

# **DISERTASI**

**STUDI EKSPERIMENTAL MODEL SEKAT SOIL SEMEN UNTUK  
MENGURANGI INTRUSI AIR ASIN PADA AKUIFER PANTAI**

**EXPERIMENTAL STUDY OF SOIL CEMENT BARRIER MODEL  
TO REDUCED SALTWATER INTRUSION AT COASTAL AQUIFER**

**NURNAWATY**



**SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2017**

**STUDI EKSPERIMENTAL MODEL SEKAT SOIL SEMEN UNTUK  
MENGURANGI INTRUSI AIR ASIN PADA AKUIFER PANTAI**

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Doktor

Program Studi

Teknik Sipil

Disusun dan diajukan Oleh

NURNAWATY  
P0800311405

Kepada

**SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2017**

DISERTASI

STUDI EKSPERIMENTAL MODEL SEKAT SOIL SEMEN UNTUK  
MENGURANGI INTRUSI AIR ASIN PADA AKUIFER PANTAI

Disusun dan diajukan oleh

NURNAWATY

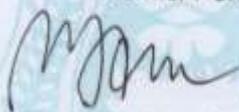
Nomor Pokok P0800311405

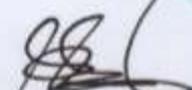
Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi

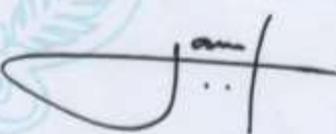
Pada tanggal 27 Nopember 2017

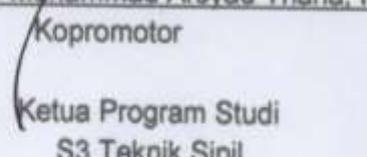
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui  
Komisi Penasehat

  
Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, M.Sc  
Promotor

  
Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT  
Kopromotor

  
Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT  
Kopromotor

  
Ketua Program Studi  
S3 Teknik Sipil

  
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. H. M. Winardi Taronge, ST.M.Eng

Dr-Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME

## PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Nurnawaty  
Nomor Mahasiswa : P0800311405  
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, November 2017

Yang menyatakan



Nurnawaty

## SUMBER INSPIRASI

Q. S. Al Furqan (25): ayat 53

وَهُوَ الَّذِي مَرَجَ الْبَحْرَيْنِ هَذَا عَذْبٌ فُرَاتٌ وَهَذَا يَمِلُّعٌ أُجَاعٌ وَجَعَلَ بَيْنَهُمَا بَرْزَخًا  
وَحِجْرًا مَّتَّجِرًا ﴿٥٣﴾

“Dan Dialah yang telah melepaskan [secara bersamaan] dua lautan, satu segar dan manis dan satu asin dan pahit, dan Dia menempatkan di antara mereka sebuah penghalang“.

Q. S. Ar Rahman (55):19-20.

*“Dia membiarkan dua lautan mengalir yang keduanya kemudian bertemu, antara keduanya ada batas yang tak dapat dilampaui oleh masing-masing.”*

*kedua laut tersebut tidak akan bercampur atau melintasi batas ini*

Dalam firman-Nya tersebut Allah SWT menjelaskan bahwa meskipun kedua lautan tersebut sama-sama mengalir, berujud air dan sama-sama asin, tetapi antara keduanya tidak dapat bercampur satu sama lain seolah-olah ada batas yang tak akan terlampaui.

## PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahiem, syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah Rabbil ‘Alamin atas segala rahmat dan karuniaNya sehingga penyusunan disertasi ini dapat diselesaikan.

Gagasan yang melatarbelakangi permasalahan ini timbul dari hasil pengamatan penulis terhadap masuknya air laut ke daerah pantai di Kotamadya Makassar khususnya di Tanjung Bayang, kondisi muka air laut sekitar 0,5 sampai 1,5 meter diatasi permukaan tanah. (Langkoke 2011) diperparah lagi dengan pengembangan kawasan yang beralih fungsi menjadi tempat wisata dan hunian elite dengan pembangunan yang kurang memperhatikan keberadaan air tanah. Perlu adanya desain penghalang buatan berwawasan lingkungan yang dapat memperlambat proses intrusi air asin ke dalam air tanah tawar di kawasan pantai

Fenomena sekat penghalang air laut dan air asin disebutkan dalam Al-Qur’an surah Ar Rahman ayat 19-20 : *Dia membiarkan dua lautan mengalir yang keduanya kemudian bertemu, antara keduanya **ada batas yang tak dapat dilampaui** oleh masing-masing*

Dilatarbelakangi kenyataan tersebut, penulis berinisiatif mengkaji salah satu konsep untuk mengurangi laju intrusi air laut ke daratan yaitu dengan model fisik di bawah permukaan tanah dengan memanfaatkan

material tanah setempat dengan campuran semen menjadi sekat soil semen.

Dalam penyelesaian disertasi ini penulis menghadapi berbagai kendala, akan tetapi berkat bantuan dan dukungan berbagai pihak, Oleh karena itu dalam kesempatan ini dari lubuk hati yang paling dalam dengan tulus penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang tulus kepada ibu Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, M.Sc selaku Ppromotor, bapak Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT dan bapak Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT selaku Co-Promotor atas bimbingan dan motivasi yang telah diberikan sejak awal penyusunan proposal hingga penyelesaian disertasi ini.

Penghargaan dan terima kasih, juga penulis sampaikan kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Suripin, M.Eng selaku penguji eksternal, Bapak Prof. Dr. Ir. H. Muh. Saleh Pallu, M.Eng, Bapak Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna Samang, MS, M.Eng, Bapak Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, MT, Bapak Dr. Eng. Tri Harianto, ST, MT selaku penguji yang telah memberikan saran dan arahan demi kesempurnaan disertasi ini.

Ucapan terima kasih dan penghargaan, penulis sampaikan pula kepada :

1. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi melalui Proyek BPPS yang telah mendukung pembiayaan penulis dalam mengikuti program doktor

2. Rektor Universitas Hasanuddin, Dekan beserta seluruh staf Sekolah Pascasarjana yang telah menerima dan memberikan dukungan fasilitas selama penulis mengikuti program doctor
3. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Ketua Program Studi Teknik Sipil, Ketua Program Studi (S3) Teknik Sipil, dosen dan staf, Laboratorium Hidrolika dan staf yang telah memberikan bimbingan, kemudahan, fasilitas dan pelayanan administrasi selama penulis mengikuti program pendidikan doktor
4. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar beserta para wakil rektor yang telah memberikan rekomendasi dan senantiasa memberikan motivasi selama penulis mengikuti pendidikan doktor
5. Pimpinan Fakultas, pimpinan program studi, rekan-rekan dosen, Dosen, asisten dan staf Laboratorium Teknik sipil Universitas Muhammadiyah Makassar atas pengertian dan kerjasamanya selama penulis mengikuti program pendidikan doktor
6. Rekan-rekan mahasiswa program S3 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin, yang telah memberikan dukungan, baik moril maupun materil guna penyelesaian studi penulis
7. Semua pihak yang telah memberikan bantuan kepada penulis baik moril maupun materil yang penulis tak dapat sebutkan satu persatu

Ucapan terima kasih dan doa kepada Allah SWT untuk almarhum ayahanda tercinta Imam Soenyoto Nawang dan ucapan terima kasih juga buat ibunda tercinta Hj. Mariati dg Nurung yang telah merawat mendidik dan memberikan perhatian sepenuhnya. Penulis juga tak mengabaikan peran serta seluruh keluarga, khususnya ananda : Dzar Fadli EF, Dzar Fikri EF, Dzar Fahiemah EF, Dzar Fakhirah EF. sebagai sumber inspirasi dan motivasi dan mendo'akan penulis. Suami Abd. Rakhim yang telah menemani menimba ilmu sejak S1, S2 dan S2, Penulis mendoakan semoga Allah SWT membalas semua bentuk bantuan, nasehat, bimbingan dan motivasinya bernilai ibadah dan dilipatgandakan disisi Allah SWT

Penulis menyadari bahwa sebagai manusia yang penuh dengan keterbatasan sehingga disertasi ini jauh dari kesempurnaan. Sebagai insan akademik, penulis dengan senang hati membuka diri untuk menerima segala sumbangan pemikiran berupa kritikan inovatif dan saran yang konstruktif guna pengembangan keilmuan bagi kepentingan masyarakat luas. Ahirul kata semoga disertasi ini berguna bagi kita semua, terutama bagi penulis sendiri, Amin

Fastabiqul Khairat,

Wassalamu Alaykum Warahmatullahi Wabarakatuh

Makassar, November 2017

Nurnawaty

## ABSTRAK

NURNAWATY, *Studi Eksperimental Model Sekat Soil Semen Untuk Mengurangi Intrusi Air Asin Pada Akuifer Bebas Daerah Pantai* (dibimbing oleh Mary Selintung, Muhammad Arsyad Thaha, Farouk Maricar)

Penghalang buatan di bawah permukaan tanah merupakan salah satu metode pengendalian intrusi air laut secara fisik di daerah pesisir. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh sekat soil semen sebagai sekat penghalang intrusi air asin ke dalam air tanah tawar pada akuifer bebas daerah pantai.

Penelitian ini dilakukan dengan uji model ekperimental di laboratorium untuk menghitung panjang intrusi dengan model 3 macam variasi beda tinggi muka air tawar terhadap muka air asin ( $H_w/H_s$ ), 4 macam kedalaman sekat ( $D$ ) dan 3 macam ketebalan sekat ( $B$ ). Penelitian ini menggunakan campuran soil dan semen sebagai sekat penghalang, pasir laut sebagai material dasar pembuatan model akuifer dengan koefisien permeabilitas  $0,031 \text{ cm/dtk}$ , air yang digunakan adalah air tawar dengan berat jenis  $1,000 \text{ gr/cm}^3$  dan air laut dengan berat jenisnya  $1,025 \text{ gram/cm}^3$ .

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan sekat soil semen sebagai penghalang bawah permukaan dapat mengurangi panjang intrusi air asin. Semakin panjang kedalaman dan tebal sekat maka panjang intrusi berkurang. Pada  $H_w/H_s = 0,75$  panjang intrusi sebesar  $52,749 \text{ cm}$ , untuk  $H_w/H_s = 1,00$  sebesar  $46,65 \text{ cm}$  sedangkan pada  $H_w/H_s = 1,25$  panjang intrusi berkurang sebesar  $37,68 \text{ cm}$ . Pengaruh kedalaman sekat  $2 \text{ cm}$  panjang intrusi berkurang  $8,08 \%$ , kedalaman sekat  $5 \text{ cm}$  panjang intrusi berkurang  $18,70 \%$  dan kedalaman sekat  $10 \text{ cm}$  mengurangi sebesar  $36,24 \%$ . Persamaan empirik yang diperoleh untuk panjang intrusi pada akuifer bebas dengan nilai  $k = 0,0031 \text{ m/s}$  yakni  $L_s = -0,0092 \text{Ln}(D.B. \left\{ \Delta \left( \frac{H_w}{H_s} \right) \left( \frac{Q_o.K}{H_s^3.g} \right) \right\}^{0,5}) + 0,5431$

**Kata kunci :** *intrusi air asin, penghalang bawah Permukaan, sekat soil semen,*



## ABSTRACT

Nurnawaty, *The Experimental Study Soil Cement Barrier Model To Reduce Saltwater Intrusion at unconfined Aquifer Of Coastal Area* (supervised by **Mary Selintung, Muhammad Arsyad Thaha and Farouk Maricar**)

Artificial barrier on sub surface ground is one of seawater intrusion control methods physically in the coastal area.. This study aims to asses the effect of soil cement insulation as a barrier subsurface intrusion against saltwater intrusion into freshwater at Coastal unconfined aquifer.

The research was conducted by testing experimental models in laboratory with 3 kinds variation of different saltwater level and freshwater level (Hw/Hs), 4 variation of insulation's depth (D) and 3 variation insulation width (B).

This study uses coastal sand as the basic material for making the aquifer model with 0,031 cm/s. Water used is freshwater with spesific gravity 1,000 gram/cm<sup>3</sup> and saltwater with spesific gravity 1,025 gram/cm<sup>3</sup> and insulation barrier by mixture cement-water 1 : 6. The results indicate that artificial barrier subsurface by soil semen insulation can reduce the length of saltwater intrusion. With increasing value hight water level, insulation dimensi (depth and width), the length of intrusion becomes shorter, at Hw/Hs = 0,75 length intrusion is 57,79 cm., Hw/Hs =1,00 length intrusion is 46,65 cm, and Hw/Hs 1,25 length intrusion is 44,44 cm. While at D = 2 cm the length of intrusion reduce 8,08% , D = 5 cm length of intrusion reduce 18,70 % and D = 10 cm length of intrusion reduce 46,24 %. The empirical equation obtained at unconfined aquifer with k = 0,0031 m/s is  $L_s = -0,092 \ln (D.B.$

$$\left\{ \Delta \left( \frac{H_w}{H_s} \right) \left( \frac{Q_o.K}{H_s^3.g} \right) \right\}^{0,5} + 0,5431$$

Keyword : *saltwater intrusion, subsurface artificial barrier, soil sement insulation*



## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
PRAKATA	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR NOTASI	xv
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian	5
E. Ruang Lingkup Penelitian	5
F. Kebaruan Penelitian (Novelty)	6
G. Defenisi Operasional	7
H. Sistematika Penelitian	10
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Penelitian Terdahulu	11
B. Dasar Teori	16
B.1. Soil Semen	16
B.2. Rembesan	19
B.3. Intrusi Air Laut	21
B.4. Akuifer	28
B.5. Aliran Air Tanah	30

B.6. Permeabilitas	31
B.7. Penghalang Bawah Permukaan	32
C Bilangan Tak Berdimensi (Analisa Dimensi)	33
D Hipotesis Penelitian	35
E. Kerangka Pikir Penelitian	36
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
A Kerangka Alur Penelitian	37
B Lokasi dan Waktu Penelitian	39
C. Jenis Penelitian dan Sumber Data	39
D. Alat dan Bahan Yang Digunakan	41
D.1. Sekat Soil Semen	41
D.2. Pengujian Rembesan	42
D.3. Penelitian Utama	43
E. Variabel Penelitian	45
F Desain Penelitian	47
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	50
A Hasil Pengujian Laboratorium	50
A.1. Pengujian Karakteristik Pasir	50
A.2. Pengujian Air Laut	52
A.3. Soil Semen	53
B. Hasil Pengamatan Panjang Intrusi	54
C Pola Intrusi Air Asin	55
C.1. Pengaruh Beda Tinggi Muka Air	55
C.2. Estimasi Parameter dan Validasi Hasil Eksperimen	57
C.3. Pengaruh Beda Tinggi Muka Air Terhadap Intrusi	61

D.	Aplikasi Sekat Penghalang Terhadap Panjang Intrusi	63
	D.1. Kedalaman Sekat Soil Semen (D)	63
	D2. Tebal Sekat Soil Semen (B)	66
E	Perbandingan Pengurangan Panjang Intrusi Dengan Metode Empiris (Darcy dan Dupuit)	68
F	Perbandingan Pengurangan Panjang Intrusi	71
G.	Bilangan Tak Berdimensi (Analisis Dimensi)	75
H.	Temuan Empirik Hasil Penelitian	80
 <b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN</b>		<b>81</b>
	A. Kesimpulan	81
	B. Saran	82
 <b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
 <b>LAMPIRAN</b>		

## DAFTAR TABEL

<b>Nomor</b>		<b>halaman</b>
Tabel 1	Kebutuhan kadar semen untuk berbagai jenis tanah	18
Tabel 2	Nilai K beberapa peneliti	32
Tabel 3	Hasil pemeriksaan Laboratorium sampel pasir	51
Tabel 4	Hasil Uji Permeabilitas Pasir Laut Menggunakan Alat Rembesan	52
Tabel 5	Kondisi air laut yang digunakan	52
Tabel 6	Komposisi Bahan Campuran Sekat	53
Tabel 7	Hasil Pengamatan Panjang Intrusi	55
Tabel 8	Data Hasil Pengamatan Panjang Intrusi	56
Tabel 9	Persamaan Untuk Menganalisa Panjang Intrusi	57
Tabel 10	Prediksi nilai $R^2$ Model Persamaan dan Hasil Eksperimen	58
Tabel 11	Analisa Panjang Rembesan Dengan Metode Dupuit	69
Tabel 12	Analisa Panjang Rembesan Dengan Metode Darcy	70
Tabel 13	Perbandingan panjang rembesan air asin hasil penelitian dengan perhitungan metode Dupuit dan Darcy	71
Tabel 14	Perbedaan Relatif pengurangan panjang Rembesan	72
Tabel 15	Perbandingan pengurangan panjang rembesan hasil penelitian dengan rumus empiris	73
Tabel 16	Pengurangan Panjang Rembesan Hasil Penelitian dan Hasil Perhitungan Metode Dupuit dan Metode Darcy	74

## DAFTAR GAMBAR

<b>Nomor</b>		<b>halaman</b>
Gambar 1	Peta Pernurunan Muka Air Tanah dan Sebaran Instrusi air Laut Sulawesi Selatan dan Makassar 2010	2
Gambar 2	Perbandingan kekuatan yang didapat dari campuran tanah pasirdan lempung kelanauan dengan semen	19
Gambar 3	Rembesan air asin dalam tanah dari hulu ke hilir	21
Gambar 4	Hubungan air asin dengan air tanah tawar pada daerah pantai	22
Gambar 5	Sketsa interface muka air pada akuifer pantai	23
Gambar 6	Prinsip-prinsip GHIJNBEN - HERSBERG	24
Gambar 7	Sistem interface air laut air tawar pada massa lahan pantai yang luas	25
Gambar 8	Proses Terjadinya Intrusi Pada Akuifer Pantai	27
Gambar 9	Aliran Air Tanah Pada Akuifer Bebas	28
Gambar 10	Aliran air di akuifer persegi panjang dengan recharge	29
Gambar 11	Aliran Air Tanah Pada Akuifer Bebas	29
Gambar 12	Kerangka Konseptual	36
Gambar 13	Kerangka Alur Pemikiran	38
Gambar 14	Pengambilan sampel tanah, pasir dan air laut	40
Gambar 15	Alat yang digunakan dalam penelitian dan uji sampel sekat soil semen	41-42

Gambar 16	Eunha Permeability, alat untuk pengujian permeabilitas dan panjang rembesan	43
Gambar 17	Saluran gelombang yang digunakan dalam penelitian	43
Gambar 18	Pembuatan prasarana model saluran (Flume) gelombang	44
Gambar 19	Sketsa profil penelitian	46
Gambar 20	Profil memanjang tinggi muka air	46
Gambar 21	Sketsa tata letak sekat soil semen	47
Gambar 22	Pembuatan sampel akuifer pasir pantai	48
Gambar 23	Hasil Sampel akuifer pada flume	48
Gambar 24	Pengambilan data di laboratorium	49
Gambar 25	Pengukuran Permeabilitas Pasir Menggunakan Eunha Permeability	51
Gambar 26	Pembacaan data sampel air laut, alat ukur salinometer	52
Gambar 27	Hasil Uji Sampel Uji Soil Semen	53
Gambar 28	Sekat soil semen yang digunakan dalam penelitian variasi kedalaman tebal sekat	54
Gambar 30	Panjang Garis Intrusi dengan 3 Variasi Hw/Hs	62
Gambar 31	Pengaruh Hw/Hs dan Ls dengan 4 variasi kedalaman sekat	63
Gambar 32	Rekap pengaruh Hw/Hs dan Ls dengan 4 variasi kedalaman sekat	64
Gambar 33	Pengaruh Kedalaman sekat (D) terhadap Lx pada 3 variasi beda tinggi m.a tawar dan asin	66

Gambar 34	Pengaruh kedalaman sekat terhadap panjang intrusi pada $H_w/H_s = 1.25 ; 1.00$ dan $0.75$	67
Gambar 35	Pengaruh tebal sekat (B) terhadap panjang intrusi $L_x$ dengan 3 variasi kedalaman sekat (D)	68
Gambar 37	Pengaruh tebal sekat terhadap panjang intrusi pada tanpa sekat dan 3 variasi kedalaman sekat	69
Gambar 38	Grafik Perbandingan Pengurangan Panjang Rembesan Hasil Penelitian dan Metode Empiris	84
Gambar 39	Grafik bilangan tak berdimensi	85

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Pengamatan Panjang Intrusi	L-1
Lampiran 2	Tabel Lamp.2 Data Panjang Intrusi pada beda tinggi muka air tawar dan air asin	L-3
Lampiran 3	Tabel Lamp.3 Data Panjang Intrusi pada kedalaman sekat	L-4
Lampiran 4	Tabel Lamp.4 Data Panjang Intrusi dengan tebal sekat	L-5
Lampiran 5	Analisis Dimensi	L-6
Lampiran 6	Perbandingan Panjang Intrusi Hasil Pengamatan dengan Rumus Empirik	L-11
Lampiran 7	Gambar 8. Model Akuifer bebas pada flume	L-13
Lampiran 8	Tabel Lamp.1a. Profil Muka Air Flume, dengan Sekat Penghalang (D= 1, 2, 3, 4, 5 & 10cm), tebal sekat (0.5, 1.0 dan 1.5 cm) dan Tinggi muka air asin (Hs)= 20 cm	L-20

## DAFTAR ARTI NOTASI DAN SINGKATAN

<b>Notasi / Singkatan</b>	<b>Arti dan Keterangan</b>
D	Kedalaman Sekat
B	Lebar/tebal sekat
H <sub>w</sub>	Tinggi muka air tawar
H <sub>s</sub>	Tinggi muka air laut
$\rho_w$	Berat jenis air tawar
$\rho_s$	Berat jenis air laut
$\rho_0 = \Delta$	Berat Jenis pencampuran
G	Gravitasi
K	Permeabilitas (pasir)
L <sub>x</sub>	Panjang Intrusi
Q <sub>0</sub>	Debit awal intrusi

### **Notasi pada Analisa Dimensi**

M	Massa
L	Panjang
T	Waktu
$\pi$	Konstanta tak berdimensi

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

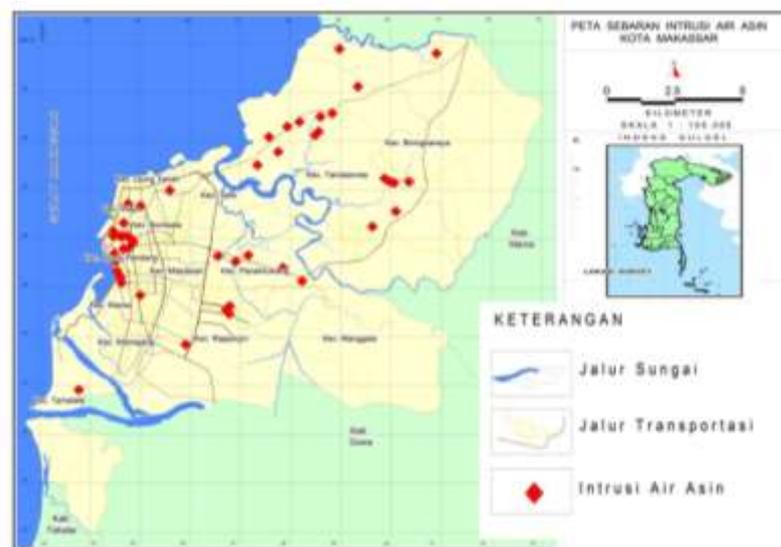
#### **A. Latar Belakang**

Kota Makassar yang merupakan kota pantai dengan pengembangan dan pembangunan kota menyebabkan tuntutan kebutuhan pokok penduduknya untuk tempat tinggal, air bersih dan industri akan selalu meningkat sejalan dengan pesatnya pembangunan. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, maka terjadi pemompaan dan eksploitasi air tanah besar-besaran. Jika hal ini terjadi terus menerus maka penurunan kuantitas dan kualitas air tanah serta gejala intrusi air laut yang akan mengancam ketersediaan air tanah dangkal maupun air tanah dalam.

Kondisi ini telah terjadi di banyak kota yang terdapat dekat pantai tidak hanya ditemukan di Kota Makassar, namun sudah ditemukan tersebar luas di sekitar kabupaten Gowa dan kabupaten Maros. Gejala intrusi air laut telah ditemukan mulai dari lapisan akuifer bebas (paling atas) hingga lapisan semi tertekan, bahkan di beberapa tempat gejala intrusi ditemukan pada lapisan akuifer tertekan. Kondisi tersebut adalah merupakan dampak dari laju pembangunan yang sangat cepat, serta tidak terkendalinya pengambilan air tanah

Upaya penanggulangan penurunan muka air tanah pada muka air tanah di cekungan Makassar dan Mamminasata serta intrusi air laut masih perlu perhatian serta penanggulangan secara serius dan terpadu (Gambar 1).

Keberadaan air tanah tawar di sepanjang pantai kota Makassar terancam tercemar intrusi air laut baik disebabkan oleh fenomena alam ataupun pemenuhan kebutuhan hidup manusia dengan pengembangan dan pembangunan kota



Gambar 1. Peta sebaran intrusi air asin Sulawesi Selatan dan Makassar 2010 (sumber : Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Sulawesi Selatan)

Untuk mencegah intrusi air laut oleh para ahli telah dilakukan baik secara fisik maupun non fisik, upaya fisik, 1) mengurangi debit pemompaan air tanah, 2) injeksi air tawar, 3) ekstraksi air asin, serta 4) membuat penghalang bawah permukaan.

Model penghalang bawah permukaan diperlukan sebagai upaya untuk menghambat terjadinya intrusi air laut yang lebih jauh ke arah daratan dan melindungi cadangan air tawar.

Penelitian tentang penghalang fisik di bawah tanah sebagai pembatas antara air asin dan air tawar telah banyak dilakukan dengan membuat dinding semacam bendungan dengan bahan dasar lempung sedimen pantai, plastic, gypsum, beton, bentonit maupun aspal.

Berdasarkan hal tersebut maka penulis melakukan penelitian membuat model dinding penghalang bawah permukaan yang menggunakan soil semen yakni campuran padat dari tanah atau agregat pasir setempat dengan semen dan air yang mudah diperoleh dan biaya relative murah.

Hasil penelitian ini diharapkan untuk mendapatkan gambaran tentang pergerakan intrusi air asin bawah permukaan dan dapat mengurangi intrusi air asin ke dalam aliran air tanah pada kawasan pantai,

## **B. Rumusan Masalah**

Permasalahan pokok yang muncul dalam penelitian pengaruh sekat soil semen pada akuifer pantai untuk memperlambat laju intrusi air laut ke sumber air tawar dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pola intrusi air laut ke dalam akuifer pantai dengan variasi tinggi muka air tanah terhadap tinggi muka air asin pada uji model fisik laboratorium?

2. Bagaimana pengaruh kedalaman sekat dan lebar sekat penghalang terhadap panjang intrusi
3. Bagaimana hubungan empirik panjang intrusi dengan parameter yang berpengaruh: beda tinggi muka air, kedalaman sekat dan lebar sekat penghalang pada model fisik laboratorium dengan metode analisa dimensi

### **C. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian model aliran intrusi di daerah pesisir ini adalah :

1. Menganalisa dan mengetahui pola intrusi air laut ke dalam akuifer pantai dengan variasi tinggi muka air tanah
2. Mendapatkan pengaruh kedalaman sekat dan lebar sekat penghalang terhadap panjang intrusi
3. Menghasilkan rumusan empirik hubungan panjang intrusi dengan parameter yang berpengaruh: beda tinggi muka air, kedalaman sekat dan lebar sekat penghalang dengan metode analisa dimensi pada model fisik laboratorium

#### **D. Manfaat penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian uji ekperimental pemodelan penghalang intrusi bawah permukaan menggunakan sekat soil semen, adalah sebagai berikut :

1. Menjadi salah satu solusi alternatif yang bisa mengurangi laju air asin/garam yang menyusup ke dalam cadangan air tanah tawar pada daerah pesisir
2. Memberikan informasi tentang pergerakan intrusi air laut yang melewati penghalang bawah permukaan menggunakan sekat soil semen, sehingga dapat menambah pengetahuan tentang metode memperlambat intrusi.
3. Penelitian ini diharapkan dapat diterapkan lebih lanjut untuk perkuatan tanah dasar pada bangunan tepi pantai yang dapat berfungsi untuk memperlambat laju intrusi

#### **E. Ruang Lingkup Penelitian**

Untuk mencapai tujuan penelitian yang memiliki bentuk, arah dan fokus yang jelas, maka permasalahan dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut:

1. Sekat penghalang yang digunakan terbuat dengan mencampur tanah yang berasal dari sedimen pantai Tanjung Bayang di hilir sungai Jeneberang dengan semen perbandingan tanah dan semen 6 : 1

2. Pasir yang digunakan sebagai model akuifer adalah pasir putih yang berasal dari pantai Tanjung Bira karakteristik pasir (uji permeabilitas menggunakan *Constant head* dan *Eunha Permeability*). Permeabilitas menggunakan data sekunder (tidak ditinjau langsung)
3. Pemodelan fisik aliran air dalam model akuifer pantai menggunakan flume yang ada pada Laboratorium Hidrolika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar
4. Variabel penelitian : debit pengaliran( $q$ ), beda tinggi muka air tawar dan air asin ( $H_w/H_s$ ), berat jenis air tawar( $\rho_w$ ), air laut ( $\rho_s$ ), serta ukuran dimensi sekat yakni kedalaman ( $D$ ) dan tebal sekat ( $B$ )
5. Reaksi kimia pengaruh sulfat dan lainnya terhadap sekat soil semen pada penelitian ini tidak dianalisa.

#### **F. Kebaruan Penelitian (Novelty)**

Kebaruan dari penelitian ini adalah inovasi sistem penghambat intrusi air dalam tanah berupa sekat penghalang berbahan soil semen yang mampu mengurangi laju intrusi air asin dan memproteksi air tanah tawar. Melalui penelitian ini dihasilkan suatu formula empiris berupa panjang intrusi yang dipengaruhi oleh beda tinggi muka air tawar dan asin dan dimensi sekat penghalang.

## G. Defenisi Operasional

1. **Akuifer** adalah lapisan bawah tanah yang mengandung air dan dapat mengalirkan air, atau disebut juga lapisan pembawa air, akuifer terdiri atas akuifer bebas (*unconfined aquifer*), akuifer tertekan (*confined aquifer*), akuifer semi tertekan (*semi confined aquifer*), dan akuifer semi bebas (*semi unconfined aquifer*).
2. **Akuifer bebas** (*unconfined aquifer*) adalah : akuifer dengan hanya memiliki satu lapisan pembatas kedap air yang terletak di bagian bawahnya.
3. **Beda tinggi muka air** ( $\Delta H$ ) adalah selisih tinggi muka air asin dan muka air tanah tawar
4. **Berat jenis** adalah perbandingan relatif antara massa jenis sebuah zat dengan massa jenis air murni. Air murni bermassa jenis  $1 \text{ g/cm}^3$  atau  $1000 \text{ kg/m}^3$ .
5. **Interface** adalah zona pertemuan antara air asin dan air tawar atau sebagai batas antara air tanah dengan air laut. Keadaan tersebut merupakan keadaan kesetimbangan antara air laut dan air tanah.
6. **Intrusi air laut** adalah penyusupan air asin ke dalam akuifer di daratan atau proses masuknya air laut di bawah permukaan tanah melalui air (sungai) dan akuifer di daratan daerah pantai.

7. **Kedalaman sekat** adalah tinggi atau panjang sekat penghalang masuk ke dalam pasir yang diukur mulai dari tinggi muka air laut sampai pada ukuran tertentu
8. **Koefisien kelulusan air** (*coefisient of permeability*) adalah kemampuan untuk meluluskan air di dalam rongga-rongga batuan tanpa mengubah sifat airnya
9. **Pantai** (*shore*) adalah sebuah bentuk geografis yang terdiri dari pasir, dan terdapat di daerah pesisir laut. Daerah pantai menjadi batas antara daratan dan perairan laut.
10. **Pesisir** merupakan daerah pertemuan antara darat dan laut; ke arah darat meliputi bagian daratan, baik kering maupun terendam air, yang masih dipengaruhi sifat-sifat laut seperti pasang surut, angin laut, dan perembesan air asin
11. **Penghalang bawah permukaan** adalah penghalang yang dibuat dengan tujuan untuk menjaga tekanan air bawah tanah yang dekat atau sejajar dengan pantai, tetap berada di atas muka laut, sehingga tidak terjadi pendesakan air bawah tanah tawar oleh air asin.
12. **Permeabilitas** adalah suatu sifat atau kemampuan dari suatu membran untuk dapat dilewati oleh suatu zat atau merupakan salah satu parameter petrofisik yang berupa kemampuan batuan untuk dapat meloloskan fluida

13. **Rapat massa** adalah suatu besaran turunan dalam fisika yang secara umum lebih dikenal massa jenis.
14. **Sekat soil semen** merupakan sekat atau pembatas yang terdiri dari campuran yang sangat padat dari tanah atau agregat dengan semen dan air, atau bahan konstruksi, Atau campuran tanah alami bubuk dengan sedikit semen portland dan air, keuntungannya antara lain kekuatan besar, daya tahan tinggi dan bahan yang murah
15. **Salinitas** merupakan tingkat keasinan atau kadar garam terlarut dalam air. Atau banyaknya garam dalam gram yang terdapat pada satu liter air laut. Salinitas biasanya dinyatakan dengan per mil (‰)
16. **Tebal sekat** adalah ketebalan sekat penghalang yang dipasang sejajar dengan arah intrusi air laut
17. **Tinggi muka air tawar** adalah elevasi muka air tanah di atas muka air laut atau jarak ketinggian muka tawar di dalam tanah pada daratan
18. **Tinggi muka air asin** adalah Muka laut rata-rata lokal (*local mean sea level* atau disingkat LMSL) didefinisikan sebagai tinggi laut terhadap titik acu (*benchmark*) di darat, dirata-ratakan terhadap suatu periode waktu tertentu

## **H. Sistematika Penelitian**

Penelitian laju intrusi air laut dengan metode sekat soil semen pada bawah permukaan akuifer pantai dengan memperhatikan kedalaman sekat terhadap tinggi muka air asin pada kondisi akuifer atau struktur tanah dasar di pantai dimodelkan di laboratorium, dimulai dengan studi pustaka penelitian sebelumnya, selanjutnya melalui penelitian lapangan untuk pengambilan data. Adapun data sekunder berupa penelitian literatur dari penelitian terdahulu. Pengumpulan data primer dengan membuat sekat semen pada pasir pantai yang dibuat dalam model saluran dengan menentukan kedalaman. Analisa data selanjutnya dihasilkan dari uji eksperimen variasi kedalaman sekat terhadap tinggi muka air asin serta pola aliran yang terjadi dalam tanah yang bertujuan untuk memperlambat masuknya aliran air asin ke akuifer air tanah tawar.

Penelitian ini ditulis dalam 5 (lima) bab terdiri atas Bab I. Pendahuluan berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, defenisi dan istilah serta sistematika penulisan, Bab II. Tinjauan Pustaka berisi tentang pengertian sekat soil semen, intrusi air laut, pemodelan aliran air dalam tanah, kerangka pikiran, hipotesis, Bab III Metode Penelitian berisi tentang rancangan penelitian, lokasi dan waktu, pemodelan fisik, pengumpulan data, analisis dan validasi data, Bab IV. Hasil dan Pembahasan serta Bab V. kesimpulan dan saran.

## **BAB II.**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Penelitian Terdahulu**

Hasil studi beberapa peneliti terdahulu mengenai soil semen: Ali Maher, dkk (2005) menggunakan teknologi Cement Deep Soil Mixing (CDSM) untuk menstabilisasi endapan air sungai yang terkontaminasi air asin sedimen sungai di ubah dengan menambahkan campuran pozzolanic seperti semen portland di muara Sungai Passaik daerah tepi Laut Darling Internasional New Jersey US. Ahmed Farouk (2013) menjadikan kolom soil semen sebagai struktur berat pada tanah dengan kerapatan relatif rendah, campuran soil semen terbuat dari ekstraksi tanah sedimen Sungai Nil dicampur dengan berbagai dosis semen dan rasio air semen, penelitian menyimpulkan kuat tekan tanah delta meningkat pada dosis semen yang lebih rendah dan pengurangan pengaliran berkurang 80% tergantung pada jumlah dan panjang kolom soil semen yang digunakan. Brian O (2017), penggunaan geosintetik dalam rekayasa stabilitas tanah dan perlindungan daerah pesisir untuk perlindungan garis pantai. Gregory PM (2012), mendokumentasikan stabilisasi tanah pada teknik geoteknik terdiri atas pengaruh berbagai bahan pengikat tanah serta metode dan peralatan modern yang digunakan. Penelitian yang dilakukan oleh Halim dan Pranowo (2009) tentang soil semen untuk memperbaiki daya dukung dari tanah lempung

lunak, di laboratorium terhadap beberapa model *soil cement column* yang terbentuk Pembuatan *soil cement column* pada penelitian ini menggunakan semen bubuk +*flyash*, serta semen cair dengan kadar semen yang bervariasi. Sampel dari *soil cement column* ini akan diuji kekuatannya dengan *unconfined compression test* (qu) hasilnya menunjukkan penambahan *flyash* sebagai campuran stabilisasi lebih baik daripada campuran stabilisasi yang hanya menggunakan bubuk semen saja, pencampuran menggunakan semen cair membuat kualitas *soil cement column* lebih homogeni serta kenaikan dari daya dukung tanah terhadap waktu dengan menggunakan kadar semen yang berbeda, campuran soil semen yang diperlukan, serta menentukan besarnya angka kelulusan air dalam tanah serta besarnya angka koefisien permeabilitas, hasil penelitiannya antara lain besarnya kepekatan campuran tanah dan semen dengan perbandingan 6 : 1. Eswan (2014) Lapis pondasi tanah semen merupakan satu alternatif untuk mengatasi kesulitan ( kemahalan ) pengadaan batu yang memenuhi persyaratan yakni dengan menstabilisasi tanah setempat yang berkualitas dengan campuran Semen Portland sehingga menghasilkan suatu pondasi perkerasan yang cukup kuat, tahan terhadap air, permukaan yang halus, dan tahan lama. Hasil penelitiannya : Nilai batas UCS minimum ( $20 \text{ kg/cm}^2$ ), target ( $24 \text{ kg/cm}^2$ ) dan maksimum ( $35 \text{ kg/cm}^2$ ) untuk Soil Cement Base yang disyaratkan SNI 03-3637-1994 dapat dicapai dengan mencampur tanah tersebut dengan prosentase semen masing-masing

6,94 %; 8,40 % dan 12,42 %, sedangkan nilai batas CBR minimum (100 %), target (120 %) dan maksimum (200 %) untuk Soil Cement Base yang disyaratkan SNI 03-1744-1989 dapat dicapai dengan mencampur tanah tersebut dengan prosentase semen masing-masing 7,33 %; 8,85 % dan 14,96 %. Untuk mendapat nilai UCS (Unconfined Compressive Streght) yang disyaratkan yaitu sebesar 24 kg/cm<sup>2</sup>.

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. Barcelona dkk, (2006) membuat penghalang bawah permukaan untuk intrusi air laut dengan menyuntikkan (grouting) gypsum ke akuifer yang retak pesisir di Salento, di Italia Selatan, Jun Zhou et al (2009) menyelidiki perubahan permeabilitas menggunakan kolom panjang 25 cm dari sedimen akuifer pantai di Cina, desain hambatan didukung oleh eksperimen laboratorium dan simulasi intrusi air laut ke dalam akuifer dengan model matematika hasilnya tingkat intrusi air laut dapat dikurangi dengan memasukkan penghalang kedap vertikal di seluruh ketebalan akuifer jenuh.

Akuifer lapisan pembatas air tawar dan air laut telah menjadi permasalahan mendasar dalam sistem intrusi air laut, Yeh William, dkk (2006) memodelkan skenario pemompaan terhadap akuifer dangkal di

daerah pantai, Hendrik Warmani, dkk (2009), mensimulasikan intrusi air laut melalui model *Saturated – Unsaturated Transport (Sutra)* dengan menguji pengaruh pasang surut, air hujan, dan sumber air tawar pada daerah pesisir dan pulau-pulau kecil. Kumar L, dkk (2012) dan (Jazar M, 2012) membandingkan hukum Darcy pada media berpori. Kenaikan muka air laut dapat mengganggu pencemaran kadar air tanah akibat dari intrusi air laut yang berlebihan dimana dapat menimbulkan perubahan salinitas. Apabila hal tersebut terjadi secara berlebihan bisa menyebabkan intrusi, dimana kadar air bersih dalam tanah pada suatu daerah otomatis akan tercemar dan menjadi berkurang. Intrusi air laut di daerah pesisir adalah suatu proses penyusupan air asin dari laut ke dalam air tanah di daratan Papadopoulau (2005) dan Leonid (2010), penggunaan air tanah yang berlebihan, perubahan fungsi lahan, karakteristik pantai dan batuan penyusun, kekuatan air tanah ke laut serta fluktuasi air tanah di daerah pantai Sriapai (2012). Metode untuk mengontrol menggunakan parameter antara lain : tanah/kondisi akuifer, lokasi sumur, kedalaman penghalang, debit air tanah dan salinitas Z.Payal (2014)

Intrusi air laut adalah sesuatu yang dapat merusak lingkungan dan kelangsungan hidup manusia apabila dibiarkan dan tidak ada upaya yang dilakukan. Beberapa metode pengendalian telah diusulkan dan dilaksanakan untuk meminimalkan intrusi air laut. Mahesa dkk (2013) telah melakukan penelitian ekstraksi sumur injeksi air tawar/peresapan buatan dan

penghalang bawah permukaan. Bambang Hargono (2011), mengatasi intrusi air laut pada akuifer dan penurunan muka air tanah dengan pengisian air tanah melalui danau buatan / embung. Gaalou dkk (2012) memodelkan intrusi air laut pada akuifer pantai mempertimbangkan pengaruh resapan vertikal, kerapatan aliran dan pengaruh kondisi batas. Jazar M.(2012) memodelkan pertemuan air laut dan air tawar pada akuifer bebas dan akuifer tertekan dengan model matematik 2D dan 3D.

Air asin dapat bercampur dengan air permukaan di daerah delta dan pantai yaitu: suplai garam lewat atmosfer, masuknya garam lewat pintu pelayaran (*ship lock*), intrusi air laut ke muara (*estuary*) rembesan air tanah payau ke daerah rendah (*lowlyng area*) dan difusi garam dalam air sungai.(CD Soemarto dalam bukunya *Hidrologi Teknik* hal 327)

Haningtyas Riska (2008) melakukan sementasi (*grouting*) sebagai perbaikan tanah/ batuan dengan melakukan permeability test dan juga uji Lugeon, dibuat grafik P (tekanan) versus Q (debit) dimana pada grafik tersebut dapat diinterpretasikan besarnya tekanan maksimum yang aman untuk dipergunakan dalam pekerjaan grouting, grouting pada dam ini disebut sementasi tirai. Guna tirai sementasi ini untuk menghambat laju air, sehingga aliran air semakin panjang, karena aliran semakin panjang maka air akan mengalami kehilangan energi.

Penelitian yang dilakukan Devendra Kumar (2012) menggunakan peralatan *Apparatus* untuk memeriksa kecepatan Darcy dan rembesan

kecepatan permeabilitas pada media berpori (pasir, kerikil berpasir, tanah dan tanah liat), dengan menggunakan metode panjang dan debit yang berbeda untuk menghitung : konduktivitas hidrolis atau koefisien permeabilitas, kecepatan Darcy, kecepatan rembesan atau kecepatan pori yang sebenarnya, dan rasio  $L / H$  yang konstan untuk pasir halus dan pasir kerikil. Hasil yang diperoleh panjang sampel yang berbeda di parameter ada variasi dalam kecepatan Darcy dengan memvariasikan panjang sampel (pasir halus) kecepatan Darcy menurun sementara variasi panjang sampel (pasir kerikil), kecepatan Darcy meningkat dengan variasi nilai konduktivitas hidrolis atau koefisien permeabilitas

Beberapa penelitian uji model fisik maupun model matematika berkaitan dengan pengurangan laju rembesan telah dilakukan antara lain : Mahesa (2011) efek peresapan air tawar ke dalam air asin pada akuifer pantai di laboratorium, Pranoto (2014) penggunaan analisis dimensi untuk mencari korelasi antar variabel pada uji model hidrolis.

## **B. Dasar Teori**

### **B.1. Soil Semen**

Soil semen adalah campuran tanah (gembur) dan sejumlah tertentu semen portland dan air yang dipadatkan hingga mencapai kepadatan maksimum, kemudian mengeras dengan hidrasi semen (*PCA 1969 Soil Cement Construction Handbook*). Campuran semen tanah atau Soil semen

merupakan lapisan base yang terdiri dari campuran tanah setempat dengan semen Portland.

Soil semen adalah hasil pencampuran tanah, semen dan air yang dengan tingkat pemadatan tertentu akan menghasilkan suatu campuran material baru dengan kekuatannya karakteristik ketahanan terhadap oleh air, panas dan pengaruh cuaca lainnya adalah sangat baik sebagai suatu lapis pondasi bawah, dari struktur perkerasan jalan, soil semen juga sering digunakan sebagai sub base untuk perkerasan rigid (kaku) atau fleksibel, area penumpukan, perbaikan pada pondasi berbutir (*patching*), pengamanan tebing pada bendungan tanah dan pekerjaan timbunan, lapis reservoir, stabilitas tanah dasar.

Soil semen merupakan suatu metode atau teknik yang dilakukan untuk memperbaiki keadaan bawah tanah dengan cara mencampur tanah dan sejumlah tertentu semen portland dan air yang dipadatkan hingga mencapai kepadatan maksimum sehingga bahan tersebut akan mengisi semua untuk mengurangi retak-susut yang ada di bawah permukaan tanah. Pemakaian sekat soil 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.

Dalam kondisi campuran yang telah mencapai kepadatan maksimum kemudian mengeras akibat proses hidrasi semen, maka akan terbentuk

suatu material yang sangat kuat, yang secara struktur bekerja layaknya sebuah plat beton dan tidak akan mengalami perubahan bentuk pada saat pembebanan, oleh karena itu pula kapasitas daya dukung soil semen jauh lebih besar dibandingkan pondasi dengan agregat (granular).

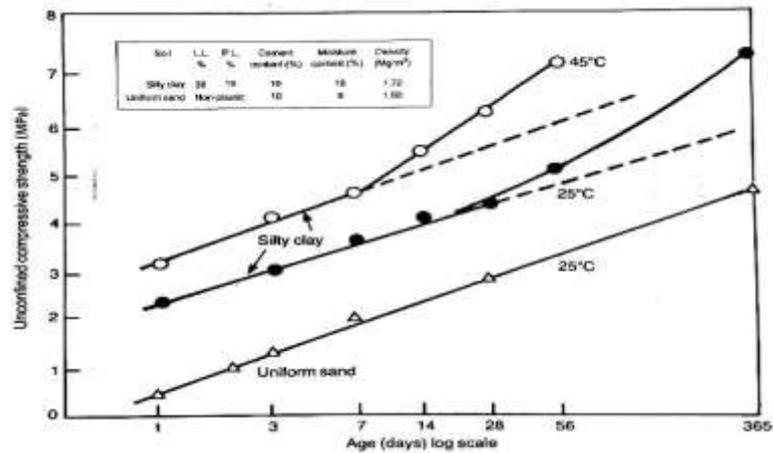
Dalam umur layanan semen yang terkandung dalam campuran soil semen terus mengalami proses hidrasi dalam waktu yang amat panjang, dan proses hidrasi ini selalu diikuti oleh susut material yang mengakibatkan retak yang diawali oleh retak rambut. Retak ini akan bertambah dalam jumlah dan besar retakan seiring berjalannya waktu, dan retak-retak demikian sudah menjadi ciri khas konstruksi soil semen. *ACI Comitte 230* dalam *State-of-the-Art Reporton Soil Cement* mencantumkan tabel sebagai acuan dasar kebutuhan kadar semen untuk berbagai jenis tanah (Tabel 1).

Tabel 1. Kebutuhan kadar semen untuk berbagai jenis tanah

<b>KLASIFIKASI TANAH</b>	<b>(%) BERAT SEMEN</b>
GW, GP, SW, SP, GM atau SM	3 -5
SP, GM, SM atau GP	5 – 8
SM, SC, beberapa GM atau GC	5 – 9
SP	7 – 11
CL atau ML	7 – 12
ML, MH, atau OH	8 – 13
CL atau CH	9 – 15
OH, MH, atau beberapa CH	10 – 16

Sumber: Soil cement Laboratory Handbook, @ copyright 1992  
Portland Cement Asosiation : <http://secement.org/EB052>

Sherwood (1968) menunjukkan peningkatan *unconfined compressive strength* untuk 2 jenis tanah yang dicampur semen dengan kadar 10% (Gambar 2).



Gambar 2. Perbandingan Kekuatan yang Didapat dari Campuran Tanah Pasir dan Lempung Kelanauan dengan Semen (Sherwood1968)

## B.2. Rembesan

Rembesan pada tanah merupakan aliran yang secara terus menerus mengalir dari hulu menuju hilir. Pada penelitian ini, aliran air ini merupakan aliran dari air laut melalui material yang lolos air (*permeable*), konsep dasar rembesan adalah perpindahan dari tinggi energi dan kehilangan energi ketika air mengalir melalui medium berpori seperti tanah akan terjadi kehilangan energi yang terserap oleh tanah.

Untuk itu, pola aliran dan debit rembesan aliran air asin ke dalam air tanah tawar melalui akuifer pantai sangat penting dan perlu untuk diperhatikan. analisa rembesan pada tanah umumnya dimodelkan baik

secara fisik maupun secara empiris untuk mengetahui fenomena pola aliran dari rembesan. Selain itu, kondisi aliran yang digunakan dalam permodelan ini yaitu aliran tetap. atau (*steady flow*) terjadi di titik manapun jika kondisi seperti kecepatan, tekanan dan kedalaman aliran tidak terjadi perubahan terhadap waktu. Sehingga rata-rata kecepatan dan tekanan aliran tersebut konstan sehingga mengalami kondisi pergerakan tanah akibat karena tekanan aliran tetap terus menerus mengalir dari hulu ke hilir.

Ada beberapa metode yang digunakan untuk menghitung debit rembesan antara lain, Hukum Darcy, metode Dupuit, L Casagrande dll. Pada Gambar 4 dibawah ini terdapat perbedaan tinggi muka air antara bagian hulu ( $h_1$ ) dan hilir atau tail water ( $h_2$ ). Dalam hal ini Dupuit mengasumsikan rembesan per unit dalam koordinat X dan Y dalam rumus

$$q = -k y \frac{dy}{dx} \quad (1)$$

Integrasi dan disubstitusikan dengan boundary conditions

$$qX = 0, y = h_1 \text{ dan } X = L, y = h_2$$

Ditentukan sebuah rumus

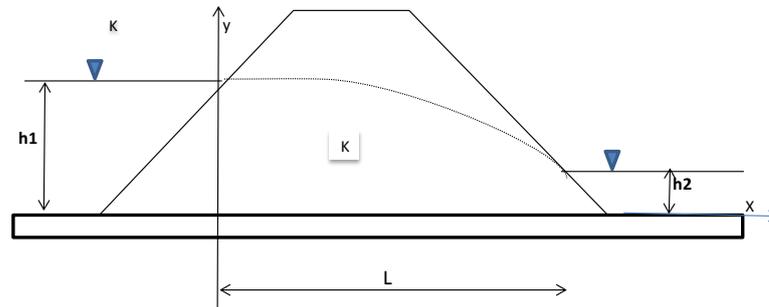
$$q = \frac{K (h_1^2 - h_2^2)}{2L} \quad (2)$$

Dengan :  $h_1$  = tinggi muka air di hulu (cm)

$h_2$  = tinggi muka air di hilir (cm)

$L$  = panjang jarak horizontal

$K$  = koefisien permeabilitas ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )



Gambar 3. Rembesan Air asin dalam tanah dari hulu ke hilir

Persamaan tersebut disebut Dupuit's Formula, sedangkan untuk menentukan formasi garis depresi ditentukan dengan tinggi  $h$ .

$$h = \sqrt{h_1^2 - (h_1^2 - h_2^2) \frac{x}{L}} \quad (3)$$

### B.3. Intrusi Air Laut

Intrusi air laut adalah proses masuknya air asin dari laut ke dalam air tanah tawar baik melalui air/sungai ataupun di bawah permukaan tanah melalui akuifer daratan di daerah pantai. Kawasan pantai sebagai daerah pertemuan air laut dan air tawar merupakan proses terjadinya intrusi air laut tergantung pada batuan penyusun akuifer yang berbeda pada suatu tempat dengan yang lainnya. Apabila batuan penyusun berupa pasir akan menyebabkan air laut lebih mudah masuk ke dalam air tanah kondisi ini diimbangi dengan kemudahan pengendalian intrusi air laut dengan banyak metode. Pada pantai berbatu memiliki pori-pori antar batuan yang lebih besar dan bervariasi sehingga mempermudah air laut masuk ke dalam air



$$\rho_s \cdot g \cdot h_s = \rho_f \cdot g \cdot h_f + \rho_s \cdot g \cdot h_s$$

$$h_s = \frac{r_f}{r_s - r_f} + h_f$$

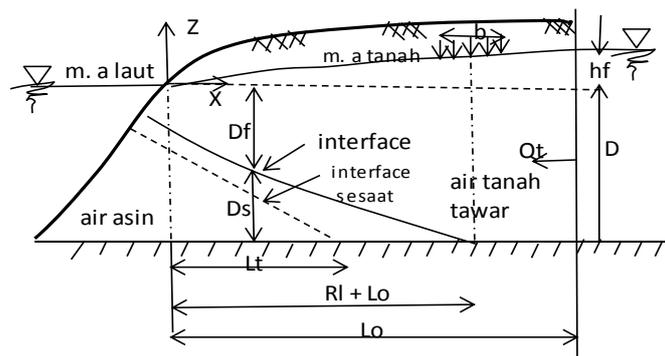
$$h_s = 40 h_f \quad (4)$$

Dengan :  $\rho_s$  = kerapatan berat jenis air laut = 1,025 gr/cm<sup>3</sup>

$\rho_f$  = kerapatan berat jenis air tanah tawar = 1,000 gr/cm<sup>3</sup>

$h_s$  = kedalaman muka air laut dari titik A

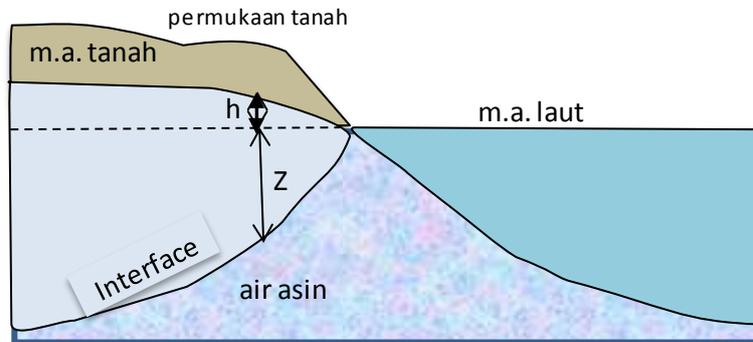
$h_f$  = kedalaman muka air bawah tanah dari muka laut



Gambar 5. Sketsa interface muka air pada akuifer pantai

Pada Gambar 5, lensa air tawar yang terisolir diisi oleh hujan efektif yang mengambang di atas lingkungan air asin atau air payau terjadi hubungan antara permukaan air tanah dan kedalaman air tawar, BADON GHIJEN (Belanda, 1989) menyelidiki tentang lensa air tawar bukit pasir di pantai-pantai Belanda. Sedangkan HERZBERG (Jerman 1901) meneliti di pulau Borkum. Kedua tempat terdapat keadaan yang mirip daerah

pengisiannya (*recharge area*, dengan elevasi yang lebih tinggi dan daya infiltrasi yang baik ke dalam lingkungan air asin atau payau (Gambar 6))



Gambar 6. Prinsip-prinsip GHIJNBEN - HERSBERG

Kedalaman air tanah tawar  $H + h$ , dengan kerapatan  $\rho_0 = 1000 \text{ kg/m}^3$ , berada dalam keadaan seimbang dengan kedalaman air tanah asin  $H$ , dengan kerapatan  $\rho_1 = 1025 \text{ kg/m}^3$ , jadi  $(h + H) \rho_0 = H \rho_1$  atau

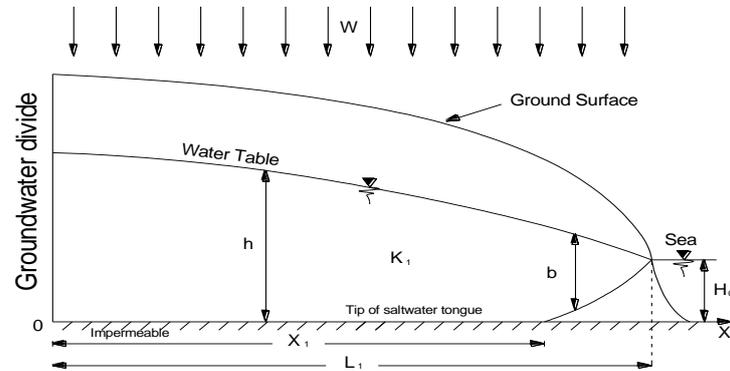
$$H = \frac{\rho_0 h}{\rho_1 - \rho_0} = \frac{h}{\Delta} \quad (5)$$

Dimana  $\Delta = \frac{\rho_1 - \rho_0}{\rho_0}$  atau  $\Delta = \frac{1025 - 1000}{1000} = 0,025$  atau  $\Delta = 1/40$

Asumsi Ghyben – Herzberg: air Laut tidak berubah. Tekanan air laut menjadi hidrostatis,  $P = -\rho g z$ , Head air asin = 0.

Solusi ketinggian air tanah dan interface, menurut Ghyben – Herzberg dalam Bear dkk, (1999) air laut dan air tawar dipisahkan oleh interface lebih tajam dibandingkan dengan zone transisi (Gambar 6),

interface air laut dikatakan batas yang tidak permeabel di bawah permukaan laut.



Gambar 7. Sistem Interface air laut – air tawar pada massa lahan pantai yang luas

$$\text{Berlaku persamaan : } h = \sqrt{\frac{w}{k} (L_1^2 - x^2) + \frac{\rho g}{\rho_s} H_0^2} \quad (5)$$

Persamaan yang digunakan untuk menganalisa lensa - lensa air tawar yang mengambang di lingkungan air asin :

1. Persamaan Darcy

$$q = -k H \frac{dh}{dx} \quad (6)$$

2. Persamaan Kontinuitas

$$q = q_0 \quad \Rightarrow \quad k H \frac{dH}{dx} = q_0 \quad (7)$$

3. Persamaan Badon Ghyben - Herzberg

$$H = \Delta (H + A) \quad \text{atau} \quad \frac{dH}{dx} = \Delta \frac{dH}{dx}$$

$$\text{Dengan} \quad \Delta = \frac{\rho_1 - \rho_0}{\rho_0}$$

$$\text{maka } -k \Delta \frac{dH}{dx} = q_0$$

$$H \frac{dH}{dx} = \frac{q_0}{k \Delta} \quad (8)$$

$$\text{Sehingga : } H = \sqrt{\frac{-2 q_0 X}{k \Delta}} + C \quad (9)$$

$$h = \sqrt{(-2 q_0 X)/(k \Delta)} + C + \Delta A \quad (10)$$

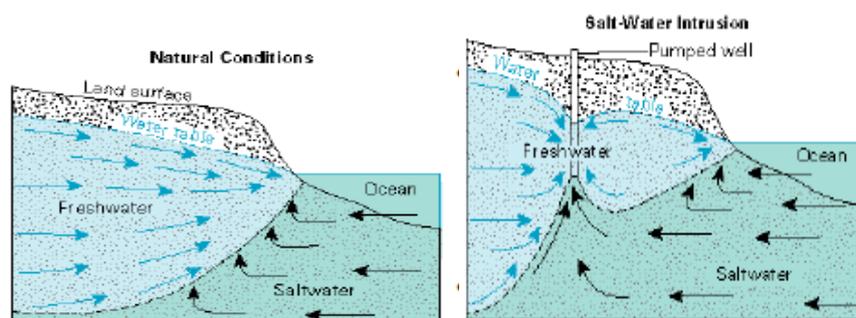
Intrusi air laut lebih mudah terjadi pada kondisi air tanah berkurang, apabila fluktuasi air tanah tinggi maka kemungkinan rongga yang terbentuk akibat air tanah rendah maka air laut akan mudah untuk menekan air tanah dan mengisi cekungan/rongga air tanah. Apabila fluktuasinya tetap maka secara alami akan membentuk interface yang keberadaannya tetap. Intrusi air laut merupakan bentuk degradasi sumberdaya air terutama oleh aktifitas manusia pada kawasan pantai. Hal ini perlu diperhatikan sehingga segala bentuk aktifitas manusia pada daerah tersebut perlu dibatasi dan dikendalikan sebagai wujud kepedulian terhadap lingkungan.

Panjang penyusupan air laut pada akuifer pantai tergantung pada tebal akuifer atau tebal zona jenuh air, koefisien kelulusan air (harga k) dan debit bawah tanah per satuan luas akuifer.

Ada beberapa faktor yang dapat mempercepat terjadinya intrusi air asin yang disebabkan oleh aktivitas manusia antara lain : pengambilan air tanah yang berlebihan di daerah pesisir laut seperti di Jakarta, Surabaya, Makassar dan lain - lain, pemangkasan vegetasi

pesisir pantai yang berfungsi sebagai penghalang intrusi misalnya tanaman mangrove, turunnya permukaan tanah/amblesan.

Upaya solusi untuk mencegah intrusi air asin secara non fisik dapat dilakukan dengan alternatif: membuat undang-undang dan sanksi yang tegas tentang pengambilan air tanah, penanaman kembali hutan mangrove atau tanaman pelindung pantai, desalinisasi air laut untuk mengatasi kekurangan air tawar dan mengurangi pencemaran air daratan, teknik pengolahan limbah yang baik. Akibat adanya perbedaan konsentrasi garam air laut dan air sungai, maka akan terjadi aliran dari zat cair dengan berat jenis lebih besar menuju ke berat jenis yang lebih kecil. Jarak atau panjang intrusi air asin sangat dipengaruhi oleh debit sungai dan tinggi pasang surut. Pada waktu air pasang, arus pasang surut akan mendorong salinitas ke hulu, sedang pada waktu air surut debit sungai akan mendorong air asin ke hilir seperti terlihat pada gambar 8 (sumber : Chay Asdakh 273, 2007).



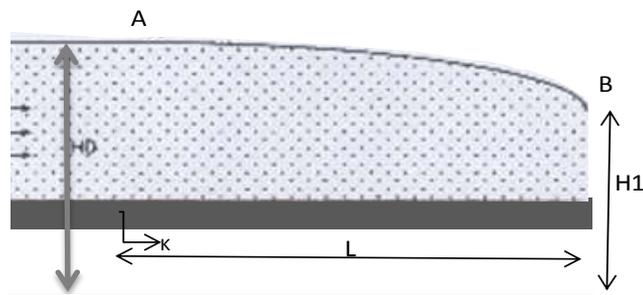
Gambar 8. Proses terjadinya intrusi pada akuifer pantai

#### B.4. Akuifer

Akuifer adalah lapisan tanah yang bisa menangkap dan meloloskan

air. Macam akuifer terdiri atas akuifer bebas (*unconfined aquifer*), akuifer tertekan (*confined aquifer*), akuifer semi tertekan (*semi confined aquifer*) dan akuifer semi bebas (*semi unconfined aquifer*), pada penelitian ini dibatasi pada akuifer bebas. Akuifer bebas (*Unconfined Aquifer*) yaitu lapisan lolos air yang hanya sebagian terisi oleh air dan berada di atas lapisan kedap air. Permukaan tanah pada aquifer ini disebut dengan water table (preatik level), yaitu permukaan air yang mempunyai tekanan hidrostatis sama dengan atmosfer.

Aliran air tanah pada potongan akuifer bebas berbentuk persegi panjang L persamaan garis muka airnya diperlihatkan pada Gambar 9

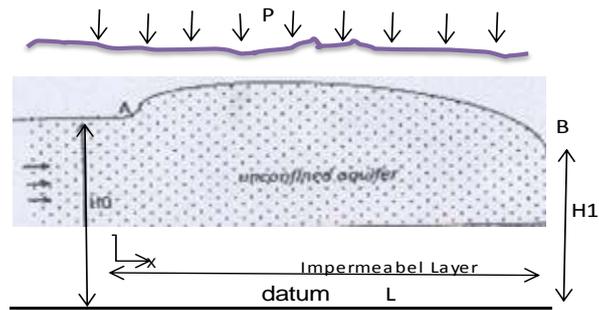


Gambar 9. Aliran air tanah pada akuifer bebas

Karena akuifer tidak bervariasi maka kapasitas (*storage*) akuifer selalu penuh dan aliran tunak (*steady*). Karena aliran hanya ke sumbu x sehingga sumbu  $Y = 0$  dan tidak ada tambahan aliran (*recharge*), maka besarnya debit pada akuifer ini adalah :

$$Q = wK \frac{H_1^2 - H_0^2}{2L} \quad (12)$$

Gambar 10, Jika pada akuifer bebas terdapat tambahan aliran di atasnya (misalnya dari hujan) yang mengalir secara vertikal ke dalam akuifer ini secara infiltrasi.

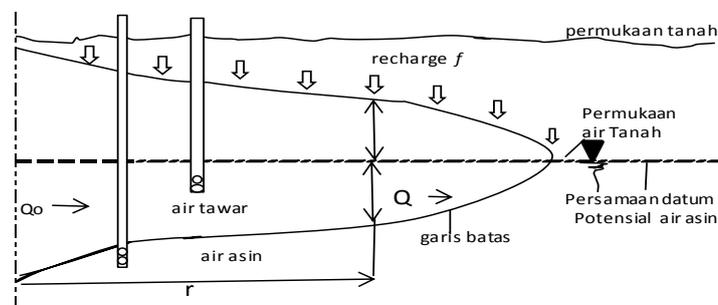


Gambar 10. Aliran air di akuifer persegi panjang dengan recharge

Dengan adanya aliran vertikal (infiltrasi) sepanjang L dalam potongan akuifer AB maka ada kenaikan muka air di akuifer tersebut, sehingga besarnya debit adalah :

$$Q = \frac{Kw}{2L} (H_1^2 - H_0^2) + pw \left( X - \frac{L}{2} \right) \quad (12)$$

Gambar 11, Kondisi dua dimensi aliran air tanah pada akuifer bebas daerah pantai.



Gambar 11. Aliran air tanah pada akuifer bebas

$$\text{Menurut Darcy} \quad q = -k(H+h) \frac{dh}{dx} \quad (13)$$

$$\text{Dari Hukum Kontinuitas} \quad dq = f dx \rightarrow q = fx + C1 \quad (14)$$

$$\text{Dari rumus (13) dan (14) didapat} \quad -k(H+h) \frac{dh}{dx} = fx + C1 \quad (15)$$

Menurut BADON GHIJBEN – HERZBERG

$$h = \Delta H \rightarrow \frac{dh}{dx} = \Delta \frac{dH}{dx} \quad (16)$$

$$\text{Maka} \quad -k(H+\Delta H) \Delta \frac{dH}{dx} = fx + C1 \quad \frac{dH}{dx} = \frac{fx+C1}{k(1+\Delta)\Delta} \quad (17)$$

$$\text{Sehingga} \quad H = \sqrt{\frac{-fX^2 - 2C1X + C2}{k(1+\Delta)\Delta}} \quad (18)$$

$$h = \sqrt{\frac{-fX^2 - 2C1X + C2}{k(1+\Delta)\Delta}} \quad (19)$$

$$q = fx + C1$$

### B.5. Aliran Air Tanah

Air dalam tanah mengalir dari suatu titik yang memiliki energi lebih tinggi menuju ke titik dimana energi yang lebih rendah. Untuk aliran air yang melalui tanah berlaku hukum DARCY dan aliran adalah laminar kecepatannya relatif rendah. ([http://id.wikipedia.org/wiki/Henry\\_Darcy](http://id.wikipedia.org/wiki/Henry_Darcy)).

$$Q = k.i.A \quad (20)$$

Dimana : Q = Debit yang mengalir, dalam (l/det) atau (m<sup>3</sup>/det)

i = Gradien hidrolik (cm)

A = Luas penampang (cm<sup>2</sup>)

$k$  = Koefisien permeabilitas (cm/det)

Aliran air dalam tanah terjadi karena adanya rembesan air yang melewati pori-pori tanah, sifat air yang melewati pori-pori tanah disebut permeabilitas.

### **B.6. Permeabilitas**

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir lewat rongga pori. Untuk tanah, permeabilitas dilukiskan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah, di dalam tanah sifat aliran mungkin laminar atau turbulen.

Koefisien permeabilitas ( $k$ ) adalah kecepatan aliran yang melalui rongga, harga ( $k$ ) bergantung pada beberapa faktor yaitu: kekentalan cairan, ukuran butir (*soil grain*), sifat dari pada air pori, angka pori (*void ratio*)  $e$ , bentuk dan susunan pori (*porositas*)  $n$  dan derajat kejenuhan  $S_r$ . Pada tanah berlempung, struktur tanah konsentrasi ion dan ketebalan lapisan air yang menempel pada butiran lempung menentukan koefisien rembesan.

Harga koefisien rembesan untuk tiap-tiap tanah adalah berbeda - beda. Beberapa nilai  $K$  beberapa peneliti diberikan pada Tabel 2:

Tabel 2. Nilai  $K$  beberapa Peneliti

Peneliti	Karakteristik	Nilai K (cm/dt)
Bowles (1991)	Lanau kelepungan	$10^{-4} - 10^{-9}$
Das (1995)	Lanau	0,001 – 0.00001
	Lempung	< 0.000001
Perlof & Baron (1976)	Drainase buruk	$10^{-3} - 10^{-7}$
Casagrande (1938)	Drainase buruk	$10^{-3} - 10^{-7}$

Sumber: Noegroho J, Jurnal Media Teknik Sipil, 2013

### B.7. Penghalang Bawah Permukaan

Penghalang yang dibuat dengan tujuan untuk menjaga tekanan pematang air bawah tanah yang dekat atau sejajar dengan pantai, tetap berada di atas muka laut, sehingga tidak terjadi pendesakan air tanah tawar oleh air asin.

Penghalang ini dapat dibuat dengan : (a) menyebarkan air tawar di permukaan dan air tersebut akan meresap ke dalam tanah, sehingga di bawah tempat penyebaran air tawar tersebut akan menjadi tinggi seolah-olah seperti penghalang dan (b) menginjeksi air tawar ke dalam akuifer di tepi pantai.

Selain dengan berbagai cara tersebut di atas dapat pula dilakukan dengan membuat semacam bendungan di bawah tanah yang membatasi antara air tanah tawar dengan air asin, bendungan tersebut dapat berupa lapisan kedap air atau lapisan aspal dan sebagainya .Cara ini tentu sangat

mahal dan memerlukan teknologi, maka perlu dipertimbangkan dari segala sisi

### **C. Bilangan Tak Berdimensi (Analisa dimensi)**

Analisis dimensi adalah alat konseptual yang sering diterapkan dalam fisika, kimia dan teknik untuk memahami keadaan fisis yang melibatkan besaran fisis yang berbeda-beda. Model adalah hanya merupakan sumber penyelesaian pendekatan permasalahan konstruksi /hidrolika. Dengan model ini merupakan jasa untuk mempelajari alternatif perencanaan. Model desain ini sering digunakan pada umumnya untuk kegiatan sebagai berikut: perencanaan bendungan, perencanaan sungai dan pelabuhan, perencanaan mesin hidrolik, perencanaan struktur, perencanaan kapal, perencanaan rembesan air dalam tanah.

Ada 2 sistem satuan yang digunakan yakni sistem fisik (absolut) dengan satuan yang digunakan (M, L, T) M = massa, L = panjang, T = waktu dan sistem teknik dengan satuan (F, L, T) F=gaya, L = panjang, T = waktu. Pada sistem fisik / absolut termasuk jumlah utama, dalam permodelan dilakukan pengecilan dari variabel tersebut dengan skala. Skala dari berbagai variable/parameter dapat ditentukan berdasarkan hubungan antara parameter yang diekspresikan dalam bilangan tak berdimensi, misalnya Reynold, Froude, Euler, Mach, Cauchy, Strouhal,

Weber dan Drag Coefficient.

Persamaan dikatakan berdimensi homogen jika dimensi setiap suku dari suatu persamaan sama, persamaan adalah identik/sama. setiap persamaan secara fisik diawali dari fenomena analisa keserupaan, seperti persamaan dari suatu sistim satuan. Prinsip keserupaan ini bisa dilihat dari: keserupaan geometrik (panjang, lebar dan tinggi), keserupaan kinematik (kecepatan, debit) dan keserupaan dinamik (berhubungan dengan gaya)

Hubungan antara model dan prototype diturunkan dengan skala, untuk masing-masing parameter mempunyai skala tersendiri dan besarnya tidak sama, skala merupakan rasio antara nilai parameter yang ada di prototype dengan nilai parameter tersebut pada model. Untuk mendapatkan jumlah variabel dari suatu persamaan dapat ditentukan dengan metode: Buckingham (Phi Theorema), Basic Echelon Matrix, Rayleigh Stepwie dan Langhaar.

Uji coba keserupaan ditentukan oleh analisa dimensi variable bebas yang mempengaruhi permasalahan, jika semua dimensi varaibel bebas mempunyai nilai yang sama untuk model dan prototype maka keduanya dikatakan absolut mirip

Keserupaan (*Similitude.*), jika dua buah benda model dan prototype yang mempunyai perilaku pengaruhnya yang serupa disebut kemiripan. Terdiri atas keserupaaan— geometrik adalah kemiripan bentuk dan dimensinya adalah linier.(seperti panjang, lebar, tinggi, kedalaman air) dan

keserupaan kinematik yang dimaksud adalah kemiripan gerak dari satu titik ke titik yang lainnya, dapat berupa kecepatan, percepatan, debit dan waktu yang diperlukan.

Untuk penelitian ini digunakan metode Buckingham (cara phiteori. Cara ini dapat digunakan untuk bentuk konstanta variabel tak berdimensi, jika m buah phenomena varibel yang mempengaruhi dapat diekspresikan dalam n suku satuan dasar, kemudian dimasukkan kedalam grup,m variabel untuk membuktikan (m - n) konstanta tak berdimensi, oleh Buchingkam konstanta ini disebut sebagai  $\pi_1$ ,  $\pi_2$ , dan  $\pi_3$ .

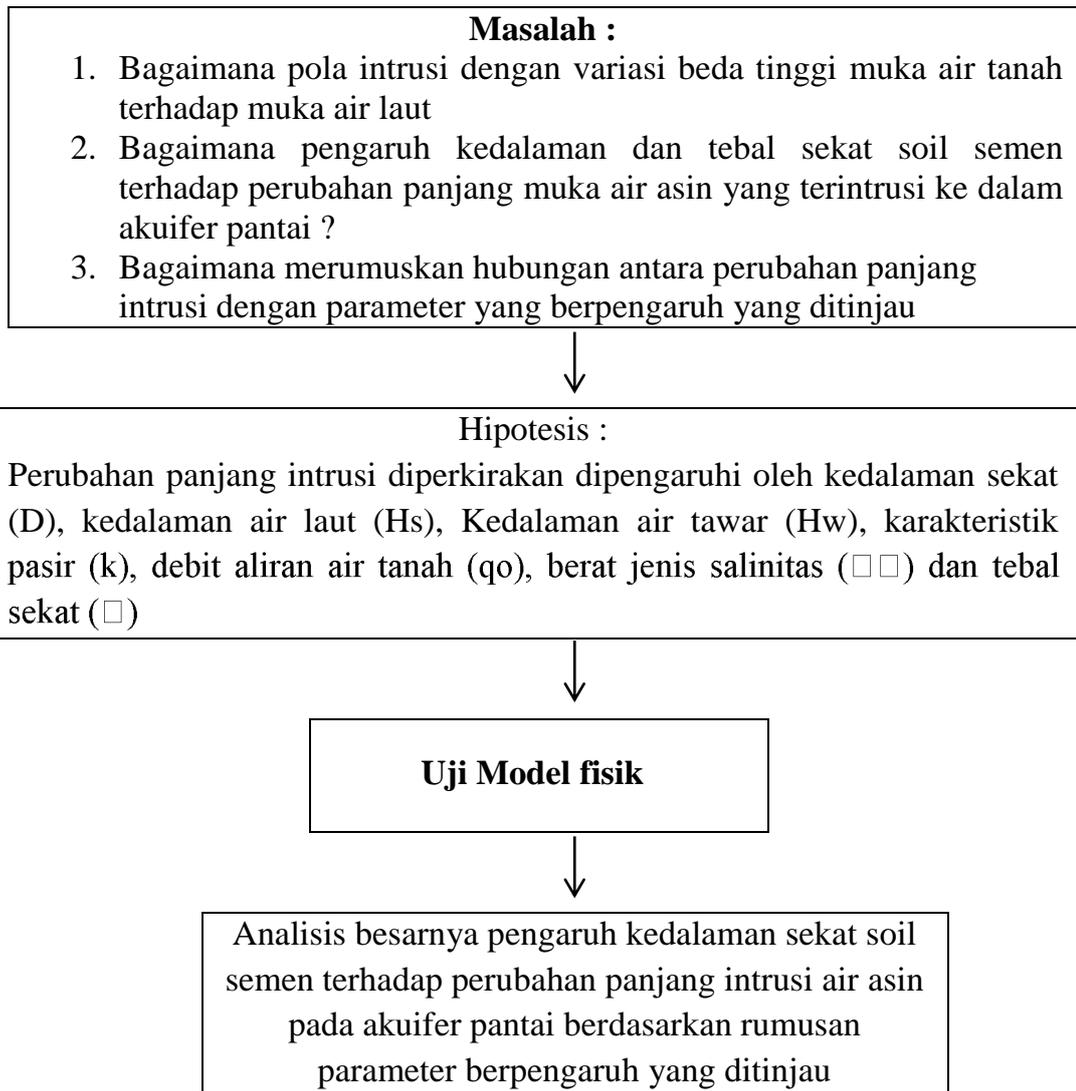
#### **D. Hipotesis Penelitian**

Penempatan sekat soil semen ke bawah permukaan tanah/pasir pada akuifer bebas daerah pantai diperkirakan akan memperkecil nilai koefisien permeabilitas sehingga laju aliran akan diperlambat, hal ini dapat diterapkan pada akuifer pantai dengan mengatur pola beda tinggi muka air asin – air tawar serta kedalaman dan tebal sekat sehingga laju intrusi air laut ke air tawar di daratan dapat diperlambat.

#### **E. Kerangka Pikir Penelitian**

Kerangka pikir penelitian dapat diilustrasikan pada kerangka konseptual (Gambar 12) berikut ini.

Kerangka Konseptual



Gambar 12. Kerangka Konseptual

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Kerangka Alur Penelitian**

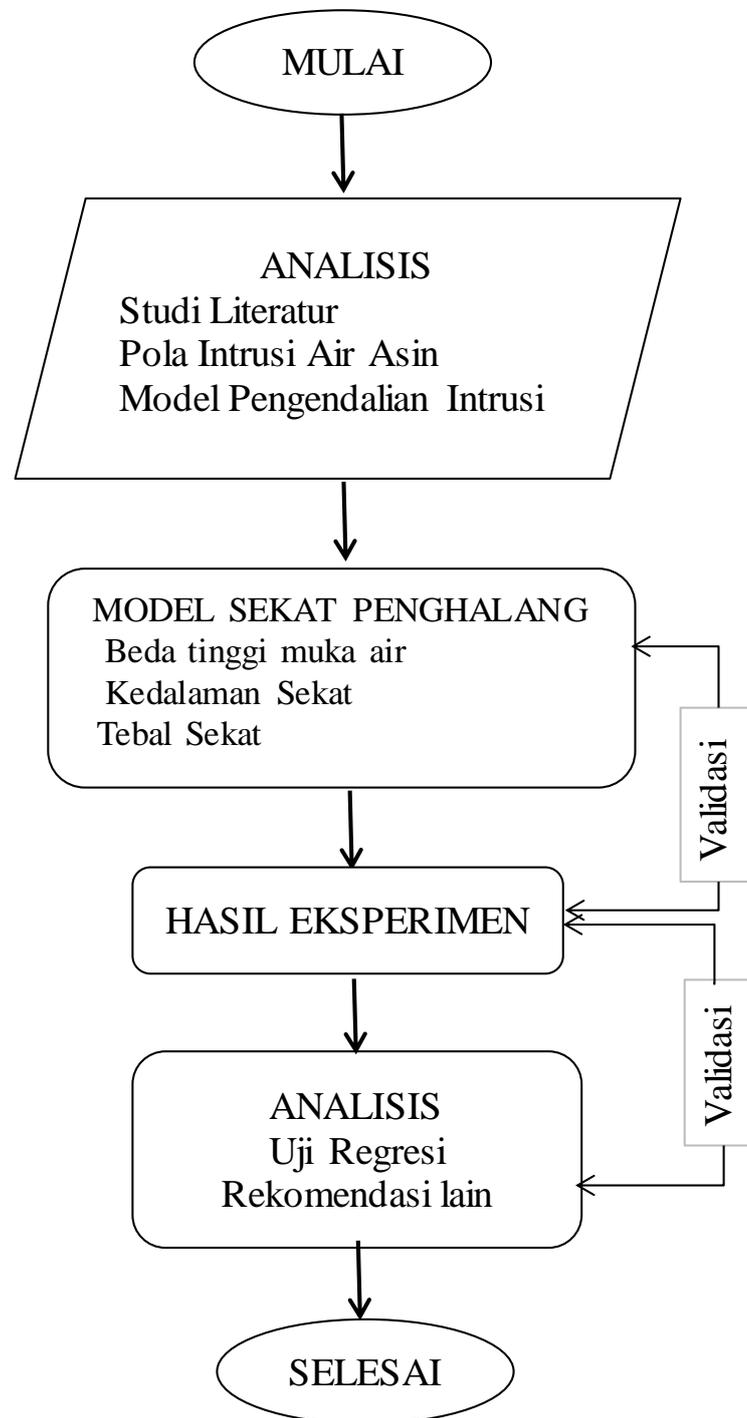
Berdasarkan tujuan penelitian yang telah dikemukakan di atas, maka akan dilakukan studi analisis dan eksperimental. Studi analisis dilakukan diawali dengan menginventarisasi kemajuan atau informasi terkini penelitian-penelitian tentang pola intrusi air asin pada akuifer pantai, perilaku hubungan beda tinggi muka air tawar terhadap air asin. Hal ini digunakan untuk memvalidasi hasil studi eksperimen.

Studi analisis selanjutnya adalah mempelajari parameter yang dapat memperlambat laju intrusi dengan peranan sekat soil semen sebagai penghalang di bawah permukaan tanah

Model hubungan parameter dimensi sekat kemudian dirangkum dalam metode bilangan tak berdimensi dan untuk menguji hubungan antar parameter dilakukan dengan metode uji regresi.

Tahapan penelitian yang dilakukan sesuai dengan bagan alir Gambar 13 berikut

## Bagan alir penelitian



Gambar 13. Kerangka Alur Penelitian.

## **B. Lokasi dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat yakni pengujian karakteristik tanah/pasir dilaksanakan di laboratorium Mekanika Tanah Universitas Muslim Indonesia, pengamatan panjang rembesan di Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan desain sekat penghalang berbahan soil semen serta pengamatan utama menggunakan model fisik pengaliran akuifer pantai dengan sekat penghalang dilaksanakan di laboratorium Teknik Sipil Unismuh Makassar waktu penelitian selama Agustus 2015 – Agustus 2016.

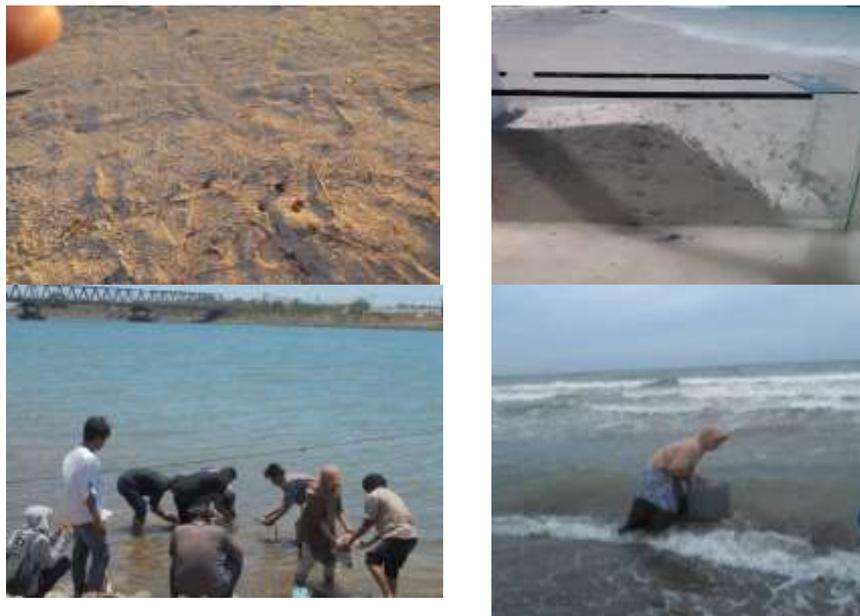
## **C. Jenis Penelitian dan Sumber Data**

Metode penelitian yang dilaksanakan adalah Eksperimental Laboratorium, dimana kondisi dibuat dan diatur oleh peneliti dengan mengacu pada penelitian terdahulu dan literatur yang berkaitan. Penelitian eksperimen studi adalah penelitian yang dilakukan dengan menggunakan manipulasi terhadap obyek penelitian serta adanya kontrol, dengan tujuan untuk menyelidiki ada tidaknya hubungan sebab akibat serta berapa besar hubungan sebab akibat tersebut dengan cara memberikan perlakuan-perlakuan tertentu pada beberapa kelompok eksperimen dan menyediakan kontrol untuk perbandingan, misalnya pada suatu model yang dibuat dibutuhkan kalibrasi dan verifikasi, namun pada beberapa kasus tertentu

tidak dapat dilakukan mengingat barang yang ada di prototype belum ada atau belum dibuat

Pada penelitian ini menggunakan sumber data : data primer yakni data yang diperoleh langsung dari simulasi model fisik di Laboratorium dan data sekunder yakni data yang diperoleh dari literatur dan hasil penelitian yang sudah ada maupun dilakukan di tempat lain yang berkaitan dengan penelitian pengurangan intrusi air laut dengan menggunakan penghalang fisik bawah permukaan.

Penelitian ini menggunakan sampel pasir laut yang diambil dari beberapa lokasi anatra lain: pasir putih yang berasal dari pantai Tanjung Bira Kabupaten Bulukumba serta tanah dan air laut yang berasal dari pantai Tanjung Bayang Kota Makassar (lihat Gambar 21).



Gambar 14. Pengambilan sampel tanah, pasir dan air laut

## D. Alat dan Bahan Yang Digunakan

### D.1. Sekat Soil Semen

Pengambilan sampel tanah dilakukan di pantai Tanjung Bayang dengan kedalaman 0 – 1,5 m, 1,5 – 3 m dan 3 -5 m menggunakan alat: sekop, hand bor dan wadah sampel, selanjutnya sampel tanah di uji karakteristik di laboratorium Mekanika Tanah.

Alat yang digunakan untuk pembuatan dan pengujian sampel campuran soil semen antara lain : semen, timbangan, mesin pencampur (molen), kubus dan silinder, air tawar, air laut, kolam perendaman, bor tangan, zat pewarna, penggaris dan alat tulis, kamera (Gambar 14)



Komposisi campuran soil semen



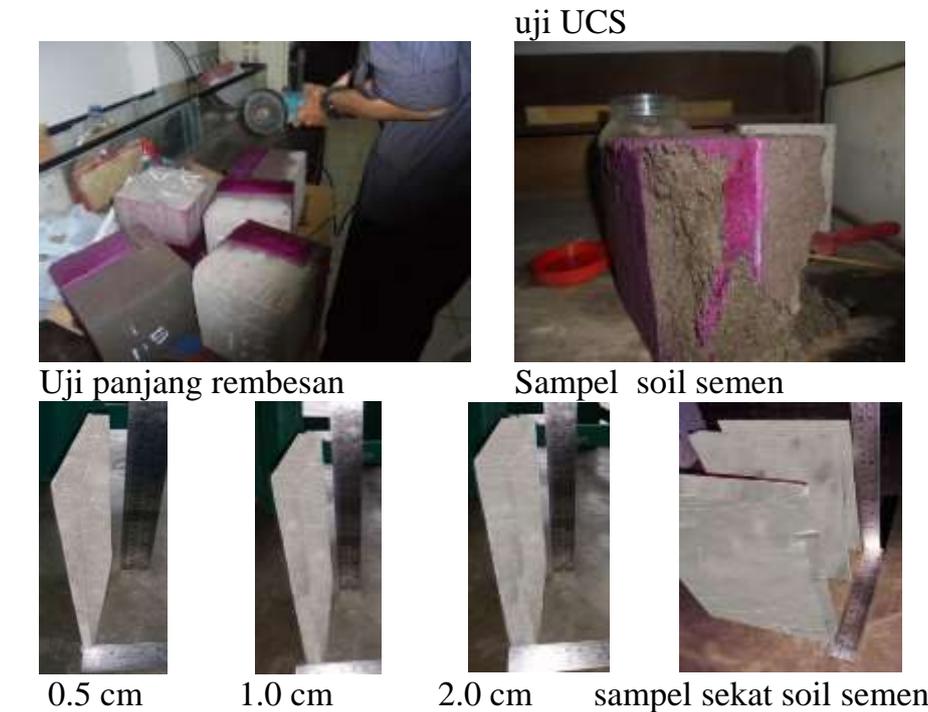
Proses mix desain soil semen



Perendaman sampel soil semen



Penimbangan sampel sebelum



Gambar 15. Alat yang digunakan dalam pembuatan dan uji sampel sekat soil semen

## D.2. Pengujian Rembesan

Penyusunan model penelitian ini dengan menggunakan *alat Eunha Permeability Tank* model EH – PMT – 1800 Material 15 mm *Acrylplate* dengan standar volume 600 mm scale dengan dimensi 460 w x 700 H (mm). Dapat ditunjukkan sesuai pada (Gambar .16), material pasir halus dan kasar. Mistar ukur untuk mengukur kedalaman air dan elevasi dasar saluran, Mesin pompa air untuk digunakan pengisian air ke dalam alat *EunhaPermeability Tank* Model, Stop watch untuk mengukur kecepatan aliran, Ayakan no. 4, Bejana ukur / Gelas ukur, Kamera dan peralatan lainnya yang digunakan untuk foto dokumentasi, Selang air, serta alat tulis



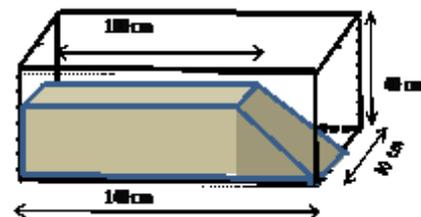
Gambar 16: Eonha Permeability, alat untuk pengujian panjang rembesan

### D.3. Penelitian Utama

Penelitian ini menggunakan alat saluran gelombang terbuat dari acrylic dengan panjang 6 m, lebar 30 cm dan tinggi efektif 50 cm dilengkapi dengan alat ukur tinggi muka air. Gambar flume dapat dilihat pada Gambar 17



(a)



(b)

Gambar 17. Saluran gelombang yang digunakan dalam uji model.

Perlengkapan yang lain pada model adalah bak pengatur muka air, alat ukur pengamatan tekanan air. Material dasar untuk pembuatan model akuifer bebas pada pantai yang digunakan berupa pasir pantai dengan tingkat kelulusan tertentu yang nantinya akan digunakan disusun sedemikian hingga dengan ketebalan rata-rata 40 cm dalam model saluran dengan kemiringan 1 : 1 di hulu (Gambar 18b).. Sedangkan bahan sekat menggunakan tanah dan semen portland komposisi (6 tanah : 1 semen) dengan dimensi panjang 30 cm, tebal 3 variasi dan tinggi 20 cm. Mistar ukur untuk mengukur kedalaman air dan meteran untuk mengukur panjang rembesan air, stopwatch untuk mengukur waktu rembesan, kamera untuk dokumentasi, tabel dan alat tulis, ember untuk wadah penampungan air buangan, zat pewarna yang dicampurkan ke air sehingga pencampuran air asin dan air tawar dapat diamati, air tawar dan air laut. Pembuatan prasarana model saluran (flume) gelombang dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Pembuatan prasarana model saluran (flume) gelombang

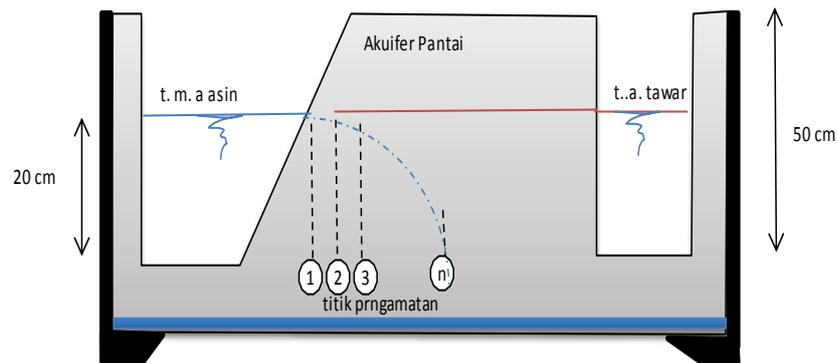
### **E. Variabel Penelitian**

Sesuai dengan tujuan penelitian yang telah dikemukakan pada bab sebelumnya, pengujian model fisik dilaksanakan pada saluran terbuka (flume) dengan model akuifer bebas di pantai. Pelaksanaan penelitian mengacu pada rancangan yang telah disetujui, guna mendapatkan data sebagai bahan kajian.

Model fisik ini dimaksudkan untuk mempelajari dan mengidentifikasi serta mengamati perubahan panjang rembesan air asin dengan penghalang fisik berupa sekat soil semen yang diletakkan di bawah permukaan air asin, parameter yang diteliti adalah kedalaman sekat ( $D$ ), tebal sekat ( $B$ ), karakteristik pasir ( $k$ ), kedalaman air laut ( $H_s$ ), debit aliran air tanah ( $q$ ), massa jenis pencampuran air asin dan air tawar ( $\rho_o$ ), tinggi muka air tawar ( $H_w$ ) dan panjang rembesan. Pengamatan panjang rembesan, tinggi tekanan dan elevasi muka air di titik pengamatan dilakukan secara manual.

Berdasarkan hipotesa, hukum Darcy dan rumus rembesan air dalam tanah, ada beberapa parameter yang mempengaruhi panjang rembesan yaitu : tinggi muka air tawar ( $H_w$ ), tinggi muka air Asin ( $H_s$ ), kedalaman sekat ( $D$ ), tebal sekat ( $B$ ), tinggi tekanan dan debit air yang merembes ( $q_o$ ).

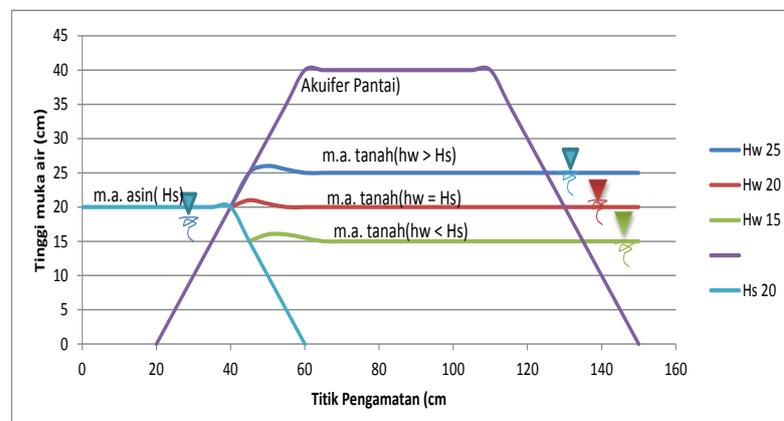
Langkah awal yang perlu diketahui adalah penentuan beda tinggi muka air tawar dan air asin ( $\Delta H$ ) dan jarak rembesan ( $Lx$ ), pada posisi alami pada akuifer bebas daerah pantai (lihat Gambar 19).



Gambar 19. Sketsa Profil Penelitian

Beda tinggi muka air asin dan air tawar ( $\Delta H$ )

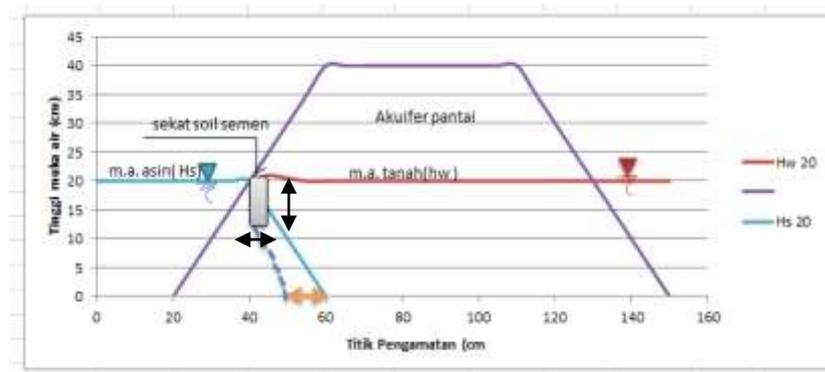
Parameter tinggi muka air yang digunakan dalam penelitian ini adalah konstan tinggi muka air asin ( $H_s$ ) = 20 cm sedangkan tinggi, muka air tawar ( $H_w$ ) digunakan 3 variasi masing-masing 25 cm, 20 cm dan 15 cm (lihat Gambar 20).



Gambar 20. Profil Memanjang tinggi muka air

## Dimensi sekat

Parameter dimensi sekat yang digunakan dalam penelitian ini adalah kedalaman sekat ( $D$ ) menggunakan 3 (tiga) variasi yakni  $D_1 = 2$  cm,  $D_2 = 5$  cm dan  $D_3 = 10$  cm sedangkan Tebal sekat ( $B$ ) digunakan 3 variasi masing-masing 0,5 cm, 1,0 cm dan 2,0 cm (lihat Gambar 21).



Gambar 21. Sketsa tata letak sekat soil semen

## F. Desain Penelitian

Dalam rangka menghimpun data dasar, agar dapat dijadikan sebagai input dalam pembuatan model akuifer bebas daerah pantai, maka diperlukan tahapan kegiatan sebagai berikut :

- a. Pengamatan karakteristik pasir pantai untuk pengamatan di laboratorium
- b. Pembuatan sampel pasir dengan model akuifer pantai terbuat dari pasir putih untuk pengamatan di laboratorium .

Proses pembuatan sampel pasir yang akan digunakan sebagai model akuifer pada saluran (flume) percobaan eksperimental di laboratorium dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22. Pembuatan sampel akuifer pantai pasir

Hasil pembuatan sampel akuifer yang terbuat dari pasir laut dengan kepadatan 90 % dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Hasil sampel akuifer pada model flume

Proses pengambilan data, pengukuran panjang intrusi dapat dilihat pada gambar 24

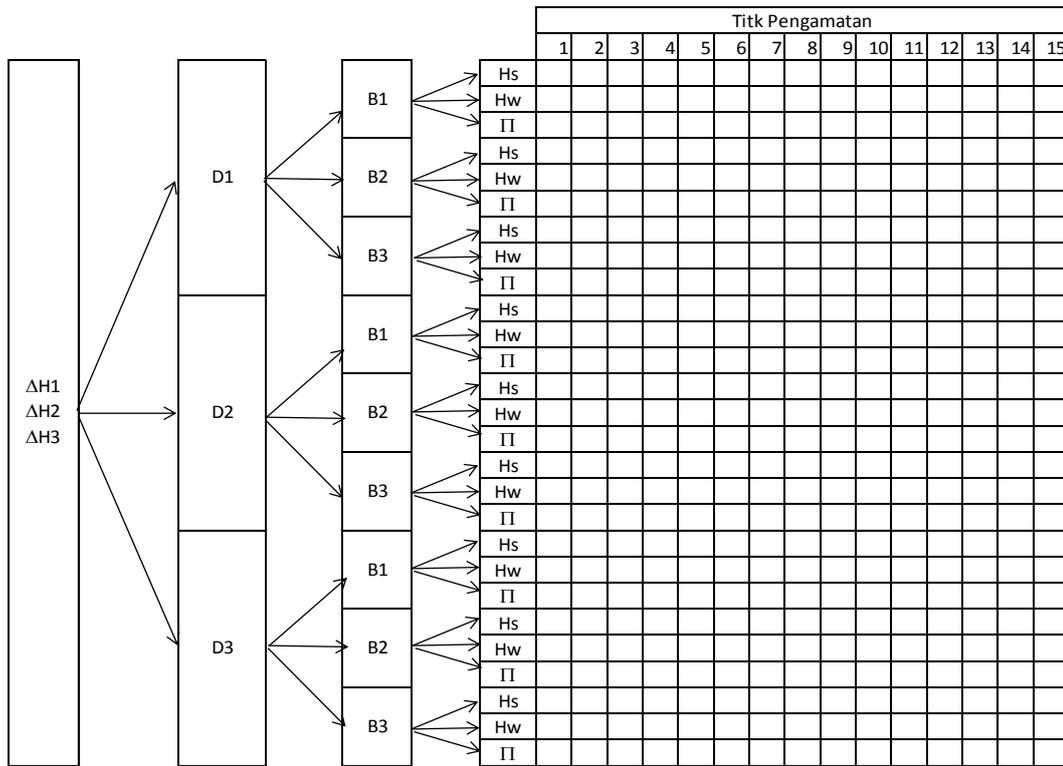


Gambar 24. Pengambilan data di laboratorium

Data perubahan panjang rembesan akibat adanya sekat penghalang di desain sebagai berikut :

1. Variasi dari parameter beda tinggi muka air tawar terhadap muka air asin ( $H_w/H_s$ )
2. Variasi dari parameter kedalaman sekat ( $D$ )
3. Variasi dari ketebalan sekat
4. Pengamatan tinggi muka air atau tinggi tekanan air pada masing - masing titik pengamatan di sisi kiri dan kanan flume.

Pengamatan dilakukan sebanyak 3 kali dan adapun skema running tes dapat dilihat pada Gambar 25 dan Tabel 3.



Gambar 25. Skema running test untuk 3 variasi beda tinggi muka air, 3 variasi kedalaman sekat D, dan 3 variasi tebal sekat B, dengan pengamatan tekanan (tinggi muka air asin, muka air tawar dan porositas di 15 titik penamatan) .

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **I. Hasil Pengujian Laboratorium**

Hasil pengujian dalam disertasi ini bertujuan untuk melihat kemampuan sekat soil semen sebagai penghalang intrusi dalam model akuifer pantai. Dalam percobaan eksperimental ini disajikan hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian meliputi: pengujian bahan sampel penelitian dan validasi data hasil eksperimen.

##### **A.1. Pengujian Karakteristik Pasir**

Pengujian bahan yang dilakukan untuk mengetahui permeabilitas atau kemampuan pasir sebagai model akuifer pantai dalam mengalirkan air. Pasir yang digunakan adalah pasir putih yang berasal dari Tanjung Bira Kabupaten Bulukumba dan pasir hitam berasal dari pantai Tanjung Bunga Kota Makassar. Pemeriksaan karakteristik tanah dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia.

Dari hasil pemeriksaan pasir dengan metode constant head seperti pada tabel 3. Hasil pemeriksaan permeabilitas dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian tersebut memenuhi nilai permeabilitas pasir sedang dan pasir kasar pada pekerjaan tanah dasar pedoman konstruksi dan bangunan

metode pengujian laboratorium untuk pengujian air bertekanan (*constant head*)

Tabel 3 Hasil Pemeriksaan Laboratorium Sampel Pasir

No	Jenis Pengujian	Sat	Hasil Pengamatan		Spesifikasi
			Pasir Putih	Pasir Hitam	Pasir
1	Berat Jenis	gr/cm <sup>3</sup>	2.649	2.538	2,65 – 2,65
2	Permeabilitas	cm/det	0.031327	0.057138	0,004 – 0,15

Sumber : Hasil olahan data

Untuk mengetahui tingkat rembesan pasir dilakukan uji permeabilitas pasir menggunakan alat Eunha Permeability (Gambar 25) di laboratorium dengan variasi pengamatan : tinggi tekanan air terhadap jarak rembesan, tiga variasi butiran kasar, sedang dan halus serta tiga variasi tinggi muka air di hulu, hasilnya disajikan pada Tabel 5



Gambar 25. Pengukuran permeabilitas pasir menggunakan alat Eunha Permeability

Tabel 4. Hasil uji permeabilitas pasir laut menggunakan alat rembesan

Pasir	Kasar (cm/det)	Sedang (cm/det)	Halus (cm/det)
Pasir Hitam	0,0571	0,01156	0,00751
Pasir Putih	0,03199	0,01063	0,01575

Sumber : Hasil olahan data

## A.2. Pengujian Air Laut

Air laut yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan air laut yang diambil dari lokasi Tanjung Bayang Kota Makassar, pengujian berat jenis menggunakan alat ukur salinometer pada suhu 20<sup>0</sup> C, adapun datanya dapat dilihat pada tabel 5 dan gambar 26 sebagai berikut :

Tabel 5. Kondisi air laut yang digunakan

No	Lokasi Sampel Pasir	Karakteristik Sampel	
		Suhu ( <sup>0</sup> C)	Berat Jenis (gr/cm <sup>3</sup> )
1	Tanjung Bayang	20	1.023

Sumber : Hasil olahan data



Gambar 26. Pembacaan data sampel air laut, alat ukur Salinometer,

### A.3. Soil Semen

Sekat soil semen yang digunakan dalam penelitian ini dibuat dengan cara pencampuran bahan variasi faktor air-semen pada setiap 1 m<sup>3</sup> soil. Factor air semen 0,70 pencampuran skala laboratorium. Untuk pengujian ketahanan dilakukan uji Unconfined Compressive Strength (UCS) dilakukan pada 7 hari dengan kondisi terendam air asin dan tidak terendam.



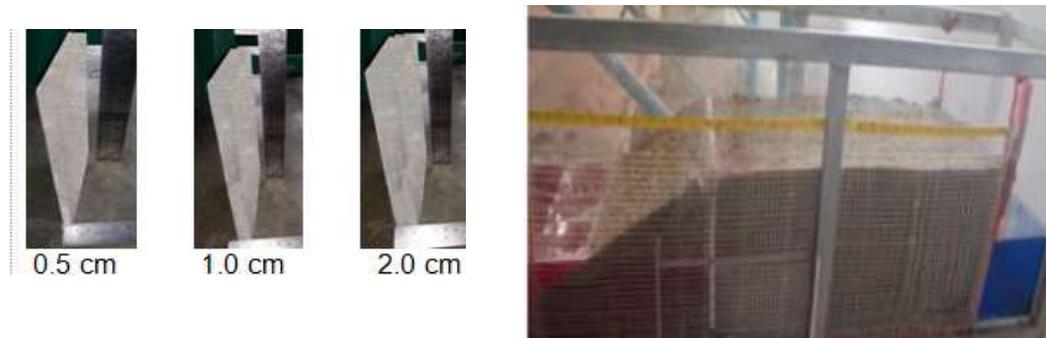
Gambar 27.(a) Hasil uji Sampel dengan kadar soil : semen 7 :1,  
(b) Hasil uji Sampel dengan kadar soil : semen 6 :  
1 dan (c) Hasil uji Sampel dengan kadar soil :  
semen 4 : 1

Tabel 6. Komposisi bahan campuran sekat soil semen untuk 1 m<sup>3</sup>

KOMPOSISI CAMPURAN SOIL SEMEN		
Tanah	Semen	Uji UCS (psi)
1	7	40,4
1	6	28,9
1	4	5,5

Sumber : Hasil Olahan Data

Sekat penghalang dibuat dengan dimensi tinggi 25 cm, lebar 30 cm dan tebal 1,0 cm, 1,5 cm dan 2,0 cm (Gambar 28).



Gambar 28. Sekat Soil Semen yang digunakan dalam penelitian dengan variasi kedalaman dan tebal sekat

## J. Hasil Pengamatan Panjang Intrusi

Analisa panjang Intrusi pada akuifer pantai dimodelkan secara fisik untuk mengetahui fenomena pola intrusi, kondisi aliran yang digunakan dalam permodelan ini yaitu aliran tetap (*steady flow*) terjadi di titik manapun jika kondisi seperti kecepatan, tekanan, dan kedalaman aliran tidak terjadi perubahan terhadap waktu. Sehingga, rata-rata kecepatan dan tekanan aliran tersebut konstan sehingga mengalami kondisi pergerakan aliran akibat tekanan air asin mengalir dari hulu ke hilir (air tanah tawar).

Hasil pengukuran panjang intrusi yang diamati dan dicatat adalah melibatkan beberapa variabel dan parameter. Parameter yang terkait dengan panjang intrusi air asin dikelompokkan (lihat Tabel 7).

Tabel 7. Hasil pengamatan panjang intrusi

No	Tinggi muka air laut (Hs)	Tinggi muka air tawar	Hw/Hs	Permeabilitas Pasir	Kedalaman sekat (D)	Tebal Sekat (B)	Panjang Intrusi (LX)
	cm	cm	-	cm/det	cm	cm	cm
1	20	25	1.25	0.031	0	0.5	38.18
2	20	25	1.25	0.031	0	0.5	36.95
3	20	25	1.25	0.031	0	0.5	37.90
4	20	25	1.25	0.031	0	1.0	37.91
5	20	25	1.25	0.031	0	1.0	36.99
6	20	25	1.25	0.031	0	1.0	38.09

Dst...

## K. Pola Intrusi Air Asin

### C.1. Pengaruh Beda tinggi muka air

Air asin yang mempunyai massa jenis yang lebih besar akan bergerak masuk kedalam air tawar dengan massa jenis yang lebih rendah melalui akuifer pantai mengikuti pola intrusi. Pola intrusi air asin dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan tinggi muka air asin yang tetap yakni  $H_s = 20$  cm, dengan 3 variasi tinggi muka air tawar yakni  $H_{w1} = 25$  cm,  $H_{w2} = 20$  cm dan  $H_{w3} = 15$  cm mewakili 3 kondisi yaitu  $H_s < H_w$ ,  $H_s = H_w$  dan  $H_s > H_w$ . Variasi 3 beda tinggi muka air pada kondisi alami mengakibatkan panjang intrusi yang berbeda pula yaitu selain nilai debit air tawar dan nilai koefisien kelulusan dari akuifer. Panjang intrusi yang terjadi akibat pengaruh beda tinggi muka air antara air asin dan air tawar akan memberikan representasi dari perubahan tersebut disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8 Data hasil pengamatan panjang intrusi

No	$\Delta H$	Jarak Pengamatan (cm)											Ket				
		0	30	40	50	60	70	80	90	100	120	150					
1	1,25	20	20	19	15.5	9.3	0.5										
	1.25	20	20	19	15.5	8.8	0.5										Hs
	1.25	20	20	19	15.6	9.3	0.5										
	1,25		23	24	25	25	25	25	25	25	25	25	25				
	1.25		21	21	25	25	25	25	25	25	25	25	25				Hw
	1.25		21	21	25	25	25	25	25	25	25	25	25				
2	1,00	20	20	20	19.8	19	8.5	1.3									
	1.00	20	20	19	18.6	17	8.0	1.2									Hs
	1.00	20	20	20	18.2	16	7.8	1.1									
	1,00						20	20	20	20	20	20	20				
	1.00						20	20	20	20	20	20	20				Hw
	1.00						20	20	20	20	20	20	20				
3	0.75	20	20	20	20	20	20	19.8	17.0	12.5	8.3	2.1					
	0.75	20	20	20	20	20	20	19.5	16.8	12.3	7.5	2.0					Hs
	0.75	20	20	20	20	20	20	19.5	16.6	11.3	6.0	1.9					
	0.75										15	15					
	0.75										15	15					Hw
	0.75										15	15					

Sumber : Hasil Pengamatan

Tabel 8 menunjukkan perubahan beda tinggi muka air tawar terhadap muka air asin mempengaruhi panjang intrusi yang terjadi, pada kondisi air tawar lebih besar dari tinggi air asin maka intrusi akan terjadi lebih sedikit dari pada kondisi lainnya. Jarak intrusi akan bergerak lebih panjang ke dalam akuifer pantai jika beda tinggi tinggi air asin dan tawar semakin kecil.

### C.2. Hasil Analisis dan Nilai Parameter

Analisis parameter L dipilih tiga model persamaan, yakni model Ghyben-Herzberg, Tanapol dan model Dupuit yang menyebutkan bahwa model tersebut dapat diaplikasikan untuk menghitung panjang intrusi.

Tabel 9 adalah persamaan tinggi muka air (h) yang telah dirumuskan oleh peneliti sebelumnya. Validasi dilakukan untuk mengetahui akurasi masing-masing persamaan dalam memprediksi pengurangan panjang intrusi (Lx) berdasarkan hasil eksperimen.

Tabel 9. Persamaan untuk menganalisa panjang intrusi air asin

Model	Persamaan
Ghyben-Herzberg (1930)	$L = \sqrt{h_{12} - \Delta h_0^2}$
Tanapol S (2012)	$L = K \frac{\rho_f \cdot H_f^2}{2\Delta\rho q}$
Dupuit	$L = K \frac{H_{12} - H_0^2}{2Q}$

Sumber : Penelitian terdahulu

Hasil validasi nilai koefisien determinasi berdasarkan model terhadap hasil eksperimen ditampilkan dalam tabel 10, sedangkan korelasi nilai  $L_x$  antara ketiga model yang ditinjau model Ghyben-Herzberg dkk, model Tanapol dkk dan model Dupuit terhadap hasil eksperimen ditunjukkan dalam Gambar 29

Tabel 10. Prediksi nilai  $R^2$  ketiga model dan hasil eksperimen

Model Persamaan	Determinasi		
	$H_w > H_s$	$H_w = H_s$	$H_w < H_s$
Ghyben - Herzberg	0,9882	0,7501	0,7186
Dupuit	0,9997	0,7049	0,8408
Tanapol	0,9706	0,8994	0,8221
Hasil Eksperimen	0,9592	0,9027	0,9633

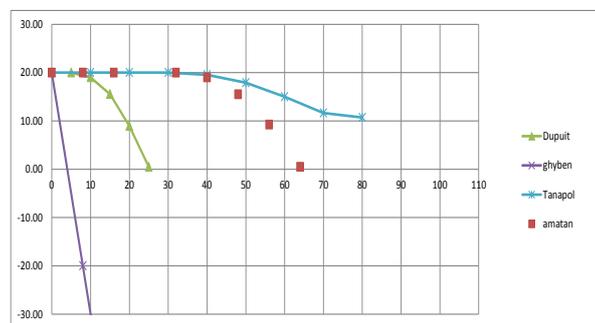
Sumber : Hasil Olahan Data

Tabel 10 terlihat bahwa koefisien determinasi  $R^2$  memiliki nilai 0,9 untuk tinggi muka air tawar  $H_w$  lebih besar dari tinggi muka air asin  $H_s$ , 0,7 – 0,9 pada  $H_w = H_s$  serta  $H_w < H_s$ , hal ini menunjukkan bahwa model signifikan mewakili fenomena yang sebenarnya.

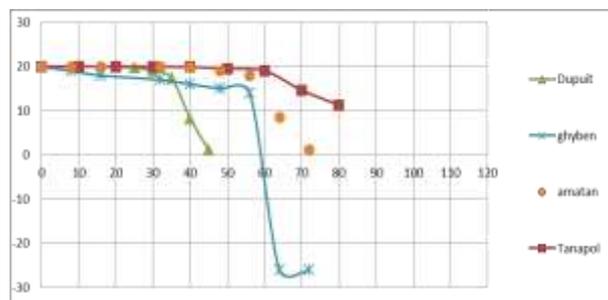
Secara keseluruhan beda tinggi elevasi muka air, nilai  $R^2$  model Tanapol sedikit lebih baik dari kedua model lainnya. Perbedaan ketiga model disebabkan asumsi dasar hubungan panjang intrusi dan beda tinggi

muka air tawar dan air asin, model Tanapol merupakan fungsi eksponensial sedangkan dua model lainnya mengikuti model polynomial.

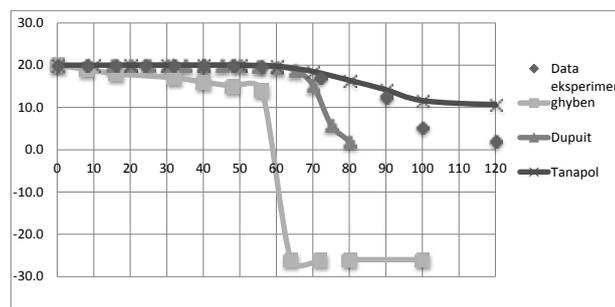
Gambar 29 menunjukkan hubungan model grafik hubungan antara panjang intrusi dan tinggi muka air asin dengan tiga variasi tinggi muka air tawar perbandingan ketiga model dan hasil eksperimen.



$H_w > H_s$



$H_w = H_s$

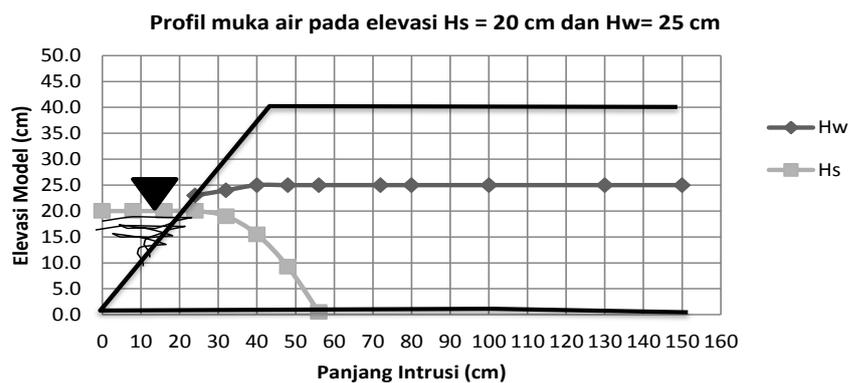


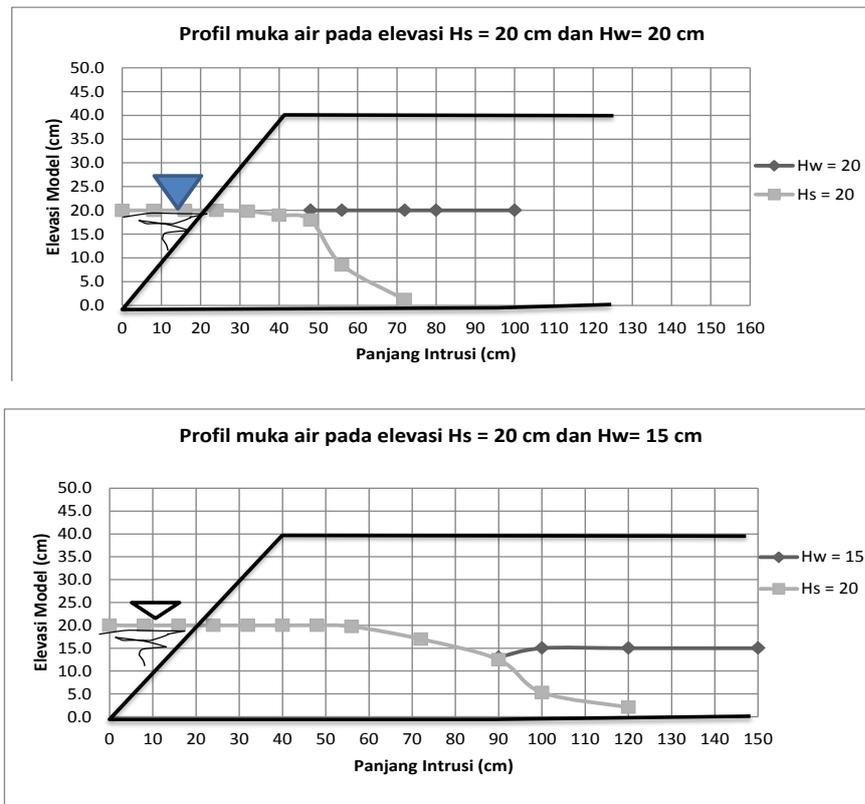
$H_w < H_s$

Gambar 29 (a) Hubungan tinggi muka air dan jarak intrusi pada tinggi muka air tanah ( $H_w$ ) > muka air asin  $H_s$ , (b)  $H_w = H_s$  dan (c)  $H_w < H_s$

Berdasarkan gambar 29a-29c terlihat bahwa perbedaan tinggi muka air berpengaruh terhadap jarak dan panjang intrusi yang terjadi, untuk muka air tanah lebih besar dari muka air asin maka intrusi semakin kecil dibandingkan dengan kondisi lainnya, demikian halnya jika elevasi muka air tanah sejajar dengan elevasi muka air asin maka proses intrusi akan bergeser ke dalam pantai sejauh 30 sampai 50 cm, sebaliknya jika kondisi air tanah lebih rendah maka proses intrusi akan semakin jauh masuk ke dalam pasir sejauh 60cm sampai 90 cm sampai kondisi kesetimbangan tercapai.

Gambar 30 menunjukkan model hubungan antara panjang intrusi dan elevasi muka air pada akuifer pantai hasil eksperimen pada tiga kondisi beda tinggi muka air

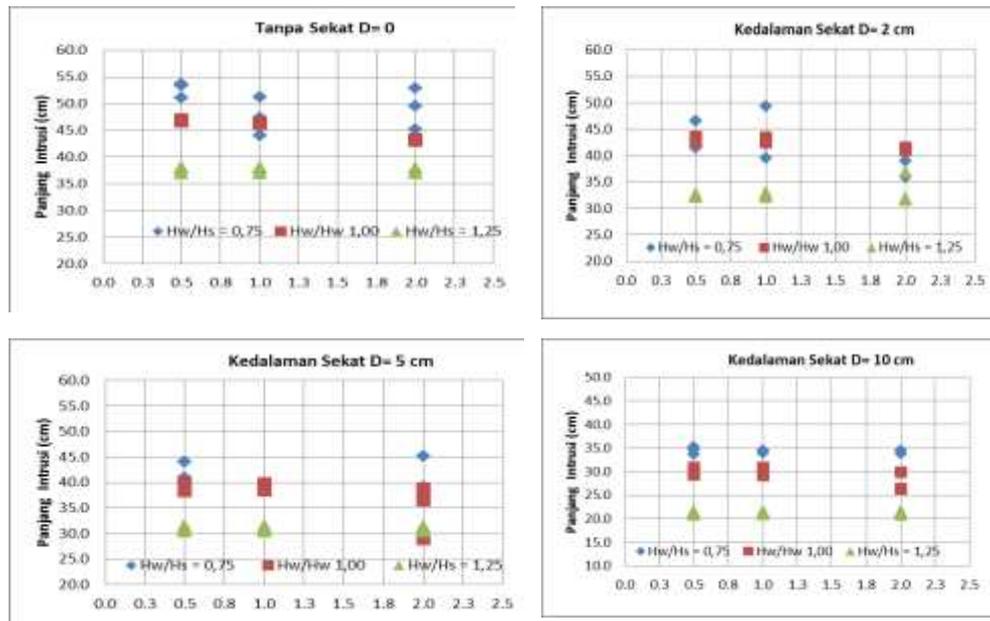




Gambar 30. Grafik Panjang intrusi dengan 3 variasi  $H_w/H_s$

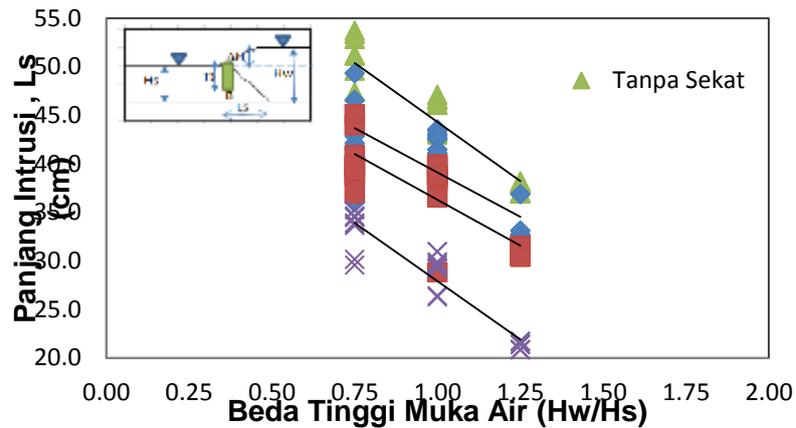
### C.3. Panjang Intrusi Dengan dan Tanpa Sekat

Jika tinggi muka air asin lebih besar dari pada tinggi muka air tawar maka intrusi air asin akan semakin panjang, sebaliknya jika tinggi muka air asin lebih rendah dari tinggi muka air tawar atau debit air tawar cukup besar maka proses merembesnya air asin ke dalam akuifer akan lambat. Demikian juga jika tinggi muka air asin sama dengan tinggi muka air tanah maka intrusi akan terjadi di dasar akuifer. Gambar 31 menunjukkan panjang intrusi yang terjadi tanpa sekat pada tiga variasi kedalaman sekat dan pada kondisi alami (tanpa sekat)



Gambar 31. Pengaruh  $H_w/H_s$  dan  $L_x$  dengan 4 macam variasi kedalaman sekat

Gambar 31 menunjukkan hubungan atau pengaruh beda tinggi muka air tawar  $H_w/H_s$  terhadap panjang intrusi ( $L_x$ ) dengan beda tinggi muka air tawar  $H_w/H_s = 1,25$ . ; 1,00 dan 0,75. Pada kondisi tanpa sekat 0 cm dan dengan kedalaman sekat 2 cm, 5 cm dan 10 cm.. Beda tinggi muka air tawar dan muka air asin mempengaruhi panjang intrusi yang terjadi, semakin besar nilai  $H_w/H_s$  maka intrusi yang terjadi semakin pendek sebaliknya jika nilai  $H_w/H_s$  semakin rendah maka panjang intrusi semakin besar. Sama halnya dengan kondisi tanpa sekat maka panjang intrusi lebih besar dibandingkan dengan sekat yang semakin dalam dapat mengurangi panjang intrusi seperti rekapnya yang terlihat pada Gambar 32.



Gambar 32. Rekap pengaruh ( $H_w/H_s$ ) terhadap  $L_s$  pada 4 variasi kedalaman sekat

Gambar 32 menunjukkan Hasil hitungan panjang Intrusi pada beda tinggi air tawar dan air asin ( $H_w/H_s$ ) pada kondisi tanpa sekat panjang intrusi sebesar 38,02 cm, dengan sekat 2 cm, 5 cm dan 10 cm maka panjang intrusi berkurang menjadi 32,76 cm(13,86 %), 31,49 cm (17,18%) dan 255,03 cm (34,18%), disajikan dalam tabel lampian 2.

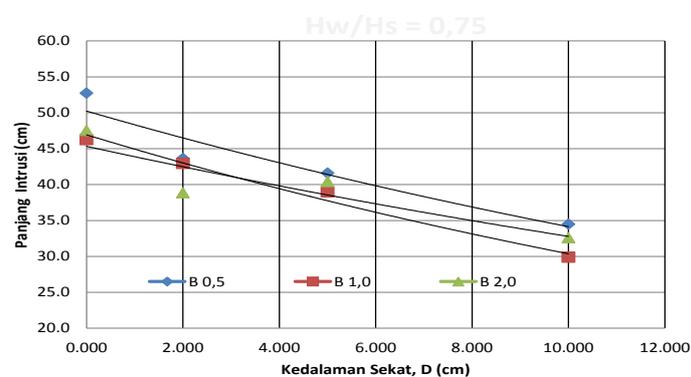
## L. Aplikasi Sekat Penghalang Terhadap Panjang Intrusi

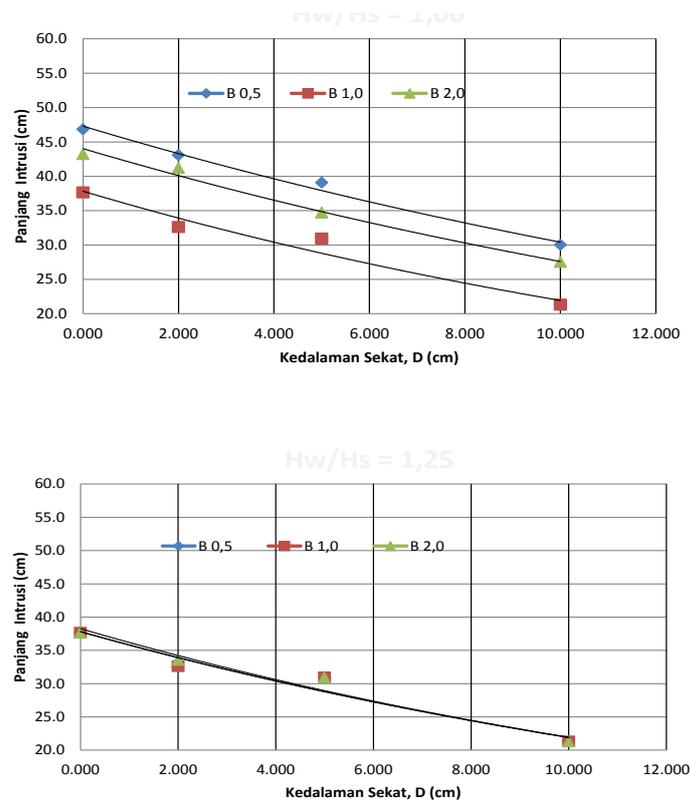
### D.1. Kedalaman Sekat Soil Semen (D)

Aspek yang diverifikasi dalam penelitian ini adalah kedalaman sekat soil semen, kedalaman sekat mempunyai pengaruh yang besar terhadap panjang intrusi yang terjadi, kedalaman sekat ditentukan dari tinggi muka air asin.

Jika kedalaman sekat atau tinggi sekat semakin meningkat maka maka rembesan air asin akan semakin berkurang. Sebaliknya jika kondisi pengaliran tanpa sekat atau kedalaman sekat berkurang maka proses merembesnya air asin ke dalam akuifer akan semakin meningkat. Pengamatan dilakukan tanpa sekat dan menggunakan sekat soil semen dengan kedalaman sekat dalam penelitian ini digunakan 3 variasi yaitu  $D_1 = 2$  cm,  $D_2 = 5$  cm dan  $D_3 = 10$  cm.

Pengaruh kedalaman sekat terhadap panjang intrusi terlihat pada gambar 33. Pada kedalaman sekat 2 cm panjang intrusi berkisar 32 cm – 43 cm serta, pada kedalaman sekat 5 cm maka panjang intrusi berkurang menjadi 30,95 cm - 41,91cm dan jika kedalaman sekat diperpanjang menjadi 10 cm, maka panjang intrusi semakin berkurang menjadi 21,27 cm – 34,50 cm. data lengkapnya mengenai panjang intrusi akibat kedalaman sekat dapat dilihat pada tabel lampiran 3.

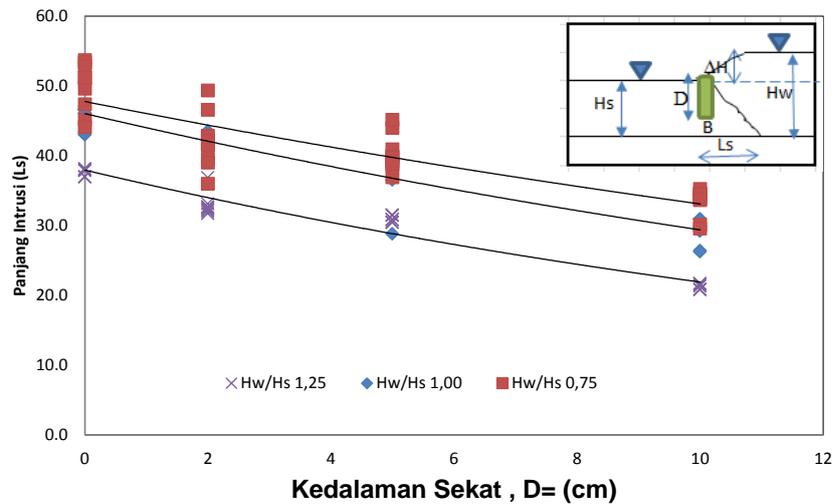




Gambar 33. Pengaruh kedalaman sekat (D) terhadap panjang intrusi (Lx) pada 3 variasi beda tinggi m.a asin& tawar

Gambar 33 menunjukkan hubungan atau pengaruh kedalaman sekat (D) terhadap panjang intrusi (Lx) dengan beda tinggi muka air tawar  $H_w/H_s = 0,75$  ; 1,00 dan 1,25.

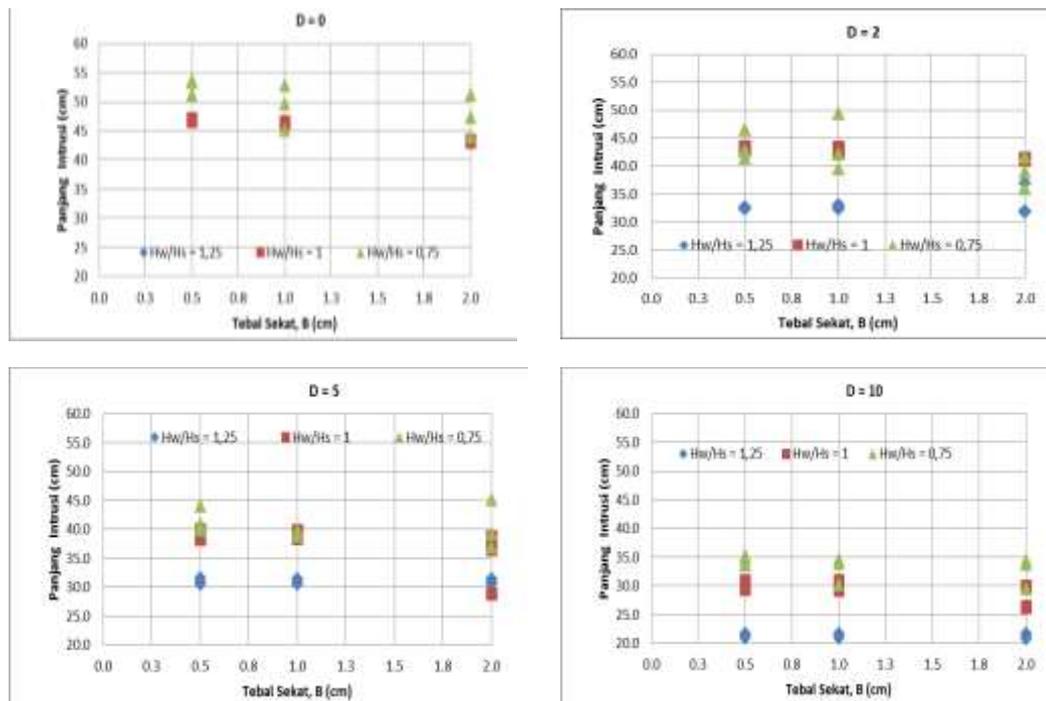
Berdasarkan gambar 33 dapat disimpulkan bahwa kenaikan angka kedalaman sekat atau semakin panjang sekat sangat mempengaruhi berkurangnya panjang intrusi. Gambar 34 terlihat pengaruh kedalaman sekat dan masing-masing tebal yang berbeda mempengaruhi panjang intrusi yang terjadi dan tabel lamp 3..



Gambar 34. Pengaruh kedalaman sekat terhadap panjang intrusi pada beda tinggi  $H_s/H_w = 1,25, 1,00$  dan  $0,75$

## D.2. Tebal Sekat Soil Semen (B)

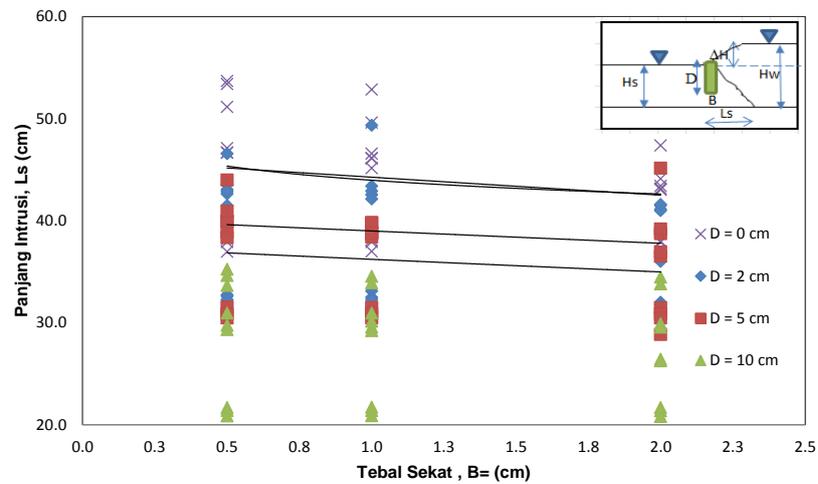
Selain kedalaman sekat aspek lain yang diverifikasi dalam penelitian ini adalah ketebalan sekat soil semen (B). Pengamatan dilakukan tanpa sekat dan menggunakan sekat soil semen dengan ketebalan sekat dalam penelitian ini digunakan 3 variasi yaitu  $B_1 = 0,5$  cm,  $B_2 = 1,0$  cm dan  $B_3 = 1,5$  cm. Pengaruh tebal sekat terhadap panjang intrusi terlihat pada Gambar 38 serta data lengkapnya mengenai panjang intrusi akibat kedalaman sekat dapat dilihat pada tabel lampiran 4. Besar nilai B tidak terlalu banyak berpengaruh terhadap pengurangan panjang intrusi terutama pada elevasi muka air tanah lebih besar, hal ini diakibatkan tebal sekat belum mampu menahan besarnya tekanan air.



Gambar 35. Pengaruh lebar sekat (B) terhadap panjang intrusi ( $L_x$ ) dengan 3 variasi kedalaman sekat

Gambar 35 menunjukkan hubungan atau pengaruh tebal sekat terhadap panjang intrusi ( $L_x$ ) pada kedalaman sekat 2 cm, 5 cm dan 10 cm, dengan  $H_w/H_s = 1,25$ , 1,0 dan 0,75. Pada kondisi tanpa sekat panjang intrusi berturut-turut sebesar 38,02 cm, 37,00 cm dan 37,20 cm.

Pengaruh tebal sekat terhadap perubahan panjang intrusi. yang terjadi seperti rekapnya yang terlihat pada tabel lampiran 4 dan Gambar 39



Gambar 36. Pengaruh tebal sekat terhadap panjang intrusi pada kondisi tanpa sekat dan 3 variasi kedalaman sekat

Dari Gambar 36 memperlihatkan perubahan nilai B pengaruhnya sangat sedikit dibandingkan kedalaman sekat (D) terhadap penurunan panjang intrusi. Dari ketiga variable yang berpengaruh tersebut, diperoleh panjang intrusi minimum ( $L_x$ ) sebesar 0,29 cm pada  $H_w/H_s = 0,75$  dengan kedalaman sekat 10 cm dan tebal sekat 3 cm, Sementara nilai rembesan maksimum ( $L_x$ ) sebesar 45,12 cm pada  $H_w/H_s = 1,25$  tanpa sekat dan  $L_x$  maksimum 32, 87 cm pada  $H_w/H_s = 1,00$  dengan kedalaman sekat 2 cm dan tebal sekat 1 cm.

#### M. Perbandingan Pengurangan Panjang Intrusi Dengan Metode Empiris ( Darcy dan Dupuit)

Menurut Dupuit, untuk menghitung panjang intrusi air asin digunakan persamaan ;

$$q = K \frac{(h_1^2 - h_2^2)}{2L} \text{ atau } L = K \frac{(h_1^2 - h_2^2)}{2q}$$

Dengan :  $L$  = panjang rembesan horizontal,

$q$  = debit air yang merembes,

$h_1$  = tinggi muka air di hulu,

$h_2$  = tinggi muka air di hilir, dan

$K$  = koefisien fermeabilitas

Contoh hitungan :

Diketahui :  $k = 0,031$  cm/det,  $h_1 = 20$  cm,  $h_2 = 0,5$  cm,  $q = 0.053$ ,

$$L = K \frac{(h_1^2 - h_2^2)}{2q} = 0,031 \frac{(20^2 - 0,5^2)}{2 \times 0,053} = 35,022$$

Panjang intrusi = 35,022 cm, untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 11

Tabel 11. Analisa panjang intrusi dengan metode Dupuit

No	T.m.a asin (Hs) cm	T.m.a tawar (Hw) cm	Hw/Hs -	Panjang Intrusi, Ls cm	Permeabilitas Pasir cm/det	Lebar sal (b) cm	Q	$h_1^2 - h_2^2$ cm <sup>2</sup>
1	20	25	1.25	35.022	0.031	0.30	0.053	399.75
2	20	25	1.25	35.014	0.031	0.30	0.053	399.84
3	20	25	1.25	35.008	0.031	0.30	0.053	399.91
4	20	25	1.25	35.018	0.031	0.30	0.053	399.80
5	20	25	1.25	35.018	0.031	0.30	0.053	399.80
6	20	25	1.25	35.011	0.031	0.30	0.053	399.88
7	20	25	1.25	35.022	0.031	0.30	0.053	399.75
8	20	25	1.25	35.018	0.031	0.30	0.053	399.80
9	20	25	1.25	35.011	0.031	0.30	0.053	399.88

Dst....

Menurut Darcy, panjang intrusi air asin menggunakan persamaan

$$V = k \cdot \frac{H_i}{L} \text{ atau } L = k \cdot \frac{H_i}{V}$$

Dimana : L = panjang intrusi,

k = koefisien permeabilitas,

H<sub>i</sub> = beda tinggi muka air,

V = kecepatan

Contoh hitungan :

Diketahui : k = 0,031 cm/det, H<sub>i</sub>/L = (20-0,5)/35 =, V = K. H<sub>i</sub>/L = 0,0173,

$$L = K \frac{H_i}{V} = 0,031 \frac{(20 - 0,5)}{0,0173} = 35,897 \text{ ---}$$

Panjang intrusi = 35,897 cm, untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 12

Tabel 12. Analisa intrusi air asin dengan metode Darcy

No	T.m.a asin (H <sub>s</sub> )	T.m.a tawar (H <sub>w</sub> )	H <sub>w</sub> /H <sub>s</sub>	Permeabilitas Pasir	H <sub>i</sub> /L	V	Panjang Intrusi, L <sub>s</sub>
	cm	cm	-	gr/cm <sup>3</sup>	cm <sup>2</sup>		cm
1	20	25	1.25	0.031	0.56	0.0173	35.897
2	20	25	1.25	0.031	0.56	0.0174	35.714
3	20	25	1.25	0.031	0.56	0.0174	35.533
4	20	25	1.25	0.031	0.56	0.0173	35.806
5	20	25	1.25	0.031	0.56	0.0173	35.806
6	20	25	1.25	0.031	0.56	0.0174	35.623
7	20	25	1.25	0.031	0.56	0.0173	35.897
8	20	25	1.25	0.031	0.56	0.0173	35.806
9	20	25	1.25	0.031	0.56	0.0174	35.623

Dst.....

Nilai panjang intrusi diperoleh dari percobaan yang telah dilakukan di laboratorium. Panjang rembesan hasil percobaan selanjutnya dibandingkan dengan hasil perhitungan dari rumus empiris pada Tabel 13

Tabel 13. Perbandingan panjang intrusi air asin hasil penelitian dengan perhitungan metode Dupuit dan Darcy

No	Hw/Hs	Permeabilitas Pasir	Kedalaman sekat (D)	Tebal Sekat (B)	Panjang Intrusi, Ls		
					Penelitian	Dupuit	Darcy
	-	gr/cm <sup>3</sup>	cm	cm	cm	cm	cm
1	1.25	0.031	0	0.5	38.179	35.022	35.897
2	1.25	0.031	0	0.5	36.953	35.014	35.714
3	1.25	0.031	0	0.5	37.895	35.008	35.533
4	1.25	0.031	0	1.0	37.908	35.018	35.806
5	1.25	0.031	0	1.0	36.986	35.018	35.806
6	1.25	0.031	0	1.0	38.089	35.011	35.623
7	1.25	0.031	0	2.0	37.988	35.022	35.897
8	1.25	0.031	0	2.0	36.998	35.018	35.806
9	1.25	0.031	0	2.0	37.888	35.011	35.623
10	1.25	0.031	2	0.5	32.713	30.273	33.149
11	1.25	0.031	2	0.5	32.605	30.193	32.609
12	1.25	0.031	2	0.5	32.257	30.193	32.609

Dst. ...

#### N. Perbandingan Pengurangan Panjang Intrusi

Pengurangan panjang intrusi air asin baik hasil penelitian maupun hasil hitungan metode Dupuit dan Darcy dilakukan dengan membandingkan perbedaan relative panjang intrusi ( $L_x$ ) antara sebelum ada sekat ( $D=0$ ) dengan setiap kedalaman sekat. Melalui perhitungan pengurangan panjang

intrusi dengan metode Dupuit dan Darcy dan hasil penelitian di laboratorium maka disajikan pada Tabel 11

Panjang rembesan hasil penelitian terlihat lebih besar jika dibandingkan dengan hasil perhitungan metode empirik (Metode Dupuit dan Darcy), pada kondisi tinggi muka air asin sama dengan tinggi muka air tawar sama ( $H_w/H_s = 1,00$ ) hasil penelitian sebesar 45,42 cm, metode Dupuit 41,25 cm dan metode Darcy 42,48 cm. Hal ini disebabkan pembacaan luas permukaan dan parameter lainnya berbeda. Pada penelitian ini rumus Darcy dan Dupuit dikembangkan sesuai dengan model fisik akuifer bebas menggunakan sekat soil semen sebagai penghalang

Tabel 14. Perbedaan relatif pengurangan panjang rembesan

H <sub>w</sub> /H <sub>s</sub>	D	L <sub>x</sub> (lab)	L <sub>X</sub> (Dupuit)	P	L <sub>X</sub> (Darcy)	P
-	Cm	cm	Cm	%	Cm	%
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1.25	0	38.02	35.02		35.87	
	2	32.76	32.27	13.50	33.27	8.85
	5	31.49	30.48	17.11	25.00	30.12
	10	25.03	21.35	39.03	26.73	25.49

Dst ....hasil pada, Tabel 15 dan Tabel 16

Keterangan : [H<sub>w</sub>/H<sub>s</sub>] = Beda tinggi muka air tawar dan muka air asin

[D] = Kedalaman sekat terhadap tinggi muka air asin

[Lx] = Panjang intrusi (Lx)

[P] = Perbedaan relative Lx dengan Lx Darcy

Tabel 15. Perbandingan pengurangan panjang rembesan hasil penelitian dengan rumus empiris

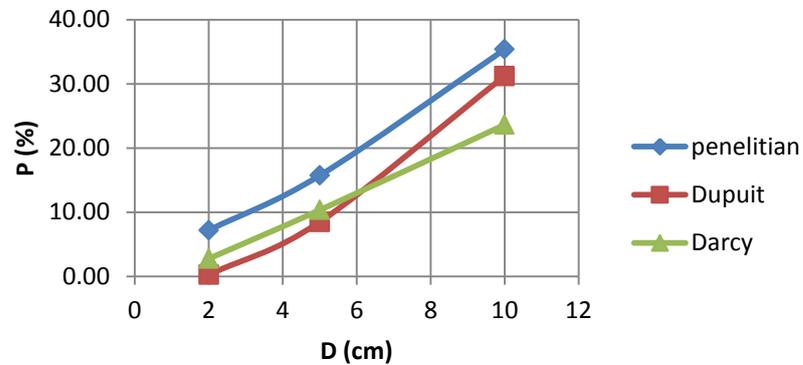
No	$\Delta H$	Kedalaman Sekat, D (cm)	Tebal Sekat, B (cm)	Panjang rembesan					
				Penelitian		Dupuit		Darcy	
				Ls	P(%)	Ls	P(%)	Panjang Intrusi	P(%)
1	1.25	0	0.5	37.68		35.01		35.71	
2			1.0	37.66		35.02		35.74	
3			2.0	37.62	37.65	35.02	35.02	35.78	35.75
4		2	0.5	32.52	13.67	30.22	13.69	32.79	8.19
5			1.0	32.61	13.41	30.23	13.67	32.85	8.10
6			2.0	33.53	10.87	30.04	14.20	31.15	12.94
7		5	0.5	30.95	17.86	28.69	18.06	38.98	9.14
8			1.0	30.94	17.85	28.57	18.39	38.67	8.20
9			2.0	30.93	17.80	28.50	18.61	38.49	7.59
10		10	0.5	21.30	43.46	20.92	40.26	25.21	29.42
11			1.0	21.32	43.39	20.94	40.20	25.28	29.26
12			2.0	21.27	43.47	20.89	40.35	25.08	29.89
13	1.00	0	0.5	46.81		43.48		42.63	
14			1.0	46.26		40.14		42.44	
15			2.0	43.19	45.42	40.13	41.25	42.37	42.48
16		2	0.5	43.07	7.99	40.06	7.87	41.53	2.59
17			1.0	42.94	7.18	40.04	0.24	41.28	2.75
18			2.0	41.18	4.65	40.05	0.20	41.38	2.33
19		5	0.5	39.05	16.58	36.73	15.53	38.03	10.79
20			1.0	38.99	15.72	36.73	8.48	38.06	10.33
21			2.0	34.69	19.68	36.70	8.54	37.64	11.15
22		10	0.5	30.00	35.90	27.66	36.38	32.62	23.48
23			1.0	29.90	35.37	27.61	31.21	32.42	23.61
24			2.0	27.52	36.29	27.52	31.42	32.09	24.26
25	0.75	0	0.5	52.74		44.63		50.94	
26			1.0	49.20		43.62		46.94	
27			2.0	47.54	49.83	43.58	43.94	46.53	48.14
28		2	0.5	43.63	17.27	41.74	6.46	43.42	14.76
29			1.0	43.67	11.23	41.86	4.03	44.43	5.35
30			2.0	38.87	18.25	37.95	12.93	41.73	10.33
31		5	0.5	41.61	21.10	40.21	9.89	43.02	15.56
32			1.0	39.12	20.48	40.20	7.83	42.77	8.89
33			2.0	40.41	15.00	40.66	6.70	41.41	11.02
34		10	0.5	34.50	34.58	35.03	21.52	35.84	29.64
35			1.0	32.85	33.22	34.88	20.03	35.20	25.02
36			2.0	32.60	31.42	33.94	22.13	34.90	25.00

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 16. Pengurangan Panjang Rembesan Hasil Penelitian dan Hasil Perhitungan Metode Dupuit dan Metode Darcy

Hw/Hs	D	B	P(%)		
			Penelitian	Dupuit	Darcy
0.75	2	0.5	17.27	6.46	14.76
		1.0	11.23	4.03	5.35
		2.0	18.25	12.93	10.33
	5	0.5	21.10	9.89	15.56
		1.0	20.48	7.83	8.89
		2.0	15.00	6.70	11.02
	10	0.5	34.58	21.52	29.64
		1.0	33.22	20.03	25.02
		2.0	31.42	22.13	25.00
1.00	2	0.5	7.99	7.87	2.59
		1.0	7.18	0.24	2.75
		2.0	4.65	0.20	2.33
	5	0.5	16.58	15.53	10.79
		1.0	15.72	8.48	10.33
		2.0	19.68	8.54	11.15
	10	0.5	35.90	36.38	23.48
		1.0	35.37	31.21	23.61
		2.0	36.29	31.42	24.26
1.25	2	0.5	13.67	13.69	8.19
		1.0	13.41	13.67	8.10
		2.0	10.87	14.20	12.94
	5	0.5	17.86	18.06	9.14
		1.0	17.85	18.39	8.20
		2.0	17.80	18.61	7.59
	10	0.5	43.46	40.26	29.42
		1.0	43.39	40.20	29.26
		2.0	43.47	40.35	29.89

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 38. Grafik Perbandingan Pengurangan Panjang Rembesan Hasil Penelitian dan Metode Empiris

Dari perbandingan grafik di atas dapat dinyatakan bahwa hasil pengurangan panjang rembesan hasil penelitian memiliki kecenderungan yang sama dengan pengurangan panjang rembesan metode Dupuit dan memiliki perbedaan yang lebih besar dibandingkan dengan metode Darcy.

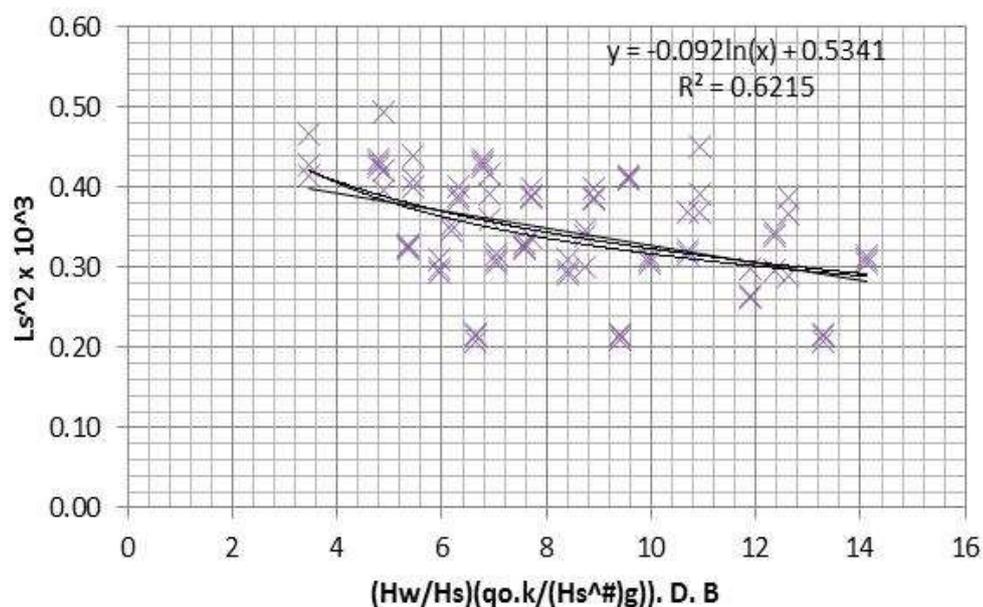
#### A. Bilangan Tak Berdimensi (Analisis Dimensi)

Pada pemodelan fisik, analisis dimensi dapat memproses hasil eksperimen dalam bentuk parameter tak berdimensi yang sistematis, dengan memperhatikan signifikan relatif setiap parameter, ada beberapa metode untuk menentukan bilangan tak berdimensi antara lain Metode Basic Echelon Matriks, Metode Buckingham, Metode Rayleigh, Metode Stepwise dan Metode Langhaar.

Dari penelitian ini, penggunaan sekat soil semen bawah permukaan diasumsikan dapat mengurangi panjang rembesan yang terjadi dari muka air

asin yang meresap ke dalam akuifer. Untuk mendapatkan hubungan antar variabel terhadap nilai panjang rembesan ( $L_x$ ) digunakan Non Dimensional Parameter (NDP), metode yang sesuai adalah metode Langhaar, dimana panjang rembesan ( $L_s$ ) dipengaruhi oleh 8 variabel yang berpengaruh yaitu : tinggi muka air asin ( $H_s$ ), gravitasi ( $g$ ), rapat massa air asin ( $\rho_s$ ), permeabilitas pasir ( $K$ ), kedalaman sekat ( $D$ ), tebal sekat ( $B$ ), debit air yang merembes ( $q_0$ ), tinggi muka air tawar ( $H_w$ ) serta rapat massa air tawar ( $\rho_w$ ). serta 3 dimensi dasar yaitu (M), (L) dan (T).

Dengan bilangan tak berdimensi yang terbentuk dapat dihasilkan suatu persamaan melalui Gambar 39 yang memperlihatkan hubungan antara bilangan tak berdimensi dengan panjang rembesan ( $L_s$ )



Gambar 39. Grafik Bilangan tak berdimensi

Persamaan bilangan tak berdimensi pada Gambar 39 dihasilkan yakni :  $y = -0,092 \ln(x) + 0,5431$ . Dimana  $y$  adalah panjang rembesan dan  $x$  adalah bilangan tak berdimensi.

Selanjutnya dilakukan substitusi nilai  $x$  dan  $y$  pada persamaan berikut :

$$Y = -0,092 \ln x (D.B)^{1/2} f\left(\frac{Hw}{Hs}; \frac{qo.k}{Hs^3.g}\right) + 0,5431 \quad (40)$$

Pengurangan panjang intrusi terhadap  $Ls$  Darcy

$$\frac{Ls}{Ls \text{ Darcy}} = -0,092 \ln \left[ D.B \left( \Delta \left( \frac{Hw}{Hs} \right) \left( \frac{q.K}{Hs^2.g} \right) \right)^{0,5} \right] + 0,5431 \dots \quad (41)$$

$$Ls = K\omega_{\text{Darcy}} \dots \quad (41)$$

Dengan :

$K\omega$  = Koefisien spesifik sekat soil penahan intrusi air asin

$$K\omega = \frac{Ls}{Ls \text{ Darcy}} = -0,092 \ln \left[ D.B \left( \Delta \left( \frac{Hw}{Hs} \right) \left( \frac{q.K}{Hs^2.g} \right) \right)^{0,5} \right] + 0,5431$$

$D$  = Kedalaman Sekat

$B$  = Tebal sekat

$\Delta$  = Massa jenis pencampuran

$Hw$  = Tinggi muka air tawar

$Hs$  = Tinggi muka air asin

$qo$  = debit air tawar

$K$  = koefisien permeabilitas pasir

$Ls$  = panjang rembesan dengan sekat

Berdasarkan hasil analisis data menunjukkan variasi yang signifikan sehingga kesimpulan Gambar 39 menunjukkan panjang rembesan dipengaruhi oleh fungsi  $f(D.B. \left\{ \Delta \left( \frac{Hw}{Hs} \right) \left( \frac{qo.K}{Hs^3.g} \right) \right\}^{0.5})$  menunjukkan variasi nilai data disebabkan oleh perubahan kedalaman sekat (D), tebal sekat (B) maupun beda tinggi muka air tawar - air asin (Hw/Hs).

Data menyebar dengan membentuk lengkung statika dengan persamaan  $y = -0,092 \ln(x) + 0,5431$ , dimana kondisi nilai X atau  $(D.B. \left\{ \Delta \left( \frac{Hw}{Hs} \right) \left( \frac{qo.K}{Hs^3.g} \right) \right\}^{0.5})$  berkisar 0,38 – 15,38, panjang rembesan cenderung menurun dipengaruhi oleh meningkatnya nilai kedalaman sekat

### Uji Hubungan Antar Parameter

Untuk menguji hubungan antar parameter dilakukan analisa dengan menggunakan regresi linier sederhana dengan SPSS. Analisis regresi sederhana merupakan salah satu metode uji regresi yang dapat dipakai sebagai alat inferensi statistik untuk menentukan pengaruh sebuah variabel bebas (*independen*) terhadap variabel terikat (*dependen*).

Hasil uji regresi linier tersebut adalah :

- a. Tabel pertama menunjukkan variabel apa saja yang diproses, mana yang menjadi variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas adalah Lebar sekat (B), Kedalaman sekat (D) dan beda tinggi muka air tawar – air asin (Hw/Hs), sedangkan variabel terikat adalah panjang intrusi (Lx)

- b. Tabel kedua menampilkan nilai R yang merupakan simbol dari nilai koefisien korelasi. Pada contoh diatas nilai korelasi adalah **0.874**. Nilai ini dapat diinterpretasikan bahwa hubungan kedua variabel penelitian ada di kategori kuat

Melalui tabel ini juga diperoleh nilai R Square atau koefisien determinasi (KD) yang menunjukkan seberapa bagus model regresi yang dibentuk oleh interaksi variabel bebas dan variabel terikat. Nilai KD yang diperoleh adalah 74.2% yang dapat ditafsirkan bahwa variabel bebas X, memiliki pengaruh kontribusi sebesar 74,2% terhadap variabel Y dan 25,8% lainnya dipengaruhi oleh faktor-faktor lain diluar variabel X.

- c. Tabel ketiga digunakan untuk menentukan taraf signifikansi atau linieritas dari regresi. Kriterianya dapat ditentukan berdasarkan uji F atau uji nilai Signifikansi (Sig.). Cara yang paling mudah dengan uji Sig., dengan ketentuan, jika Nilai Sig.  $< 0,05$ , maka model regresi adalah linier, dan berlaku sebaliknya. Berdasarkan tabel ketiga, diperoleh nilai Sig = 0,000, yang berarti  $<$  kriteria signifikan (0,05), dengan demikian model persamaan regresi berdasarkan data penelitian adalah signifikan artinya, model regresi linier **memenuhi** kriteria linieritas.
- d. Tabel keempat menginformasikan model persamaan regresi yang diperoleh dengan koefisien konstanta dan koefisien variabel yang ada di

kolom Unstandardized Coefficients B. Berdasarkan tabel ini diperoleh model persamaan regresi :

$$Y = -53,934 - 5,417 X_1 - 1,906X_2 - 1,583 X_3$$

### H. Temuan Empirik Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil analisa penelitian, telah menemukan temuan empiric sebagai berikut :

Menghasilkan rumusan baru hubungan beberapa parameter berpengaruh baik dari variabel aliran maupun dimensi bahan sekat terhadap pengurangan laju intrusi air laut. Faktor pengurangan tersebut merupakan kompilasi dari beda tinggi muka air tawar dan air asin, kedalaman dan tebal sekat sebagai penghalang fisik bawah permukaan pada media intrusi,

persamaannya yakni 
$$L_x = (D \cdot B \cdot \left\{ \Delta \left( \frac{H_w}{H_s} \right) \left( \frac{q_0 \cdot K}{H_s^3 \cdot g} \right) \right\}^{0.5}$$

dengan  $L_x$  = panjang rembesan,  $D$  = kedalaman Sekat,  $B$  = tebal sekat,  $\Delta$  = Massa jenis pencampuran,  $H_w$  = Tinggi muka air tawar,  $H_s$  = tinggi muka air asin,  $q_0$  = debit air tawar,  $K$  = koefisien permeabilitas pasir.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. SIMPULAN

Penelitian ini memberikan kesimpulan sebagai berikut :

1. Perbedaan tinggi muka air tanah dan muka air asin mempengaruhi panjang intrusi, jika tinggi muka air tawar lebih besar maka pola intrusi air lebih pendek, sebaliknya jika tinggi muka air asin maka pola intrusi akan semakin masuk ke dalam akuifer menjauhi pantai
2. Nilai intrusi terbesar terjadi pada saat kondisi muka air tanah lebih rendah dari muka air asin. Pada akuifer pasir kasar dengan nilai permeabilitas = 0,031 cm/det dan penambahan sekat soil semen dengan kedalaman sekat 2 cm, 5 cm dan 10 cm mampu mengurangi intrusi (P) = 8,08 %; 8,70%, dan 36,24% dibandingkan tanpa sekat.
3. Bentuk persamaan panjang intrusi dalam akuifer pantai yang ditemukan dengan pengembangan metode Darcy dan rumus empirik lainnya dengan penelitian model fisik adalah  $L_x = -0,092 \ln \left( (D.B. \left\{ \Delta \left( \frac{H_w}{H_s} \right) \left( \frac{q_0.K}{H_s^3.g} \right) \right\}^{0.5} \right) + 0,5431$  dan persamaan regresi  $Y = -52,934 - 5,417 X_1 - 1,906 X_2 - 1,583 X_3$

## **B. Saran**

Berdasarkan uraian kesimpulan di atas, dapat dijelaskan bahwa rembesan air asin ke dalam air tawar pada akuifer bebas di pantai dipengaruhi oleh beda tinggi muka air tawar dan air asin serta sekat soil semen penghalang fisik, maka disarankan :

1. Penelitian ini diharapkan dapat diterapkan lebih lanjut untuk perkuatan tanah dasar pada bangunan tepi pantai yang dapat berfungsi untuk memperlambat laju intrusi
2. Berhubung banyak variabel yang mempengaruhi panjang intrusi air asin belum masuk dalam parameter penelitian ini, maka perlu penelitian lanjutan untuk menyempurnakan hasil yang diperoleh misalnya beberapa jenis tanah yang berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed Farouk (2013), Ground improvement using soil–cement columns Experimental investigation, **Alexandria Engineering Journal** (2013) 52, 733–740
- Alam Tronics (2011), *Studi Awal pemanfaatan Teknik Biogrouting Pada Tanah Pasir Untuk Proses Sementasi*, Tesis, FT UI
- Ali Maher, dkk (2005), *Solidification/Stabilization Of Soft River Sediments Using Deep Soil Mixing*, Final Report, 09/1/2004 - 10/20/2005, Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation Washington, D.C.
- Alfa-Sika Mande Seyf-Laye dkk, (2012) *Groundwater flow and contaminant transport modeling applications in urban area: scopes and limitations*, Environ Sci Pollut Res (2012) 19:1981–1993
- Arfena Deah Lestari dkk, (2010) *Pengaruh Kenaikan Permukaan Air Laut Pada Intrusi Air Laut Di Akuifer Pantai*, ITS Surabaya,
- Azis, Akhmad, 2013, *Studi Penggunaan Kolom Pasir Pada Waduk Resapan Dalam Mengatasi Permasalahan Imbuhan Air Tanah*, Pascasarjana Unhas, Disertasi
- Barcelona M.J, et al, 2006, *A Gypsum-barrier Design To Stop Seawater Intrusion In A Fractured Aquifer At Saalento (Southern Italy)*, Swim-Swica Joint Salt Water Intrusion Conference, Cagliari-Chia, Italy, Sep 24-29.
- Basack, dkk, 2012, *Hydrogeological Investigation On Saline Water Intrusion Into A Coastal Aquifer Of West Bengal, India*, Proceedings of Indian Geotechnical Conference
- Bear, dkk (1999), *Seawater Intrusion in Coastal Aquifers: Concepts, Methods, and Practices*, Kluwer Academic
- Brian O, (2017), Etc, *Applicaion Of Geosynhtetic Membranes In Soil Stabilizaations And Coastal Defence Structures* International Journal Of Suistinable Built Enviroment.
- Chay Asdak (2007) Chay Asdak, 2007, *Hidrologi dan Pengelolaan*

*Daerah Aliran Sungai*, Gadjah Mada University Press, Edisi keempat 2007

Dayakar P, et al,2012, Study on Permeation Grouting Using Cement Grout In Sandy Soil, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) ISSN: 2278-1684 Volume 4, Issue 4 (Nov-Dec. 2012), PP 05-10 www.iosrjournals.org*

Devendra Kumar et al,2012, *International Journal of Scientific and Research Publications*, Volume 2, Issue 7, July 2012 11 ISSN 2250-3153

Eswan (2014), Pengaruh Lapis Pondasi Tanah Semen Pada Stabilisasi Tanah Dasar Pekerjaan Pemeliharaan Jalan Damanhuri Samarinda, Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda

Fahrurrozi,dkk, 2012, *The Effect Of Sea Level Rise On Sea Water Intrusion On Coastal Zone (Case Study On Coastal Area In Semarang)*, <http://digilib.its.ac.id/efek-kenaikan-muka-air-laut-pada-pesisir-semarang-20287.html>.

Gaaloul N, dkk, 2012, *Simulation of Seawater Intrusion in Coastal Aquifers: Forty Five-Years, Exploitation in an Eastern Coast Aquifer in NE Tunisia*, The Open Hydrology Journal, 2012, 6, (Suppl 1-M6)

Gregory P Makusa (2012), *Soil Stabilization Methods And Materials*, Department of Civil, Environmental and Natural resources engineering, Division of Mining and Geotechnical Engineering, Luleå University of Technology, Luleå, Sweden

Halim Dan Pranowo (2009), Pengaruh Campuran Semen Dalam Pembuatan *Soil Cement Column* Pada Tanah Margomulyo-Surabaya, Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra,

Haningtyas, Riska (2008) *Tekanan Ijin Grouting Tirai Studi Kasus Bendungan Gonggang, Kabupaten Magetan, Propinsi Jawa Timur*. Undergraduate thesis, geological Engineering Department Diponegoro University.

- Hasanatul Q, dkk, *Analisa Kedalaman Gerusan di Hilir Pintu Sorong Pada Dasar Saluran Tanah Liat Berpasir (Sandy Loam) Dengan Uji Model Fisik Hidraulik*, 2013
- Hendrick Warman dan Suprihanto N, *seawater Intrusion Modelling In Phreatic Aquifer using HST3D Application*, ITB, 2009
- Heru Hendrayana, *Intrusi Air Asin Ke Dalam Akuifer Di Daratan*, [www.heruhendrayana.staff.ugm.ac.id](http://www.heruhendrayana.staff.ugm.ac.id), 2002
- Hodkinson, Groundwater Mixing In A Sand-Island Freshwater Lens ; Density-Dependent Flow And Tratisgraphic Controls, Australian Journal Of Earth Sciences (2007) 54 (927-946)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Saltwater\\_intrusion#Ghyben%E2%80%93Herzberg\\_relation](https://en.wikipedia.org/wiki/Saltwater_intrusion#Ghyben%E2%80%93Herzberg_relation)
- <http://faiqun.edublogs.org/2012/01/30/fenomena-salinitas-air-dalam-al-quran/>
- [http : //id.wikipedia.org/wiki/Henry\\_Darcy](http://id.wikipedia.org/wiki/Henry_Darcy) (hal 30)
- <http://secement.org> /EB052, Soil cement Laboratory Handbook, @ copyright 1992
- Made Udiana, 2006, Teknik Pengujian Tekanan Air Pada Pekerjaan Grouting Proyek Bendungan/Waduk Nipah Madura Jawa Timur, Jurnal jurusan teknik Siplil FST Undana
- Jananee K, et. al., Conceptual And Numerical Simulation For Control Of Seawater Intrusion, Indian Journal Of Applied Research, Vol 6, Issue 2, Feb 2016
- Jacob Bear, (2010) *Modelling Groundwater Flow and Contaminant Transport/*
- Jun Zhou, et al, *Permeabilitas Changes During remediation Of An Aquifer Affected By Sea-Water Intrusion : A Laboratory Column Study*, Journal Of Hydrology 376 (2009) 557 – 566

- Kumar L, Dkk (2012)**, *Simulation Of Sea Water Intrusion And Tidal Influence*, The Indian Society For Hydraulics Journal Of Hydraulic Engineering
- Kwe Won Jun and Chang Deok Jung, 2013, *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, ISSN 0749-0208
- Leonid N. Germanovich and Lawrence C. Murdoch, *Injection of solids to lift coastal areas*, journal is © 2010 The Royal Society
- Mahesa A (2011), *Effect of Strip Recharge On Sea Water Intrusion Into Aquifer*, Hydrological Sciences Journal Des Sciences Hydrologiques 46(2), April 2011
- Muhammad Bisri, *Aliran Air Tanah*, UPT Penerbitan Fak, Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, Edisi kedua 1997
- Murugaiyan, V. *Conceptual And Numerical Simulation for Control of Seawater Intrusion : A Review*, (February 2016), 69–72
- Noegroho Djaarwanti (2013), *Komparasi Koefisien Permeabilitas K pada Tanah Kohesif*, Jurnal Media Teknik Sipil, Januari 2013
- Papadopoulou MP, et al, 2005, *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
- Payal, Z, 2014, *Innovative Method for Saltwater Intrusion Control*, International Journal Of Engineering Sciences and Research Technology,3(2), 3–7.
- Pranoto S.A, dkk(2014), *Penggunaan Analisis dimensi Untuk Mencari Korelasi Antar Variabel Pada Uji Model Hidrolik*, Jurnal Teknik Sipil vol 21 No.3 Des 2014, h221 - 228
- Ramani Bai V. Et al, 2012, *Coastal Erosion Due to Seawater Intrusion into Groundwater Aquifers*, The Open Hydrology Journal,, (Suppl 1-M5) 52-57
- Rico Bartak, et al, 2012, *Beach Sand Filtration As Pre-Treatment For RO Desalination*, International Journal Of Water Sciences, Water SCI, Vol 1,2 2012 (www.intechopen.com)

- Rohaya Langkoke, 2011, *morfodinamika Pantai dan Prospek Sebaran Vegetasi Berdasarkan Sedimen Backshore Estuari Jeneberang Makassar*, PASCASARJANA UNHAS, Disertasi
- Soemarto CD, 1987, *Hidrologi Teknik*, Penerbit : Usaha nasional, Surabaya, Indonesia
- Sri Harto BR, 1993, *Analisis Hidrologi*, Penerbit : PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta,
- Sri Harto BR, 2000, *Hidrologi ; Teori, Masalah, Penyelesaian*, Penerbit : Nafiri Offset, Yogyakarta.
- Sosrodarsono S dan Takeda K, 1987, *Hidrologi Untuk Pengairan*, PT Pradnya Paramita, Jakarta, cetakan keenam.
- Sosrodarsono S, Kazuto N, 2000, *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, cetakan ketujuh
- Suripin, 2003, *Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Tanapol Sriapai, dkk, 2012, *Physical Model Simulation Of Seawater Intrusion In Unconfined Aquifer*, Journal Of Science And Technology, Songklanarin J. Sci.Technol. 34(6). (<http://www.ajst.psu.ac.th>)
- Tjokarda Gde Suwarsa Putra, dkk, 2006, *Pengaruh Penambahan Slurry Bentonite Terhadap Kemantapan Galian Pada Pasir*, Jurnal Teknik Sipil Vol. 10
- Wikipedia, 2012, <http://id.wikipedia.org/wiki//kenaikan-permukaan-air-laut>, diakses 5 Mei 2013
- Young-Tak Kim, et al, 2013, *Experiment On Seawater Exchange And Lee Side Stability Of Breakwater*, Journal Of Coastal Research, Special Issue No. 65, ([www.JCRonline.org](http://www.JCRonline.org))
- Yeh William WG, 2006, *Modelling And Optimization Of Seawater Intrusion Barriers In Southern California Coastal Plain*, Technical Completion Reports, University Of California Water Resources Centre, Uc Berkeley (<http://escolarship.org>)

## Lampiran : Analisa Dimensi

Parameter panjang rembesan ( $L_s$ ) dihitung berdasar fungsi berikut:

$$L_s = f(H_s, g, \rho_s, K, D, B, P, \rho_o, H_w, \rho_w) \quad (37)$$

Dengan :

$H_s$  = tinggi muka air asin (m)

$g$  = gravitasi ( $m/det^2$ )

$\rho_s$  = rapat massa air asin ( $kg/m^3$ )

$K$  = permeabilitas pasir (m/det)

$D$  = kedalaman sekat (m)

$B$  = tebal sekat (m)

$q$  = debit air yang merembes ( $m^3/det$ )

$\rho_o$  = rapat massa pencampuran/viskositas ( $kg/m^3$ )

$H_w$  = tinggi muka air tawar (m)

$\rho_w$  = rapat massa air tawar ( $kg/m^3$ )

Selanjutnya parameter yang berpengaruh tersebut dikelompokkan berdasarkan variabel seperti pada Tabel L-8 berikut :

Tabel L-8. Pengelompokan parameter

Kelompok	Parameter
Variabel Bebas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kedalaman Sekat</li> <li>- Tebal Sekat</li> <li>- Kedalaman air asin (hulu sekat)</li> <li>- Kedalaman air tawar (hilir sekat)</li> <li>- Debit air tawar</li> <li>- Massa jenis air asin</li> <li>- Massa jenis air tawar</li> <li>- Koefisien permeabilitas pasir</li> </ul>
Variabel Terikat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Panjang Rembesan (<math>L_x</math>)</li> </ul>
Variabel Lain	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Percepatan gravitasi</li> </ul>
<p>Parameter yang dipilih sebagai parameter berulang :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tinggi muka air asin (<math>H_s</math>)</li> <li>- Percepatan gravitasi (<math>g</math>)</li> <li>- Massa jenis air asin (<math>\rho_s</math>)</li> </ul>	

Masing-masing parameter yang berpengaruh dipilih berdasar dimensi :  
M (Massa), L (Panjang) dan T (waktu) seperti Tabel I-1

Tabel I-1. parameter yang berpengaruh :

	Hs	G	$\rho_s$	Lx	K	D	B	Qo	$\rho_o$	Hw	$\rho_w$
M	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
L	1	1	-3	1	1	1	1	3	-3	1	-3
T	0	-2	0	0	-1	0	0	-1	0	0	0

Parameter yang berulang : Hs, g,  $\rho_s$

Persamaan variable  $\pi_i$ , adalah perkalian dari tiga variable yang berulang dan salah satu variabel sisa, demikian hingga habis

$$\pi_1 = Hs^X, g^Y, \rho_s^Z. Lx$$

$$M : 0 + 0 + Z + 0 = 0, \quad Z = 0$$

$$T : 0 - 2Y + 0 + 0 = 0, \quad Y = 0$$

$$L : X + Y - 3Z + 1 = 0, \quad X = -1$$

$$\pi_1 = \frac{Ls}{Hs}$$

$$\pi_2 = Hs^X, g^Y, \rho_s^Z. K$$

$$M : 0 + 0 + Z + 0 = 0, \quad Z = 0$$

$$T : 0 - 2Y + 0 - 1 = 0, \quad Y = -1/2$$

$$L: X + Y - 3Z + 1 = 0, \quad X = -1/2$$

$$\pi_2 = \frac{K}{\sqrt{Hs \cdot g}}$$

$$\pi_3 = Hs^X, g^Y, \rho_s^Z. D$$

$$M : 0 + 0 + Z + 0 = 0, \quad Z = 0$$

$$T : 0 - 2Y + 0 - 0 = 0, \quad Y = 0$$

$$L : X + Y - 3Z + 1 = 0, \quad X = -1$$

$$\pi_3 = \frac{D}{Hs}$$

$$\pi_4 = Hs^X, g^Y, \rho s^Z \cdot B$$

$$\pi_4 = \frac{B}{Hs}$$

$$M : 0 + 0 + Z + 0 = 0, \quad Z = 0$$

$$T : 0 - 2Y + 0 - 0 = 0, \quad Y = 0$$

$$L : X + Y - 3Z + 1 = 0, \quad X = -1$$

$$\pi_5 = Hs^X, g^Y, \rho s^Z \cdot q_0$$

$$\pi_5 = \frac{q_0}{Hs^{2,5} \sqrt{g}}$$

$$M : 0 + 0 + Z + 0 = 0, \quad Z = 0$$

$$T : 0 - 2Y + 0 - 1 = 0, \quad Y = -1/2$$

$$L : X + Y - 3Z + 3 = 0, \quad X = -5/2$$

$$\pi_6 = Hs^X, g^Y, \rho s^Z \cdot \rho_0$$

$$\pi_6 = \frac{\rho_0}{\rho s}$$

$$M : 0 + 0 + Z + 1 = 0, \quad Z = -1$$

$$T : 0 - 2Y + 0 - 0 = 0, \quad Y = 0$$

$$L : X + Y - 3Z - 3 = 0, \quad X = 0$$

$$\pi_7 = Hs^X, g^Y, \rho s^Z \cdot H_W$$

$$\pi_7 = \frac{H_W}{Hs}$$

$$M : 0 + 0 + Z + 0 = 0, \quad Z = 0$$

$$T : 0 - 2Y + 0 + 0 = 0, \quad Y = 0$$

$$L : X + Y - 3Z + 1 = 0, \quad X = -1$$

$$\pi_8 = Hs^X, g^Y, \rho s^Z \cdot \rho_W$$

$$\pi_8 = \frac{\rho_W}{\rho s}$$

$$M : 0 + 0 + Z + 1 = 0, \quad Z = -1$$

$$T : 0 - 2Y + 0 - 0 = 0, \quad Y = 0$$

$$L : X + Y - 3Z - 3 = 0, \quad X = 0$$

Jadi diperoleh parameter bilangan tak berdimensi yang terbentuk seperti pada Tabel I-2

Tabel I-2. Bilangan Tak berdimensi

$$\begin{array}{cccc} \pi_1 = \frac{Lx}{Hs} & \pi_2 = \frac{k}{\sqrt{Hs \cdot g}} & \pi_3 = \frac{D}{Hs} & \pi_4 = \frac{B}{Hs} \\ \pi_5 = \frac{qo}{Hs^{2,5} \sqrt{g}} & \pi_6 = \frac{\rho o}{\rho s} & \pi_7 = \frac{Hw}{Hs} & \pi_8 = \frac{\rho w}{\rho s} \end{array}$$

Dengan menyederhanakan parameter non dimensi tersebut diperoleh :

$$f = \left( \frac{Ls}{Hs}, \frac{k}{\sqrt{Hs \cdot g}}, \frac{D}{Hs}, \frac{B}{Hs}, \frac{qo}{Hs^{2,5} \sqrt{g}}, \frac{\rho o}{\rho s}, \frac{Hw}{Hs}, \frac{\rho w}{\rho s} \right) = 0 \quad (1)$$

Disederhanakan dengan operasi (kali dan atau bagi) antar variabel non dimensional tersebut. Dengan menghilangkan nilai konstanta maka jumlahnya lebih sederhana

$$\pi_9 = \frac{(\pi_1)^2}{\pi_3 \cdot \pi_4} = \frac{\left(\frac{Ls}{Hs}\right)^2}{\frac{D}{Hs} \cdot \frac{B}{Hs}} = \frac{Ls^2}{D \cdot B} \quad (2)$$

$$\pi_{10} = \pi_2 \cdot \pi_5 = \frac{k}{\sqrt{Hs \cdot g}} \cdot \frac{qo}{Hs^{2,5} \sqrt{g}} = \frac{k \cdot qo}{Hs^3 g} \quad (3)$$

$$\pi_{11} = \frac{\pi_6}{\pi_8} = \frac{\frac{\rho o}{\rho s}}{\frac{\rho w}{\rho s}} = \frac{\rho o}{\rho w} \quad (4)$$

$$f(\pi_7, \pi_9, \pi_{10}, \pi_{11}) = f\left(\frac{Hw}{Hs}, \frac{Ls^2}{D \cdot B}, \frac{k \cdot qo}{Hs^3 g}, \frac{\rho o}{\rho w}\right) = 0 \quad (5)$$

$$\frac{Ls^2}{D \cdot B} = f\left(\frac{Hw}{Hs}, \frac{qo k}{Hs^3 g}, \frac{\rho o}{\rho w}\right) \quad (6)$$

$$Ls^2 = D \cdot B \cdot f \left( \frac{Hw}{Hs} \cdot \frac{qo \cdot k}{Hs^3 \cdot g} \cdot \Delta \right) \quad (7)$$

$$Ls = (D \cdot B)^{1/2} \cdot f \left( \frac{Hw}{Hs}; \frac{qo \cdot k}{Hs^3 \cdot g} \right) \quad (8)$$

$$\text{Dimana } \Delta = \left( \frac{\rho_o}{\rho_s} \right) = \text{konstan}$$

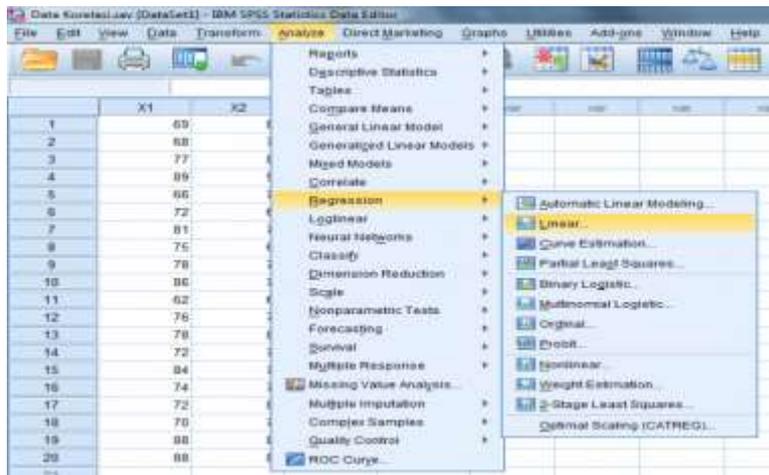
Dari persamaan 8 terlihat bahwa besarnya nilai Ls berkorelasi langsung dengan qo, k dan Hw/Hs, pada nilai Hs yang sama maka Ls dipengaruhi langsung oleh nilai D, B dan ΔH.

### Uji Hubungan Antar Parameter

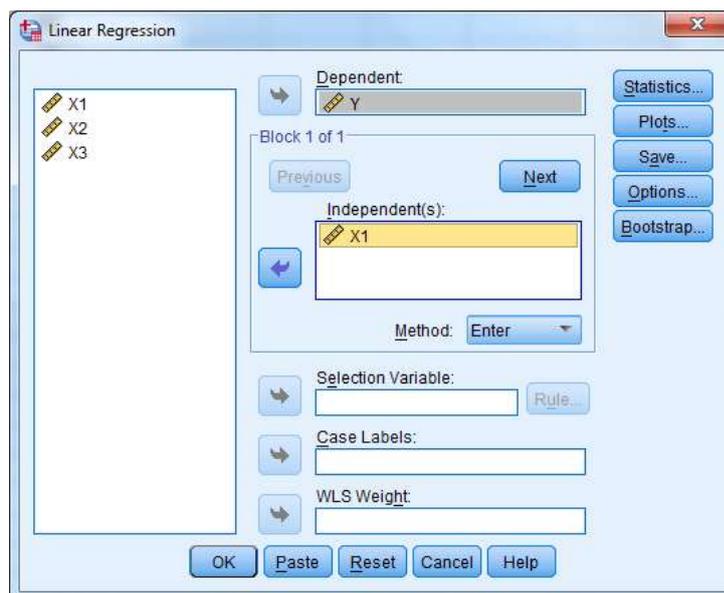
Untuk menguji hubungan antar parameter dilakukan analisa dengan menggunakan regresi linier sederhana dengan SPSS. Analisis regresi sederhana merupakan salah satu metode uji regresi yang dapat dipakai sebagai alat inferensi statistik untuk menentukan pengaruh sebuah variabel bebas (*independen*) terhadap variabel terikat (*dependen*).

Analisa perhitungan regresi linier sederhana menggunakan software SPSS 19 dengan langkah sebagai berikut.

1. Dengan menggunakan data yang sama seperti pada artikel perhitungan korelasi, proses mulai dengan memilih menu Analyze, kemudian pilih Linear,



2. Pilih variabel Y sebagai variabel dependen (terikat) dan X1 sebagai variabel independen (bebas) lalu klik tombol OK,



3. Output SPSS akan menampilkan hasil berupa 4 buah tabel yaitu;
  - a. tabel variabel penelitian,
  - b. ringkasan model (model summary)
  - c. Tabel Anova
  - d. Tabel Koefisien.

Hasil analisa uji regresi pengurangan panjang rembesan dapat dilihat pada Tabel 12.

Cara membaca output spss hasil uji regresi linier tersebut adalah :

- e. Tabel pertama menunjukkan variabel apa saja yang diproses, mana yang menjadi variabel bebas dan variabel terikat.

Variabel bebas adalah Lebar sekat (B), Kedalaman sekat (D) dan beda tinggi muka air tawar – air asin (Hw/Hs), sedangkan variabel terikat adalah panjang rembesan (Lx)

- f. Tabel kedua menampilkan nilai R yang merupakan simbol dari nilai koefisien korelasi. Pada contoh diatas nilai korelasi adalah **0.874**. Nilai ini dapat diinterpretasikan bahwa hubungan kedua variabel penelitian ada di kategori kuat

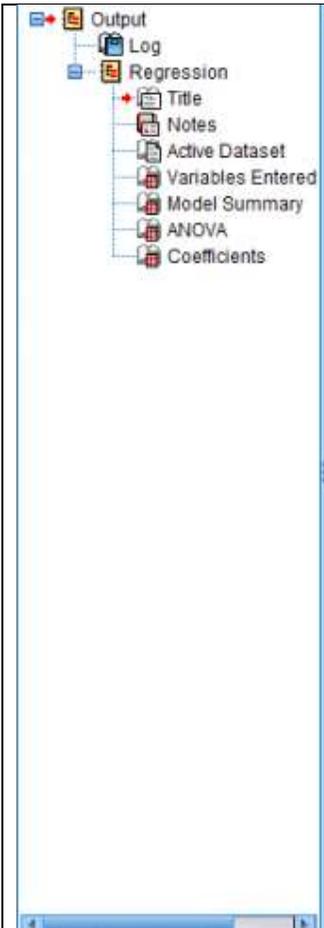
Melalui tabel ini juga diperoleh nilai R Square atau koefisien determinasi (KD) yang menunjukkan seberapa bagus model regresi yang dibentuk oleh interaksi variabel bebas dan variabel terikat. Nilai KD yang diperoleh adalah 74.2% yang dapat ditafsirkan bahwa variabel bebas X, memiliki pengaruh kontribusi sebesar 74,2% terhadap variabel Y dan 25,8% lainnya dipengaruhi oleh faktor-faktor lain diluar variabel X.

- g. Tabel ketiga digunakan untuk menentukan taraf signifikansi atau linieritas dari regresi. Kriterianya dapat ditentukan berdasarkan uji F atau uji nilai Signifikansi (Sig.). Cara yang paling mudah dengan uji Sig., dengan ketentuan, jika Nilai Sig. < 0,05, maka model regresi

adalah linier, dan berlaku sebaliknya. Berdasarkan tabel ketiga, diperoleh nilai Sig = 0,000, yang berarti < kriteria signifikan (0,05), dengan demikian model persamaan regresi berdasarkan data penelitian adalah signifikan artinya, model regresi linier **memenuhi** kriteria linieritas.

- h. Tabel keempat menginformasikan model persamaan regresi yang diperoleh dengan koefisien konstanta dan koefisien variabel yang ada di kolom Unstandardized Coefficients B. Berdasarkan tabel ini diperoleh model persamaan regresi :

$$Y = 52,934 - 5,417 X_1 - 1,906 X_2 - 1,583 X_3$$



**Variables Entered/Removed<sup>b</sup>**

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	B, D, HW/Hs <sup>a</sup>	.	Enter

- a. All requested variables entered
- b. Dependent Variable: LX

**Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.874 <sup>a</sup>	.764	.742	4.55346	.764	34.571	3	32	.000

- a. Predictors: (Constant), B, D, HW/Hs

**ANOVA<sup>b</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2150.400	3	716.800	34.571	.000 <sup>a</sup>
	Residual	663.489	32	20.734		
	Total	2813.889	35			

- a. Predictors: (Constant), B, D, HW/Hs
- b. Dependent Variable: LX

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	52.934	2.432		21.762	.000
	HW/Hs	-5.417	1.610	-.289	-3.365	.002
	D	-1.906	.201	-.812	-9.460	.000
	B	-1.583	.929	-.146	-1.703	.098

- a. Dependent Variable: LX

# CURRICULUM VITAE

## A. DATA PRIBADI

1. Nama Lengkap : NURNAWATY
2. Tempat/ Tanggal Lahir : Makassar, 27 April 1968
3. Alamat Rumah : Jl. Taborong Permai Rt.02/Rw.02,  
Bontoala-Pallangga, Kab Gowa
4. Pekerjaan : Dosen Fakultas Teknik  
Univ Muhammadiyah Makassar.
5. Jabatan : Lektor
6. Pangkat : IIIc

## B. DATA KELUARGA

1. Nama suami : H. Abd Rakhim Nanda, ST, MT
2. Nama Anak :
  - Dzar Fadli El Furqan
  - Dzar Fikri El Faiz
  - Dzar Fahiemah El Faiqah
  - Dzar Fakhirah El Fatinah
3. Nama Orangtua :
  - Ayah : Imam Soenyoto Nawang (alm)
  - Ibu : Hj. Mariati Dg Nurung

## C. RIWAYAT PENDIDIKAN

### Pendidikan Formal

1. SD Centre No.1 Pattalassang Kab. Takalar
2. SMP Neg. 2 Takalar, Kab. Takalar
3. SMA Neg. 358 Takalar, Kab. Takalar
4. Fakultas Teknik Jurusan Sipil Unismuh Makassar
5. Magister Teknik, Universitas Brawijaya

## D. RIWAYAT PEKERJAAN

1. 1995 – sekarang, Dosen Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar
2. 2001 – 2005, Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar
3. 2006 – 2011  
Kepala Laboratorium Teknik, Fakultas Teknik Unismuh Makassar
4. .2012 - sekarang  
Kepala Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Unismuh Makassar

## E. PUBLIKASI SELAMA PENELITIAN

1. The Experimental Study Of Soil Cement Bulkhead Model To Reduce Saltwater At Coastal Aquifer  
Publikasi di Jurnal Internasional IJCIET, International Journal of Civil Engineering and Technology, Volume 08, Issue8, Agt 2017.  
[www.iaeme.com/IJCIET/index.asp](http://www.iaeme.com/IJCIET/index.asp)
2. Seepage Saltwater Reduction By Physical Barrier At Coastal Aquifer  
Publikasi di Jurnal Internasional, IJAER, International Journal of Applied Engineering Research, Vol' 11, No 23 (2016),  
[www.ripublication.com](http://www.ripublication.com)
3. Modeling Of Seawater Intrusion Reduced In Unconfined Aquifer With Physical Barrier  
Proceeding of The International Association of Lowland Technology (IALT) Institute of Lowland and Marine Research (ILMR) 2014, Saga University, di Saga – Japan, ISBN 1344-9656
4. Study Of Effect Of Grouting Water and Cement In to Sand To Reduce Saltwater Seepage  
Proceeding of 3<sup>rd</sup> ICCAEE, 2016, International Congres On Technology Engineering & Science (ICONTES- 2016) di Kuala Lumpur, Malaysia
5. Seawater Seepage Reduction By Grouting Bulkhead Into Unconfined Aquifer At Coastal Area  
Proceeding of The International Seminar On Infrastructure Development, ISID 2016 Hasanudin University di Makassar, ISBN 978-602-72676-7.1
6. Pengurangan Rembesan Air Asin Pada Model Akuifer Pantai Dengan Konstruksi Sekat Grouting Barrier  
Prosiding Semnas II Teknik Sipil 2016, Teknik Sipil Fak Teknik Universitas Narotama di Surabaya, ISBN 978-602-72437-9-8
7. Rembesan Air Asin Pada Model Akuifer Bebas Daerah Pantai  
Prosiding Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT 4 2016) FGDT-PTM VII di Universitas Muhammadiyah Purwokerto, ISSN 2339-028X
8. Model Pengurangan Laju Intrusi Air Laut Pada Akuifer Pantai Dengan Menggunakan Sistem *Grouting*  
Publikasi Ilmiah Hasil Penelitian I, Program Doktor Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar ISSN 2087 - 7986
9. Pengaruh Tinggi Tekanan Air Terhadap Laju Rembesan Air Asin  
Publikasi Ilmiah Hasil Penelitian II, Program Doktor Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar ISSN 2087 - 7986
10. Pengaruh Kedalaman Sekat Soil Semen Untuk Mengurangi Rembesan Air Asin

Publikasi Ilmiah Hasil Penelitian III, Program Doktor Teknik Sipil  
Universitas Hasanuddin Makassar ISSN 2087 - 7986

F. PENGALAMAN ORGANISASI

1. Anggota Himpunan Ahli Teknik Hidraulik (HATHI) Cabang Sulawesi Selatan
2. Anggota Persatuan Insinyur Indonesia (PII) Makassar

