

KOEFISIEN SERET GAYA GELOMBANG PADA APO DENGAN TAMBAHAN *GEDHEK*

Sabaruddin Rahman

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Jl. P. Kemerdekaan Km. 10 Makassar. Telp. 0411-585637.

Email: udin762001@yahoo.com

Abstract

Drag coefficient of wave force on APO without gedhek has been discussed in another paper. A series of model tests have been performed in a regular wave flume to investigate of it for APO using gedhek. APO models were made with four arch forms (P/B). The water depth, wave height and wave period were varied for all models. The generated wave heights ranged from 1 to 4 cm (12 to 48 cm in prototype scale). A model scale of 1:12 was selected. The result indicates that the wave force on the APO depends on water depth and wave height. The higher the water depth and wave height the higher is the wave force. Drag coefficient (C_D) is lower as Reynold Number (Re) increases. Drag coefficient is not affected by P/B. The trend of curve for C_D and F/E against Re are similar, however F/E tend to be higher than C_D .

Keywords

APO, drag coefficient, mangrove, wave force

PENDAHULUAN

Hutan mangrove di Indonesia merupakan yang terluas, sekitar 23% dari seluruh hutan mangrove dunia. Pada tahun 1982, luas hutan mangrove di Indonesia diperkirakan sekitar 4,25 juta ha, terutama terdapat di sepanjang pesisir pulau-pulau besar Indonesia. Pada tahun 1987, luas hutan mangrove tersebut telah berkurang dan hanya tersisa 3,24 juta ha, bahkan pada tahun 1995 dilaporkan bahwa hutan mangrove Indonesia hanya tersisa 2,06 juta ha, yang berarti berkurang seluas 1,18 juta ha. Salah satu faktor penyebab berkurangnya hutan mangrove adalah aktifitas manusia yang membuka kawasan ini untuk berbagai kepentingan tanpa memperhitungkan dampak yang ditimbulkannya.

Permudaan buatan perlu dilakukan untuk mengembalikan keadaan hutan mangrove yang telah rusak. Bibit mangrove yang ditanaman perlu dilindungi dari serangan gelombang selama masa pertumbuhannya. Cara yang telah dilakukan yaitu dengan mengikat bibit mangrove pada ajir atau penanaman bibit di dalam bambu bulat (Arief, 2003). Namun kedua cara tersebut hanya mampu melindungi tanaman terhadap serangan gelombang yang relatif kecil. Perlindungan yang saat ini mulai dikembangkan untuk melindungi bibit mangrove dari serangan ombak yang lebih besar yaitu menggunakan alat pemecah ombak (untuk selanjutnya dalam tulisan ini disingkat dengan APO). Ada dua jenis konstruksi APO yang telah digunakan saat ini. APO bentuk pertama terdiri dari pancangan bambu yang rapat. Pancangan bambu tersebut dapat disusun secara lurus maupun membentuk busur lingkaran. Susunan pancangan

bambu tersebut berfungsi untuk merefleksikan gelombang sebelum menerjang bibit mangrove. Alat ini dapat berfungsi dengan baik jika pancangan bambu dibuat serapat mungkin. Kekurangan dari jenis ini adalah diperlukan pekerjaan pemancangan yang banyak. Berbeda dengan konstruksi APO yang pertama, pancangan bambu untuk konstruksi yang kedua lebih sedikit dengan geometri yang sama. Anyaman bambu (*gedhek*) diikatkan pada pancangan bambu tersebut yang berfungsi merefleksikan gelombang.

Kajian ini dilakukan melalui uji model fisik yang bertujuan untuk mengetahui nilai koefisien gaya seret pada APO oleh gelombang. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui besarnya koefisien gaya pada APO. Koefisien gaya seret yang diperoleh dari penelitian ini dapat digunakan untuk menghitung besarnya gaya gelombang pada APO skala prototipe. Gaya gelombang tersebut merupakan dasar pada perencanaan APO baik untuk konstruksi maupun stabilitasnya. Gaya gelombang pada APO tanpa *gedhek* telah dibahas oleh Rahman (2006).

Beberapa penelitian membahas interaksi gelombang pada kelompok silinder telah dilakukan. Metode analitis dilakukan oleh Yilmaz (1998) untuk memecahkan permasalahan difraksi dan radiasi pada dua kelompok silinder terapung, kelompok pertama terdiri dari dua silinder dan kelompok kedua empat silinder. Penelitian ini dilakukan pada kondisi perairan dalam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter variabel nondimensi $2ak$ berpengaruh pada besarnya gaya gelombang.

Pengaruh kerapatan antar tiang silinder terhadap besarnya gaya yang terjadi telah diteliti oleh Laird dan Warren, Rain dan Chakrabarti, Sarpkaya, dan Loken (Chakrabarti, 1987). Koefisien seret dan koefisien inersia diperoleh untuk susunan dua, tiga dan lima silinder yang diletakkan secara vertikal di saluran pembangkit gelombang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai koefisien tersebut secara signifikan dipengaruhi oleh bilangan Keulegan Carpenter (K_C) dan kerapatan tiang silinder. Penelitian lainnya dilakukan oleh Hanssen pada tahun 1994 (Hanssen, 1999). Pengujian dilakukan di saluran gelombang untuk tiga batang silinder yang disusun menjadi sebuah tripod.

Gaya gelombang pada silinder dapat dihitung dengan tiga cara yaitu menggunakan persamaan Morison, teori Froude-Krylov dan teori difraksi. Persamaan Morison mengasumsikan gaya gelombang terdiri dari gaya inersia dan gaya seret yang dijumlahkan secara linier. Bentuk umum persamaan tersebut sebagai berikut.

$$dF = dF_D + dF_I \dots\dots\dots [1]$$

$$= C_D \rho A u |u| + C_M \rho V \frac{Du}{Dt}$$

C_D adalah koefisien gaya seret; C_M koefisien gaya inersia; ρ massa jenis zat cair; u kecepatan partikel zat cair; $\frac{Du}{Dt}$ percepatan partikel zat cair; A luas penampang benda tegak lurus arah gelombang dan V adalah volume benda yang tercelup pada zat cair.

Koefisien gaya seret (C_D) dan koefisien gaya inersia (C_M) diperoleh melalui percobaan dengan mengukur gaya, kecepatan dan percepatan partikel air. Atau bisa juga dengan mengukur gaya dan fluktuasi muka air, sedangkan kecepatan dan percepatan partikel air diperoleh melalui perhitungan menggunakan teori gelombang yang sesuai.

Penentuan koefisien gaya seret merupakan permasalahan yang kompleks, terutama dari data di

laboratorium. Koefisien seret dapat ditentukan dengan beberapa pendekatan. Salah satu metode yang digunakan adalah dengan menghubungkan besarnya gaya terukur dengan kinematika partikel air pada saat puncak gelombang tepat berada pada benda yang diteliti, dimana kecepatan partikel air mencapai nilai maksimum, sehingga C_D dapat dihitung dengan persamaan (White, 1979).

$$C_D = \frac{F}{\frac{1}{2} \rho u^2 A} \dots\dots\dots [2]$$

F adalah gaya terukur; ρ rapat massa zat cair; u kecepatan partikel zat cair dan A adalah luas proyeksi benda tegak lurus terhadap arah gelombang.

Persamaan [3] digunakan untuk menghitung kecepatan partikel air untuk gelombang di laut dangkal (Dawson, 1983). Persamaan ini lebih sering digunakan karena lebih sederhana.

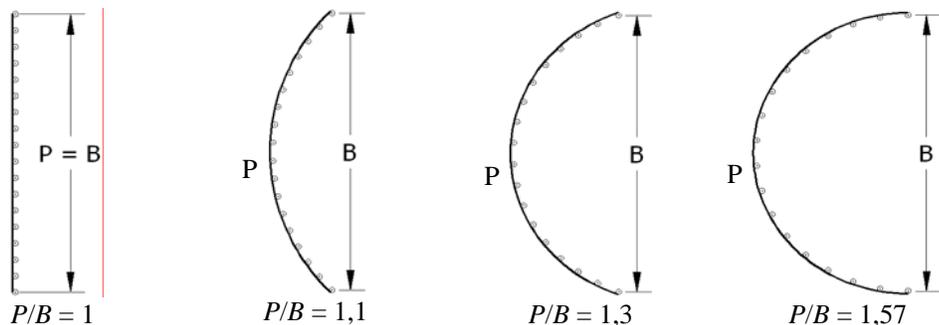
$$u = \left(\frac{g}{d}\right)^{1/2} \eta \dots\dots\dots [3]$$

g adalah percepatan gravitasi bumi, d kedalaman air dan η fluktuasi muka air.

METODE

Model APO

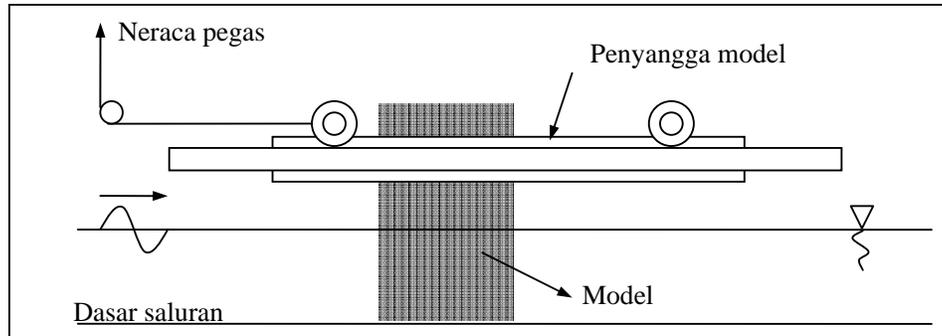
Berdasarkan variabel yang akan diteliti maka perancangan model APO didasarkan pada beberapa spesifikasi, yaitu: bentuk model yang akan diteliti seperti pada Gambar 1; berdasarkan pertimbangan fasilitas di laboratorium, bahan yang tersedia dan ketelitian pengukuran, maka ditetapkan skala model yang digunakan 1:12; jumlah pipa aluminium untuk semua model APO sebanyak 50 batang; berdasarkan skala model yang telah ditetapkan, maka diperoleh panjang model 83,33 cm dan diameter pipa yang digunakan 12,5 mm.



Gambar 1. Bentuk model APO

Tabel 1. Rancangan simulasi

Model	Kedalaman	Stroke	Variator
P/B = 1	3 variasi	3 variasi	5 variasi
P/B = 1,1	3 variasi	3 variasi	5 variasi
P/B = 1,3	3 variasi	3 variasi	5 variasi
P/B = 1,57	3 variasi	3 variasi	5 variasi



Gambar 2. Skema percobaan

Batasan Penelitian

Berdasarkan fasilitas yang ada serta jumlah variabel dan kondisi yang berkaitan, maka beberapa batasan penelitian ditetapkan, yaitu: gelombang datang tegak lurus model; gelombang yang dibangkitkan adalah gelombang teratur (*regular wave*) yang belum pecah; gaya gelombang yang diteliti adalah gaya horisontal, dasar saluran datar dan rata, air yang digunakan adalah air tawar, salinitas dan pengaruh mineral air tidak diperhitungkan.

Jalan Penelitian

Rancangan simulasi untuk setiap model disusun seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Tinggi gelombang diukur 13 titik pada daerah satu panjang gelombang masing-masing di depan dan belakang model. Pengukuran tinggi gelombang dilakukan setelah gelombang yang dibangkitkan berada pada kondisi stabil, yaitu beberapa saat setelah motor pembangkit dijalankan. Skema percobaan dapat dilihat pada Gambar 2. Mula-mula alat ukur ditarik dengan gaya awal (F_0). Jika model masih mengalami gerakan translasi akibat gaya gelombang dengan tinggi (H) dan periode (T), alat ukur ditarik dengan gaya yang lebih besar. Demikian seterusnya hingga tepat saat model tidak mengalami translasi lagi. Pada kondisi ini diukur besarnya gaya F_m . Pengukuran tinggi gelombang dilakukan dengan mencatat fluktuasi muka air maksimum dan minimum pada tiap titik. Periode gelombang antara 2,309 sampai 3,175 detik (8 sampai 11 detik pada skala prototipe) yang diperoleh dengan mengatur periode gerakan flap. Pengujian dilakukan pada kedalaman 10 cm, 12,5 cm dan 15 cm, sesuai dengan kedalaman 120 cm, 150 cm dan 180 cm di prototipe.

Gaya gelombang diukur dengan mencatat penunjukkan pada neraca pegas tepat pada saat model akan bergerak ketika dihempas gelombang. Pengukuran gaya gelombang dilakukan pertamanya dengan menarik alat ukur pada besaran gaya tertentu, jika model masih bergeser saat puncak gelombang mencapai model, alat ukur ditarik dengan gaya yang lebih besar. Hal ini dilakukan sampai model tepat tidak bergerak. Pengukuran gaya dilakukan dua kali, yaitu sebelum dan setelah pengukuran tinggi gelombang.

Pengukuran periode gelombang dilakukan dengan mengukur periode simpangan pembangkit gelombang (*flap*). Waktu yang diperlukan 10 simpangan *flap* dicatat untuk keakuratan data, kemudian dihitung nilai rata-rata. Periode gelombang diukur dua kali yaitu sebelum pencatatan gaya gelombang yang pertama dan setelah pencatatan gaya gelombang yang kedua.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gaya Gelombang

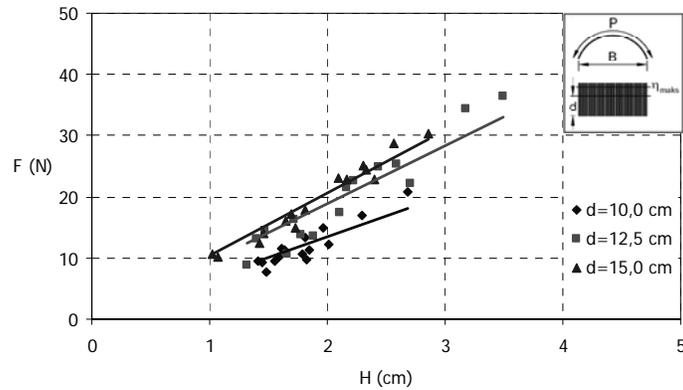
Hubungan tinggi gelombang dan gaya gelombang yang membentur model APO untuk tiap kedalaman disajikan pada Gambar 3 sampai Gambar 6. Gambar tersebut menunjukkan bahwa gaya yang terjadi pada keempat model proporsional terhadap tinggi gelombang. Makin besar tinggi gelombang makin besar pula gaya yang membentur model. Hal ini terjadi karena tinggi gelombang yang besar mengakibatkan kecepatan partikel air meningkat.

Pengaruh Kedalaman Air

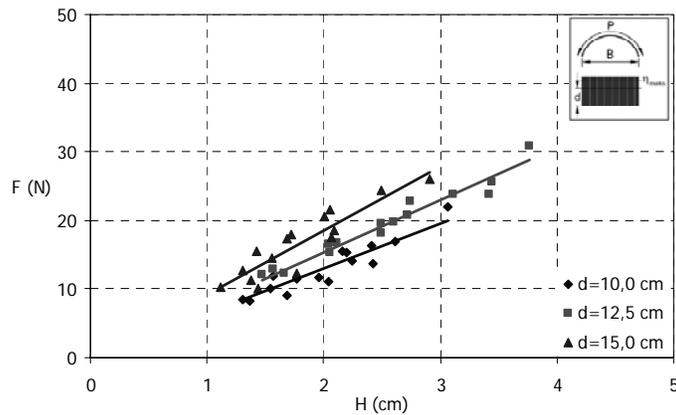
Kedalaman air juga berpengaruh pada besarnya gaya gelombang. Makin besar kedalaman air makin

besar pula gaya yang terjadi. Hal ini dikarenakan puncak model selalu berada di atas fluktuasi muka air (*non overtopping*), yang berarti makin besar kedalaman, model yang terkena gelombang makin tinggi. Berbeda dengan gaya gelombang pada APO

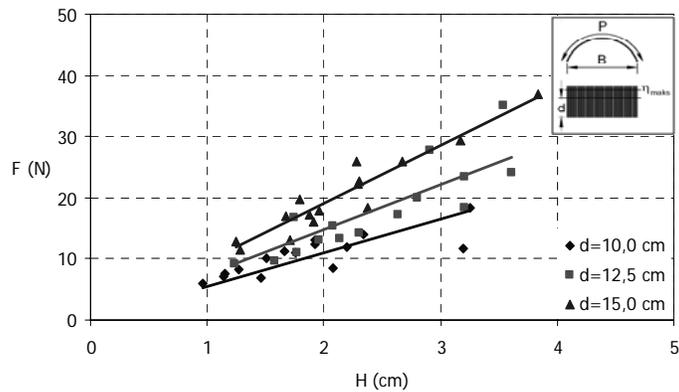
tanpa *gedhek*, nilai P/B tidak berpengaruh secara signifikan terhadap besarnya gaya gelombang (Rahman, 2006). Hal ini diakibatkan panjang gelombang relatif lebih besar dibanding geometri APO.



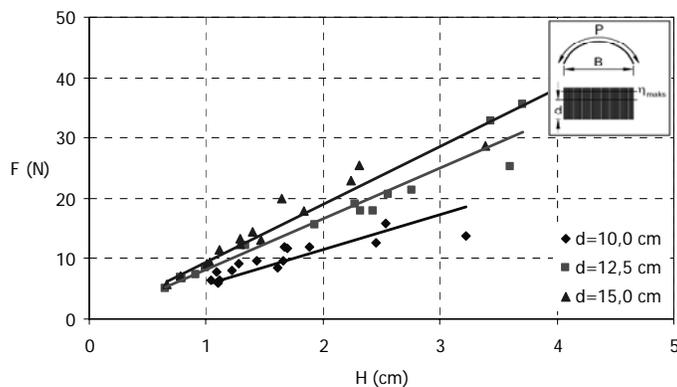
Gambar 3. Hubungan tinggi gelombang dan gaya gelombang untuk $P/B = 1$



Gambar 4. Hubungan tinggi gelombang dan gaya gelombang untuk $P/B = 1,1$



Gambar 5. Hubungan tinggi gelombang dan gaya gelombang untuk $P/B = 1,3$



Gambar 6. Hubungan tinggi gelombang dan gaya gelombang untuk $P/B = 1,57$

Koefisien Seret

Hubungan antara angka Re dan nilai C_D ditunjukkan dalam bentuk grafik pada Gambar 7. Gambar tersebut menunjukkan bahwa walaupun nilai C_D dan F/E berbeda untuk angka Re yang sama, namun kecenderungan kurva yang dibentuk sama yaitu nilainya berkurang dengan bertambahnya angka Re .

Pengaruh Geometri Bangunan terhadap C_D

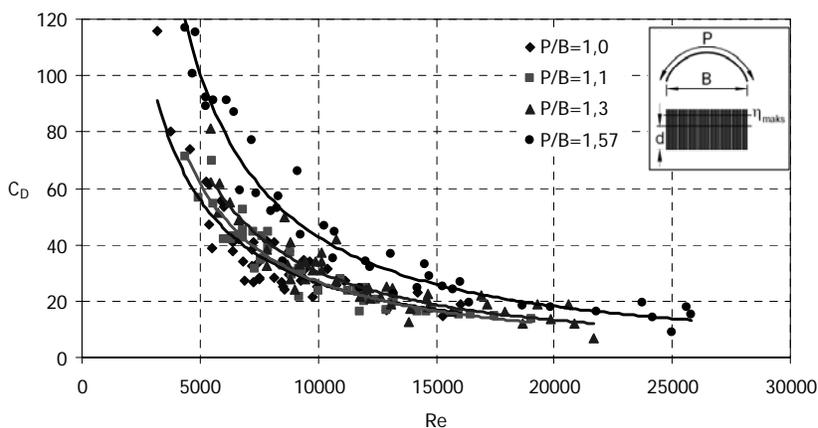
Nilai C_D meningkat seiring dengan meningkatnya nilai P/B untuk nilai $Re < 20000$. Hal ini disebabkan luas bidang basah *gedhek* makin meningkat dengan meningkatnya nilai P/B , sehingga gesekan antara fluida dan *gedhek* makin besar. Namun untuk angka $Re > 20000$, geometri bangunan tidak berpengaruh lagi yang ditunjukkan dengan nilai C_D yang relatif sama. Hal ini dikarenakan pada angka Re yang besar, gerakan partikel air yang terjadi mengarah ke

turbulen sehingga kekasaran *gedhek* tidak berpengaruh lagi.

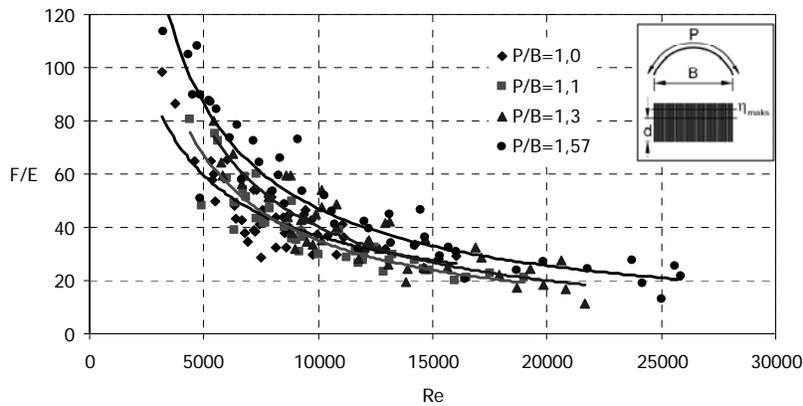
Berdasarkan data grafik pada Gambar 7 dibuat persamaan untuk menghitung nilai C_D model APO menggunakan *gedhek* untuk $P/B = 1$ yang ditunjukkan pada persamaan [4].

$$C_D = 580714,978 \cdot Re^{-1,086} \dots\dots\dots [4]$$

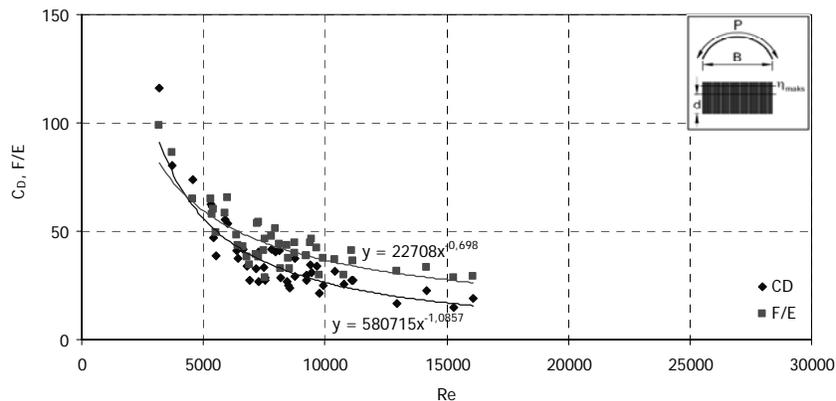
Sehingga pada angka $Re = 10^5$ diperoleh nilai $C_D = 2,16$. Angka C_D untuk benda dengan bentuk yang sama menurut White (1979) sebesar 2,0. Angka ini lebih kecil dibanding nilai C_D model APO. Nilai C_D yang lebih besar tersebut dipengaruhi oleh jarak model APO dari dinding saluran percobaan yang cukup kecil sehingga penjalaran gelombang ke arah *downstream* terhambat.



Gambar 7. Hubungan koefisien seret dan Reynold number



Gambar 8. Hubungan nilai F/E dan Reynold number



Gambar 9. Hubungan koefisien seret dan F/E terhadap Reynold number

Contoh Aplikasi

Pada suatu areal pantai akan dilakukan penanaman bakau. Bangunan APO tipe lurus ($P/B = 1$) dengan lebar 10 m diperlukan untuk melindungi tanaman dari serangan gelombang. Bangunan tersebut akan diletakkan di kedalaman 2 m pada kondisi HWS. Tinggi gelombang diketahui sebesar 1 m. Untuk keperluan perencanaan konstruksi bangunan, akan dihitung besarnya gaya gelombang yang bekerja pada APO.

Gaya gelombang dihitung menggunakan persamaan [2] yang telah dimodifikasi menjadi persamaan [5].

$$F = \frac{1}{2} C_D \rho u^2 A \dots\dots\dots [5]$$

Kecepatan partikel air (u) dihitung menggunakan persamaan [3]. Karena gaya gelombang maksimum terjadi pada saat fluktuasi muka air maksimum ($\eta = a$), sehingga:

$$u = \left(\frac{g}{d}\right)^{1/2} a = \left(\frac{9,81}{2}\right)^{1/2} 0,5$$

$$= 1,1 \text{ m/dtk}$$

Bilangan Reynold dihitung menggunakan persamaan [6] berikut:

$$Re' = \frac{uP}{\nu} = \frac{1,1 \cdot 10}{10^{-5}} = 1,1 \cdot 10^6 \dots\dots\dots [6]$$

Skala bilangan Reynold (n_{Re}) pada penelitian ini sebesar 41,57, sehingga bilangan Reynold pada skala prototipe diperoleh sebesar 26461,4. Nilai C_D dihitung menggunakan persamaan [4] sehingga diperoleh $C_D = 9,14$. Luas proyeksi bangunan tegak lurus terhadap arah gelombang adalah 20 m^2 , sehingga dengan gaya gelombang dihitung menggunakan persamaan [5], diperoleh gaya gelombang sebesar 113,36 kN.

SIMPULAN

Nilai C_D memiliki hubungan terhadap angka Re , makin besar Re , nilai C_D makin kecil. Geometri bangunan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai C_D pada angka $Re > 20000$, berbeda untuk angka $Re < 20000$, nilai C_D dipengaruhi oleh geometri bangunan, dimana makin besar nilai P/B , makin besar nilai C_D . Hal ini mengindikasikan bahwa untuk lebar bangunan yang sama, makin besar panjang busur bangunan (P) maka makin besar nilai C_D . Nilai C_D dan F/E memiliki

kecenderungan yang sama, walaupun nilai F/E cenderung lebih besar dibandingkan nilai C_D .

UCAPAN TERIMAKASIH

Dana penelitian ini dibiayai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi melalui program Biaya Pendidikan Pascasarjana (BPPS), untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas bantuan dana tersebut. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada direktur dan staf PSIT-UGM serta para teknisi Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi PSIT-UGM yang membantu memfasilitasi penelitian ini.

REFERENSI

- Arief, A., 2003, "Hutan Mangrove dan Manfaatnya", Kanisius, Yogyakarta.
- Chakrabarti, S. K., 1987, "Hydrodynamics of Offshore Structures", Computational Mechanics, Southampton.
- Dawson, T.H. 1983. "Offshore Structural Engineering". Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- Hanssen, A.G. and Torum, A., 1999, "Breaking Wave Forces on Tripod Concrete Structure on Shoal", *J. Wtrwy., Port, Coast., and Oc. Engrng.*, ASCE, 125(6): 272 - 279.
- Rahman, S., 2006, "Drag Coefficient of Wave Force on APO", *MARTEC 2006 Proceeding, 5th Biennial International Conference on Marine Technology*, Hasanuddin University, Makassar, 4-5 September 2006, pp. 33 – 41.
- White, F., M., 1979, "Fluid Mechanics", McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo.
- Yilmaz, O., 1998, "Hydrodynamic Interaction of Waves with Group of Truncated Vertical Cylinder", *J. Wtrwy., Port, Coast., and Oc. Engrng.*, ASCE, 124(5): 272 – 279

