

INTISARI

Bangunan pelindung pantai sebagai pelindung tsunami terdapat di pantai timur Jepang berupa *seawall*. Pada peristiwa tsunami di Jepang tahun 2011, *seawall* di pantai timur Jepang mengalami kerusakan dengan berbagai tipe kerusakan. Berdasarkan hasil survey setelah kejadian tsunami, tipe kerusakan terbesar yang ditemukan berupa gerusan di belakang *seawall* akibat limpasan tsunami. Gerusan tersebut dapat mengakibatkan kerusakan *seawall* lebih lanjut bahkan dapat mengakibatkan kehancuran total sehingga membahayakan daerah daratan. Mekanisme terbentuknya gerusan di belakang *seawall* akibat limpasan tsunami dan usaha mitigasinya diteliti dalam penelitian ini. Pengaruh *debris* yang tertahan pada *seawall* terhadap gerusan di belakang *seawall* juga diteliti.

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Hidraulika Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Pelaksanaan penelitian diawali dengan membuat desain dan membangun fasilitas pembangkit gelombang tsunami dengan sistem kontrol debit dari reservoir menuju ke dalam *flume*. Hidrograf limpasan tsunami di atas *seawall* dengan berbagai skenario pembukaan, jeda dan penutupan katup pipa disimulasikan menggunakan fasilitas pembangkit gelombang tsunami yang telah dibangun. Awal gerak material akibat limpasan tsunami diteliti menggunakan material lepas berdiameter rerata 0,018 m di dalam *flume* kecil, limpasan tsunami dimodelkan menggunakan aliran jet dengan kemiringan 70° . Selanjutnya mekanisme gerusan akibat limpasan tsunami dengan variasi panjang hidrograf limpasan tsunami diteliti menggunakan batu pecah berdiameter rerata (D_m) 0,025 m dengan rapat relatif (Δ) 1,5 sebagai model *boulder*. Usaha mitigasi gerusan pada material lepas diteliti dengan memasang sekat tembus air di dalam susunan material. Kawat strimin sebagai model sekat dipasang pada sebagian material secara vertikal dan paralel terhadap *seawall* dengan beberapa variasi jarak antar sekat (L_c). Pengaruh *debris* yang tertahan pada *seawall* diteliti pada beberapa ukuran panjang *debris*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *flume* pendek dengan sistem kontrol debit dapat digunakan untuk mensimulasikan hidrograf limpasan tsunami. Hasil simulasi model numerik dan data lapangan tsunami di Jepang tahun 2011 telah berhasil disimulasikan dengan model hidraulik pada *flume*. Ketebalan susunan material dan transmisivitas material mempengaruhi kecepatan awal gerak material lepas akibat aliran jet limpasan. Pada susunan material yang lebih tipis material lebih cepat bergerak. Adanya hambatan aliran air di dalam susunan material menyebabkan material lebih cepat bergerak. Pertumbuhan gerusan di belakang *seawall* terkait dengan hidrograf limpasan tsunami. Gerusan mulai terbentuk setelah energi limpasan mampu menggerakkan material, kedalaman maksimum limpasan tercapai pada saat limpasan mencapai puncaknya dan gerusan berhenti setelah limpasan mencapai titik infleksi. Sekat tembus air dapat mengurangi kedalaman gerusan maksimum dan panjang gerusan maksimum. Untuk $(\Delta D_m/L_c) = 0,125; 0,150$ dan $0,188$ pengurangan kedalaman gerusan maksimum secara berturut-turut adalah sekitar 35%, 43%, dan 50% dibandingkan kondisi tanpa sekat. Pengurangan panjang gerusan maksimum pada susunan material dengan sekat untuk

$(\Delta D_m/L_c) = 0,125; 0,150$ dan $0,188$ adalah hampir sama, yaitu sekitar 25% dibandingkan kondisi tanpa sekat. Persamaan kedalaman gerusan maksimum dan panjang gerusan maksimum pada material di belakang *seawall* akibat limpasan tsunami secara berturut-turut adalah $\frac{d_s}{h_b} = F_r \left[1,07782 - 3,63476 \left(\frac{\Delta D_m}{L_c} \right) + 0,00011 \left(\frac{T_i \sqrt{g(h_d - h_t)}}{D_m} \right) \right]$ dan $\frac{L_s}{h_b} = F_r \left[6,61985 - 11,88188 \left(\frac{\Delta D_m}{L_c} \right) + 0,00051 \left(\frac{T_i \sqrt{g(h_d - h_t)}}{D_m} \right) \right]$ dengan $F_r = \frac{U}{\sqrt{gh_d}}$ d_s adalah kedalaman gerusan maksimum (m), L_s adalah panjang gerusan maksimum (m), h_b adalah tinggi *seawall* (m), L_c adalah jarak antar sekat (m), Δ adalah rapat massa relatif material (kg/m^3), D_m adalah diameter material (m), T_i adalah panjang hidrograf (s), g adalah percepatan gravitasi bumi (m/s^2), h_d adalah jumlah tinggi *seawall* dan tinggi limpasan (m), h_t adalah tinggi *tailwater* (m), F_r adalah angka Froude dan U adalah rerata kecepatan aliran di dekat hulu *seawall* (m/s). *Debris* yang tertahan pada *seawall* mempengaruhi kedalaman dan panjang gerusan maksimum di belakang *seawall* pada daerah sekitar *debris*. Kedalaman gerusan dan panjang gerusan berkurang di daerah belakang *seawall* tetapi meningkat di daerah yang di luar *seawall*.

Kata kunci : tsunami, hidrograf, *seawall*, gerusan, sekat.

ABSTRACT

A seawall as tsunami protection was constructed on the eastern coast of Japan. The seawall was damaged in many types when the tsunami suffer the eastern coast of Japan in 2011. Based on a post-tsunami survey, scour behind the seawall was the main type of seawall damages due to the tsunami overflow. Such scour can induce further damage to the seawall and event its total damage hence it dangerous to the land area. The mechanism of scouring behind the seawall due to tsunami overflow and its mitigation was studied in this research. The effect of debris damming to the scour behind the seawall also studied.

The research was conducted in Hydraulic Laboratory, Civil and Environmental Department, Engineering Faculty, Universitas Gadjah Mada. A tsunami generation facility base on discharge control from a reservoir into a flume was designed and constructed at the beginning of the research. Tsunami overflow over a seawall was simulated in various scenarios of opening, delay, and closing the gate valve using the tsunami wave generator that has been constructed. The initial motion of material due to tsunami overflow was studied using loose material 1.8 cm in diameter, the tsunami overflow was imitated using a vertical jet at 70 degrees angle to the horizontal. The scouring mechanism due to tsunami overflow in various hydrograph lengths was studied using gravel 2.5 cm in diameter (D_m) and 1.5 in specific gravity (Δ) to model a boulder bed. A mitigation method was modeled by applying screens in the bed material. A set of wire mesh in various lenght (L_c) was installed vertically and parallel to the seawall along bed material as the screens. The effect of debris damming on the seawall was simulated on various debris lengths.

The short flume with control discharge can be used to simulate the hydrograph of tsunami overflow. Both tsunami hydrograph of numerical simulation and field data of tsunami Japan in 2011 has successfully simulated by the hydraulic model. Both thickness and transmissivity of the material configuration are influence by the initial motion of the material. The thinner of material configuration the faster the initial motion is. An obstacle in the material configuration accelerates the initial motion. The scouring process behind the seawall is related to the tsunami hydrograph. The scouring started when the overflowing force able to drive the material, the maximum scour reached when the hydrograph in the peak, then it stopped after the inflection point. Installation of the screen in the material configuration able to reduce both maximum scour depth and maximum scour length. When $D_m/L_c = 0.125, 0.150$ and 0.188 the reduction of maximum scour depth are 35%, 43%, , and 50% respectively. The reduction of maximum scour length is almost the same, that is about 25% for $\Delta D_m/L_c = 0.125, 0.150$ and 0.188 . Both equation of maximum scour depth and scour length behind the seawall due to tsunami overflow respectively is

$$\frac{d_s}{h_b} = F_r \left[1.07782 - 3.63476 \left(\frac{\Delta D_m}{L_c} \right) + 0.00011 \left(\frac{T_i \sqrt{g(h_d - h_t)}}{D_m} \right) \right] \quad \text{and}$$

$$\frac{L_s}{h_b} = F_r \left[6.61985 - 11.88188 \left(\frac{\Delta D_m}{L_c} \right) + 0.00051 \left(\frac{T_i \sqrt{g(h_d - h_t)}}{D_m} \right) \right] \quad \text{where} \quad F_r = \frac{U}{\sqrt{gh_d}}$$

d_s is maximum scour depth (m), L_s is maximum scour lenght (m), h_b is seawall height



(m), L_c is screen distance (m), Δ is relative material density (kg/m^3), D_m is material diameter (m), T_i is hydrograph length (s), g is gravitational acceleration (m/s^2), h_d is total of seawall height and overflow height (m), h_t is tailwater height (m), F_r is Froude number, and U is average velocity near seawall (m/s). Large debris damming and stuck at the seawall affected the scouring pattern around. Both scour depth and scour length is reduce behind the stuck debris but increase at faraway the location.

Keywords: tsunami, hydrograph, seawall, scour, screen