

Studi Pengaruh Sekat Grouting Air-Semen Pada Pasir Pantai Untuk Mengurangi Intrusi Air Laut

Nurnawaty^{1*}, Farida²

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar

Jl. Sultan Alauddin No. 259, Makassar, Sulawesi Selatan

*Email: nurnadzar@yahoo.co.id

Abstrak

Grouting merupakan suatu metode atau teknik yang dilakukan untuk memperbaiki keadaan bawah tanah dengan cara memasukkan bahan yang masih dalam keadaan cair, dengan cara tekanan sehingga bahan tersebut akan mengisi semua retakan-retakan dan lubang-lubang yang ada di bawah permukaan tanah. Grouting air semen pada pasir pantai untuk menurunkan tingkat permeabilitas tanah dasar pada akuifer pantai sekaligus berfungsi sebagai penghalang di bawah permukaan yang dapat memperlambat laju intrusi air laut masuk ke daratan. Penelitian ini dilakukan dengan membuat benda uji yakni memodelkan sekat penghalang bawah permukaan tanah dengan teknik grouting yakni menyuntikkan air dan semen ke dalam pasir pantai yang beraal dari akuifer pantai. Besar kecilnya mutu sekat ditentukan oleh perbandingan campuran air dan semen ke dalam pasir. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian terhadap rembesan air asin ke dalam sekat. Hasil penelitian menunjukkan perubahan setiap kedalaman sekat penghalang akan mampu mereduksi air asin sebesar 11% - 67%..

Kata kunci: *grouting, intrusi air laut, sekat penghalang*

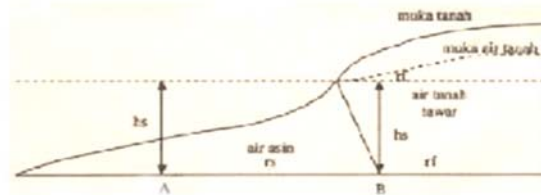
1. PENDAHULUAN

Tanah atau batuan penyusun pada kawasan pantai umumnya berupa pasir akan menyebabkan air laut lebih mudah masuk ke dalam air tanah, aliran ini terjadi karena adanya rembesan yang melewati pori-pori, nilai rembesan pada pasir pantai dapat dikurangi dengan merubah ukuran pori sehingga volume air yang melewati akan berkurang dengan membuat bahan buatan yakni campuran air dan semen yang di tekan ke dalam pasir (grouting) sehingga membentuk struktur lapisan tanah baru dengan nilai permeabilitas yang berbeda.

Penelitian yang dilakukan oleh Jun Zhou et al (2009) menyelidiki perubahan permeabilitas menggunakan kolom panjang 25 cm dari sedimen akuifer pantai di Cina, Putuhena (2005) mengembangkan metode permeation grouting tiang pada tanah pasir dilakukan dalam fondasi tiang diameter 10 cm dan panjang 170 cm. menghasilkan selimut grouting yang lebih baik dibandingkan campuran yang lain yang dapat meningkatkan kapasitas tarik rerata pada fondasi tiang grouting sebesar 562%. I Made Udiana (2009) tentang grouting ; memperkirakan jumlah cairan injeksi yang diperlukan, serta menentukan besarnya angka kelulusan air dalam tanah serta besarnya angka koefisien permeabilitas.

Desain penghalang bawah permukaan berwawasan lingkungan yang bukan hanya berfungsi menghambat rembesan air asin lebih jauh ke arah daratan tetapi sekaligus berfungsi sebagai perkuatan tanah dasar pada bangunan tepi pantai yang dapat berfungsi untuk melindungi cadangan air tawar. Hal ini perlu sebagai salah satu langkah preventif untuk mencegah pencemaran kadar air tanah akibat dari intrusi air laut yang berlebihan dimana dapat menimbulkan perubahan salinitas dan krisis air bersih. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk meminimalkan rembesan air asin adalah dengan membuat penghalang fisik di bawah permukaan tanah dengan menyuntikkan campuran air-semen ke dalam pasir untuk menurunkan nilai kecepatan rembesan. Olehnya itu direncanakan untuk mengadakan penelitian skala laboratorium untuk mengetahui; kerapatan, dimensi, bahan, dan kedalaman sekat grouting yang efektif untuk mengungkap kondisi interpretasi pengaliran dan mengurangi rembesan air asin ke dalam air tanah tawar pada lapisan tanah didalamnya.

Hubungan antara air laut dengan air bawah tanah tawar pada akuifer pantai pada keadaan statis dapat diterangkan dengan hukum Ghyben-Herzberg. Dengan adanya perbedaan berat jenis antara air laut dengan air bawah tanah tawar, maka bidang batas (interface) tergantung pada keseimbangan keduanya, Hubungan antar air asin dengan air bawah tanah tawar pada akuifer bebas di daerah pantai seperti ditunjukkan pada gambar 1.



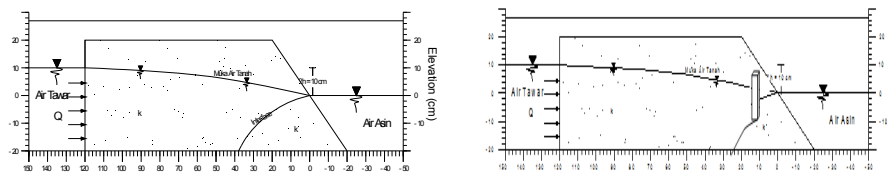
Gambar 1. Hubungan air asin dengan air tanah tawar pada akuifer bebas di daerah pantai

$$\begin{aligned}
 \text{Tekanan hidrostatik di titik } A &= B \\
 P_A &= P_B \\
 \rho_s \cdot g \cdot h_s &= \rho_f \cdot g \cdot h_f + \rho_s \cdot g \cdot h_s \\
 h_s &= \frac{r_f}{r_s - r_f} + h_f \\
 h_s &= 40 h_f
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Dimana :

- ρ_s = kerapatan berat jenis air laut = 1,025 gr/cm³
- ρ_f = kerapatan berat jenis air bawah tanah tawar = 1 gr/cm³
- h_s = kedalaman muka air laut dari titik A
- h_f = kedalaman muka air bawah tanah dari muka laut

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan kemampuan tanah/pasir pantai dalam mengalirkan air, mengetahui tingkat permeabilitas tanah dengan menambahkan campuran air-semen ke dalam lapisan pasir pantai dan untuk mengungkap kemampuan pasir yang telah diinjek dengan air-semen dalam mengurangi laju intrusi air laut dalam skala laboratorium.



(a)

(b)



(c)

Gambar 2. Model Percobaan Intrusi Air Laut (a) Pengaliran Alami / Tanpa Hambatan (b) Rembesan dengan Penghalang dan (c) Model Pengaliran di Laboratorium

Upaya fisik untuk mereduksi intrusi air laut ke dalam akuifer Tanapol Sriapai (2012) yakni mengurangi debit pemompaan air tanah, injeksi air tawar, ekstraksi air asin, dan penghalang bawah permukaan dengan kolom terbuat dari bahan plastik, gypsum (Barcelona, 2006) dengan kolom yang terbuat dari pasta air dan semen (Jun Zhou, 2009).

Manfaat *grouting* menurut Dwiyanto (2005) dalam Sudirja (2008) antara lain : (1) Menahan aliran air dan mengurangi rembesan, (2) Memperkuat tanah dan batuan, (3) Mengisi rongga dan celah pada tanah dan batuan sehingga menjadi padat, (4) Memperbaiki kerusakan struktur, (5) Meningkatkan kemampuan *anchor* dan tiang pancang, (6). Menghindarkan dari material fluida yang dapat merusak tanah atau batuan

Peneliti terdahulu Mahesa et al; (2013) telah melakukan penelitian ekstraksi sumur injeksi air tawar/peresapan buatan dan penghalang bawah permukaan. Sriapai (2012) mensimulasikan intrusi air laut ke dalam akuifer bebas di dekat garis pantai dan untuk menilai efektivitas metode pengendali dengan menggunakan model fisik skala-down, mengendalikan intrusi yakni injeksi air tawar, ekstraksi air asin dan membuat penghalang buatan di bawah permukaan tanah di daerah pesisir Jun Zhou et al (2009) menyelidiki perubahan permeabilitas menggunakan kolom panjang 25 cm dari sedimen akuifer pantai di Cina, Barcelona M.J (2006) menggunakan gypsum sebagai penghalang buatan desain didukung oleh eksperimen laboratorium dan oleh Model matematika simulasi intrusi air laut akuifer pesisir di Salento Italia selatan. Serta penelitian yang dilakukan oleh I Made Udiana (2009) tentang *grouting* ; memperkirakan jumlah cairan injeksi yang diperlukan, serta menentukan besarnya angka kelulusan air dalam tanah serta besarnya angka koefisien permeabilitas

2. METODOLOGI

Penelitian ini adalah metode eksperimen yang dilakukan di laboratorium dengan Tahapan penelitian laboratorium terdiri atas 2 tahapan yakni Tahap 1 studi 2-D kondisi statis, pengaliran kondisi normal (alami) dan Tahap 2 kondisi Dinamis, pengaliran pada proses intrusi dilengkapi dengan konstruksi penghalang bawah permukaan dengan metode *grouting*.

Prosedur Uji Tahap-1 (Studi 2-D Kondisi Statis)

1. Penelitian tekstur pasir pantai dari lokasi studi diteliti di laboratorium guna mengetahui tekstur dan komposisinya : angka pori(ϵ), diameter butiran ($\phi = d_{50}$), kerapatan (ρ), dan porositas(η)
2. Jenis tekstur pasir yang sudah diketahui, masing-masing dipisahkan menjadi 3 bagian dengan analisa saringan menjadi pasir halus, sedang dan kasar (K1, K2 dan K3) sebagai acuan untuk menetapkan model tekstur akuifer. model pasir ini kemudian dimasukkan secara bergantian (sesuai urutan pengujian) ke dalam flume berbentuk persegi empat dengan lebar 30 cm, tinggi 40 cm dan panjang 140 cm.
3. Flume kemudian diisi air di hulu 20 cm (air Tawar) dan di hilir (air Laut) dengan tinggi 20 cm.
4. Sebagai langkah awal, percobaan akan dilakukan dengan wadah yang berisi pasir k1 dengan tinggi 40 cm dan membentuk sudut 45° pada bagian hilir.
5. Menggunakan parameter debit dan jenis tanah k1 pada point 4, beda tinggi kedalaman air akan diukur tiga variasi dengan Δh : 0, 5 dan 10 cm. dan menentukan titik pengujian panjang intrusi pada hilir akuifer.
6. Setelah semua bahan, peralatan, dan setting percobaan siap, maka katup pada reservoir dibuka sehingga air mengalir sesuai kondisi pengujian yang diinginkan.
7. Prosedur mulai point 4 kembali diulangi dengan menggunakan jenis tanah berbeda, yaitu; jenis tanah k2 dan k3. Dengan demikian jumlah running pengujian untuk satu pengaliran sesuai dengan jenis tanah.

Prosedur Uji Tahap-2 Kondisi Dinamis (Mengalir)

1. Tahapan pelaksanaan tahap-1 dilanjutkan pada tahap 2, berdasarkan variabel yang akan diteliti, dengan menerapkan metode *grouting* injeksi air semen ke pasir sebagai konstruksi penghalang bawah permukaan, perancangan nilai koefisien permeabilitas merupakan

variabel yang akan diteliti untuk mereduksi intrusi air asin pada akuifer pantai berdasarkan pada beberapa spesifikasi diurutkan sebagai berikut:

- Model grouting bentuk persegi panjang 30 cm, lebar 20 cm sesuai saluran, tebal 1 cm, panjang dengan perbandingan semen : air (1 : 6) di susun dengan lapis dan jarak tertentu di bawah permukaan pasir yang mengalami intrusi.
- Katup reservoir dibuka dan pengaliran dilakukan dengan debit konstan selama waktu tertentu, dengan 3 variasi kedalaman hulu dan hilir (Δh).
- Pengukuran elevasi kedalaman interface dari setiap Δh pada titik-titik pengujian
- Prosedur b diulangi dengan penentuan kedalaman grouting (d) divariasikan
- Analisis koefisien permeabilitas dan prosentase salinitas

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Tanah

Pada Penelitian ini dilakukan pengujian laboratorium untuk pemeriksaan karakteristik sampel pasir yang digunakan, hasilnya pada tabel 1 di bawah ini :

Hasil Uji Kadar air (W), Specific Gravity (G) & Porositas							
Sampel No				1	2	3	4
1	Berat wadah	gram	w1	138,000	138,000	138,000	
2	Berat tanah basah + wadah	gram	w2	638,000	638,000	638,000	
3	Berat tanah kering + wadah	gram	w3	635,000	633,000	632,000	
4	Berat air pori (moisture)	gram	$w4=w2-w3$	3,000	5,000	6,000	
5	Berat tanah kering	gram	$w5=w3-w1$	497,000	495,000	494,000	
6	Kadar air, w	%	$(w4/w5) \times 100\%$	0,604	1,010	1,215	
	Kadar air rerata, w	%		0,943			
7	Berat picnometer	gram	w6	120,000	120,000	120,000	
8	Berat tanah kering + picnometer	gram	w7	325,600	324,450	330,000	
9	Berat tanah kering + air + picnometer	gram	w8	473,450	472,200	473,500	
10	Berat air + picnometer	gram	w9	330,000	330,000	330,000	
11	Temperatur	t ^o C		33,000	31,000	29,500	
12	Berat tanah Kering kondisi A	gram	$w10=w7-w6$	205,600	204,450	210,000	
13	Berat tanah Kering kondisi B	gram	$w11=w8-w9$	143,450	142,200	143,500	
14	Selisih berat tanah kering A & B	gram	$w12=w10-w11$	62,150	62,250	66,500	
15	Spesific gravity, G1		$G1=w10/w12$	3,308	3,284	3,158	
16	G _{water} pada t ^o C		G2	0,996			
17	G untuk 31 ^o C		G	3,250			
18	Volume basah	cm ³	V1	125,750	126,700	126,000	
19	Volume basah + ring	gram	w13	295,000	295,200	295,200	
20	Berat ring	gram	w14	130,000	130,000	130,000	
21	Berat tanah kering	gram	w15	165,000	165,200	165,200	
22	Wet density, wet	gram/cm ³	$G_{wet}=(w2-w1)/V1$	3,976	3,946	3,968	
23	angka pori		e	0,020	0,020	0,019	
24	Porositas, n		n	0,666	0,768	0,793	
	n rerata		n	0,743			

Dimana dari pengujian laboratorium di dapat bahwa sampel pasir 1 yaitu pasir putih kedalaman 0 – 2 m untuk uji kadar air rata-rata 0,604 %. Pada sampel pasir 2 yaitu pasir putih kedalaman 2 – 4 m terdapat kadar air sebesar 1,010 % dan pada sampel pasir putih 3 kedalaman 4 – 6 m mengandung kadar air sebesar 1,215 %.

Untuk Uji specific gravity di laboratorium pasir sampel pada sampel 1 specific gravity sebesar 3,308. Pada sampel 2 specific gravity sebesar 3,284 dan pada sampel 3 specific gravity sebesar 3,158.

Nilai porositas pada uji laboratorium pada kondisi tanah sampel 1 0,666, porositas kondisi sampel 2 adalah 0,768 dan porositas kondisi sampel 3 sebesar 0,793

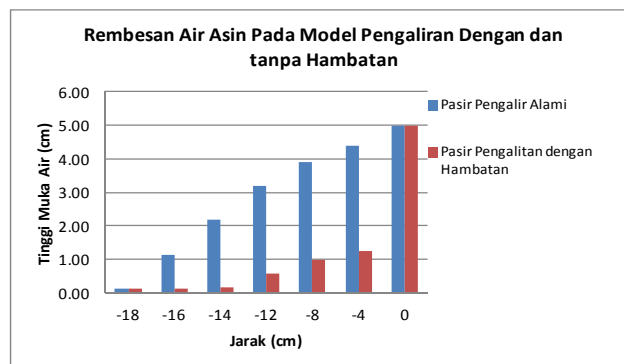
3.2. Kinerja Grouting Terhadap Reduksi intrusi Air Laut

Kinerja Grouting sebagai pemodelan konstruksi penghalang bawah permukaan tanah berdasarkan rembesan air asin yang diperoleh dari uji laboratorium pada kondisi statis dan kondisi dinamis dengan menggunakan dua model saluran dengan variasi campuran faktor air semen dan kedalaman penghalang dengan 3 perbedaan tinggi muka air dan menggunakan pasir putih sebagai media rembesan air asin dengan 3 jenis tekstur pasir yang berbeda sesuai dengan kedalaman dari lokasi sampel. Hasil uji Laboratorium pada tabel 2 di bawah ini

Tabel 2 . Hasil yang diperoleh Uji Rembesan Air Asin metode Darcy Sebelum dan Sesudah Penghalang Fisik

Jarak (cm)	Pasir Halus		Pasir Sedang		Pasir Kasar	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
0	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
-4	4,20	1,20	4,40	1,25	4,60	1,30
-8	3,80	0,80	3,90	0,90	4,00	1,20
-12	3,00	0,50	3,15	0,58	3,40	0,62
-14	2,00	0,00	2,20	0,20	2,35	0,32
-16	1,00	0,00	1,15	0,15	1,30	0,25
-18	0,00	0,00	0,12	0,15	0,22	0,20

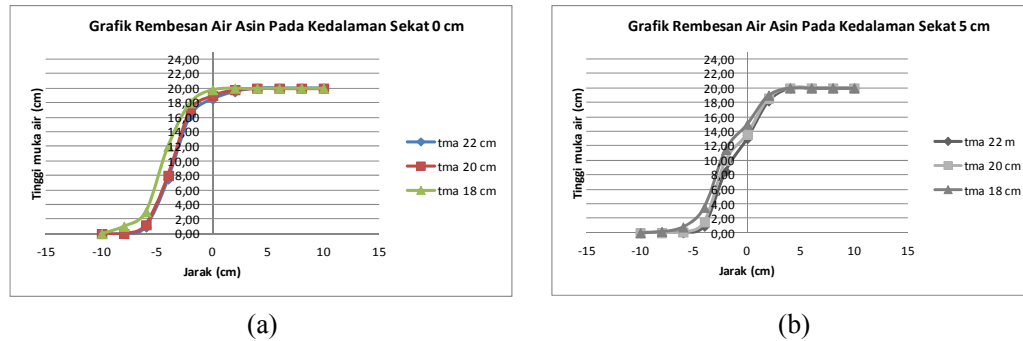
Uji laboratorium rembesan air asin untuk tiga kondisi tekstur pasir halus, sedang dan kasar dengan metode Darcy sesuai dengan teori bahwa rembesan air asin ke dalam akuifer akan berkurang dengan adanya sekat penghalang fisik yang dibuat dengan menginjeksi/grouting air semen ke dalam pasir pada tabel 2 terlihat bahwa muka air asin akan dikurangi sesudah adanya sekat penghalang. Penghalang yang dibuat dengan tujuan untuk menjaga tekanan air bawah tanah yang dekat atau sejajar dengan pantai tetap berada diatas muka laut, sehingga tidak terjadi pendesakan di bawah air tanah tawar oleh air asin. Model penghalang bawah permukaan diperlukan sebagai upaya untuk menghambat terjadinya intrusi air laut yang lebih jauh ke arah daratan dan melindungi cadangan air tawar yang diharapkan dapat memperlambat aliran air asin dalam tanah.



Gambar 3. Model Rembesan Air Asin dengan dan tanpa sekat penghalang

3.3. Hubungan Kedalaman Sekat Penghalang Dengan Panjang Intrusi

Gambar 4a grafik rembesan air asin dengan kedalaman sekat 0 cm menunjukkan hubungan antara tinggi muka air 22cm, 20 cm dan 18 cm pada tinggi muka air tawar 20 cm, tinggi muka air asin yang berbeda menunjukkan angka rembesan tertinggi pada jarak 6 cm ke kiri yaitu pada nilai 0,90 cm, 1,20 cm dan 3,00 cm, tetapi pada jarak yang lebih besar yakni 8 cm ke kiri dengan ke tiga tinggi muka air yang berbeda diperoleh angka yang menurun yaitu ; 0,0; 0,0 dan 1,0 cm.



Gambar 4, Grafik Rembesan air asin ke dalam pasir dengan kedalaman sekat (a)= 0 cm dan (b) = 5 cm

Gambar 4b grafik rembesan air asin dengan kedalaman sekat 5 cm menunjukkan hubungan antara tinggi muka air 22 cm, 20 cm dan 18 cm pada tinggi muka air tawar 20 cm, tinggi muka air asin yang berbeda menunjukkan angka rembesan tertinggi pada jarak 6 cm ke kiri yaitu pada nilai 0,00 cm, 0,10 cm dan 0,80 cm, grafik ini menunjukkan penurunan muka air yang berbeda dibanding tanpa sekat (4 cm) sebesar 50 %, 67% dan 20%

4. KESIMPULAN

Gambar 4b grafik rembesan air asin dengan kedalaman sekat 5 cm menunjukkan hubungan antara tinggi muka air 22 cm, 20 cm dan 18 cm pada tinggi muka air tawar 20 cm, tinggi muka air asin yang berbeda menunjukkan angka rembesan tertinggi pada jarak 6 cm ke kiri yaitu pada nilai 0,00 cm, 0,10 cm dan 0,80 cm, grafik ini menunjukkan penurunan muka air yang berbeda dibanding tanpa sekat (4 cm) sebesar 50 %, 67% dan 20%

4. KESIMPULAN

1. Untuk menghambat rembesan air asin pada daerah ke arah daratan dibuat konstruksi penghalang bawah permukaan berwawasan lingkungan yang dapat berfungsi sebagai perkuatan tanah dasar pada bangunan tepi pantai dan juga melindungi cadangan air tawar.
2. Metode Grouting yakni menyuntikkan campuran air-semen ke dalam pasir dapat menurunkan atau meminimalkan nilai kecepatan rembesan air asin.

DAFTAR PUSTAKA

- Bisri, Mohammad, *Aliran Air Tanah*, Fak Teknik UNIBRAW UPT Penerbitan, Edisi kedua 1991
- Borglet,C,2003, Finding Association Rules with Apriori Algorithm <http://www.fuzzy.cs.uniagdeburg.de/~borglet/apriori.pdf>, diakses tgl 23 Februari 2007.

- Castleman, Kenneth R., 2004, *Digital Image Processing*, Vol. 1, Ed.2, Prentice Hall, New Jersey.
- Hadi S, et al, *Hidrodinamika Air Tanah Pulau Kecil Terumbu Karang Kajian Berdasarkan Model Bidang Batas Tegas Dengan Pendekatan Metode Hingga*, Riset-Geologi dan pertambangan Jilid 12 No.1 Tahun 2003.
- Ivan, A.H., 2005, Desain target optimal, *Laporan Penelitian Hibah Bersaing*, Proyek Multitahun, Dikti, Jakarta.
- Kwe Won Jun and Chang Deok Jung, *Effects Of Salinization Of Groundwater Along The Western Coast Of Korea Are Reduced By Artificially Recharging With Freshwater*, JOURNAL OF COASTAL RESEARCH, SPECIAL ISSUE No. 65, 2013, ISSN 0749-0208
- Leonid N. Germanovich and Lawrence C. Murdoch, *Injection of solids to lift coastal areas*, journal is © 2010 The Royal Society
- Nurnawaty, 2013, Model Pengurangan Laju Intrusi Air Laut Pada Akuifer Pantai Dengan Menggunakan Sistem Grouting, Publikasi Ilmiah, S3 Teknik Sipil UNHAS, Makassar, Edisi Sep 2013, hal 11-20
- Papadopoulou MP, et al, *Modelling The Saltwater Intrusion Phenomenon In Coastal Aquifers – A Case Study Industrial Zone Of Herakleio In Crete*, GLOBAL NEST JOURNAL Vol.7 No.2, pp 197 – 203, 2005
- Prasetya, E., 2006, Case Based Reasoning untuk mengidentifikasi kerusakan bangunan, *Tesis*, Program Pasca Sarjana Ilmu Komputer, Univ. Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Septian P, 2010, *Intrusi Air Laut*, Vienastra@ugm.ac.id, Posted on July 2010
- Tanapol Sriapai, dkk, *Physical Model Simulation Of Seawater Intrusion In Unconfined Aquifer*, JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, Songklanarin J. Sci.Technol. 34(6). Nov – Des 2012 (<http://www.ajst.psu.ac.th>)
- Young-Tak Kim, et al, *Experiment On Seawater Exchange And Lee Side Stability Of Breakwater*, Journal Of Coastal Research, Special Issue No. 65, 2013 (www.JCRonline.org)
- Yeh William WG, *Modelling And Optimization Of Seawater Intrusion Brriers In Southern California Coastal Plain*, Technical Completion Reports, University Of California Water Resources Centre, Uc Berkeley, 2006, (<http://escolarship.org/uc/item/3z07d30d>)