

1. PENDAHULUAN

Kota Semarang adalah salah satu kota besar di Indonesia yang terletak di wilayah pesisir, sehingga berpotensi mengalami intrusi air laut. Seiring dengan pertumbuhan penduduk dan untuk memenuhi kebutuhan pokok, industri, jasa dan perdagangan, pengambilan air tanah di Kota Semarang terus mengalami peningkatan. Pengambilan air tanah di wilayah pesisir Kota Semarang pada tahun 1900, baru sekitar 427.050 m³/tahun. Kemudian pada tahun 1982, pengambilan air tanah mencapai 13.672.900 m³/tahun, pada tahun 1990, pengambilan air tanah menjadi 22.473.050 m³/tahun, dan pada tahun 2000, telah mencapai 39.189.827 m³/tahun. Laju pengambilan air tanah dari akuifer tertekan sebesar 16% per tahun, hal ini akan memicu terjadinya intrusi air laut.

Menurut Hadi (2013), pada awalnya hubungan manusia dengan lingkungan dalam pengelolaan lingkungan berjalan dalam semangat yang harmonis dimana manusia sadar bahwa keberadaannya merupakan bagian dari alam, sehingga memiliki perilaku yang selaras dengan irama alam. Tetapi, ketika jumlah manusia semakin meningkat dengan peningkatan teknologi dan kebutuhan hidup, hubungan yang pada awalnya harmonis tersebut berubah menjadi eksploitatif terhadap alam dan menonjolkan sifat antroposentrisnya. Sikap ini berbuah pada kerusakan alam dan bencana lingkungan, salah satu contoh dari kerusakan alam adalah pencemaran air tanah. Selanjutnya menurut Purwanto (2005), eksploitasi sumberdaya alam termasuk sumberdaya air tanah secara tidak terkendali, dan mengabaikan kesetimbangan air tanah, akan menimbulkan berbagai dampak negatif dan akan dirasakan oleh penduduk dalam waktu yang relatif singkat, dan menjadi kronis untuk jangka waktu yang lama.

Pada penelitian ini, kondisi intrusi air laut disebabkan oleh 2 faktor dominan yaitu faktor beda konsentrasi antara air laut dengan air tanah tawar, dan faktor pengambilan air tanah. Kondisi intrusi air laut dapat dipandang sebagai proses transportasi massa Klorida ke dalam air tanah tawar dan mengalami perubahan massa, sebagai akibat dari 2 proses yaitu proses difusi yang menyebabkan massa Klorida terdistribusi ke arah horizontal x , dan

proses adveksi, merupakan aliran air tanah yang telah mengandung Klorida ke arah x , akibat dari kecepatan aliran air tanah tersebut. Persamaan transportasi massa Klorida pada penelitian ini dinyatakan sebagai bentuk Persamaan adveksi-difusi 1 dimensi, yaitu : $R_x \frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v_x \frac{\partial C}{\partial x} - W_x$, dimana R_x adalah faktor retardasi tanah di akuifer tertekan, D_x adalah koefisien difusi dari Klorida yang terdistribusi ke arah x , kemudian v_x adalah kecepatan aliran air tanah pada akuifer tertekan ke arah x , dan W_x adalah laju pengambilan air tanah oleh penduduk dan kegiatannya dari akuifer tertekan. Parameter W_x dapat dinyatakan sebagai perbandingan dari hasil kali antara konsentrasi Klorida dan debit pengambilan air tanah dengan volume air tanah pada Cekungan Air Tanah di daerah penelitian. Orisinalitas dari penelitian model intrusi air laut terhadap air tanah pada akuifer tertekan di Kota Semarang adalah penelitian menggunakan Persamaan adveksi-difusi 1 dimensi yaitu ke arah x , yaitu $R_x \frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v_x \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{Q.C}{V}$, sebagai bentuk persamaan diferensial parsial non linier.

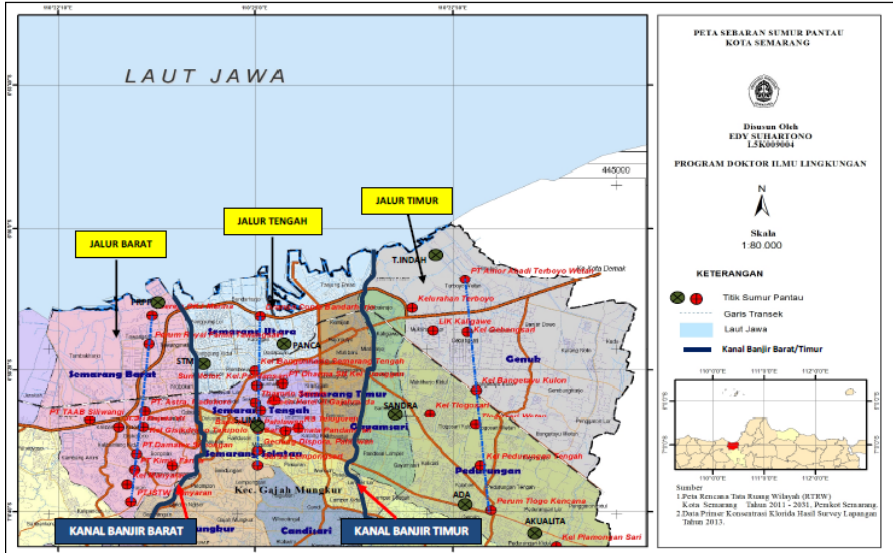
Dari penelusuran, penelitian tentang model intrusi air laut terhadap air tanah pada akuifer tertekan di Kota Semarang, melalui pendekatan permodelan adveksi-difusi 1 dimensi tersebut, dengan menggunakan variabel Klorida sebagai indikator dari suatu kondisi intrusi air laut pada akuifer tertekan di Kota Semarang, belum pernah dilakukan oleh peneliti terdahulu. Oleh karena itu, penambahan parameter W_x pada persamaan adveksi-difusi 1 dimensi tersebut dipandang sebagai temuan baru. Tujuan dari penelitian ini adalah mendiskripsikan kondisi intrusi air laut terhadap air tanah pada akuifer tertekan di Kota Semarang, kemudian memodelkan kondisi intrusi air laut tersebut ke dalam persamaan adveksi – difusi 1 dimensi, dan memprediksi tingkat intrusi air laut.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di wilayah pesisir Kota Semarang, tipe penelitian adalah penelitian deskriptif-kuantitatif. Populasi dari penelitian ini adalah Sumur Bor Dalam yang terletak di wilayah pesisir Kota Semarang yang memiliki rekomendasi perijinannya oleh Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah. Pengambilan sampel dilakukan secara *Purposive Sampling*, yang terdiri dari 41 buah Sumur Bor Dalam yang dikelompokkan ke dalam 3 jalur sesuai dengan letak dari Sumur Bor Dalam tersebut. Menurut lokasinya, Jalur Barat adalah lokasi Sumur Bor Dalam yang terletak di sebelah barat dari Kanal Banjir Barat, Jalur Tengah adalah lokasi Sumur Bor Dalam yang terletak antara Kanal Banjir Barat dan Kanal Banjir Timur, dan Jalur Timur adalah lokasi Sumur Bor Dalam yang terletak di sebelah timur dari Kanal Banjir Timur. Pengumpulan data menggunakan data kuantitatif antara lain konsentrasi Klorida dari sampel air tanah dan titik koordinat dari Sumur Bor Dalam yang menunjukkan jaraknya terhadap garis pantai. Pengolahan data menggunakan metode numerik beda hingga, yang diselesaikan dengan pemrograman komputer Matlab dan pemrograman komputer GIS.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian seperti Gambar 1, menunjukkan bahwa pada tahun 2009, di Jalur Barat, konsentrasi Klorida pada air tanah di akuifer tertekan yang melebihi baku mutu mencapai jarak lebih dari 2 km, kemudian di Jalur Tengah, mencapai jarak 3,2 km, dan di Jalur Timur, mencapai jarak 3,3 km. Pada tahun 2013, masing-masing wilayah bertambah jaraknya menjadi 3,7 km untuk Jalur Barat, kemudian menjadi 4,0 km di Jalur Tengah, dan menjadi 3,7 km di Jalur Timur, dengan rata-rata pertambahan jarak x per tahunnya adalah 36 m/s/d 60 m.



Gambar 1. Daerah Penelitian di Wilayah Pesisir Kota Semarang

Pada kondisi tidak ada pengambilan air tanah, menunjukkan bahwa jarak dari Sumur Bor Dalam terhadap garis pantai sebanding dengan kecepatan aliran air tanah. Jadi, semakin jauh letak Sumur Bor Dalam, maka semakin rendah kecepatan aliran air tanah yang bercampur dengan air laut pada akuifer tertekan dengan kondisi tidak ada pengambilan air tanah, kerapatan massa tanah akuifer tertekan di Kota Semarang, sebesar $\rho_B = 4,625 \text{ kg/m}^3$. Pada Jalur Barat, Jalur Tengah dan Jalur Timur, koefisien difusi $D_x = 0,64 \text{ m}^2 / \text{tahun}$ atau setara dengan $20,3 \times 10^{-9} \text{ m}^2 / \text{dtk}$, nilai D_x di wilayah pesisir Kota Semarang ditemukan berbeda dengan nilai D_x yang dikemukakan oleh peneliti terdahulu. Pada Jalur Barat, kecepatan aliran air tanah yang membawa konsentrasi Klorida tinggi melampaui baku mutu sebesar $2,95 \text{ m/tahun}$, kemudian pada Jalur Tengah sebesar $3,35 \text{ m/tahun}$, dan pada Jalur Timur sebesar $2,16 \text{ m/tahun}$.

Pada kondisi ada pengambilan air tanah,, menunjukkan bahwa jarak dari Sumur Bor Dalam terhadap garis pantai sebanding dengan kecepatan aliran kecepatan aliran air tanah yang bercampur dengan air laut pada air tanah. Jadi, semakin jauh letak Sumur Bor Dalam, maka semakin rendah akuifer tertekan. kerapatan massa tanah akuifer tertekan di wilayah Jalur Barat dan Jalur Tengah Kota Semarang memiliki kerapatan massa tanah akuifer tertekan sebesar $\rho_B = 2,688kg / m^3$, sedangkan pada Jalur Timur, kerapatan massa tanahnya sekitar $\rho_B = 1,588kg / m^3$. Hal ini mendeskripsikan bahwa pengambilan air tanah mengakibatkan penurunan kerapatan massa tanah dan menjadikan tanah tidak stabil, kondisi ketidakstabilan tanah di Jalur Timur lebih parah dibandingkan dengan wilayah di Jalur Barat dan Jalur Tengah, sehingga di Jalur Timur berpotensi mengalami amblesan tanah lebih besar. Model intrusi air laut tersebut adalah sebagai berikut :

1. Pada kondisi tidak ada pengambilan air tanah :

a. Jalur Barat : $75 \frac{\partial C}{\partial t} = 0,64 \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - 2,95 \frac{\partial C}{\partial x}$

b. Jalur Tengah : $75 \frac{\partial C}{\partial t} = 0,64 \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - 3,35 \frac{\partial C}{\partial x}$

c. Jalur Timur : $75 \frac{\partial C}{\partial t} = 0,64 \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - 2,16 \frac{\partial C}{\partial x}$

2. Pada kondisi ada pengambilan air tanah :

a. Jalur Barat : $44 \frac{\partial C}{\partial t} = 0,64 \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - 2,95 \frac{\partial C}{\partial x} - 0,86.C$

b. Jalur Tengah : $44 \frac{\partial C}{\partial t} = 0,64 \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - 3,35 \frac{\partial C}{\partial x} - 0,86.C$

c. Jalur Timur : $26 \frac{\partial C}{\partial t} = 0,64 \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - 2,16 \frac{\partial C}{\partial x} - 0,86.C$

Pada tahun 2035, penambahan jarak pada wilayah yang mengalami intrusi di Jalur Barat diprediksi mencapai 1,4 km, di Jalur Tengah diprediksi mencapai 1,3 km, dan di Jalur Timur diprediksi mencapai 0,9 km dari kondisi tahun 2013.

4. KESIMPULAN

1. Kondisi intrusi air laut di wilayah pantai atau pesisir Kota Semarang memiliki potensi meningkat. Pada tahun 2009, di wilayah sebelah barat Kanal Banjir Barat (Jalur Barat), konsentrasi Klorida pada air tanah di akuifer tertekan yang melebihi baku mutu mencapai jarak 2 km lebih, kemudian di wilayah antara Kanal Banjir Barat dan Kanal Banjir Timur (Jalur Tengah), mencapai 3,2 km, dan di wilayah sebelah timur dari Kanal Banjir Timur (Jalur Timur), mencapai 3,3 km. Pada tahun 2013, masing-masing wilayah bertambah menjadi 2,3 km untuk Jalur Barat, 3,3 km untuk Jalur Tengah, dan 3,4 km untuk Jalur Timur. Laju pertambahan jarak akuifer tertekan yang terintrusi air laut sekitar 36 m/tahun s/d 60 m/tahun.
2. Model intrusi air laut terhadap air tanah pada akuifer tertekan di Kota Semarang mengikuti Persamaan adveksi-difusi 1 dimensi yaitu $R_x \frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v_x \frac{\partial C}{\partial x} - W_x$, Parameter $W_x = \frac{Q}{V} \cdot C$, merupakan laju pengambilan air tanah, dan merupakan kebaruan dari penelitian ini. Pada kondisi ada pengambilan air tanah, mengakibatkan pergerakan intrusi air laut ke arah daratan dengan laju sekitar 36 - 60 m/tahun, dan kerapatan massa tanah berkurang sekitar 58 - 66 % dari kondisi tidak ada pengambilan air tanah, sehingga kesetimbangan massa tanah terganggu yang berpotensi mudah mengalami amblesan tanah.
3. Pada tahun 2035, diprediksi bahwa sebaran konsentrasi Klorida yang melebihi baku mutu air minum di Jalur Barat mencapai jarak 3,7 km, kemudian di Jalur Tengah mencapai jarak 4,6 km, dan di Jalur Timur mencapai jarak 4,3 km.

5. SARAN

1. Pengendalian pencemaran air tanah akibat dari intrusi air laut perlu ditingkatkan.
2. Model intrusi air laut dapat digunakan sebagai salah satu alat untuk memberikan informasi awal dalam pengambilan keputusan pada pengelolaan air tanah.

CURRICULUM VITAE



Nama : EDY SUHARTONO
Tempat/Tanggal Lahir : Surakarta, 17 Juni 1960
Alamat Rumah : Jl.KH. Dewantoro No. 7 Pekalongan
HP.081575161357
email : edymaryamah@gmail.com.
Alamat Kantor : Politeknik Negeri Semarang
Jl.Prof.Sudarto, SH, Tembalang, Semarang
Telp/Fax : (024) 7473417

1. Orangtua :

Nama	Status	Keterangan
MS.Hadi Soetjipto	Ayah Kandung	Purn. TNI AU (Alm)
Sarmi	Ibu Kandung	Alm

2. Keluarga :

Nama	Status	Keterangan
Sri Wahyu S.Hastuti	Istri	-
Editha Niken Pratiwi	Anak ke 1	DJKN Kemen. Keuangan Jakarta
Edikha Setyaningtyas	Anak ke 2	Kelas 17,SMAN 1 Pekalongan
Editya Anissa Syahbani	Anak ke 3	Kelas 6, SD Keputran 6 Pekalongan

3. Pendidikan :

- 2010–Sekarang : Kandidat Doktor Ilmu Lingkungan, Program Studi Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro
- 2002– 2004 : Meraih gelar Master of Science (M.Si) pada Program Magister Ilmu Lingkungan, Program Studi Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro
- 1980– 1986 : Meraih gelar Doktorandus pada Jurusan Matematika, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

4. Publikasi Ilmiah :

- 2015 : Seawater Intrusion Modeling On Groundwater Confined Aquifer In Semarang (Journal Prosedia Environmental Sciences)
- 2014 : Model of Seawater Intrusion Into Confined Aquifer In Semarang (Journal of Urban and Environmental Engineering, in active submission process).
- 2014 : Seawater Intrusion Modeling On Groundwater Confined Aquifer In Semarang (Proceeding of International Conference on Tropical and Coastal Region Eco-Development 2014)
- 2014 : Seawater Intrusion Modeling on Groundwater Confined Aquifer in Semarang (Journal of Environment and Ecology, in active submission process)
- 2014 : Permodelan Intrusi Air Laut dengan Indikator Distribusi Klorida Dalam Air Tanah Akuifer Tertekan pada Jalur Barat di Kota Semarang (Prosiding Seminar Nasional; Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro).
- 2013 : The Distribution of Chloride on The Groundwater Into Deep Aquifer In Semarang (Proceeding of International Seminar on New Paradigm and Innovation on Natural Sciences and Its Application 3th ; FSM of Diponegoro University).
- 2013 : Kondisi Intrusi Air laut Terhadap Air Tanah Pada Akuifer di Kota Semarang (Prosiding Seminar Nasional; Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro).
- 2013 : Kondisi Dan Faktor Penyebab Intrusi Air Laut Terhadap Air Tanah Pada Akuifer Dalam Di Kota Semarang (Prosiding Seminar Nasional; Pemberdayaan UMKM Melalui Teknologi Tepat Guna, Teknologi Informatika, Teknologi Baru dan Terbarukan Yang Ramah Lingkungan : Politeknik Negeri Semarang).
- 2013 : Faktor Penyebab Intrusi Air Laut Terhadap Air Tanah Pada Akuifer Dalam Di Kota Semarang (Jurnal Wahana Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang Volume 18 No. 1 Tahun 2013).
- 2012 : Model Intrusi Air Laut Terhadap Air Tanah pada Akuifer di Kota Semarang (Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro).

5. Pengalaman Pekerjaan :

1987 – 1992 :

- Dosen tetap di Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Universitas Andalas, Padang, Sumatera Barat.

1992 – Sekarang :

- Dosen tetap di Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Semarang.

6. Pengalaman Pendampingan Masyarakat/Industri :

Tahun	Kegiatan	Penyelenggara
2005-skr	Pendampingan Masyarakat Petani Tambak dan Pesisir Pantai Mangunharjo, Kecamatan Tugu, Kota Semarang	Biota Foundation
2009-skr	Pendampingan Sentra IKM Batik Buaran, Kab. Pekalongan	IKM Nadia Royani
2006	Penerapan teknologi pengolahan limbah cair industri pewarnaan kain	Ditlitabmas-Dikti
2006	Implementasi produksi bersih bagi sentra industri cor logam	Cor Logam Ceper, Klaten
2006	Pelatihan Chemical Hazard and Hazardous Waste Handling	PT. Pupuk Kaltim
2007	Pelatihan K3 Kimia	PT. Pupuk Kaltim
2007	Pembuatan alat pengolah limbah cair industri kecil batik	Diknas Jateng
2008	Penanganan Proses dan Limbah Elektroplating	PT. Pupuk Kaltim
2008	Pelatihan Chemical Hazard Hazardous Waste Handling	PT. Pupuk Kaltim
2008	Pengelolaan lingkungan bagi Perbankan	PT. Bank Jateng
2008	Penerapan teknologi pengolahan limbah laundry di industri kecil laundry	Polines
2009	Implementasi produksi bersih bagi sentra industri IKM logam	IKM Cor Logam Waru, Sidoarjo
2009	Pengelolaan lingkungan bagi Analisis Bank	PT. Bank Jateng
2009	Pelatihan Chemical Hazard Hazardous Waste Handling	PT. Pupuk Kaltim
2009	Implementasi produksi bersih di IKM Batik Pekalongan	Diknas Jateng
2010	Ketua Pengabdian Masyarakat Dana Hibah Bersaing “IbPE Batik Pekalongan” Tahap I.	Ditlitabmas-Dikti
2010	Pembuatan bak penangkap lilin di IKM Batik	IKM Batik Pekalongan
2010	Tim Trainer Screening Hazardous Materials	MIL UNDIP – Freeport
2010	Penelitian Status Mutu Air Sungai Wulan	BLH Provinsi Jateng
2011	Prakarsa Batik Bersih Pekalongan	PPBN-ECONID
2011	Ketua Pengabdian Masyarakat Dana Hibah Bersaing “IbPE Batik Pekalongan” Tahap II.	Ditlitabmas-Dikti
2011	Penghijauan penanaman bakau (mangrove) di tambak belakang pembangunan sabuk pantai Mangunharjo, Semarang	Kelompok Tani Mangrove Bumi Lestari
2011	Penanaman mangrove di areal tambak korban abrasi Kecamatan Tugu Semarang	Program Studi Ilmu Lingkungan Undip

2011	Membangun bak penysisihan logam berat pada industri pewarnaan logam	IKM Logam Tegal
2011	Konversi tungku lorodan dari kayu bakar ke gas di IKM Batik	IKM Batik Pekalongan
2011	Ketua Penelitian Pengelolaan Sampah Perkotaan	BLH Provinsi Jateng
2012	Ketua Pengabdian Masyarakat Dana Hibah Bersaing “IbPE Batik Pekalongan” Tahap III.	Ditlitabmas-Dikti
2012	Pemberdayaan IKM Tempe di Kabupaten Sukoharjo	Polines
2012	Ketua Penelitian DED Penghilang Bau PP Tegal	BLH Provinsi Jateng
2012	Asisten Tenaga Ahli Penyusunan Pengelolaan Kawasan Cagar Alam di Wilayah Pulau Nusakambangan, Cilacap, Jawa Tengah	BKSDA Provinsi Jawa Tengah
2013	Ketua Penelitian Hibah Doktor	Ditlitabmas-Dikti
2014	Penelitian Penggunaan Limbah Asetilen Sebagai Filler Dalam Aspal Beton Campuran Panas AC-WC	Jurusan Teknik Sipil, Polines
2014	Pengabdian Masyarakat Penerapan Teknologi Pengelolaan Air Hujan Dengan Lubang Resapan Biopori Bagi Masyarakat Kelurahan Tembalang, Kecamatan Tembalang, Kota Semarang	Jurusan Teknik Sipil, Polines
2014-skr	Fasilitator Pesawat Angkat, K3 Migas, dan K3 Kebakaran	Lembaga Sertifikasi