

MODEL PENURUNAN SEDIMEN PERMUKAAN DASAR LAUT PADA DASAR RENCANA PEMECAH GELOMBANG DI TELUK PANCAMAYA BANYUWANGI - JAWA TIMUR

Oleh:

Franto Novico dan Nineu Yuyu Geurhaneu

Puslitbang Geologi Kelautan, Jl. Dr. Junjuran No.236, Bandung

Diterima : 18-09-2009; Disetujui : 17-02-2010

SARI

Demi menghasilkan pemecah gelombang yang aman, maka perlu dilakukan analisis geologi dan geoteknik kelautan. Analisis ini akan memberikan informasi tentang kondisi fisik sedimen laut yang mengalami suatu perubahan pembebanan akibat adanya infrastruktur kelautan. Berdasarkan hasil analisis *Plaxis versi 8*, maka dapat diketahui bahwa besarnya nilai total deformasi yang disebabkan oleh beban struktur setinggi 8 meter dan gaya arus sebesar 1 kN/m^2 adalah sebesar $72,77 \cdot 10^{-3} \text{ m}$. Lapis sedimen sekitar badan dan kaki pemecah gelombang memiliki nilai deformasi ekstrem yang lebih merata sedangkan nilai ekstrem deformasi terjadi pada tengah struktur di kedalaman -5,50 meter.

Kata Kunci : pemecah gelombang, perangkat lunak Plaxis versi 8, deformasi ekstrem, Pancamaya Banyuwangi

ABSTRACT

Marine geology and geotechnical analyses are indeed important in order to get a safe breakwater design. To build a safe infrastructure, these analyses would produce a model to describe the displacement condition of marine sedimen. Applying 8 meters height of breakwater and 1 kN/m^2 current, the Plaxis software v.8 gave a result $72,77 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ of total deformation. In addition, an extreme deformation occurred in the middle of -5,50 meters breakwater, while equilibrium deformation occurred around areas between toe and breakwater body.

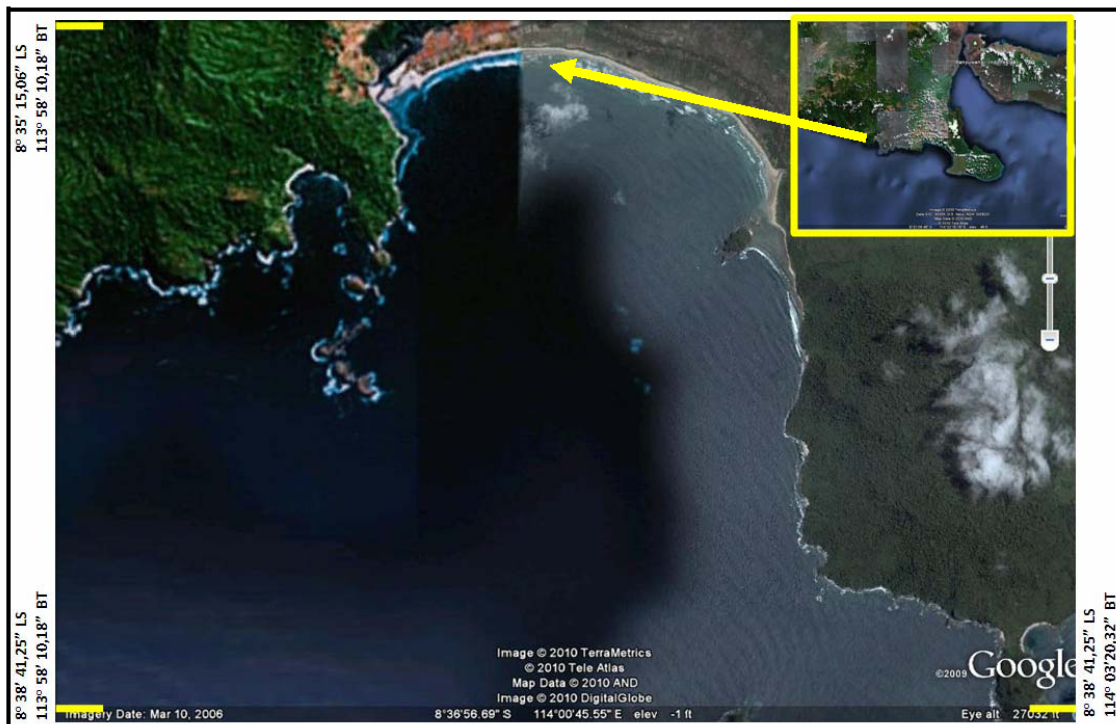
Keywords : breakwater, Plaxis software v.8, extreme deformation, Pancamaya Banyuwangi

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Teluk Pancamaya berada dalam wilayah administratif Propinsi Jawa Timur (gambar 1) dengan pantai yang ramai akan arus lalu lintas perdagangan dan nelayan. Para nelayan yang datang dari berbagai daerah seperti wilayah selatan Jawa, Bali dan Nusa Tenggara banyak yang melakukan transaksi di wilayah ini. Kondisi teluk yang berhadapan langsung dengan laut

terbuka selalu mendapatkan tantangan akan keamanan dalam berlalu lintas. Untuk menjaga kelangsungan wilayah tersebut, telah direncanakan pembuatan bangunan pemecah gelombang sebagai infrastruktur pencegah bahaya gelombang di daerah teluk. Namun, perencanaan infrastruktur laut yang tepat akan sangat terkait dengan kondisi geologi dan geoteknik kelautan. Seperti telah diketahui, kondisi sedimen di daerah ini merupakan



Gambar 1. Lokasi rencana pemecah gelombang (*Google Earth*, 10 Maret 2006)

sedimen yang cukup lunak dengan komposisi pasir yang sangat halus. Untuk itu, sifat-sifat sedimen yang mendasari infrastruktur laut perlu dikaji dengan baik untuk mendapatkan dimensi infrastruktur yang aman dan efektif.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan pemodelan/perhitungan kondisi penurunan dasar laut yang akan dijadikan landasan bangunan pemecah gelombang. Dengan pemodelan, diharapkan akan diperoleh gambaran yang lebih jelas tentang kondisi yang akan terjadi sehingga pekerjaan yang dilakukan akan lebih efisien.

Permasalahan

Berdasarkan data lapangan, kondisi lapisan sedimen di daerah sekitar rencana pemecah gelombang merupakan lapisan yang agak lunak (Novico, drr.,2004), untuk itu perlu diketahui seberapa besar penurunan yang terjadi jika digunakan jenis pemecah gelombang masif berbahan beton dengan berat jenis 24 kN/m^3 .

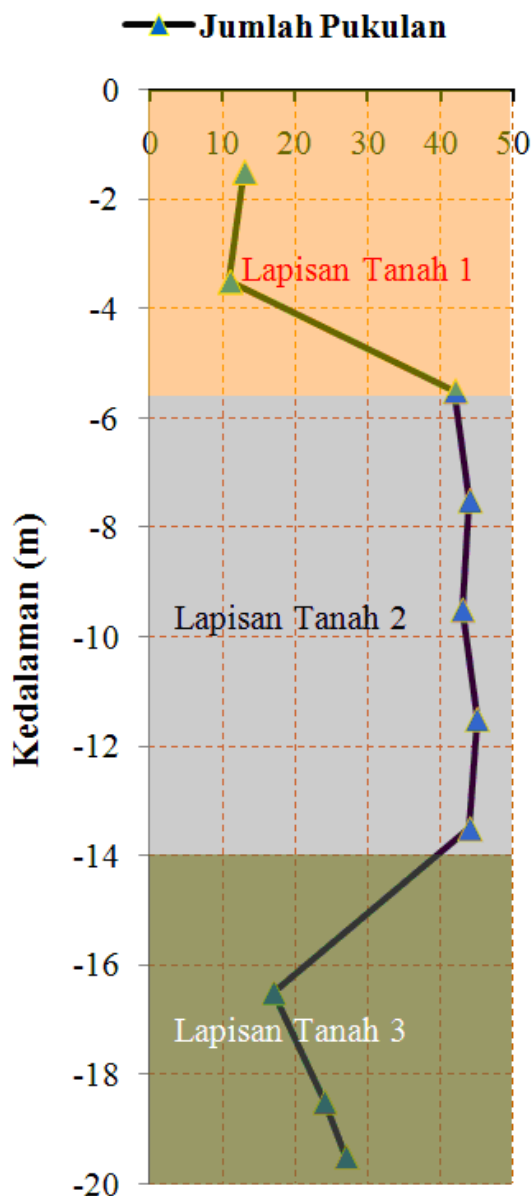
Kondisi Geologi dan Geoteknik Kelautan

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Banyuwangi (Sidarto, drr., 1993) dan Lembar Blambangan (Achdan dan Bachri, 1993), batuan

yang tersingkap di lokasi kajian berumur Oligosen sampai Holosen. Struktur geologi yang dijumpai berupa struktur lipatan dan kelurusan. Struktur lipatan berkembang pada Formasi Batuampar membentuk antiklin dan sinklin berarah baratlaut-tenggara sedangkan untuk struktur kelurusan berarah baratlaut-tenggara, yang diduga sebagai zona lemah yang merupakan sesar. Pada Batuan Gunungapi dan Formasi Kalibaru arah kelurusan adalah baratlaut-tenggara, timurlaut – baratdaya dan barat – timur. Kelurusan-kelurusan ini diduga mencerminkan sesar-sesar bawah permukaan.

Data batimetri regional Selat Bali dan selatan Banyuwangi menunjukkan kedalaman dasar laut di perairan 4 mil berkisar antara 30-200 meter. Di lepas pantai Banyuwangi dasar lautnya mencapai kedalaman 200 meter, bentuk morfologinya sejajar dengan bentuk dan arah garis pantai. Sedangkan kedalaman dasar laut di pantai selatan mencapai >200 meter membentuk dinding yang curam (Novico, drr., 2004).

Data kelurusan di laut dapat ditafsirkan dari kondisi geologi P. Jawa dan P. Bali yang menunjukkan adanya blok sedimen yang turun di lepas pantai, membentuk semacam lembah dengan tebing yang curam. Di lepas pantai



Gambar 2. Nilai n-SPT

Muncar morfologi permukaan dasar lautnya bergelombang halus dan landai. Sedangkan morfologi dasar laut di pantai Banyuwangi selatan bergelombang agak kasar dan lebih curam dibanding dasar laut di pantai Muncar.

Berdasarkan kondisi kegempaan regional Indonesia (Hamilton, 1978), Selat Bali dan selatan Banyuwangi dipengaruhi oleh tektonika di selatan Jawa – Bali yang disebabkan oleh kegiatan penunjaman (subduksi), dimana lempeng IndoAustralia menyusup di bawah Lempeng Eurasia. Fokus gempa berasal dari Zona Benioff, di bawah Selat Bali dan Samudera Indonesia kedalaman zona ini antara 100- 200 km, frekuensi kejadian gempa yang berasal dari zona dan kedalaman tersebut jarang.

Minster dan Jordan (1978, dalam Ghose and Oike, 1988) memperkirakan kecepatan lempeng 6 cm/tahun dekat ujung utara Sumatra sampai 7,8 cm/tahun di dekat pulau Sumba. Sedangkan permukaan lantai samudera bisa relatif halus atau kasar karena adanya tonjolan-tonjolan yang terdiri dari *seamount* (Mason drr., 1990).

Kegempaan yang sering terjadi dan dapat dirasakan di Jawa – Bali umumnya adalah gempa dangkal dengan kedalaman pusat gempa 33 km dan kebesaran 4-6 Skala Richter. Gempa dengan kekuatan >7 Skala Richter jarang terjadi, prediksi periode ulang terjadinya gempa dengan kekuatan >7 Skala Richter antara 2- 4 kali dalam 100 tahun.

Pada umumnya morfologi permukaan dasar laut selatan Banyuwangi dipengaruhi oleh dua parameter besar yaitu pengaruh tektonik dan arus. Pengaruh tersebut terlihat dari bentuk morfologi lembah memanjang yang ditafsirkan sebagai sesar turun/“*normal fault*” (Novico, drr., 2006). Hingga kedalaman -20 m di bawah dasar laut, litologi yang ditemukan dapat dibagi menjadi tiga bagian. Bagian pertama merupakan pasir halus, bagian kedua lempung pasir agak padat dan lapisan ketiga merupakan lempung agak padat.

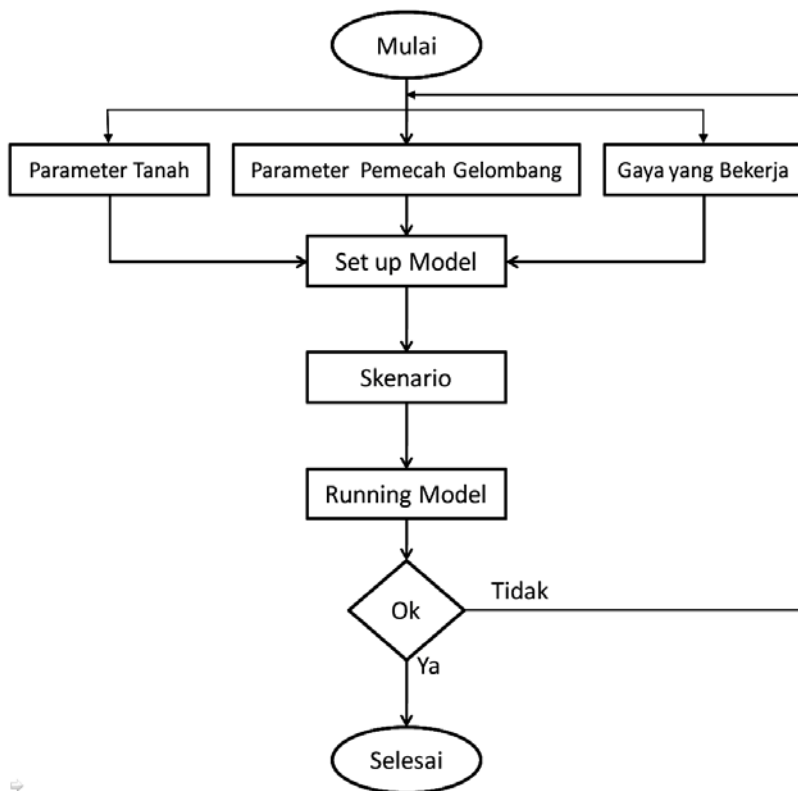
Berdasarkan penampang bor dari Teluk Pancamaya dapat diketahui hingga kedalaman - 14 m lapisan tanah merupakan sedimen kohesif yang agak padat dengan nilai n-SPT 13 - 43 sedangkan mulai kedalaman -15 meter hingga - 17 meter merupakan lapisan sedimen lempung yang agak padat dengan nilai n-SPT sebesar 17 - 27 (Novico, dkk., 2004).

METODE

Dalam kajian ini, metoda yang digunakan dibedakan menjadi dua yaitu, metoda pengambilan data lapangan berupa pemboran geoteknik dengan didasarkan pada ASTM D-1452 dan metode analisis data/pemodelan dengan menggunakan *software* geoteknik Plaxis V8.

Geologi dan Geoteknik Kelautan

Metode yang digunakan dalam pengambilan data adalah pemboran dan analisis geoteknik. Pemboran dilakukan di lokasi rencana sekitar pemecah gelombang pada koordinat 8°35'34,54" LS, 114°00'00,34" BT, sedangkan analisis geoteknik sedimen laut dilakukan di



Gambar 3. Diagram alir pemodelan

laboratorium. Pemboran dilaksanakan berdasarkan ASTM D-1452 dengan pemeriksaan fisik tanah setiap meter kedalaman serta dilakukan pengujian *Standar Penetration Test* (SPT) setiap kedalaman -2,00 meter sementara pada kedalaman tertentu diambil contoh tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*) untuk dilakukan analisis geoteknik dengan menggunakan tabung penginti tunggal/*single tube core barrel* (STBC). Pemboran ini dilakukan untuk mendapatkan informasi sebagai berikut :

1. Susunan lapisan tanah;
2. Jenis tanah;
3. Ketebalan lapisan tanah;

4. Kondisi fisik tanah.
5. Plaxis V8

Perhitungan penurunan dasar laut pada rencana pembuatan pemecah gelombang di Teluk Pancamaya ini dianalisis dengan menggunakan pendekatan model *finite elemen* menggunakan Software Plaxis versi 8. Software ini dikembangkan oleh perusahaan terkenal Deltares dari Delft-Netherlands. Langkah-langkah pemodelan dapat dilihat pada gambar 3. Metode yang diterapkan dalam pemodelan ini adalah dengan mengasumsikan lapisan pemecah gelombang merupakan lapisan *non porous* dan lapisan tanah bersifat *drain*. Dikarenakan penyebab utama perubahan sedimen permukaan oleh struktur diatasnya (pemecah gelombang), dimana struktur tersebut memiliki kekuatan yang lebih besar dari kekuatan tanah maka model material yang akan digunakan

adalah *linear-elastic*.

Selain itu, dimensi model dibuat berdasarkan hasil pemboran tanah dan pengukuran elevasi air laut. Jenis tanah dibagi menjadi tiga bagian dengan masing-masing kedalaman sesuai dengan hasil pemboran dan nilai SPT (Gambar 2). Model struktur pemecah gelombang dibuat dengan memodelkan pemecah gelombang di kedalaman maksimum elevasi air laut -6.00 meter dengan tinggi jagaan (*free board*) 2,00 meter. Sementara, asumsi pekerjaan pembuatan pemecah gelombang akan dilakukan tiap 1,00 meter ketebalan lapisan, maka total

Tabel 1. Dimensi Pemecah gelombang

No	Bagian	Ukuran (m)
1	Tinggi pemecah gelombang	8,00
2	Lebar puncak pemecah gelombang	3,00
3	Lebar dasar pemecah gelombang	11,00
4	Tinggi kaki pemecah gelombang	1,00
5	Lebar kaki pemecah gelombang	2,50

lapisan selama pembangunan pemecah gelombang akan berjumlah 8 lapis.

Model Setup

Seperti diterangkan pada paragraf sebelumnya bahwa perhitungan model material dilakukan berdasarkan *linear elastic*. Giroud (1972) serta Poulos&Davis (1974) menjelaskan tentang solusi elastisitas. Dalam kajian ini, digunakan model *linear elastic* untuk perhitungan material, karena sangat tepat digunakan untuk memodelkan perilaku dari struktur yang memiliki kekuatan sangat tinggi dibandingkan kekuatan tanah dan biasanya digunakan bersamaan dengan jenis material tidak poros untuk menghilangkan tekanan air pori dari elemen-elemen struktur tersebut.

Dimensi pemecah gelombang yang akan dibuat dapat dilihat pada tabel 1, dimana ukuran tersebut diaplikasikan di dalam model.

Input data pada model dapat dilihat pada tabel 2 dan gambar 4 diaplikasikan sesuai dengan rencana dimensi pemecah gelombang (Novico, drr., 2004). Pada model ini berat struktur pemecah gelombang diasumsikan sama dengan berat jenis beton dan dianggap lapisan yang kedap air. Data lapisan tanah didapatkan dari contoh tanah tidak yang terganggu yang diambil pada lokasi pemboran. Data *undisturbed sample* ini diaplikasikan untuk seluruh lapisan tanah. Ini dilakukan karena contoh tanah tidak terganggu tidak diambil pada setiap kedalaman tertentu. Arus laut diasumsikan sebagai gaya horizontal yang merupakan beban titik dengan mengasumsikan besarnya tekanan yang terjadi adalah sebesar 1 kN/m^2 .

Selain batasan pemodelan yang telah diterangkan di atas, batasan juga dilakukan dengan tidak mempertimbangkan aspek kebencanaan, geofisika dan klimatologi yaitu seperti, gempa bumi, badai, dan gelombang.

Perhitungan dalam model ini dilakukan dalam 11 tahapan, dimulai dari kondisi awal yang merupakan kondisi tanpa ada bangunan pemecah gelombang, kemudian dimulai dengan pemasangan pemecah gelombang lapis pertama, terus bertambah hingga lapisan kedelapan dimana masing-masing lapisan memiliki ketebalan 1 meter. Sementara pada tahapan kalkulasi fase ke tiga (lapisan pemecah gelombang pertama) dan fase ke delapan (lapis pemecah gelombang ke-6) dilakukan kombinasi

pembebanan yang berasal dari pemecah gelombang itu sendiri dan gaya horizontal akibat arus.

HASIL KAJIAN DAN PEMBAHASAN

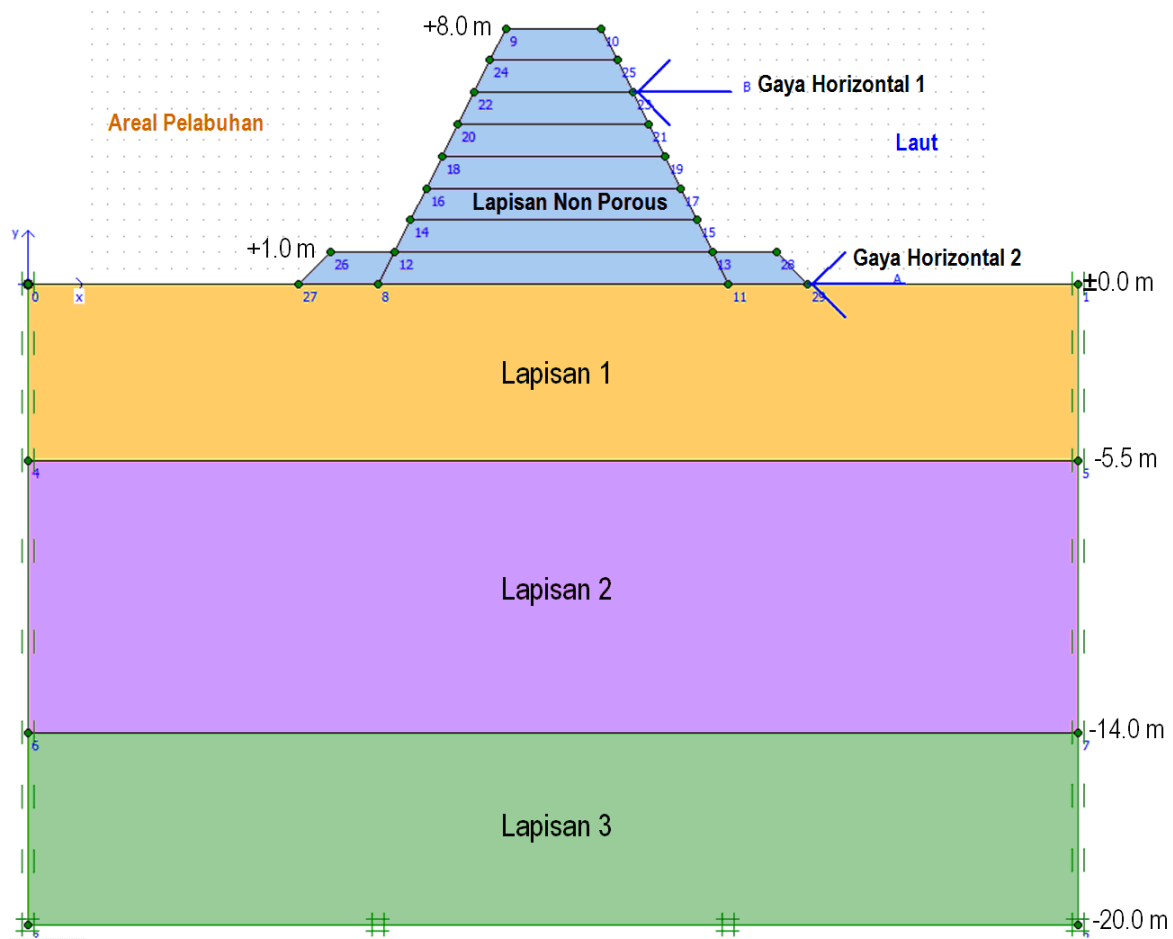
Kondisi sedimen di bawah dasar pemecah gelombang

Berdasarkan hasil pemboran di lapangan, maka dapat diketahui informasi tentang susunan, jenis, ketebalan dan kondisi fisik tanah sebagai berikut: pada kedalaman 0 hingga -5,5 meter sedimen merupakan kohesif yang tidak padat dengan nilai n-SPT 10 hingga 35 pukulan per 30cm, sementara untuk kedalaman -5,5 hingga -14 meter merupakan lapisan sedimen kohesif yang agak padat, dengan nilai n-SPT 13 hingga 43 pukulan per 30cm, yang merupakan litologi pasir halus hingga gravel yang kaya akan cangkang dan pecahan kerang, sedangkan untuk kedalaman -14 hingga -20 meter terlihat litologinya sudah mulai berubah menjadi lempung yang tidak padat dan agak padat yang dapat dilihat dari nilai n-SPT sebesar 17 hingga 27 pukulan per 30.

Selanjutnya, untuk mengetahui penurunan lapisan sedimen yang terjadi pada dasar pemecah gelombang maka dibuat beberapa titik pengamatan dan *cross section* pada model (gambar 5). Titik-titik pengamatan tersebut dibuat untuk memantau deformasi dan stress yang terjadi pada lapisan sedimen laut. Titik A dan E merupakan titik pantau terluar dimana lapisan sedimen dasar laut masih menerima pembebanan akibat struktur dan arus. Sedangkan pada titik B dan D merupakan titik pantau terhadap lapisan tanah yang mendapatkan beban vertikal dan “semi vertikal” akibat struktur pemecah gelombang. Sementara titik C merupakan titik pengamatan pada daerah di tengah-tengah pemecah gelombang. Terakhir, titik F merupakan titik pengamatan yang dipasang pada kedalaman lapisan -5,50 meter. Titik F dibuat untuk mengetahui seberapa besar pengaruh deformasi dan *stress* yang terjadi hingga kedalaman tersebut.

Total Displacement

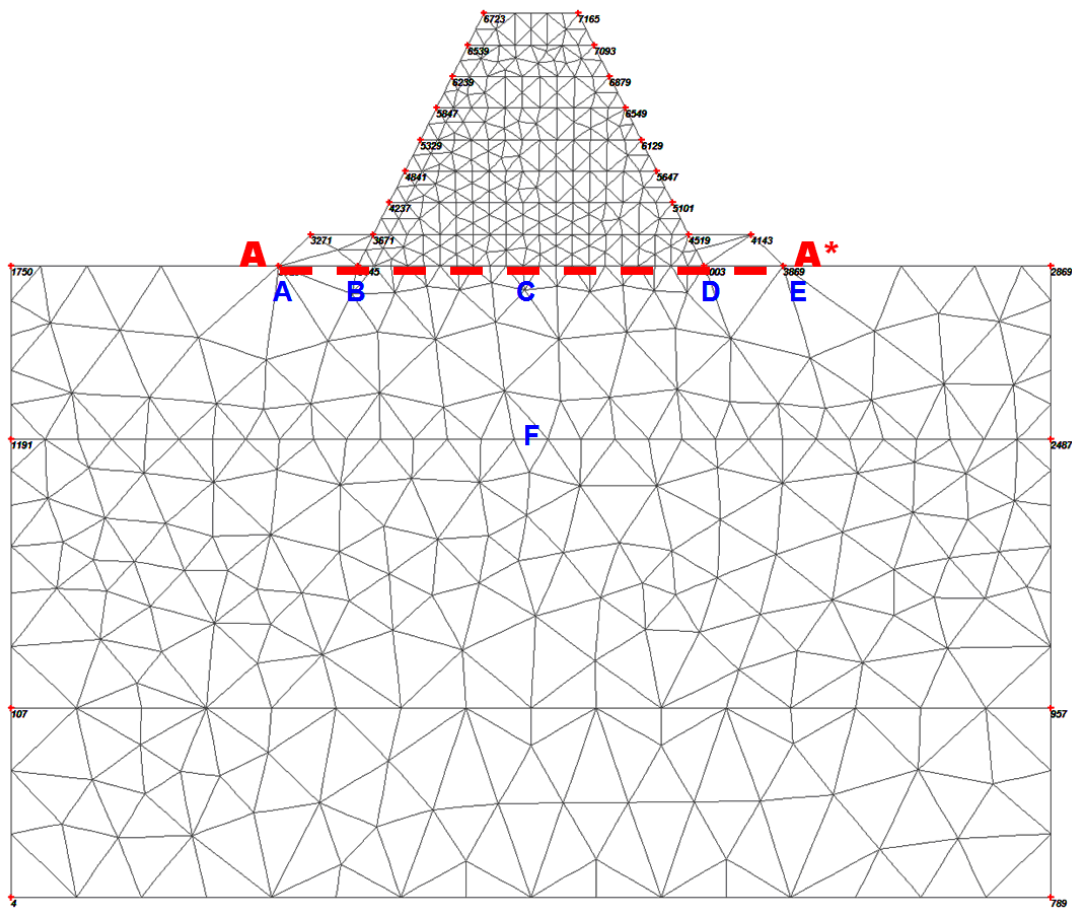
Berdasarkan hasil pemodelan maka dapat diketahui total besarnya perubahan akibat kegiatan pemasangan pemecah gelombang seperti yang terdapat pada tabel 3.



Gambar 4. Model *finite element* (hasil *set up* dari Plaxis)

Tabel 2. Input model

Jenis Material	Parameter	Nama	Nilai	Satuan
Lapisan Tanah	Model material	Model	Linear-Elastic	-
	Jenis perilaku material	Jenis	Drain	-
	Berat isi tanah di atas garis freatik	γ_{unsat}	18	kN/m ³
	Berat isi tanah di bawah garis freatik	γ_{sat}	20,11	kN/m ³
	Permeabilitas arah horisontal	k_x	1	m/hr
	Permeabilitas arah vertikal	k_y	1	m/hr
	Modulus Young (konstan)	E_{ref}	$1,3e^4$	kN/m ²
	Angka Poisson	V	0,3	-
Pemecah Gelombang	Model material	Model	Linear-Elastic	-
	Jenis perilaku material	Jenis	Non Porous	-
	Berat isi beton di atas garis freatik	γ_{unsat}	24	kN/m ³
	Berat isi beton di bawah garis freatik	γ_{sat}	-	kN/m ³
	Modulus Young (konstan)	E_{ref}	$1,35e^6$	kN/m ²
	Angka Poisson	V	0,35	-



Gambar 5. Titik pengamatan dan *cross section* pada model, A-F = titik pantau

Gaya horizontal yang diasumsikan bekerja pada model ini adalah kecepatan arus dan berat jenis air laut. Dimana diasumsikan gaya yang diakibatkan oleh kecepatan arus maksimum 1m/s dan berat jenis air laut 1025 kg/m^3 adalah sebesar 1 kN/m. Pada tabel 3 dapat jelas dilihat besaran perubahan sedimen akibat kombinasi antara *horizontal force* sebesar 1 kN/m hanya berkisar $1 \times 10^{-5} \sim 2 \times 10^{-5}$ meter. Pada gambar 6 dapat dilihat dengan jelas bahwa pada tahap pemasangan lapisan pertama (Gambar 6A) dan kombinasi beban lapis pemecah gelombang dan arus (Gambar 6B) akan mengakibatkan pergerakan yang cukup besar hingga sekitar kedalaman -15,00 meter. Sedangkan pada gambar 6C dan gambar 6D dimana kondisi lapisan pemecah gelombang telah mencapai ketinggian 6 meter, deformasi terlihat lebih berkembang ke arah sisi kiri dan kanan pemecah gelombang walaupun konsentrasi deformasi ekstrem jelas terlihat berkumpul pada bagian

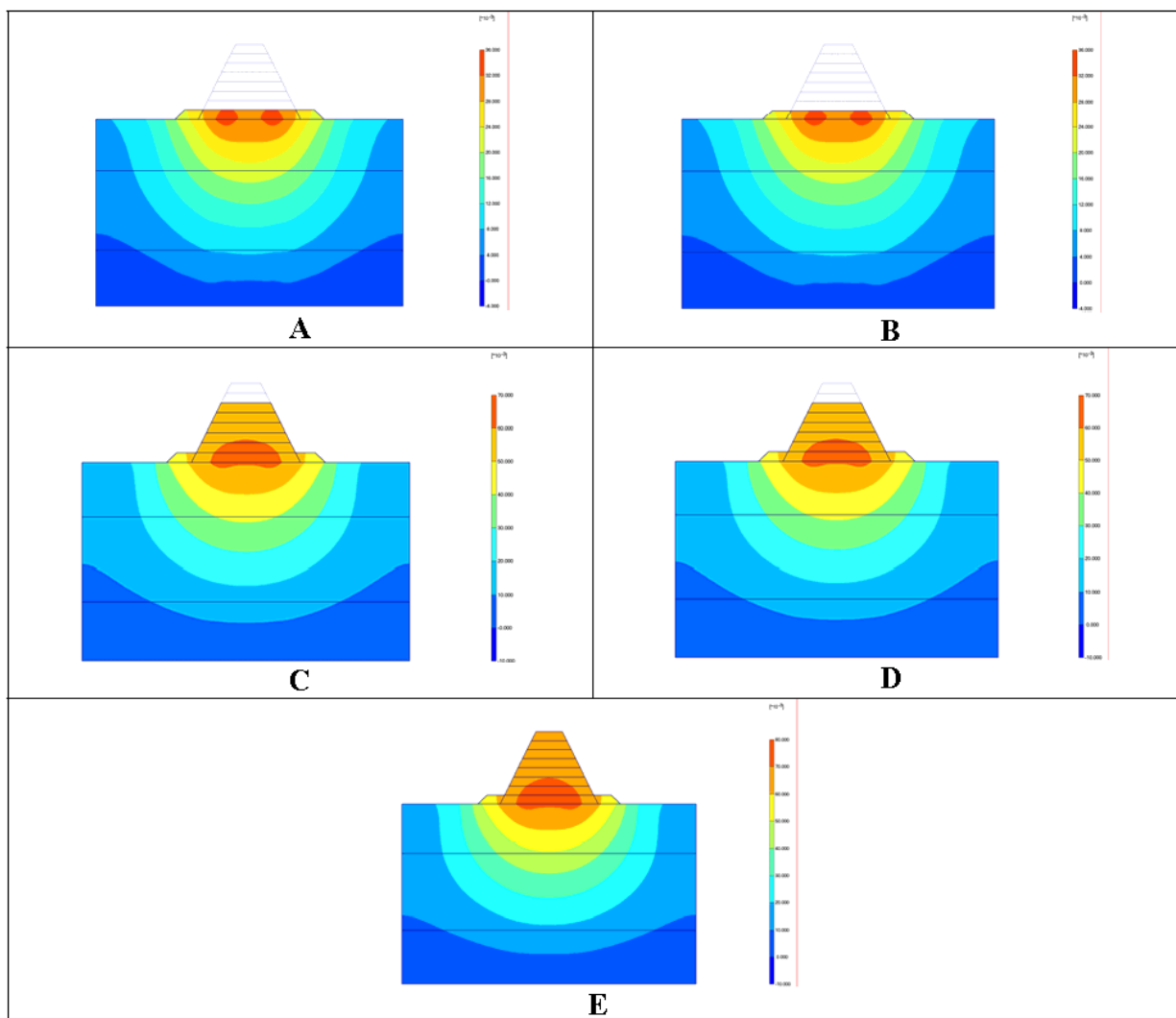
tengah dasar pemecah gelombang. Pada fase terakhir, dimana kondisi lapisan pemecah gelombang sudah lengkap dipasang ditambah dengan seluruh gaya horizontal yang diaktifkan (Gambar 6E). Maka dapat terlihat distribusi beban terlihat lebih merata pada seluruh lapisan tanah.

Untuk mengetahui perkembangan deformasi yang terjadi pada tiap titik pantau, maka dapat dilihat pada Gambar 7. Daerah titik pantau F yang berada pada posisi -5,50 meter tengah dasar pemecah gelombang menghasilkan deformasi yang terbesar disusul daerah titik pantau B dan D yang merupakan daerah terluar dari kaki pemecah gelombang. Daerah titik pantau A dan E merupakan daerah deformasi terkecil.

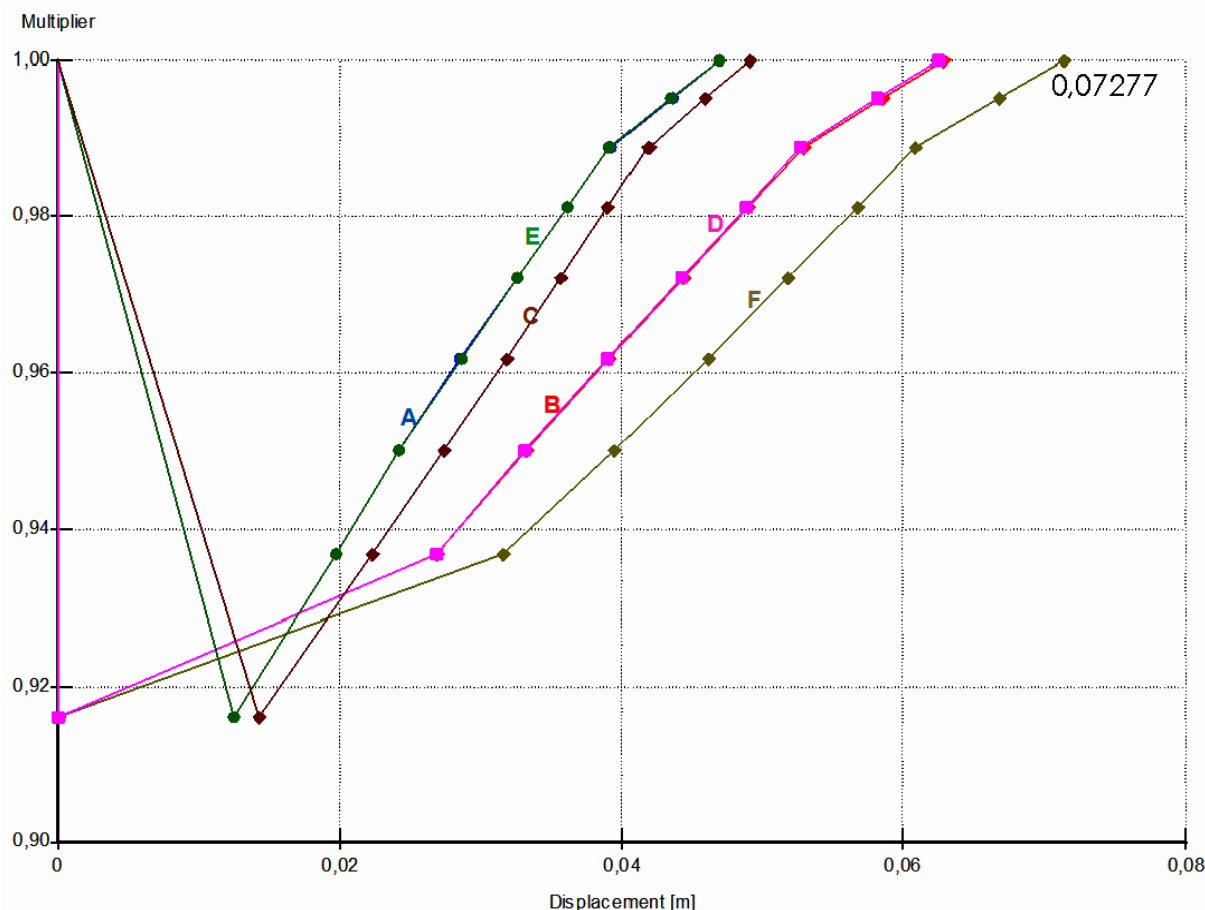
Untuk lebih jelasnya, maka dapat dilihat kondisi perubahan deformasi yang terjadi pada pada tiap titik pantau untuk tiap tahapannya (Gambar 7).

Tabel 3. *Total displacement*

No	Phases	Total displacements in A-A* cross section (meter)
1	<i>Layer 1</i>	$33,71 \cdot 10^{-3}$
2	<i>Layer 1 with Horizontal Force</i>	$33,70 \cdot 10^{-3}$
3	<i>Layer 6</i>	$62,34 \cdot 10^{-3}$
4	<i>Layer 6 with Horizontal Force</i>	$62,32 \cdot 10^{-3}$
5	<i>Complete layers and forces</i>	$72,77 \cdot 10^{-3}$



Gambar 6. Model Perubahan Sedimen Permukaan Laut (A,B,C,D,E)



Gambar 7. Total perubahan sedimen pada titik pantau (lokasi titik pantau dapat dilihat pada gambar 5)

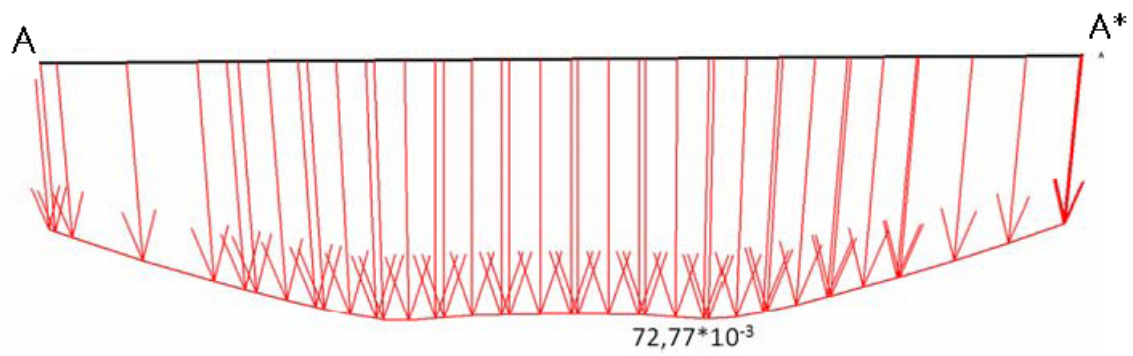
Gaya-gaya Pada Penampang A-A* Pada Bawah Pemecah Gelombang

Untuk mendapatkan lebih jelas tentang gaya-gaya yang bekerja di bawah struktur, khususnya pada potongan A-A*. Maka diuraikanlah beberapa gaya ekstrem yang bekerja sebagai berikut; gaya ekstrem untuk total *displacement* adalah sebesar $72,77 \cdot 10^{-3}$ m (Gambar 7). Total perubahan pada penampang ini dapat dilihat terfokus pada wilayah sekitar batas kaki dan badan pemecah gelombang. Sementara perubahan horizontal sedimen pada penampang A-A* adalah sebesar $-5,70 \cdot 10^{-3}$ m. Dari gambar ini terlihat jelas gaya arus yang bekerja memberikan pengaruh pada lapis sedimen walaupun nilainya cukup kecil. Sedangkan perubahan vertikal sedimen pada penampang A-A* memiliki nilai ekstrem sebesar $-72,75 \cdot 10^{-3}$ m.

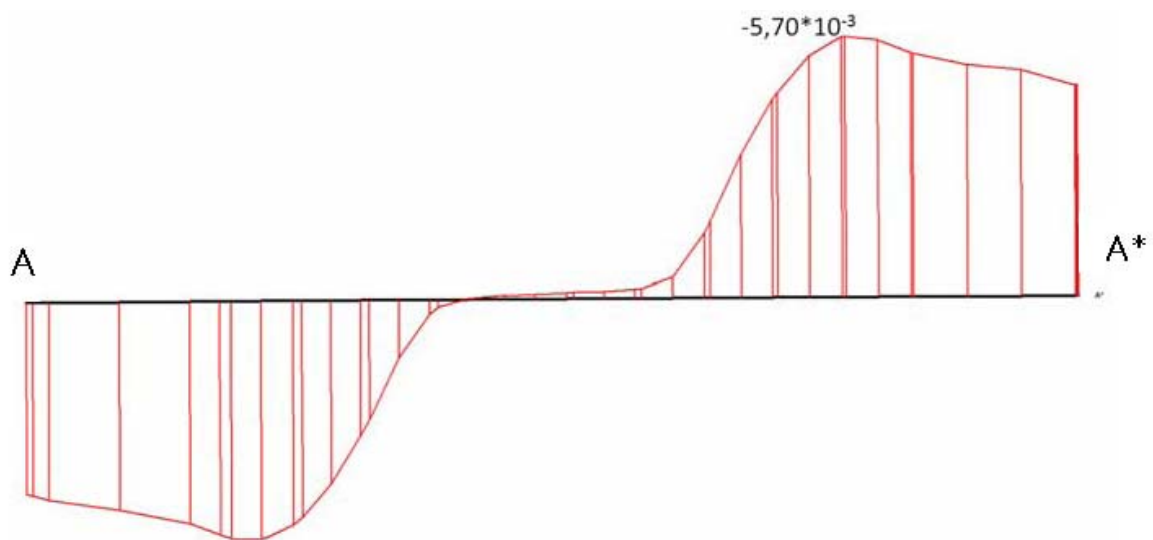
Model yang dibuat diselesaikan dengan model *non porous*. Model ini diartikan sebagai bangunan pemecah gelombang kedap air yang memisahkan kondisi perairan pelabuhan dan Teluk Pancamaya. Kondisi arus pada sisi perairan pelabuhan diabaikan karena dalam kenyataan di lapangan arus dari bagian teluk merupakan arus terbesar. Pengamatan penurunan sedimen hanya dilakukan pada bagian bawah pemecah gelombang (penampang A-A*) karena pada area itu, penurunan permukaan tanah akan langsung berakibat pada penurunan elevasi pemecah gelombang. Sehingga jika penurunan yang terjadi sangat besar maka akan berakibat pada perencanaan elevasi puncak pemecah gelombang.

KESIMPULAN

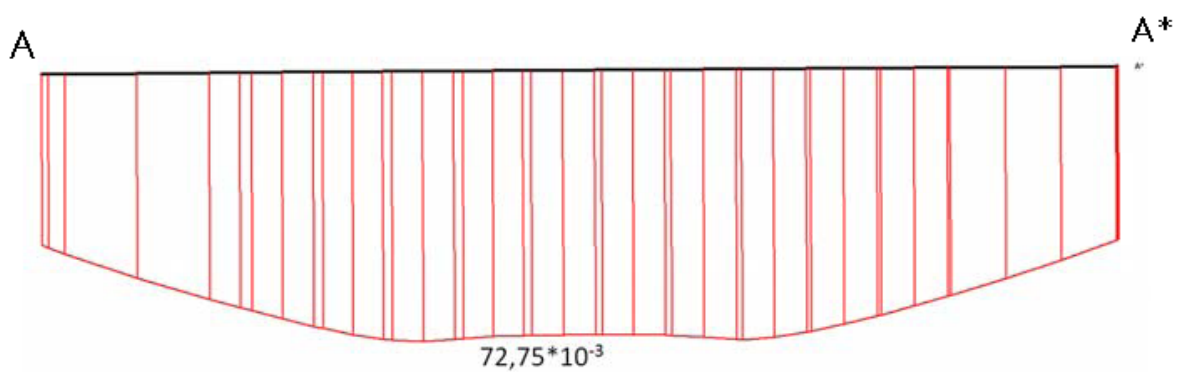
Berdasarkan hasil analisis maka dapat diketahui bahwa besarnya nilai total deformasi yang disebabkan oleh beban struktur setinggi 8



Gambar 8. Total perubahan sedimen pada penampang A-A*



Gambar 9. Perubahan horizontal sedimen pada penampang A-A*



Gambar 10. Perubahan vertikal sedimen pada penampang A-A*

meter dan gaya arus 1 kN/m adalah sebesar $72,77 \cdot 10^{-3}$ m . Lapis sedimen sekitar badan dan kaki pemecah gelombang memiliki nilai deformasi ekstrem yang lebih merata sedangkan nilai ekstrem deformasi terjadi pada tengah struktur di kedalaman -5,50 meter. Maka dapat disimpulkan bahwa perencanaan pemecah gelombang berbahan beton pada kondisi tanah di Teluk Pancamaya dengan model di atas, memiliki nilai penurunan yang sangat kecil.

ACUAN

- Achdan A dan Bachri S, 1993. *Peta Geologi Lembar Blambangan* skala 1:250.000, PPPG, Bandung
- Ghose, R., and Oike, K., 1988. *Characteristics of seismicity distribution along the Sunda arc: Some new observations*, Bull. Disas. Prev. Inst., Kyoto Univ., Vol. 38, Part 2, No. 332.
- Giroud, J.P., 1972. *Tables pour le calcul des foundations*. Vol.1, Dunod, Paris.
- Google Earth, 10 Maret 2006. Foto Satelit
- Hamilton, W.B., 1978. *Tectonic Map of the Indonesian region: United State Geological Survey Map I-875-D*, 1:5,000,000
- Masson, D.G., Parson, L.M., Milsom, L., Nichols, G., Sikumbang, N., Dwiyanto, B., and Kallagher, H., 1990. *Subduction of seamounts at the Java trench: a view with long-range sidescan sonar*. Tectonophysics, 185 (1990) 51-65, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- Novico F, Usman E., Hartono, Sahudin, Latuputty G., Geurhaneu N.Y., Prabowo H.H., 2004. *Penyelidikan Aspek Geologi dan Geofisika Perairan Banyuwangi*. Puslitbang Geologi Kelautan, Bandung.
- Novico, F, Budiono, K., Geurhaneu, N.Y., 2006. *Pra Rencana Desain Pemecah Gelombang Sisi Miring (Batu Alam) Pada Pelabuhan Ikan Pancer Banyuwangi*, Puslitbang Geologi Kelautan, Bandung.
- Poulos, H.G. and Davis, E.H., 1974. *Elastic solutions for soil and rock mechanics*. John Wiley&Sons Inc., New York.
- Sidarto, Suwarti T, dan Sudana D, 1993. *Peta Geologi Lembar Banyuwangi* skala 1:250.000, PPPG, Bandung.