

ASESMEN TERHADAP BERAT BATU LAPIS PELINDUNG PEMECAH GELOMBANG DI PELABUHAN LOGENDING, PLTU ADIPALA DAN CIKIDANG

Wahyu Widiyanto

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Mayjen Sungkono Km 05, Blater, Purbalingga
e-mail: wahyu.widiyanto.ts@gmail.com

Abstract— Armor layer stone weight is the main factor of breakwater stability. For the same kind of an armor stone, the heavier the stone, the higher the against wave. In contiguous regions which have similar wave characteristic, it is logical if armor stone weights are equal. Nevertheless, in the reality, the weights can be too different as it can be seen at case of three ports in South Coast of Java i.e Port of Logending Kebumen, Port of PLTU Adipala Cilacap and Port of Cikidang Pangandaran. Armor stone weight of head of breakwaters at the three ports are 2.1 ton, 25 ton and 1.3 ton respectively. Therefore, it is important to assess the stone weight in order to find design wave heights which were selected by designer. Furthermore, it can be used for after construction activity, that is maintenance. Analysis to give assessment is conducted to the three breakwaters. By applying Hudson Formula can be known result of analysis from which it shows that design wave heights applied in Port of Logending, Port of PLTU Adipala and Port of Cikidang are 2.8 meters, 6.4 meters and 2.6 meters. Breakwater in Port of PLTU Adipala apparently uses higher design wave than significant wave (H_s) which is usually used by Hudson Formula.

Keyword: breakwater, stone weight, armor layer, port, Hudson Formula.

Abstrak— Berat batu pada lapis pelindung merupakan faktor utama stabilitas suatu pemecah gelombang. Untuk jenis yang sama dari suatu batu pelindung, semakin berat sebuah batu semakin tinggi gelombang yang dapat ditahan. Pada suatu wilayah berdekatan yang memiliki karakteristik gelombang yang serupa maka logis jika berat batu pelindung relatif sama. Namun pada kenyataannya berat batu dapat sangat berbeda seperti dapat dilihat pada kasus tiga pelabuhan di Pantai Selatan Jawa yaitu Pelabuhan Logending Kebumen, Pelabuhan PLTU Adipala Cilacap dan Pelabuhan Cikidang Pangandaran. Berat batu lapis pelindung bagian ujung/kepala pemecah gelombang pada ketiga pelabuhan tersebut berturut-turut adalah 2,1 ton, 25 ton dan 1,3 ton. Oleh karena itu penting jika dilakukan asesmen terhadap berat batu untuk mengetahui tinggi gelombang rencana yang dipilih oleh perencana yang selanjutnya berguna untuk keperluan kegiatan setelah pembangunan yaitu pemeliharaan. Analisis untuk memberikan asesmen dilakukan terhadap ketiga pemecah gelombang tersebut di atas. Dengan menerapkan Rumus Hudson dapat diperoleh hasil analisis yang menunjukkan bahwa tinggi gelombang rencana yang dipakai pada pelabuhan Logending, Pelabuhan PLTU Adipala, dan Pelabuhan Cikidang berturut-turut adalah 2,8 meter, 6,4 meter dan 2,6 meter. Pemecah gelombang Pelabuhan PLTU Adipala nampaknya menggunakan gelombang rencana yang lebih tinggi daripada gelombang signifikan (H_s) yang biasa dipakai dalam Rumus Hudson.

Kata kunci: pemecah gelombang, berat batu, lapis pelindung, pelabuhan, Rumus Hudson

PENDAHULUAN

Pemecah gelombang (breakwater) merupakan salah satu bangunan pantai yang bertugas memecah energi gelombang. Pada suatu pantai yang perlu dilindungi terhadap erosi, pemecah gelombang menjadi salah satu pilihan untuk dibangun. Sedangkan pada suatu pelabuhan, pemecah gelombang dibuat untuk menciptakan kondisi perairan yang tenang dari suatu kolam

labuh sehingga kapal-kapal dapat berlabuh, bertambat dan bongkar muat dengan aman.

Struktur pemecah gelombang dapat dibedakan menjadi pemecah gelombang sisi tegak dan sisi miring (*U.S. Army Corps of Engineers, 2002*). Pemecah gelombang sisi miring lebih banyak dibuat karena lebih fleksibel dalam pemeliharaannya. Pemecah gelombang tipe ini berbentuk tanggul trapesium dan biasa dibuat dari tumpukan batu (*rubble-mound*) berlapis-lapis. Lapisan batu paling luar terdiri dari batu-

batu berukuran lebih berat daripada lapis di dalamnya. Lapisan paling luar ini disebut lapis pelindung (*armor layer*). Salah satu hal penting dalam perancangan suatu pemecah gelombang adalah penentuan berat batu pelindung. Berat batu akan sangat mempengaruhi stabilitas dari suatu pemecah gelombang. Berat batu yang relatif ringan memiliki kemungkinan kurang tahan terhadap gaya gelombang yang terjadi. Meskipun demikian berat batu bukan satu-satunya penentu stabilitas karena masih ada faktor-faktor lain. Pengertian batu dalam konteks ini dapat berarti batu alami maupun batu buatan. Batu buatan biasa dibuat dari beton baik tanpa maupun dengan tulangan. Batu buatan memiliki bentuk yang beraneka ragam yang dibuat dengan tujuan untuk memperbesar koefisien stabilitas. Dewasa ini, batu buatan lebih banyak dipilih karena beberapa keunggulan yang dimiliki.

Artikel ini menyajikan suatu bahasan mengenai penilaian terhadap berat batu pelindung yang telah dipasang di tiga pelabuhan. Pelabuhan tersebut yaitu Pelabuhan Logending di Kabupaten Kebumen, Pelabuhan Pembangkit Tenaga Listrik Uap (PLTU) Adipala di Kabupaten Cilacap dan Pelabuhan Cikidang di Kabupaten Pangandaran. Ketiga tempat yang ditinjau berada di pesisir selatan Jawa. Keberadaan pemecah gelombang di pelabuhan-pelabuhan tersebut penting ditinjau mengingat ada keunikan yang dapat dilihat yaitu bahwa pembangunan pemecah gelombang tersebut berada pada periode waktu yang hampir sama yaitu dibangun dan diselesaikan pada tahun 2011 s.d 2013. Selain itu ketiga pemecah gelombang tersebut memiliki memiliki jenis batu pelindung yang sama yaitu hexapod namun mempunyai berat batu yang cukup berlainan padahal berada di wilayah yang bersebelahan. Oleh karena itu maka cukup beralasan untuk menyandingkan ketiga pemecah gelombang tersebut dalam satu analisis.

Dalam tahap perencanaan, perencana akan menentukan berat batu pelindung berdasarkan gelombang rencana (*design wave*) yang dipilih. Namun dalam artikel ini dilakukan hal yang sebaliknya yaitu dengan meninjau berat batu maka dapat diperkirakan berapa tinggi gelombang rencana yang dipakai. Hal ini penting untuk kegiatan setelah pembangunan

yaitu pemeliharaan. Dalam kaitan pemeliharaan pemecah gelombang terdapat kegiatan inspeksi dan monitoring. Dalam kegiatan ini, tinggi gelombang seharusnya diperiksa apakah terdapat banyak gelombang yang melebihi tinggi gelombang rencana. Selama umur struktur, kerusakan lapis pelindung mungkin saja terjadi jika tinggi gelombang rencana terlampaui atau struktur terpapar gelombang badai di sekitar kondisi desain berulang kali.

ISI DAN PEMBAHASAN

Artikel ini membahas tentang berat batu lapis pelindung pemecah gelombang yang telah terpasang di lapangan. Tujuannya adalah menganalisis berapa tinggi gelombang rencana yang dipakai oleh perencana dan menilai apakah cukup sesuai dengan kondisi Pantai Selatan Jawa yang tergolong pantai dengan energi besar (*high energy*). Hasil analisis juga dapat dimanfaatkan sebagai pegangan dalam kegiatan inspeksi dan monitoring struktur pemecah gelombang. Dua kegiatan tersebut perlu dilakukan sebagai bagian dari pemeliharaan yang harus dilakukan mengingat investasi pemecah gelombang sangat mahal.

Lokasi Tinjauan

Letak dari pelabuhan yang ditinjau dalam artikel ini relatif berdekatan di tiga Kabupaten yang saling berbatasan yaitu Kebumen, Cilacap dan Pangandaran. Posisi masing-masing ditunjukkan oleh Gambar 1.

Lokasi 1 adalah Pelabuhan Logending yang terletak di Muara Sungai Ijo pada koordinat $07^{\circ} 43' 25''$ S dan $109^{\circ} 23' 40''$ E, Desa Ayah, Kecamatan Ayah, Kabupaten Kebumen (Ayumi, 2013). Lokasi 2 adalah Pelabuhan PLTU Adipala tepatnya berada pada koordinat $7^{\circ} 41' 23,15''$ S dan $109^{\circ} 8' 23,23''$ E di Desa Buntan, Kecamatan Adipala, Kabupaten Cilacap (Sitoresmi, 2013). Sedangkan lokasi 3 adalah Pelabuhan Cikidang yang berada di Desa Babakan, Kecamatan Cikidang, tidak jauh dari daerah wisata Pangandaran. Pelabuhan ini semula di bawah otoritas Kabupaten Ciamis sebelum dimekarkan. Dua lokasi pertama termasuk provinsi Jawa Tengah sedangkan yang terakhir masuk wilayah Provinsi Jawa Barat.



Gambar 1. Lokasi tinjauan (Sumber peta: Google Maps).

Lokasi Tinjauan

Letak dari pelabuhan yang ditinjau dalam artikel ini relatif berdekatan di tiga Kabupaten yang saling berbatasan yaitu Kebumen, Cilacap dan Pangandaran. Posisi masing-masing ditunjukkan oleh Gambar 1.

Lokasi 1 adalah Pelabuhan Logending yang terletak di Muara Sungai Ijo pada koordinat $07^{\circ} 43' 25''$ S dan $109^{\circ} 23' 40''$ E, Desa Ayah, Kecamatan Ayah, Kabupaten Kebumen (Ayumi, 2013). Lokasi 2 adalah Pelabuhan PLTU Adipala tepatnya berada pada koordinat $7^{\circ} 41' 23,15''$ S dan $109^{\circ} 8' 23,23''$ E di Desa Bunton, Kecamatan Adipala, Kabupaten Cilacap (Sitoresmi, 2013). Sedangkan lokasi 3 adalah Pelabuhan Cikidang yang berada di Desa Babakan, Kecamatan Cikidang, tidak jauh dari daerah wisata Pangandaran.

Pelabuhan ini semula di bawah otoritas Kabupaten Ciamis sebelum dimekarkan. Dua lokasi pertama termasuk provinsi Jawa Tengah sedangkan yang terakhir masuk wilayah Provinsi Jawa Barat.

Gambaran Kondisi Pemecah Gelombang

Pemecah gelombang pertama yang dibahas merupakan bagian dari Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI) Logending yang berlokasi di Pantai Ayah. Pemerintah Kabupaten Kebumen membangun PPI Logending untuk meningkatkan produksi ikan, meningkatkan pendapatan dan kesejahteraan nelayan, menciptakan lapangan kerja dan kesempatan berusaha bagi nelayan, mendapatkan multiplier effect bagi masyarakat pesisir dan sekitarnya ,

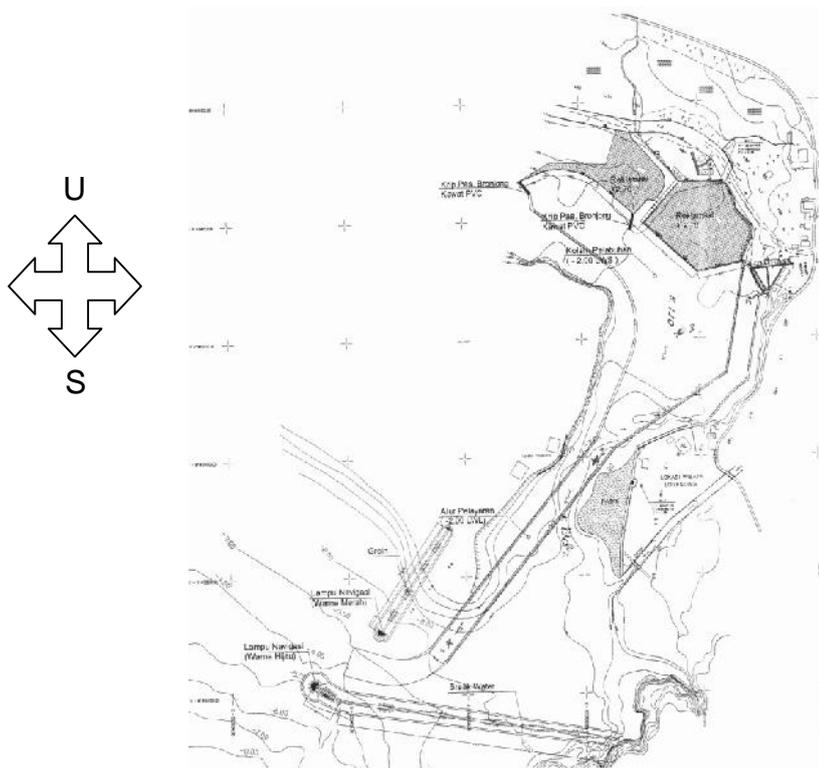
serta meningkatkan ekonomi daerah Kabupaten Kebumen dan nasional pada umumnya (Dinas Kelautan dan Perikanan Kebumen, 2012).

Layout dan potongan melintang pemecah gelombang Logending ditampilkan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Pemecah gelombang sebanyak dua buah. Yang lebih pendek berarah membujur utara selatan dan yang lebih panjang membujur timur barat.

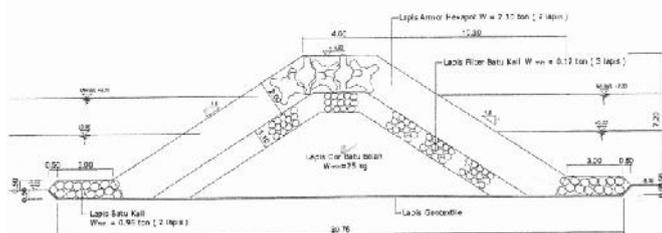
Mulut pelabuhan berada dekat dengan ujung-ujung pemecah gelombang. Pemecah gelombang yang lebih pendek juga berfungsi sebagai groin yang menghalangi gerakan sedimen sejajar pantai (*longshore transport*) dari arah barat. Sedangkan pemecah gelombang yang lebih panjang merupakan pemecah gelombang utama yang membentengi area pelabuhan dari serangan gelombang arah tenggara, selatan dan barat daya.

Pemecah gelombang kedua yang ditinjau berada di pelabuhan PLTU Adipala dibangun oleh P.T. PLN (Persero) bekerjasama dengan CNTIC Consortium (kontraktor China). Pemecah gelombang tersebut merupakan bagian dari pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) 2 Jawa Tengah dengan kapasitas produksi 1 x 600-700 MW.

Pemecah gelombang itu sendiri terdiri dari dua bagian yaitu *West Breakwater* dan *East breakwater* dengan panjang berturut-turut adalah 575 m dan 1.503,67 m. Pemecah gelombang dibangun sebagai sarana penunjang untuk operasional PLTU 2 Jateng dalam proses bongkar batu bara dari tongkang 12.000 DWT atau vessel 35.000 DWT (Sitoresmi, 2013).



Gambar 2. Layout Pelabuhan Logending (Sumber: Dinas Kelautan dan Perikanan Kebumen)



Gambar 3. Potongan melintang bagian ujung pemecah gelombang Pelabuhan Logending (Sumber: Dinas Kelautan dan Perikanan Kebumen)

Selanjutnya yang ketiga adalah pemecah gelombang di Pelabuhan Cikidang. Pemecah gelombang ini selesai dibangun pada tahun 2013 setelah terhenti beberapa tahun karena dua sebab. Pertama adalah hantaman tsunami Pangandaran pada tahun 2006. Kedua, adanya peralihan tata pemerintahan dari semula pelabuhan tersebut berada di wilayah wewenang Kabupaten Ciamis berpindah menjadi wilayah Kabupaten Pangandaran yang merupakan Kabupaten baru hasil pemekaran. Pelabuhan Cikidang saat ini masih berstatus Pangkalan Pendaratan Ikan dengan produksi ikan rata-rata 4.780 ton/tahun. Bobot kapal yang dilayani rata-rata 5 GT dan panjang dermaga 100 m (Setiadi, 2014). Dengan dibangunnya pemecah gelombang dan tambahan fasilitas lainnya diharapkan status

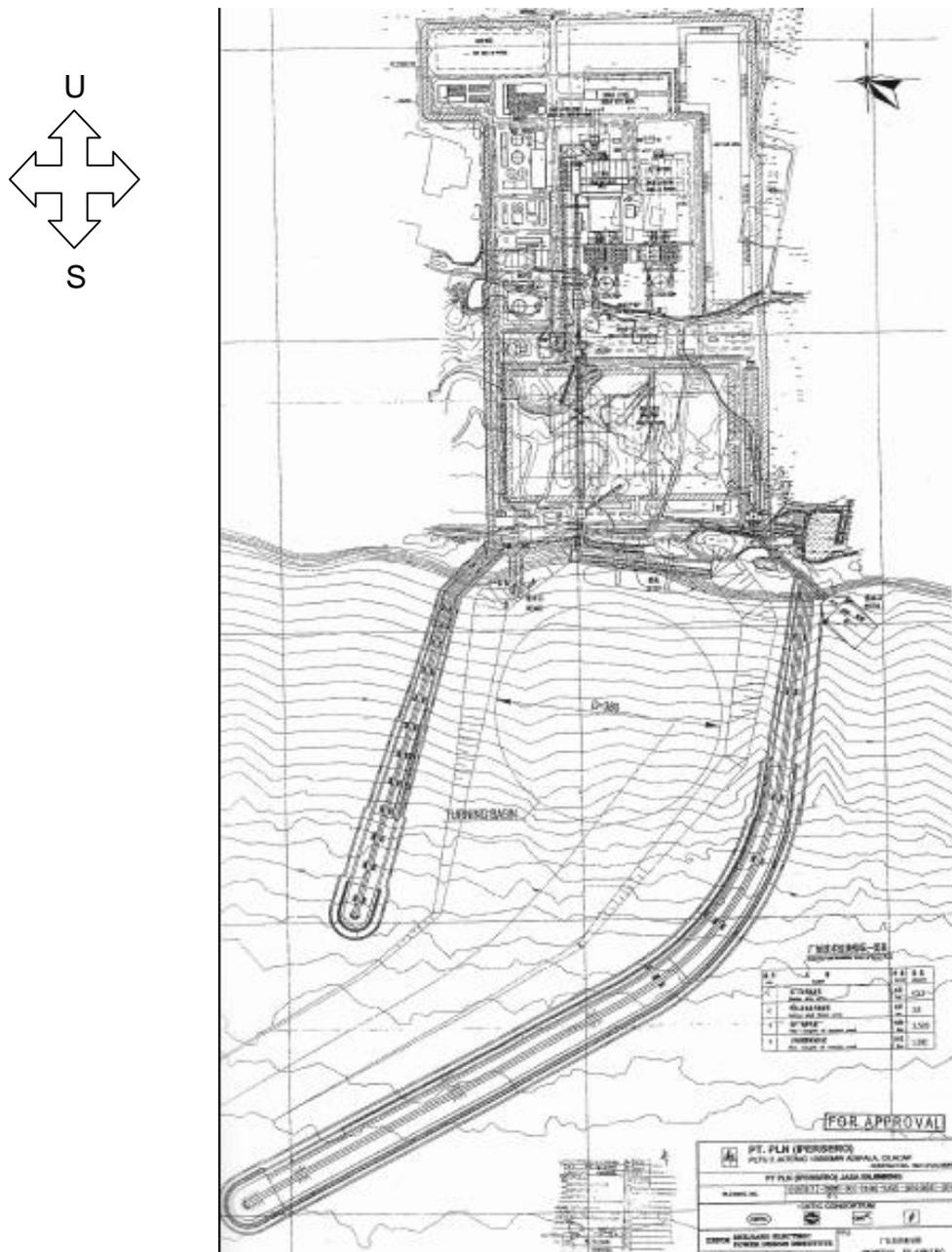
Pelabuhan Cikidang meningkat menjadi Pelabuhan Perikanan Pantai atau Pelabuhan Perikanan Tipe C. Pelabuhan tipe ini disyaratkan memiliki produksi ikan 20 ton/hari atau 7.300 ton/tahun, bobot kapal yang dilayani hingga 15 GT dan memiliki lahan darat 5 Ha.

Data Gelombang

Dalam perencanaan bangunan-bangunan pantai di Pantai Selatan Jawa kebanyakan tidak dilakukan pengukuran gelombang mengingat kesulitan dan biaya yang sangat besar. Selain itu pengukuran yang dilakukan hanya dalam waktu pendek kurang bisa mewakili gelombang yang ada di lapangan. Oleh karena itu seringkali digunakan data sekunder dari beberapa sumber. Yang sering digunakan

adalah tiga sumber berikut ini (Triatmodjo, 2012). (1) U.S Navy: Data gelombang di laut dalam di sekitar lokasi studi yang didapat dari buku *U.S Navy Marine Climatic Atlas of the World Volume 3 Indian Ocean* (1976). Dalam buku tersebut disajikan data tinggi gelombang dalam bentuk statistik yang didasarkan data selama 120 tahun, dan hasilnya diberikan dalam Tabel 1. Arah gelombang dominan dari tenggara sampai barat daya. (2) BCEOM: Pengukuran gelombang yang dilakukan oleh BCEOM selama satu tahun (1992) di laut pada

kedalaman 20 m di dekat muara Sungai Tipar di Kabupaten Cilacap. Muara tersebut juga berada di pantai selatan Jawa Tengah sehingga kondisi laut adalah serupa. (3) SOGREAH: Dalam pekerjaan *Java Flood Control Project* pada tahun 1996, Sogreah melakukan kombinasi data yang diperoleh dari pengukuran gelombang oleh Puslitbang berdasar data angin di Cilacap, yang hasilnya adalah: $(H_s)_{1th} = 2,1$ m; $(H_s)_{10th} = 2,6$ m; $(H_s)_{25th} = 2,8$ m; dan $(H_s)_{50th} = 3,1$ m.



Gambar 4. Layout Pelabuhan PLTU Adipala (Sumber: Gambar Rencana PLN (Persero) dalam Sitoresmi, 2013)



Gambar 5. Potongan melintang bagian ujung pemecah gelombang Pelabuhan PLTU Adipala (Sumber: Gambar Rencana PLN (Persero) dalam Sitoresmi, 2013)

Tabel 1. Tinggi gelombang di Samudera Indonesia

Tinggi Gelombang H (m)	Persentase Kejadian (%)		
	Tenggara	Selatan	Barat Daya
0 – 1	4,67	3,02	2,54
1 – 2	9,89	20,27	7,79
2 – 3	4,48	7,54	5,07
>3	0,56	1,89	1,13

Ketiga informasi data gelombang di perairan selatan Pulau Jawa di atas digunakan untuk menilai pemecah gelombang di tiga lokasi tersebut di atas, khususnya mengenai kaitan antara berat batu lapis pelindung dan tinggi gelombang rencana yang diaplikasikan.

Rumus untuk Berat Batu

U.S. Army Corps of Engineers (2002) menyajikan rumus-rumus untuk menentukan berat batu pelindung yang dibutuhkan pada suatu pemecah gelombang yaitu: Hudson, van der Meer, Vidal, Jensen, Burcharth dan Liu, Melby dan Turk, Hanzawa, serta Carver dan Heimbaugh. Rumus Hudson relatif populer dibandingkan dengan yang lain karena cocok untuk menghitung berat batu pada kondisi pemecah gelombang tidak boleh terlampaui air (*non-overtopping*). Oleh karena itu pada artikel ini rumus tersebut dipakai untuk menghitung tinggi gelombang rencana dari berat batu yang telah diketahui di lapangan.

Rumus Hudson semula berbentuk sebagaimana tertulis pada Persamaan (1) sebagai berikut (U.S. Army Corps of Engineers, 2002):

$$M_{50} = \frac{\gamma_s H^3}{K_D \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right)^3 \cot r} \quad (1)$$

Dengan simbol-simbol pada Persamaan (1) meliputi M_{50} = nilai tengah (median) dari massa batu-batu, γ_s = rapat massa batu, H = tinggi gelombang, K_D = koefisien stabilitas, γ_w = rapat

massa air, α = sudut kemiringan lereng pemecah gelombang. Mengingat $W_{50} = M_{50} \cdot g$, maka Persamaan (1) menjadi:

$$W_{50} = \frac{\gamma_s g H^3}{K_D \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right)^3 \cot r} \quad (2)$$

Dengan definisi $\gamma_s = \rho_s g$ = berat satuan batu dan $\rho_s/\rho_w = S$ = berat jenis (*specific gravity*) batu, maka Persamaan (2) menjadi:

$$W_{50} = \frac{\alpha_s H^3}{K_D (S - 1)^3 \cot r} \quad (3)$$

Persamaan (3) merupakan bentuk yang paling dikenal dari Rumus Hudson. Dengan K_D adalah koefisien stabilitas Hudson.

ANALISIS

Jika pada tahap perancangan, desainer memilih suatu tinggi gelombang rencana untuk menghitung berat batu maka sebaliknya jika pemecah gelombang telah dibangun, tinggi gelombang rencana dapat dihitung berdasarkan berat batu yang telah terpasang.

Untuk mencari tinggi gelombang rencana (H_D), Persamaan 3 dibawa ke bentuk sebagai berikut.

$$H_D = \sqrt[3]{\frac{W_{\text{terpasang}} K_D (S - 1)^3 \cot r}{\alpha_s}} \quad (4)$$

Berat batu pelindung yang telah terpasang di lapangan diberi notasi $W_{\text{terpasang}}$. Material batu buatan dari blok beton jenis hexapod yang ditempatkan di pemecah gelombang Pelabuhan

Logending, PLTU Adipala dan Pelabuhan Cikidang mempunyai nilai koefisien stabilitas $K_D = 7$. Berat satuan beton diambil 2.400 kg/m^3 dan berat satuan air laut dipakai 1.025 kg/m^3 . Kemiringan pemecah gelombang pelabuhan Logending dan PLTU adalah 1:1,5 sedangkan Cikidang adalah 1:2. Dengan nilai-nilai tersebut selanjutnya dapat dihitung tinggi gelombang rencana seperti ditunjukkan Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2 dapat dianalisis bahwa Pelabuhan Logending dan Cikidang menggunakan gelombang rencana di bawah 3 meter atau di antara 2 s.d. 3 meter. Jika dinilai berdasarkan data gelombang oleh U.S. Navy maka diperkirakan tinggi gelombang yang dipakai berada di kisaran tinggi gelombang signifikan (H_s).

Tinggi gelombang signifikan sama dengan tinggi gelombang rata-rata dari 33% gelombang tertinggi. Jika dinilai dari data SOGREAH, maka gelombang rencana ($H_D = 2,64 \text{ m}$) di pelabuhan Cikidang memakai kala ulang 10 tahun dimana $(H_s)_{10\text{th}} = 2,6 \text{ m}$. Sedangkan pelabuhan Logending ($H_D = 2,81 \text{ m}$) memakai kala ulang lebih tinggi dibandingkan Pelabuhan Cikidang yaitu 25 tahun dimana $(H_s)_{25\text{th}} = 2,8 \text{ m}$.

Untuk pelabuhan PLTU Adipala, dengan $H_D = 6,42$ meter berarti jauh di atas 3 meter sehingga kemungkinan memakai gelombang rencana $H_{10\%}$ bahkan $H_{1\%}$. Kala ulangnya pun jauh di atas 50 tahun. Dengan melihat hal ini kemungkinan pemecah gelombang PLTU Adipala lebih siap menghadapi kondisi ekstrem dibandingkan kedua pelabuhan tersebut sebelumnya. Ini juga berarti pemecah gelombang ini telah mengurangi resiko dengan mengurangi kerentanan, dimana dikenal dalam mitigasi bencana bahwa resiko sama dengan hazards dikalikan kerentanan.

Telah diketahui publik bahwa pantai selatan Jawa termasuk wilayah rawan tsunami. Tsunami yang tercatat pernah menerjang daerah Cilacap adalah tsunami Pangandaran yang terjadi pada 17 Juli 2006. Saat itu korban meninggal total tercatat 650 orang dimana untuk wilayah Cilacap berjumlah 157 jiwa (Waluyo, 2007), dengan sebagian besar berada

di Kecamatan Adipala tempat dimana pelabuhan PLTU berada. Menurut Waluyo (2007), tinggi gelombang tsunami yang terjadi adalah 7 meter. Melihat hal ini maka tinggi gelombang rencana di pemecah gelombang PLTU Adipala mendekati tinggi gelombang tsunami yang pernah terjadi di daerah itu. Dengan demikian diharapkan pemecah gelombang tersebut relatif aman terhadap tsunami.

Esteban (2014) menyatakan bahwa desain pemecah gelombang berdasarkan serangan gelombang tsunami baru mendapat perhatian yang kecil karena kejadian tsunami yang relatif jarang dan struktur yang jarang pula dirancang berdasar tinggi gelombang tsunami. Kejadian Tsunami Jepang 2011 dan Tsunami Aceh 2004 telah membuka mata bahwa perencanaan pemecah gelombang berdasar tinggi gelombang tsunami perlu dipertimbangkan. Hal ini diperkuat dengan bukti-bukti lapangan yang menunjukkan kerusakan sebagian maupun seluruhnya dari struktur pemecah gelombang yang terkena tsunami. Esteban (2014) juga berpendapat bahwa di masa datang, riset mengenai desain struktur selama kejadian sangat ekstrim (misalnya tsunami) selayaknya diprioritaskan.

Meskipun telah didesain relatif aman dengan gelombang rencana yang tinggi dan berat batu yang besar, pemecah gelombang Pelabuhan PLTU harus terus dipantau. Kerusakan pemecah gelombang tidak saja terjadi ketika gelombang rencana terlampaui namun juga dapat terjadi akibat patahnya batu beton pelindung oleh goyangan gelombang (walaupun tingginya di bawah gelombang rencana) berulang kali atau oleh penurunan tanah dasar (*settlement*). Pelajaran berharga dapat dipetik dari pengalaman kegagalan struktur beberapa pemecah gelombang di dunia. Salah satu yang terkenal adalah kerusakan pemecah gelombang Sines (*Sines Breakwater*) di Portugal pada 26 Februari 1978. Pemecah gelombang ini memiliki batu pelindung yang termasuk terberat di dunia. Jensen (2013) menggambarkan pemecah gelombang tersebut dibangun dengan lapisan pelindungnya berupa Dolos yang merupakan batu buatan dari beton tanpa tulangan seberat 42 ton setiap unitnya.

Tabel 2. Tinggi gelombang rencana

Pelabuhan	$W_{\text{terpasang}}$ (ton)	K_D	s (ton/m^3)	w (ton/m^3)	cot	H_D (m)
Logending	2,1	7	2,4	1,025	1,5	2,81
PLTU Adipala	25,0	7	2,4	1,025	1,5	6,42
Cikidang	1,3	7	2,4	1,025	2,0	2,64

Kemiringan lerengnya adalah 1:1,5. Tinggi dan periode gelombang rencana berturut-turut adalah $H_s = 11$ meter dan $T_p = 15$ detik. Koefisien stabilitas $K_D = 23,6$. Kerusakan parah terjadi ketika ada badai dengan $H_s = 9$ meter dan $T_p = 19$ detik. Dari kerusakan yang dialami oleh pemecah gelombang Sines, Jensen (2013) juga menyimpulkan bahwa ukuran beton yang sangat besar cenderung membawa sifat getas dan mudah pecah di bawah aksi gaya gelombang dan *settlement*.

KESIMPULAN

Ketiga pemecah gelombang memiliki tinggi gelombang rencana yang cukup berbeda meskipun jenis batu yang dipakai sama (hexapod) dan berada pada pantai yang relatif serupa dan berdekatan.

Tinggi gelombang rencana di Pelabuhan PLTU Adipala hampir 2,5 kali tinggi gelombang rencana di kedua pelabuhan yang lain. Bahkan tinggi gelombang rencana di Pelabuhan PLTU Adipala mendekati tinggi gelombang tsunami yang pernah terjadi di wilayah itu pada tahun 2006 yaitu 7 m. Di samping itu berat batu di Pelabuhan PLTU Adipala berkisar 10 s.d 20 kali berat batu di kedua pelabuhan yang lain. Dengan berat batu 25 ton setiap butirnya, pemecah gelombang PLTU Adipala diperkirakan lebih tahan terhadap kondisi ekstrem seperti adanya badai dan tsunami.

Inspeksi dan monitoring perlu dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak gelombang yang melampaui tinggi gelombang rencana sekaligus untuk menilai stabilitas pemecah gelombang dari waktu ke waktu. Batu pelindung yang berat belum menjadi jaminan keamanan terhadap kegagalan struktur mengingat batu yang berukuran besar cenderung getas dan mudah patah.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayumi, Dinny D., 2013. *Analisis Refraksi Gelombang Pantai Logending Kabupaten Kebumen dengan Menggunakan Fortran*, Skripsi tidak diterbitkan, Puwokerto: Program Studi Teknik Sipil Universitas Jenderal Soedirman.
- Dinas Kelautan dan Perikanan Kebumen, 2012. *Kerangka Acuan Kerja Pekerjaan Pengawasan Pembangunan Pangkalan Pendaratan Ikan Logending*, Kebumen: Pemerintah Kabupaten Kebumen.
- Esteban, M., Jayaratne, R., Mikami, T., Morikubo, I., Shibayama, T., Thao, N., Ohira, K., Ohtani, A., Mizuno, Y., Kinoshita, M., and Matsuba, S. (2014). "Stability of Breakwater Armor Units against Tsunami Attacks." *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.*, 140(2), 188–198.
- Jensen, Ole Juul. 2013. *Safety of Breakwater Armour Layers with Special Focus on Monolayer Armour Units*. (online), http://www.ice.org.uk/ICE_Web_Portal/media/Events/Breakwaters_2013/Safety-of-Breakwater-Armour-Layers-with-Special-Focus-on-Monolayer-Armour-Units.pdf, diakses pada 10 Maret 2014.
- Setiadi, Aji, 2014. *Studi Pengembangan Fasilitas Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI) Cikidang Kabupaten Pangandaran*, Skripsi tidak diterbitkan, Puwokerto: Program Studi Teknik Sipil Universitas Jenderal Soedirman.
- Sitoresmi, Atika, 2013, *Pelaksanaan Pekerjaan Breakwater PLTU 2 Jateng*, Laporan Kerja Praktek tidak diterbitkan, Puwokerto: Program Studi Teknik Sipil Universitas Jenderal Soedirman.
- Triatmodjo, Bambang, 2012. *Perencanaan Bangunan Pantai*, Beta Offset, Yogyakarta.

U.S. Army Corps of Engineers, 2002, *Coastal Engineering Manual* (Change 3, 28 September 2011), Washington: Department of the Army.

Waluyo, Budi, 2007. *Sistem Peringatan Dini Tsunami*, Makalah disampaikan dalam Seminar Nasional Mitigasi Bencana Gempa dan Tsunami di Purwokerto, Program Studi Teknik Sipil Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto 24 November 2007.