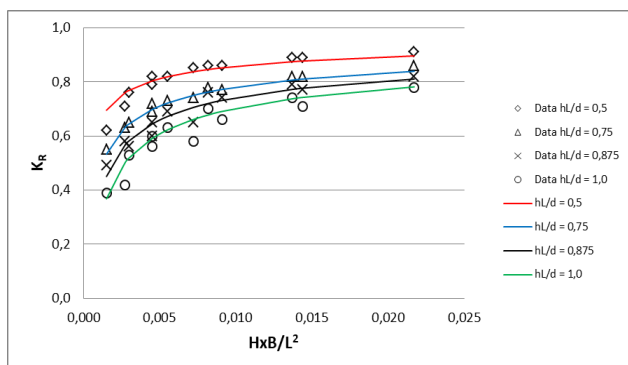
$$K_R = 0,960 (B/L)^{0,123} - 0,230 (h_L/d)^{1,479} + 0,130 \quad (9)$$

dengan $R^2 = 0,979$.

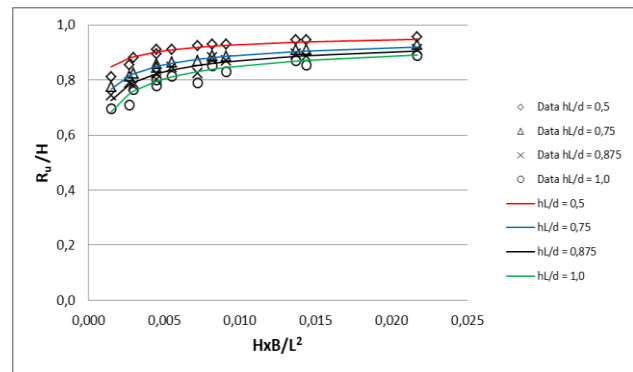
Berdasarkan Persamaan (9) K_R akan mendekati nilai 1 jika $h_L/d = 0$ dan besarnya tinggi R_u berdasarkan Persamaan (6) akan mendekati nilai $2H_i$. Hal ini karena pemecah gelombang akan berubah menjadi dinding tegak solid tidak porous.

C. K_R dan R_u Fungsi dari h_L/d , H/L dan B/L

Percobaan dilakukan dengan nilai B divariasi sebesar 0,2 m; 0,4 m dan 0,6 m. Parameter h_L/d divariasi sebesar 0,5; 0,75; 0,875 dan 1,0 dan parameter H/L divariasi sebesar 0,0161; 0,0238; 0,0329 dan 0,0452. Hubungan H/L , B/L dan h_L/d terhadap nilai K_R ditunjukkan pada Gambar-9 dan hubungan H/L , B/L dan h_L/d terhadap nilai tinggi R_u ditunjukkan pada Gambar-10.



Gambar-9. K_R fungsi dari h_L/d , H/L dan B/L



Gambar-10. R_u fungsi dari h_L/d , H/L dan B/L

Gambar-9 dan Gambar-10 menunjukkan bahwa semakin meningkat nilai parameter H/L dan B/L dalam hal ini sebagai kesatuan parameter $(H.B)/L^2$ dan semakin menurun nilai parameter h_L/d maka nilai K_R dan R_u akan semakin meningkat. Penggunaan nilai $H/L = 0,0161 - 0,0452$ dan $B/L = 0,093 - 0,479$ serta $h_L/d = 0,5 - 1,0$ akan memberikan nilai $K_R = 0,39 - 0,91$ atau meningkat sebesar 0,52. Nilai K_R dan R_u terkecil terjadi pada saat nilai $H/L = 0,0161$, $B/L = 0,093$ dan $h_L/d = 1,0$ dan terbesar terjadi pada saat nilai $H/L = 0,0452$; $B/L = 0,479$ dan $h_L/d = 0,5$. Hal ini terjadi karena semakin besar nilai H/L dan B/L maka kecuraman gelombang dan panjang lubang akan semakin besar, sehingga efek gesekan turbulensi fluida dengan panjang lubang B akan semakin besar dan semakin kecil nilai h_L/d maka porositas struktur akan semakin kecil. Kondisi ini mengakibatkan gelombang akan sulit diteruskan melewati pemecah gelombang, sehingga tinggi gelombang refleksi dan tinggi *run up* gelombang akan semakin besar. Kondisi nilai H/L yang semakin besar juga akan mengakibatkan daya luncuran gelombang ke atas permukaan struktur saat mengenai dinding pemecah gelombang juga akan bertambah besar sehingga akan menyebabkan tinggi *run up* akan bertambah besar. Berdasarkan analisis regresi *nonlinear multivariate* terhadap data hasil percobaan didapatkan persamaan hubungan koefisien refleksi (K_R) terhadap fungsi H/L , B/L dan h_L/d ditunjukkan pada Persamaan (10). Sedangkan persamaan hubungan koefisien tinggi *run up* (R_u) terhadap fungsi H/L , B/L dan h_L/d ditentukan berdasarkan Persamaan (6) dengan mensubstitusikan Persamaan (10).

$$K_R = -0,049 (h_L/d)^{1,045} \times [(H \times B/L^2)]^{-0,394} + 1,0 \quad (10)$$

dengan $R^2 = 0,975$.

Berdasarkan Persamaan (10) K_R akan bernilai 1 jika $h_L/d = 0$ dan besarnya tinggi R_u berdasarkan

Persamaan (6) adalah $2H_i$. Hal ini karena pemecah gelombang akan berubah menjadi dinding tegak solid tidak porus.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

- 1 Nilai koefisien refleksi gelombang (K_R) dan tinggi run up gelombang (R_u) akan meningkat dengan menurunnya nilai h_L/d , meningkatnya nilai B/L dan meningkatnya nilai H/L .
- 2 Persamaan koefisien refleksi gelombang (K_R) pemecah gelombang tipe *box culvert* terhadap parameter h_L/d , B/L dan H/L adalah $K_R = -0,049 (h_L/d)^{1,045} \times [(H \times B/L^2)]^{-0,394} + 1,0$ dengan $R^2 = 0,975$.

B. Saran

Perlu penelitian lebih lanjut dengan menggunakan gelombang *irregular* sehingga lebih mendekati kondisi gelombang di lapangan

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Hidrologi dan Hidraulika PSIT UGM. Penulis mengucapkan banyak terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. S. Rageh and A. S. Koraim. Hydraulic Performance of Vertical Walls with Horizontal Slots Used as Breakwater. *Coastal Engineering*. 2010; 57 (8): 745-756.
- [2] K. D. Suh, J. K. Park, and W. S. Park. Wave Reflection from Partially Perforated-Wall Caisson Breakwater. *Ocean Engineering*. 2006; 33(2): 264-280.
- [3] K. D. Suh, H. Y. Jung, and C. K. Pyun. Wave Reflection and Transmission by Curtain wall-Pile Breakwaters Using Circular Piles. *Ocean Engineering*. 2007; 34(14): 2100-2106.
- [4] K. D. Suh, Y. W. Kim, and C. H. Ji. An Empirical Formula for Friction Coefficient of a Perforated Wall with Vertical Slits. *Coastal Engineering*. 2011; 58(1): 85-93.
- [5] A. S. Koraim. Hydraulic Characteristics of Pile-Supported L-Shaped Bars Used as a Screen Breakwater. *Ocean Engineering*. 2014; 83: 36-51.
- [6] L. T. Somervell, S. G. Thampi, A. P. and Shashikala. Estimation of Friction Coefficient for Double Walled Permeable Vertical Breakwater. *Ocean Engineering*. 2018; 156: 25-37.
- [7] Z. Huang, Y. Li, and Y. Liu. Hydraulic Performance and Wave Loadings of Perforated/Slotted Coastal Structures: A Review. *Ocean Engineering*. 2011; 38(10): 1031-1053.
- [8] N. Nurisman. Efektivitas Submerged Breakwater Berlubang terhadap Gelombang Datang. *Jurnal Maritim Indonesia*. 2019; 7(2): 165-175.
- [9] H. Ahmed. *Wave Interaction with Vertical Slotted Walls as a Permeable Breakwater*. Hydro Science (IGAW), Bergische Universitat Wupertal, Germany. 2011.
- [10] Sriyana, I.K. Hadihardaja, dan J. Hadihardaja. Run-Up dan Run-Down Akibat Pengaruh Sudut Datang Gelombang pada Berbagai Unit Lapis Lindung Pemecah Gelombang. *Jurnal Teknik Sipil*. 2007; 14(4): 211-216.
- [11] N. Yuwono. *Teknik Pantai*. BP KMTS UGM, Yogyakarta. 1992.
- [12] R. G. Dean and R. A. Dalrymple. *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*. World Scientific. 1991.
- [13] B. M. Webb and R. Allen. *Wave Transmission through Artificial Reef Breakwaters*. Proceeding of the Coastal Structures and Solutions to Coastal Disasters Joint Conference, Boston, Massachusetts, USA. 2015: 432-441.
- [14] N. Yuwono. *Perencanaan Model Skala Hidraulis*. PT. Kanisius, Yogyakarta. 2021.
- [15] A. S. Koraim. Mathematical Study for Analyzing Caisson Breakwater Supported by Two Rows of Piles. *Ocean Engineering*. 2015; 104: 89-106.
- [16] J. S. Mani. Design of Y-Frame Floating Breakwater. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering-ASCE*. 1991; 117 (2): 105-119.
- [17] K. Murani and J. S. Mani. Performance of Cage Floating Breakwater. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering-ASCE*. 1997; 123 (4): 172-179.
- [18] A. S. Koraim. The Hydrodynamic Characteristics of Slotted Breakwaters under Regular Waves. *Journal of Marine Science and Technology*. 2011; 16: 331-342.
- [19] H. Ahmed and A. Schlenkhoff. Numerical Investigation of Wave Interaction with Double Vertical Slotted Walls. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*. 2014; 8(8): 536-543.