

BAB IX

BANGUNAN PEMECAH GELOMBANG (BREAKWATER)

9.1. LANDASAN TEORI

A. Pengertian Breakwater

Pemecah gelombang atau dikenal sebagai juga sebagai *Pemecah ombak* atau bahasa Inggris *breakwater* adalah prasanana yang dibangun untuk memecahkan ombak/ gelombang, dengan menyerap sebagian energi gelombang. Pemecah gelombang digunakan untuk mengendalikan abrasi yang menggerus garis pantai dan untuk menenangkan gelombang dipelabuhan sehingga kapal dapat merapat dipelabuhan dengan lebih mudah dan cepat.

Pemecah gelombang harus didesain sedemikian sehingga arus laut tidak menyebabkan pendangkalan karena pasir yang ikut dalam arus mengendap di kolam pelabuhan. Bila hal ini terjadi maka pelabuhan perlu dikeruk secara reguler.

Sebenarnya breakwater atau pemecah gelombang dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu pemecah gelombang sambung pantai dan lepas pantai. Tipe pertama banyak digunakan pada perlindungan perairan pelabuhan, sedangkan tipe kedua untuk perlindungan pantai terhadap erosi. Secara umum kondisi perencanaan kedua tipe adalah sama, hanya pada tipe pertama perlu ditinjau karakteristik gelombang di beberapa lokasi di sepanjang pemecah gelombang, seperti halnya pada perencanaan groin dan jetty. Penjelasan lebih rinci mengenai pemecah gelombang sambung pantai lebih cenderung berkaitan dengan palabuhan dan bukan dengan perlindungan pantai terhadap erosi. Selanjutnya dalam tinjauan lebih difokuskan pada pemecah gelombang lepas pantai.

Breakwater atau dalam hal ini pemecah gelombang lepas pantai adalah bangunan yang dibuat sejajar pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai. Pemecah gelombang dibangun sebagai salah satu bentuk perlindungan

pantai terhadap erosi dengan menghancurkan energi gelombang sebelum sampai ke pantai, sehingga terjadi endapan dibelakang bangunan. Endapan ini dapat menghalangi transport sedimen sepanjang pantai.

Seperti disebutkan diatas bahwa pemecah gelombang lepas pantai dibuat sejajar pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai, maka tergantung pada panjang pantai yang dilindungi, pemecah gelombang lepas pantai dapat dibuat dari satu pemecah gelombang atau suatu seri bangunan yang terdiri dari beberapa ruas pemecah gelombang yang dipisahkan oleh celah.

B. Fungsi

Bangunan ini berfungsi untuk melindungi pantai yang terletak dibelakangnya dari serangan gelombang yang dapat mengakibatkan erosi pada pantai. Perlindungan oleh pemecahan gelombang lepas pantai terjadi karena berkurangnya energi gelombang yang sampai di perairan di belakang bangunan. Karena pemecah gelombang ini dibuat terpisah ke arah lepas pantai, tetapi masih di dalam zona gelombang pecah (*breaking zone*). Maka bagian sisi luar pemecah gelombang memberikan perlindungan dengan meredam energi gelombang sehingga gelombang dan arus di belakangnya dapat dikurangi.

Gelombang yang menjalar mengenai suatu bangunan peredam gelombang sebagian energinya akan dipantulkan (refleksi), sebagian diteruskan (transmisi) dan sebagian dihancurkan (dissipasi) melalui pecahnya gelombang, kekentalan fluida, gesekan dasar dan lain-lainnya. Pembagian besarnya energi gelombang yang dipantulkan, dihancurkan dan diteruskan tergantung karakteristik gelombang datang (periode, tinggi, kedalaman air), tipe bangunan peredam gelombang (permukaan halus dan kasar, lulus air dan tidak lulus air) dan geometrik bangunan peredam (kemiringan, elevasi, dan puncak bangunan)

Berkurangnya energi gelombang di daerah terlindung akan mengurangi pengiriman sedimen di daerah tersebut. Maka pengiriman sedimen sepanjang pantai yang berasal dari daerah di sekitarnya akan diendapkan dibelakang bangunan. Pantai di belakang struktur akan stabil dengan terbentuknya endapan sediment tersebut.

C. Material

Untuk material yang digunakan tergantung dari tipe bangunan itu sendiri. Seperti halnya bangunan pantai kebanyakan, pemecah gelombang lepas pantai dilihat dari bentuk strukturnya bisa dibedakan menjadi dua tipe yaitu: sisi tegak dan sisi miring.

Untuk tipe sisi tegak pemecah gelombang bisa dibuat dari material-material seperti pasangan batu, sel turap baja yang didalamnya di isi tanah atau batu, tumpukan buis beton, dinding turap baja atau beton, kaison beton dan lain sebagainya.

Dari beberapa jenis tersebut, kaison beton merupakan material yang paling umum di jumpai pada konstruksi bangunan pantai sisi tegak. Kaison beton pada pemecah gelombang lepas pantai adalah konstruksi berbentuk kotak dari beton bertulang yang didalamnya diisi pasir atau batu. Pada pemecah gelombang sisi tegak kaison beton diletakkan diatas tumpukan batu yang berfungsi sebagai fondasi. Untuk menanggulangi gerusan pada pondasi maka dibuat perlindungan kaki yang terbuat dari batu atau blok beton :

Sementara untuk tipe bangunan sisi miring, pemecah gelombang lepas pantai bisa dibuat dari beberapa lapisan material yang di tumpuk dan di bentuk sedemikian rupa (pada umumnya apabila dilihat potongan melintangnya membentuk trapesium) sehingga terlihat seperti sebuah gundukan besar batu, Dengan lapisan terluar dari material dengan ukuran butiran sangat besar.

Dari gambar dapat kita lihat bahwa konstruksi terdiri dari beberapa lapisan yaitu:

1. Inti(*core*) pada umumnya terdiri dari agregat galian kasar, tanpa partikel-partikel halus dari debu dan pasir.
2. Lapisan bawah pertama(*under layer*) disebut juga lapisan penyaring (*filter layer*) yang melindungi bagian inti(*core*) terhadap penghanyutan material, biasanya terdiri dari potongan-potongan tunggal batu dengan berat bervariasi dari 500 kg sampai dengan 1 ton.
3. Lapisan pelindung utama (*main armor layer*) seperti namanya, merupakan pertahanan utama dari pemecah gelombang terhadap serangan gelombang pada lapisan inilah biasanya batu-batuan ukuran besar

dengan berat antara 1-3 ton atau bisa juga menggunakan batu buatan dari beton dengan bentuk khusus dan ukuran yang sangat besar seperti tetrapod, quadripod, dolos, tribar, xbloc accropode dan lain-lain

Secara umum, batu buatan dibuat dari beton tidak bertulang konvensional kecuali beberapa unit dengan banyak lubang yang menggunakan perkuatan serat baja. Untuk unit-unit yang lebih kecil, seperti Dolos dengan rasio keliling kecil, berbagai tipe dari beton berkekuatan tinggi dan beton bertulang (tulangan konvensional, prategang, fiber, besi, profil-profil baja) telah dipertimbangkan sebagai solusi untuk meningkatkan kekuatan struktur unit-unit batu buatan ini. Tetapi solusi-solusi ini secara umum kurang hemat biaya, dan jarang digunakan.

Seiring perkembangan jaman dalam konstruksi pemecah gelombang lepas pantai juga mengalami perkembangan. Belakangan juga dikenal konstruksi pemecah gelombang komposit. Yaitu dengan menggabungkan bangunan sisi tegak dan bangunan sisi miring. Dalam penggunaan material pun dikombinasikan misalnya antara kaisan beton dengan batu-batuan sebagai pondasinya.

Selain itu pula terdapat bangunan pemecah gelombang dari potongan bambu yang dianyam, dan dari ban-ban bekas yang biayanya lebih murah namun masih dipertanyakan mengenai keramahan lingkungannya.

Breakwater bentuk Kubus.

Untuk melindungi daerah pantai dari serangan gelombang, suatu pantai memerlukan bangunan peredam gelombang. Peredam gelombang adalah suatu bangunan yang bertujuan untuk mereduksi atau menghancurkan energi gelombang. Gelombang yang menjalar mengenai suatu bangunan peredam gelombang sebagian energinya akan dipantulkan (refleksi), sebagian diteruskan (transmisi) dan sebagian dihancurkan (dissipasi) melalui pecahnya gelombang, kekentalan fluida, gesekan dasar dan lain-lainnya. Pembagian besarnya energi gelombang yang dipantulkan, dihancurkan dan diteruskan tergantung karakteristik gelombang datang (periode, tinggi, kedalaman air), tipe bangunan peredam gelombang (permukaan halus dan kasar).

Peredam gelombang bentuk kubus adalah merupakan peredam gelombang yang mempunyai permukaan lebih kecil/sempit dikarenakan cara pemasangannya disesuaikan dengan sifat dan arah datangnya gelombang,

sehingga menyebabkan gelombang akan kehilangan energi lebih besar karena gesekan dengan permukaan peredam gelombang datar (kubus).

Breakwater berbentuk kubus sangat efektif untuk meredam energi gelombang, dengan cara pemasangan sudut menghadap arah datangnya gelombang. Gelombang akan dipecah oleh sudut kubus sehingga energi yang dibawa oleh gelombang berkurang, seterusnya energi yang sudah tereduksi diterima kembali oleh kubus dibelakangnya, demikian seterusnya sampai gelombang laut benar-benar berkurang energinya.

D. Metoda Pelaksanaan Konstruksi

Ada berbagai macam metode dalam pelaksanaan pembangunan konstruksi pemecah gelombang lepas pantai baik itu sisi tegak maupun sisi miring. Untuk sisi tegak ada sebuah metode pelaksanaan yang cukup unik pada sebuah konstruksi pemecah gelombang kaison. Metode ini agak berbeda dan sempat mejadi pertentangan pada saat ditemukan.

Adapun gambaran umum metode pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

- Kaison yang terbuat dari beton pracetak diletakan dipermukaan air dengan bagian dasarnya yang terbuka menghadap ke bawah. Dengan mengatur tekanan udara didalam kaison, maka tingkat pengapungannya dapat dikendalikan untuk memastikan stabilitas dan mengatur aliran udaranya selama pemindahan ke lokasi pemasangannya.
- Adapun untuk proses pemindahan kaison ke lokasi pemasangan bisa dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya dengan didorong menggunakan sebuah tugboat.
- Pada saat sudah berada di lokasi pemasangan, udara didalam kaison dikeluarkan dan kaison ditenggelamkan ke dasar laut dengan mengandalkan beratnya sendiri. Kemudian setelah kaison ditenggelamkan dan berada pada posisi yang telah direncanakan, maka kaison diisi dengan material pengisi untuk meningkatkan kekuatan strukturnya.
- Karena kaison terbuka dibagian dasarnya maka bagian ujungnya hanya mempunyai luasan permukaan yang sangat kecil jika dibandingkan

dengan area yang dicakup oleh kaison itu sendiri. Luas permukaan ujung yang kecil ini digabungkan dengan berat kaison yang besar mengakibatkan kaison lebih mudah ditenggelamkan hingga menancap ke dasar laut dengan kedalaman yang cukup. Ini untuk memastikan kaison dapat menahan pergerakan horisontal dari struktur setelah dipasang. Disamping itu juga dimaksudkan agar material dasar laut yang berada dalam cakupan kaison dapat dijadikan sebagai bahan pengisi kaison itu sendiri sebagai salah satu solusi menghemat pemakaian material pengisi.

- Sedangkan jika tanah di dasar laut terlalu lunak untuk mendukung kaison selama pengisian dan setelah dinding-dinding vertikal menembus dasar laut sampai kedalaman yang diinginkan, penurunan selanjutnya dapat dicegah dengan memelihara udara bertekanan yang ada di dalam kaison.
- Kaison itu kemudian diisi dengan cara memompa masuk material kerukan melalui suatu lubang masuk. Ketika material kerukan seperti lumpur dan/atau pasir dipompa masuk ke dalam kaison, udara bertekanan yang tersisa dalam kaison itu dikurangi seperti yang dilakukan pada air yang mengisi kaison, sehingga struktur itu berada dibawah dukungan hidrolis sementara.
- Pada akhirnya setelah kaison itu cukup diisi dengan material padat, maka lubang-lubang udara dan hidrolis ditutup dengan beton atau material lain.

Sedangkan untuk tipe bangunan sisi miring metode pelaksanaannya tidak jauh berbeda dengan bangunan pelindung pantai lainnya seperti groin dan jeti yang juga menggunakan konstruksi sisi miring. Yang membedakan hanya cara pemindahan material dan alat-alat beratnya saja. Karena pemecah gelombang lepas pantai dibuat sejajar pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai maka untuk pemindahan material dan alat berat ke lokasi pemasangan menggunakan alat transportasi air misalnya kapal atau tongkang pengangkut material. Adapun metode pelaksanaannya dapat dipilah per lapisan sebagai berikut:

- Untuk lapisan inti (core) material ditumpahkan ke dalam laut menggunakan dump truk. untuk memudahkan penimbunan material oleh

truk, bagian inti(core) idealnya mempunyai lebar antara 4-5 meter pada bagian puncak dan kira-kira 0,5 meter di atas level menengah permukaan laut, ketika ada suatu daerah pasang surut yang besar, sebaiknya berada diatas level tertinggi air pasang.

- Lapisan bawah pertama (*under layer*) yang terdiri dari potongan-potongan tunggal batu. Penempatan batu-batu lapisan ini dapat dilakukan menggunakan ekskavator hidrolis, selain itu juga bisa dengan menggunakan sebuah mobile crane normal jika tersedia ruang yang cukup untuk landasannya. Jangan pernah menggunakan crane dengan ban karet pada lokasi yang tidak rata tanpa landasan yang cukup luas. Ekskavator harus menempatkan batuan yang lebih berat secepat mungkin sehingga bagian inti(core) tidak mengalami hempasan ombak. Jika suatu ombak badai mengenai lokasi dimana terlalu banyak bagian inti(core) yang mengalaminya, maka ada suatu bahaya yang serius pada bagian inti(core) yaitu penggerusan material. Gambar 9 menunjukkan susunan lapisan bawah. Dalam hal ini kemiringan lerengnya adalah 2,5/1 dan jarak H, adalah ketinggian dari puncak lapisan bawah ke dasar laut. Suatu tiang dari kayu harus ditempatkan pada bagian atas inti (core) dan disemen untuk meperkokohnya. Pada jarak sama dengan 2,5 x H, sebuah batu ladung yang berat dengan sebuah pelampung penanda harus ditempatkan di dasar laut. Sebuah senar nilon berwarna terang akan direntangkan dari batu ladung ke ketinggian yang diperlukan (H) pada tiang. Prosedur ini harus diulangi setiap 5 m untuk membantu operator crane atau ekskavator untuk menempatkan puncak lapisan di tingkatan yang benar. Seorang perenang dapat memastikan bahwa masing-masing batu batuan yang terpisah ditempatkan di dalam profil yang dibatasi oleh senar nilon.
- Lapisan pelindung utama (*main armor layer*). Dalam pelaksanaan penempatan batu maupun batu buatan dapat menggunakan crawler crane (crane penggerak roda kelabang) atau tracked crane (crane dengan rel). Crane jenis tersebut adalah alat berat yang paling cocok untuk pekerjaan menempatkan batuan berukuran besar. Batu-batu yang besar

harus diangkat satu demi satu menggunakan sling atau pencengkram dan harus ditempatkan didalam air dengan pengawasan dari seorang penyelam. Ia harus ditempatkan satu demi satu berdasar urutannya untuk memastikan ia saling berkesinambungan. Hal ini untuk meyakinkan bahwa ombak tidak bisa menarik satu batu ke luar, yang menyebabkan batu-batu pada bagian atas longsor, menerobos lapisan pelindung dan mengakibatkan terbukanya bagian bawah yang batuanannya lebih kecil.

- Untuk memastikan bahwa batu-batu ditempatkan dengan baik, penyelam tadi perlu mengarahkan operator crane setiap kali suatu batu ditempatkan sampai lapisan pelindung ini menerobos permukaan air. Sama seperti lapisan bawah, diperlukan dua lapisan pelindung untuk menyelesaikan lapisan pelindung utama. Profil kemiringan dapat diatur pada interval tetap 5 m menggunakan prosedur yang sama.

Cara pemasangan kubus.

Cara pemasangan breakwater berdasarkan survey yang dilakukan untuk mengetahui sifat dari gelombang antara lain yang harus diperhatikan adalah arah datangnya gelombang, tinggi gelombang dan contour tanah sebagai fondasi untuk pemasangan kubus. Setelah mengetahui sifat dari gelombang maka dapat ditentukan dimensi kubus, demikian juga setelah mengetahui contour tanah maka diketahui bagaimana cara membuat leveling sebagai fondasi kubus.

Pada tahap pemasangan yang harus diperhitungkan adalah jadwal pasang surut laut, hal ini akan mempengaruhi kerja pemasangan kubus yang memerlukan ketelitian agar kubus dapat terpasang saling mengait dan dapat duduk tepat pada posisinya. Apabila pemasangan selesai maka akan terlihat keindahan dan kerapihan, bahkan apabila telah terjadi sedimen yang cukup maka kubus-kubus tersebut dapat dipindahkan ketempat lain yang memerlukan.

Ada beberapa keuntungan penggunaan breakwater model kubus, 1. Pembuatannya sangat mudah, 2. Waktu pembuatannya cepat, 3. Bila penggunaan dianggap cukup, kubus dapat dipindah ketempat lain, 4. Punya nilai estetika yang baik.

Dengan demikian penggunaan breakwater model kubus sangat tepat pada pantai yang mengalami abrasi karena kerusakan antara lain hutan bakau ditebang untuk penggunaan lain, karang digunakan sebagai bahan bangunan, kerusakan kawasan pantai karena polusi berupa tumpahan minyak serta limbah lainnya yang dihasilkan ulah manusia.

E. Dampak Lingkungan

Seperti dijelaskan pada bagian sebelumnya bahwa berkurangnya energi gelombang di daerah terlindung oleh pemecah gelombang akan mengurangi pengiriman sedimen di daerah tersebut. Maka pengiriman sedimen sepanjang pantai yang berasal dari daerah di sekitarnya akan diendapkan dibelakang bangunan. Pengendapan tersebut menyebabkan terbentuknya *cusplate*. Apabila bangunan ini cukup panjang terhadap jaraknya dari garis pantai, maka akan terbentuk tombolo.

Sedangkan pengaruh pemecah gelombang lepas pantai terhadap perubahan bentuk garis pantai dapat dijelaskan sebagai berikut. Apabila garis puncak gelombang pecah sejajar dengan garis pantai asli, terjadi difraksi di daerah terlindung di belakang bangunan, di mana garis puncak gelombang membelok dan berbentuk busur lingkaran. Perambatan gelombang yang terdifraksi tersebut disertai dengan angkutan sedimen menuju ke daerah terlindung dan diendapkan di perairan di belakang bangunan. Pengendapan sedimen tersebut menyebabkan terbentuknya *cusplate* dibelakang bangunan.

Proses tersebut akan berlanjut sampai garis pantai yang terjadi sejajar dengan garis puncak gelombang yang terdifraksi. Pada keadaan tersebut transport sedimen sepanjang pantai menjadi nol. Seperti terlihat pada gambar 1-14, dimana arah gelombang dominan hampir tegak lurus garis pantai asli, garis puncak gelombang dari sisi kiri dan kanan pemecah berpotongan di titik A. Puncak *cusplate* akan terjadi pada titik A. Dengan demikian pembentukan *tombolo* tergantung pada panjang pemecah gelombang lepas pantai dan jarak antara bangunan dengan garis pantai. Biasanya *tombolo* tidak terbentuk apabila panjang pemecah gelombang lebih kecil dari jaraknya terhadap garis pantai. Jika

bangunan menjadi lebih panjang dari pada jaraknya terhadap garis pantai maka kemungkinan terjadinya *tombolo* semakin tinggi.

Apabila gelombang datang membentuk sudut dengan garis pantai maka laju transport sedimen sepanjang pantai akan berkurang, yang menyebabkan pengendapan sedimen dan terbentuknya *cusplate*. Pengendapan berlanjut sehingga pembentukan *cusplate* terus berkembang hingga akhirnya terbentuk *tombolo*. *Tombolo* yang terbentuk akan merintang/menangkap transport sedimen sepanjang pantai. Sehingga suplai sedimen ke daerah hilir terhenti yang dapat berakibat terjadinya erosi pantai di hilir bangunan.

Pemecah gelombang lepas pantai dapat direncanakan sedemikian sehingga terjadi limpasan gelombang yang dapat membantu mencegah terbentuknya *tombolo*. Manfaat lain dari cara ini adalah membuat garis pantai dari *cusplate* menjadi lebih rata dan menyebar ke arah samping sepanjang pantai.

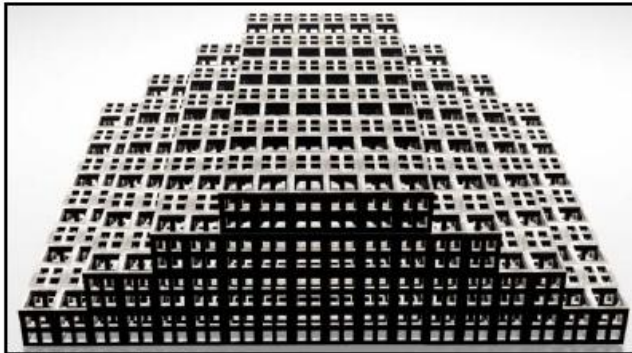
9.2. TERUMBU BUATAN BENTUK KUBUS BETON BERONGGA SEBAGAI STRUKTUR PELINDUNG PANTAI RAMAH LINGKUNGAN

Erosi pantai merupakan salah satu masalah serius perubahan garis pantai. Selain proses alami, seperti angin, arus dan gelombang, aktivitas manusia menjadi penyebab terjadinya erosi pantai seperti; pembukaan lahan baru dengan menebang hutan mangrove untuk kepentingan permukiman, dan pembangunan infrastruktur. Juga pemanfaatan ekosistem terumbu karang sebagai sumber pangan (ikan-ikan karang), sumber bahan bangunan (galian karang), komoditas perdagangan (ikan hias), dan obyek wisata (keindahan dan keanekaragaman hayati) sehingga mengganggu terhadap fungsi perlindungan pantai. Selain itu kerusakan terumbu karang bisa terjadi sebagai akibat bencana alam, seperti gempa dan tsunami, yang akhir-akhir ini sering melanda Negara Indonesia dan selalu menimbulkan kerusakan pada wilayah pesisir.



Gambar 1. Pemukiman Nelayan Yang Rusak

Salah satu metode penanggulangan erosi pantai adalah penggunaan struktur pelindung pantai, dimana struktur tersebut berfungsi sebagai peredam energi gelombang pada lokasi tertentu. Namun banyak tulisan sebelumnya bahwa struktur pelindung pantai dengan material batu alam yang cenderung tidak ramah lingkungan dan tidak ekonomis lagi apabila dilaksanakan pada daerah-daerah pantai yang mengalami kesulitan dalam memperoleh material tersebut. Salah satu cara untuk mengatasi masalah tersebut adalah penggunaan terumbu buatan (*artificial reef*) sebagai struktur pelindung terhadap garis pantai dan sekaligus dapat merehabilitasi ekologisnya. Pemilihan terumbu buatan sebagai struktur dalam perlindungan garis pantai adalah untuk mempertahankan estetika keindahan panorama pantai yang alamiah, sehingga tidak terganggu dengan adanya struktur pelindung pantai yang sejajar dengan garis pantai dan juga mengantisipasi adanya kesulitan dalam memperoleh material batu alam karena adanya kepentingan lain khususnya dalam pelestarian lingkungan di daratan dari penambangan batu alam, yang pada akhirnya akan mengakibatkan terjadinya longsor dan banjir. Tulisan ini diharapkan dapat memberikan tambahan informasi mengenai material yang dapat digunakan sebagai struktur pelindung pantai yang berfungsi

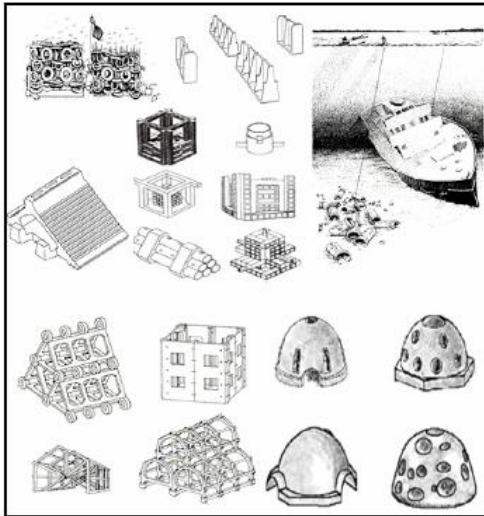


Gambar 2. Terumbu Buatan

untuk mereduksi gelombang namun bermanfaat pula dalam melestarikan ekologis terumbu karang sebagai habitat biota laut seperti ikan dan lain sebagainya.

1. Terumbu Buatan Bentuk Kubus Beton Berongga

Terumbu buatan (*artificial reef*) bukanlah hal baru, di Jepang dan Amerika usaha ini telah dilakukan lebih dari 100 tahun yang lalu. Mula-mula dilakukan dengan menempatkan material natural berukuran kecil sebagai upaya untuk menarik dan meningkatkan populasi ikan. Di Indonesia, terumbu buatan mulai disadari peranan dan kehadirannya oleh masyarakat luas sejak tahun 1980-an, pada saat dimana Pemda DKI Jakarta menyelenggarakan program bebas becak, dengan merazia seluruh becak yang beroperasi di ibu kota dan kemudian mengalami kesulitan dalam penampungannya, sehingga pada akhirnya bangkai becak tersebut dibuang ke laut. Berbagai macam cara, baik tradisional maupun modern, bentuk dan bahan telah digunakan sebagai terumbu buatan untuk meningkatkan kualitas habitat ikan dan biota laut lainnya. Gambar 3. menunjukkan berbagai macam bentuk dan jenis terumbu buatan.



Gambar 3. Bentuk Terumbu Buatan

Saat ini sedang terjadi pergeseran paradigma rekayasa pantai dari pendekatan rekayasa secara teknis yang lugas (*hard engineering approach*) ke arah pendekatan yang lebih ramah lingkungan (*soft engineering approach*). Salah satu contoh misalnya adalah bangunan pemecah gelombang (*breakwater*) yang semula ambangnya selalu terletak di atas muka air laut, kini diturunkan elevasinya hingga terletak dibawah muka air laut (Armono, 2003).

2. Transmisi Gelombang

Beberapa studi mengenai transmisi gelombang telah dilakukan, baik secara model fisik, model numeris atau kedua-duanya terhadap berbagai macam struktur breakwater tenggelam (*submerged breakwater*) dengan berbagai macam karakteristik gelombang, tipe breakwater dan geometris struktur yang ditinjau. Ahrens (1987) menyatakan koefisien transmisi pada *reef breakwaters* tipe *rubblemound* sebagai fungsi relatif tinggi struktur dan perbandingan luas penampang struktur terhadap kedalaman dan panjang gelombang.

$$K_t = \frac{1.0}{1.0 + \left(\frac{h}{d}\right)^{1.188} \left(\frac{A}{dL}\right)^{0.261} \exp\left[0.529\left(\frac{F}{H}\right) + 0.00551\left(\frac{A^{3/2}}{D_{n50}^2 L}\right)\right]} \dots\dots\dots (1.1)$$

h/d = relatif tinggi struktur, A/dL = perbandingan luas penampang struktur terhadap kedalaman dan panjang gelombang. Seabroks (1997), melakukan 3 pengujian model fisik terhadap *submerged rubblemound breakwater* dengan memperbanyak variasi lebar puncak, *freeboard*, kedalaman serta tinggi gelombang datang.

$$K_t = 1 - \left[e^{0.65(F/H) - 1.09(H/B)} - 0.047 \left(\frac{BF}{LD_{n50}} \right) + 0.067 \left(\frac{FH}{BD_{n50}} \right) \right] \dots \dots \dots (1.2)$$

Pengujian terumbu buatan bentuk kubah untuk breakwater yang dilakukan Armono (2003) telah memberikan informasi hubungan antara kemiringan gelombang (*wave steepness*), kedalaman air (h/d) dan dimensi terumbu buatan (h/B) sebagai berikut :

$$K_T = \frac{1}{1 + 34.295 \left[\frac{Hi}{gT^2} \right]^{0.713} \left[\frac{h}{B} \right]^{-0.6} \left[\frac{h}{d} \right]^{4.739}} \dots \dots \dots (1.3)$$

Hasil pengujian yang dilakukan di Labororium Lingkungan dan Energi Lautan, Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS Surabaya, nilai Koefisien Transmisi (K_t) terumbu buatan bentuk kubus berongga diperoleh berkisar antara 0,721 s/d 0,484, hal ini menunjukkan bahwa terumbu buatan bentuk kubus berongga dapat dipertimbangkan sebagai alternatif bangunan pelindung pantai yang ramah lingkungan.

3. Dimensi Terumbu Buatan Bentuk Kubus Beton Berongga

Terumbu buatan bentuk kubus berongga dibuat dari bahan beton cor bertulang dengan dimensi sebagai berikut :



Panjang	= 0,60 m
Lebar	= 0,60 m
Tinggi	= 0,60 m
Tebal	= 0,10 m
Berat	= 138 kg

Gambar 4. Terumbu Buatan Bentuk Kubus Berongga dan Dimensinya

4. Hasil analisa

Dari hasil analisa dapat disimpulkan, bahwa struktur terumbu buatan bentuk kubus berongga dapat mereduksi energi gelombang dengan koefisien transmisi (K_t) berkisar antara 0,721 sampai dengan 0,484. Rata-rata koefisien transmisi (K_t) yang dihasilkan dari struktur tersebut sebesar 0,550. Hal ini menunjukkan bahwa terumbu buatan bentuk kubus berongga sebagai struktur yang efektif dan efisien dalam mereduksi gelombang, sehingga dapat digunakan sebagai alternatif pelindung pantai yang ramah lingkungan.

5. Manfaat Terumbu Buatan Bentuk Kubus Beton Berongga

- Dapat mereduksi gelombang dengan Koefisien Transmisi (K_t) terendah 0,484, sehingga dapat berfungsi sebagai pelindung pantai dari hempasan gelombang yang dapat merusak garis pantai;
- Memiliki stabilitas konstruksi yang mampu menahan gelombang karena memiliki porositas sebesar 36 %, sehingga dapat disusun sesuai dengan kebutuhan;
- Dapat menarik dan mengumpulkan organisme karena memiliki turbulensi yang merata, sehingga biota laut lebih tertarik karena banyak makanan yang terbawa;
- Dapat melindungi organisme kecil, anak ikan dan ikan muda terhadap penangkapan ikan yang tidak terkontrol;

- e. Melindungi kawasan asuhan terhadap cara penangkapan ikan yang bersifat merusak;
- f. Dalam jangka panjang dapat meningkatkan produktivitas alami melalui cara suplai habitat baru bagi ikan dan organisme yang menempel permanen;
- g. Melindungi wilayah operasional nelayan tradisional dari usaha penangkapan nelayan modern yang cenderung merusak lingkungan;
- h. Dapat menambah tujuan wisata bahari seperti: memancing, menyelam, dan snorkling;

6. Tinggi Bangunan Pantai

a. Kenaikan Muka Air karena Tsunami

Tsunami adalah gelombang yang terjadi karena gempa bumi atau letusan gunung api di laut. Berbeda dengan gelombang yang diakibatkan angin yang hanya menggerakkan air laut bagian atas, pada tsunami seluruh kolom air dari permukaan sampai dasar bergerak dalam segala arah. Kejadian tsunami yang disebabkan oleh gempa bumi di laut tergantung pada beberapa faktor, yaitu kedalaman pusat gempa, kekuatan gempa dan kedalaman air di atas episentrum.

Telah dikembangkan hubungan antara tinggi gelombang tsunami di daerah pantai dengan besaran tsunami m_t . Besaran tsunami m_t berkisar antara – 2,0 (yang memberikan tinggi gelombang kurang dari 0,7) sampai 5,0 untuk gelombang yang lebih besar dari 72 m.

Besaran tsunami (m_t) berkaitan erat dengan kekuatan gempa M di Indonesia adalah (Triatmodjo, 1999:107):

$$m_t = 2,26 M - 14,18$$

Besaran tsunami juga tergantung pada kedalaman laut (d) di lokasi terbentuknya gempa, yaitu (Triatmodjo, 1999:107):

$$m_t = 1,7 \log (d) - 1,7$$

Tabel 1. Hubungan antara besaran gempa dan tinggi tsunami di pantai

No.	Besaran gempa, m_t	H (meter)
1	5,0	>72
2	4,5	24,0 - 72,0
7	4,0	16,0 - 24,0
4	7,5	12,0 - 16,0
5	7,0	8,0 - 12,0
6	2,5	6,0 - 8,0
7	2,0	4,0 - 6,0
8	1,5	7,0 - 4,0
9	1,0	2,0 - 7,0
10	0,5	1,5 - 2,0
11	0,0	1,0 - 1,5
12	-0,5	0,75 - 1,0
17	-1,0	0,5 - 0,75
14	-1,5	0,7 - 0,5
15	-2,0	

Sumber: Triatmodjo, 1999:102

b. Kenaikan Muka Air karena Gelombang (*Wave set-up*)

Gelombang yang datang dari laut menyebabkan fluktuasi muka air di daerah pantai terhadap muka air diam. Pada waktu gelombang pecah akan terjadi penurunan elevasi muka air rerata terhadap elevasi muka air diam di sekitar lokasi gelombang pecah, selanjutnya dari titik gelombang pecah permukaan air miring ke atas ke arah pantai. Turunnya muka air tersebut dikenal dengan *wave setdown*, sedangkan naiknya muka air disebut *wave setup*.

Wave setup di daerah pantai dapat dihitung dengan menggunakan teori Longuet Higgins dan Steward, yaitu (Triatmodjo, 1999:108):

$$S_w = 0,19 [1 - 2,82 \frac{H_b}{gT^2}] H_b$$

Dengan :

S_w = set up daerah garis pantai (m)

T = periode gelombang (detik)

H_b = tinggi gelombang pecah (m)

g = percepatan gravitasi ($m \cdot det^{-2}$)

Sedangkan *wave setdown* S_b di daerah gelombang pecah diberikan dalam bentuk (Triatmodjo, 1999:107):

$$S_b = -[(0,976 H_b^{2/7}) / (g^{1/2} T)]$$

c. Kenaikan Muka Air karena Angin (*Wind set-up*)

Angin dengan kecepatan besar (badai) yang terjadi di atas permukaan laut bisa membangkitkan fluktuasi muka air laut yang besar di sepanjang pantai jika badai tersebut cukup kuat dan daerah pantai dangkal dan luas.

Gelombang badai biasanya terjadi dalam waktu yang bersamaan dengan proses alam lainnya seperti pasang surut.

Besarnya kenaikan muka air karena badai dapat diketahui dengan memisahkan hasil pengukuran muka air laut selama badai dengan fluktuasi muka air karena pasang surut. Besarnya kenaikan tersebut dapat dihitung dengan persamaan:

$$Dh = F_i / 2$$

$$Dh = F \cdot c \cdot (V^2 / (2gd))$$

Dengan :

Dh = kenaikan elevasi muka air karena badai (m)

F = panjang fetch (m)

i = kemiringan muka air laut

c = konstanta = $7,5 \times 10^{-6}$

V = kecepatan angin badai (m/det)

d = kedalaman air (m)

d. Kenaikan Muka Air karena Pemanasan Global

Kegiatan manusia yang meningkatkan jumlah gas rumah kaca di atmosfer dapat mengakibatkan naiknya suhu bumi. Peningkatan suhu bumi tersebut dapat menimbulkan dampak bagi kehidupan, salah satunya adalah peningkatan tinggi permukaan laut yang disebabkan oleh permukaan air laut dan mencairnya gunung-gunung es di kutub.

Kenaikan permukaan laut akan menyebabkan mundurnya garis pantai sehingga menggusur daerah permukaan dan mengancam daerah perkotaan yang rendah, membanjiri lahan produktif dan mencemari persediaan air tawar. Di dalam perencanaan bangunan pantai, kenaikan muka air karena pemanasan global harus dipertimbangkan. Grafik perkiraan kenaikan air laut berikut dapat

digunakan untuk memperhitungkan kenaikan muka air karena pemanasan global.

e. Muka Air Laut Rencana

Semua perencanaan bangunan pantai harus diperhitungkan terhadap berbagai keadaan elevasi muka air laut. Variasi permukaan air laut ini terutama disebabkan karena pengaruh pasang surut. Namun demikian pengaruh yang disebabkan karena adanya *wind set-up* dan *storm surge* perlu dipertimbangkan dalam perencanaan. Jika data mengenai kedua hal tersebut tidak didapatkan, maka perencana perlu mengambil nilai tertentu untuk memberikan keamanan yang lebih layak terhadap bangunan yang direncanakan.

Jika data mengenai hal-hal tersebut (terutama data *wind set-up* dan *storm surge*) tidak didapatkan, maka perencana perlu mengambil nilai tertentu untuk memberikan keamanan yang lebih layak terhadap bangunan yang direncanakan.

Untuk menentukan kedalaman rencana bangunan (d_s) maka perlu dipilih suatu kondisi muka air yang memberikan gelombang terbesar atau *run-up* tertinggi, dan sebagai pedoman dapat dipergunakan persamaan berikut:

$$d_s = (\text{HHWL} - \text{BL}) + \text{storm surge atau wind set-up} + \text{SLR}$$

Dengan :

d_s = kedalaman kaki bangunan pantai (m)

HHWL = muka air pasang tertinggi (*Highest High Water Level*)

BL = elevasi dasar pantai

SLR = elevasi dasar pantai di depan bangunan (*bottom level*)

SLR = kenaikan muka air laut (*sea level rise*)

f. Runup Gelombang

Pada waktu gelombang menghantam suatu bangunan, gelombang tersebut akan naik (*run-up*) pada permukaan bangunan.

Rumus yang dipergunakan untuk menentukan *run-up* pada permukaan halus yang kedap air adalah sebagai berikut (Yuwono, 1992:III-17):

$$R_u / H_i = I_r ; \quad \text{Untuk } I_r$$

$$R_u / H_i = -0,7 I_r + 7,275 ; \quad \text{Untuk } 4,25 > I_r > 2,50$$

$$R_u / H_i = 2; \quad \text{Untuk } I_r > 4,25$$

Untuk konstruksi dengan permukaan kasar dan lolos air nilai tersebut masih harus dikoreksi dengan 0,5 sampai 0,8. Fungsi bilangan Iribaren untuk berbagai jenis lapis lindung mempunyai bentuk berikut:

$$I_r = \text{tg } q / (H_i / L_0)^{0,5}$$

Dengan :

I_r = bilangan Iribaren

q = sudut kemiringan sisi pemecah gelombang (o)

H_i = tinggi gelombang di lokasi (m)

L_0 = panjang gelombang di laut dalam (m)

7. Stabilitas Bangunan Pemecah Gelombang

Bangunan pemecah gelombang (breakwater) adalah bangunan yang digunakan untuk melindungi daerah perairan pelabuhan dari gangguan gelombang.

Kerusakan utama pada bangunan pemecah gelombang umumnya disebabkan oleh hantaman gelombang, dan kesalahan konstruksi. Pada umumnya kesalahan konstruksi terletak pada sudut kemiringan bari bangunan, tebal lapisan, dan berat, selain factor-faktor lainnya. Hal ini dapat mengakibatkan runtuhnya bangunan pemecah gelombang tersebut.

Pengujian stabilitas bangunan pemecah gelombang yang ada di lapangan dilakukan karena adanya perilaku yang kompleks dari gelombang, ikatan antar kubus beton, dan gaya yang bekerja pada pemecah gelombang baik individu maupun berkelompok. Melakukan pengujian di lapangan akan memakan waktu yang cukup lama dan biaya yang cukup besar. Untuk menghindari hal ini maka dilakukan pengujian dengan menggunakan model fisik di dalam laboratorium. Hal ini dapat digunakan sebagai pembanding atas fakta yang telah ditemukan di lapangan mengenai kerusakan bangunan pemecah gelombang PPI Manado.

Dalam pengujian stabilitas bangunan pemecah gelombang ini, pengujian akan dilakukan dengan mempergunakan model fisik. Tinggi gelombang, sudut kemiringan dan kestabilan bangunan sebagai variable pengujian akan

memanfaatkan peralatan yang ada di Laboratorium Hidrolika, Hidrologi dan sungai Jurusan Sipil FTUI.

Pengujian stabilitas bangunan pemecah gelombang ini terdiri dari beberapa kasus yang terbagi atas sudut kemiringan bangunan, dari perbandingan 1:1 sampai dengan 1:2, dalam pengujian ini penulis melakukan pengujian dengan kondisi maksimum yang dapat diberikan oleh alat flume, yaitu untuk tinggi gelombang 2.5 m. Dari hasil pengujian diketahui bahwa prosentase kerusakan yang didapatkan berkisar antara 0% hingga 3.46%, sehingga dalam klasifikasi kerusakan diketahui bahwa bangunan tersebut mengalami kehancuran dari hampir tidak ada hingga sedikit. Secara keseluruhan dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin tegaknya suatu bangunan pemecah gelombang akan semakin tidak stabil pula bangunan pemecah gelombang tersebut demikian pula sebaliknya, semakin landai bangunan pemecah gelombang tersebut akan semakin stabil bangunan pemecah gelombang tersebut.