

## Kondisi Intrusi Air Laut Terhadap Air Tanah Pada Akuifer di Kota Semarang Edy Suhartono<sup>1)\*</sup>, Purwanto<sup>2)</sup> dan Suripin<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Program Doktor Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

<sup>2)</sup> Staf Pengajar Program Doktor Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

<sup>3)</sup> Staf Pengajar Program Doktor Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

\*Email : edymaryamah@gmail.com

### ABSTRAK

Kota Semarang sebagai kota pantai merupakan wilayah yang berpotensi mengalami intrusi air laut menjadi penting untuk diketahui, hal ini berhubungan dengan program pembangunan berkelanjutan yang mengutamakan pelestarian lingkungan sehingga tindakan pengawasan dan pengendalian terhadap pemakaian air tanah perlu dilakukan.

Pencemaran pada air tanah merupakan masalah yang sangat serius karena menyebabkan kualitas air tanah menurun. Intrusi air laut merupakan salah satu sumber pencemaran terhadap air tanah yang mengakibatkan kandungan garam dalam air tanah tinggi, dalam hal ini diidentifikasi oleh besarnya konsentrasi klorida (Cl) yang berasal dari air laut melalui transportasi massa klorida (Cl) pada air tanah dan volume air tanah yang berkualitas sesuai baku mutu menjadi sangat terbatas.

Fokus dari penelitian ini melakukan identifikasi sebaran intrusi air laut terhadap air tanah di kota Semarang. Metode penelitian yang digunakan adalah menentukan sumur pantau yang dikelola Dinas ESDM sebagai titik sampel, selanjutnya mengukur tingkat konsentrasi klorida (Cl) dari waktu ke waktu secara berurutan. Untuk membantu ilustrasi sebaran digunakan metode surfer dan untuk menghitung hubungan perubahan tingkat konsentrasi klorida (Cl) terhadap perubahan waktu (t) digunakan uji korelasi statistik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada kecenderungan intrusi air laut mengarah ke tenggara dan terdapat korelasi antara perubahan tingkat konsentrasi klorida (Cl) terhadap perubahan waktu (t).

**Kata kunci :** intrusi air laut, klorida (Cl), air tanah.

### ABSTRACT

*Semarang as the town beach is an area of potentially experiencing seawater intrusion is important to know, this is related to the sustainable development program that promotes the preservation of the environment so that measures of supervision and control of the use of ground water needs to be done.*

*Contamination in groundwater is a very serious problem because it causes water quality decline. Intrusion of sea water is one source of pollution to groundwater salinity resulting in high ground water, in this case identified by the concentration of chloride (Cl) derived from sea water through the mass transport chloride (Cl) in the ground water and the volume of groundwater an appropriate quality standards to be very limited.*

*The focus of this study to identify the distribution of seawater intrusion on groundwater in the city of Semarang. The method used is to determine the monitoring wells are managed the Department of Energy as a sample point, then measure the concentration levels of chloride (Cl) from time to time in sequence. To help illustrate the distribution of the surfer and the method used to calculate the rate of change in relation chloride concentration (Cl) to change the time (t) used statistical correlation test. The results showed that there is a trend of sea water intrusion leading to the southeast and there is a correlation between changes in the level of concentration of chloride (Cl) to change the time (t).*

**Keywords:** sea water intrusion, chloride (Cl), the ground water.

### 1. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk dan kegiatannya di wilayah pesisir Kota Semarang, baik pemukiman, pertanian, dan industri pada dua dasa warsa terakhir ini, diindikasikan telah menyebabkan menurunnya kuantitas dan kualitas air tanah. Hal ini terjadi, karena dalam memenuhi kebutuhan air, sebagian penduduk di wilayah pesisir Kota Semarang memanfaatkan air tanah. PDAM Kota Semarang menurut Sihwanto dan Sukrisno (2002) baru mampu memasok 46,9% air bersih untuk memenuhi kebutuhan penduduk, sehingga penduduk memanfaatkan air tanah dari sumur bor. Sumur bor pertama di kota Semarang menurut Putranto, T.T. dan Rude, T.R.(2011), dibuat pada tahun 1841, kemudian pada Tahun 1900 terdapat 16 buah sumur bor, pada Tahun 1990 menjadi 260 buah dan Tahun 2003 meningkat menjadi 1.194 buah sumur bor, sehingga selama lebih kurang 13 tahun telah terjadi peningkatan pemanfaatan air tanah dari sumur bor sebanyak 459%.

Kenaikan permukaan air laut, penurunan permukaan tanah dan pengambilan air tanah yang dilakukan secara terus-menerus (Abdullah, dkk, 2010) menyebabkan majunya air laut kearah darat utamanya terjadi pada akuifer dalam akan bercampur dengan air tanah dan menyebabkan penurunan kualitas air tanah tersebut. Pengambilan air tanah yang berlebihan menyebabkan banyaknya ruang kosong di dalam akuifer dan mengakibatkan tinggi muka air tanah lebih rendah dari pada permukaan air laut, perbedaan tinggi permukaan air tanah dengan permukaan air laut ini menyebabkan air laut yang mengandung unsur garam seperti klorida (Cl) merembes ke dalam air tanah sehingga menimbulkan pencemaran air tanah. Pencemaran air tanah (SNI 19-6728.1-2002) adalah masuknya unsur satuan, komponen fisika, kimia atau biologi ke dalam air bawah tanah dan/atau berubahnya tatanan air bawah tanah oleh kegiatan manusia atau oleh proses alami yang mengakibatkan mutu air bawah tanah turun sampai ke tingkat tertentu sehingga tidak lagi sesuai dengan peruntukannya.

Evaluasi terhadap permasalahan terjadinya intrusi air laut di wilayah pesisir kota Semarang sangat penting dilakukan dalam upaya pengelolaan sumberdaya air tanah, hal ini agar kuantitas dan kualitas pasokan air tanah dalam jangka panjang tetap terpenuhi. Kondisi intrusi air laut di wilayah pesisir kota Semarang dari waktu ke waktu perlu digambarkan, guna mengetahui trend dari proses intrusi air laut terhadap air tanah khususnya pada sumur bor. Informasi seperti ini diperlukan, karena bertambahnya penduduk dan kegiatannya pada masa yang akan datang semakin meningkat, sehingga pemanfaatan air tanah pada sumur bor juga semakin meningkat.

## **2. METODOLOGI**

### **2.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah pesisir Kota Semarang meliputi Kecamatan Semarang Utara, Kecamatan Semarang Tengah, Kecamatan Semarang Barat, dan Kecamatan Gayamsari. Waktu penelitian selama 2 (dua) tahun di lapangan. Penelitian tahun pertama difokuskan pada upaya pencarian referensi berupa artikel jurnal, buku dan hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan masalah intrusi air laut terhadap air tanah di wilayah pesisir Kota Semarang. Kemudian melakukan pendalaman tentang instrumen yang akan digunakan antara lain yaitu program SPSS untuk melakukan perhitungan statistik tentang uji korelasi dan program MATLAB untuk melakukan perhitungan persamaan differensial yang merupakan bentuk matematik dari persamaan transportasi massa dari air laut yang mengandung unsur Klorida (Cl) yang tinggi merembes menuju ke air tanah, dan mengakibatkan tercampurnya air laut dengan air tanah sehingga air tanah bersifat payau atau bahkan asin, sehingga air tidak dapat dimanfaatkan dengan semestinya. Pada tahun kedua, difokuskan pada penelitian lapangan dari mulai memilih lokasi penelitian, berupa sumur pantau untuk sumur bor dan melakukan pengambilan langsung, pengukuran, dan pencatatan sampel air tanah dari sumur bor tersebut.

Parameter kualitas air tanah untuk mengindikasikan telah terjadi intrusi air laut terhadap air tanah adalah tingkat konsentrasi Klorida (Cl), dimana parameter tersebut merupakan salah satu unsur kimia yang berasal dari air laut yang terkandung dalam senyawa garam. Dari referensi, ditemukan bahwa terdapat data yang mengikuti runtut waktu mulai tahun 1992 sampai dengan tahun 2008, tentang uji tingkat konsentrasi Klorida pada beberapa sumur pantau khususnya sumur bor yang dikelola oleh Dinas Energi dan Sumberdaya Mineral Provinsi Jawa Tengah (Dinas ESDM).

### **2.2 Desain Penelitian**

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif yang menggunakan metode survey dan disajikan dalam bentuk deskripsi analitik. Metode survey ditujukan untuk menggali informasi dari lapangan tentang terjadinya intrusi air laut terhadap air tanah di wilayah pesisir Kota Semarang. Dari survey lapangan digali informasi mengenai ketersediaan data tentang tingkat konsentrasi Klorida (Cl) pada sumur bor, dimana data tersebut merupakan hasil penelitian dari beberapa peneliti terdahulu tentang konservasi air tanah di Kota Semarang yang tersajikan secara runtut waktu.

Dari hasil penelitian terdahulu ini, kemudian dilakukan penelitian lapangan pada Tahun 2013, pengukuran kualitas sampel air tanah ini mengacu pada PERMENKES No. 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang standar air minum, selanjutnya dianalisis menggunakan program surfer untuk simulasi trend intrusi air laut di wilayah pesisir Kota Semarang. Langkah berikutnya adalah menggunakan diagram pencar untuk melihat apakah terdapat kecenderungan perubahan tingkat konsentrasi Klorida (Cl) terhadap perubahan waktu (t).

### **2.3 Populasi dan Sampel**

Populasi dari penelitian ini adalah Sumur bor di wilayah pesisir Kota Semarang, sedangkan sampel dari penelitian ini adalah Sumur pantau yang berlokasi di STM Perkapalan, PRPP, Pelabuhan Tanjung Mas, Kimia Farma, LIK Kaligawe, Simpang Lima, Sandratex dan PT Panca Jaya.

### **2.4 Variabel Penelitian**

Vaiabel dependen adalah tingkat konsentrasi Khlorida (Cl) dalam satuan mg/L, dan variabel independen adalah Waktu dalam satuan tahun.

## 2.5 Pengolahan Data

Data merupakan tingkat konsentrasi Khlorida (Cl) dalam satuan mg/L yang diperoleh dari hasil pengukuran sampel air tanah yang diambil dari survey lapangan di beberapa sumur bor yang terpilih sebagai sampel. Sampel air tersebut diujikan di Laboratorium air tanah Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah pada bulan Februari 2013. Hubungan antara parameter Khlorida (Cl) dengan lokasi sumur bor dan waktu penelitian disimulasikan menggunakan program surfer 8 guna mengetahui ilustrasi kecenderungan intrusi air laut di wilayah pesisir Kota Semarang. Selanjutnya hubungan tingkat konsentrasi Khlorida terhadap waktu disimulasikan menggunakan program SPSS 21 guna mengetahui apakah terdapat korelasi antara kedua variabel tersebut.

## 3. HASIL DAN DISKUSI

### 3.1 Kondisi Hidrogeologi

#### a. Penyebaran Jenis Tanah

Struktur geologi pada dataran rendah di wilayah Kota Semarang (Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah, 2003) terdiri dari endapan aluvial sungai, endapan fasies dataran delta dan endapan fasies pasang-surut. Endapan tersebut terdiri dari selang-seling antara lapisan pasir, pasir lanauan dan lempung lunak, dengan sisipan lensa-lensa kerikil dan pasir vulkanik. Wilayah dataran rendah Kota Semarang memiliki jenis tanah berupa struktur pelapukan, endapan, dan lanau yang dalam. Jenis Tanah di Kota Semarang meliputi kelompok mediteran coklat tua, latosol coklat tua kemerahan, asosiasi aluvial kelabu, Alluvial Hidromorf, Grumosol Kelabu Tua, Latosol Coklat dan Komplek Regosol Kelabu Tua. Kurang lebih sebesar 30 % wilayah Kota Semarang memiliki jenis tanah mediteran coklat tua, 26 % memiliki jenis tanah latosol coklat tua, 22 % memiliki geologi jenis tanah asosiasi kelabu dan aluvial coklat kelabu, dan 22% sisanya merupakan jenis tanah alluvial hidromorf dan grumosol kelabu tua.

#### b. Potensi Air Tanah

Kondisi air tanah dibedakan menjadi *Air Tanah Bebas* dan *Air Tanah Tertekan*. *Air Tanah Tertekan* merupakan air yang terkandung di dalam suatu lapisan pembawa air yang berada diantara 2 lapisan batuan kedap air sehingga memiliki debit tetap dan kualitas yang pada umumnya memenuhi syarat sebagai air bersih. Debit air ini sedikit sekali dipengaruhi oleh musim dan keadaan di sekelilingnya. Akuifer pada wilayah pesisir Kota Semarang umumnya berupa endapan alluvial dan Delta Garang yang memiliki kedalaman antara 60 meter sampai dengan 90 meter, terutama di wilayah Kecamatan Semarang Barat dan lebih dari 90 meter di wilayah Kecamatan Semarang Timur dan Kecamatan Semarang Utara. Kelompok akuifer Delta Garang ini merupakan kelompok akuifer utama, karena merupakan sumber air tanah yang potensial dan bersifat tawar. Selanjutnya untuk wilayah Semarang yang berbatasan dengan kaki perbukitan, akuifernya terletak pada endapan pasir dan konglomerat formasi damar pada kedalaman antara 50 - 90 meter.

### 3.2 Kondisi Intrusi air laut di wilayah pesisir Kota Semarang

Kondisi air tanah yang telah terintrusi oleh air laut diidentifikasi dari besarnya nilai konsentrasi khlorida pada air tanah yang telah diukur di laboratorium Air Tanah Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah. Pada PERMENKES No. 492/MENKES/PER/IV/2010 telah ditegaskan bahwa untuk sampel air tanah yang memiliki nilai konsentrasi khlorida (Cl) kurang dari 250 mg/L, dinyatakan berkualitas baik dan layak digunakan untuk air minum, selanjutnya untuk sampel air tanah yang memiliki nilai konsentrasi khlorida (Cl) lebih dari atau sama dengan 250 mg/L, maka dinyatakan bahwa air tanah tersebut berkualitas buruk dan tidak layak untuk digunakan sebagai air minum, air tersebut memiliki tingkat salinitas yang tinggi akibat dari proses intrusi air laut yang memiliki nilai konsentrasi khlorida (Cl) lebih dari 1000 mg/L kedalam air tanah tersebut dan dikatakan air tanah telah tercemar.

Pengukuran nilai konsentrasi khlorida (Cl) pada air tanah telah dilakukan para peneliti terdahulu antara lain oleh Mulyana, Wahid, Sihwanto dan Hadi yang dimulai dari Tahun 1992 sampai dengan Tahun 2008, menggunakan beberapa sampel air tanah yang berasal dari Sumur Pantau yang dikelola oleh Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah tersebut.

#### a. Sebaran Tingkat Konsentrasi Khlorida(Cl)

Tingkat konsentrasi khlorida (Cl) yang terkandung di dalam air tanah pada sumur pantau terhadap letak sumur dari Garis Pantai dari tahun 1992 sampai dengan tahun 2013, berdasarkan data sekunder disajikan oleh Tabel 1 berikut :

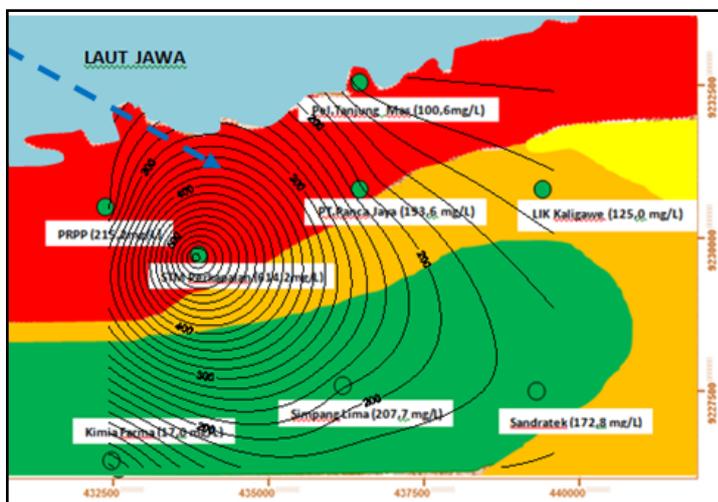
**Tabel 1.** Tingkat Konsentrasi Cl Pada Air Tanah Sumur Pantau Kota Semarang

Sumur Pantau	Nilai Cl (mg/L)						
	1992*	1994**	1996**	1998***	2000***	2008****	2013*****
STM Perkapalan	614,2	912,5	760,5	903,0	898,2	1.200,6	2.020,0
PRPP	215,2	524,9	663,6	774,7	885,9	924,4	963,0
Pel.Tanjung Mas	100,6	101,4	163,9	112,6	540,1	650,3	794,8
Kimia Farma	17,0	27,9	27,2	23,8	17,0	22,4	27,0
LIK Kaligawe	125,0	210,9	249,8	435,3	246,7	375,1	1.349,6
Simpang Lima	207,7	215,2	210,6	253,2	246,2	252,4	293,0
Sandratex	172,8	153,8	164,1	152,3	137,5	164,1	217,0
PT Panca Jaya	193,6	201,1	321,3	375,2	431,8	367,2	478,9

**Keterangan :** Hasil Penelitian: \*)Mulyana; \*\*)Wahid; \*\*\*)Sihwanto; \*\*\*\*) Hadi; \*\*\*\*\* Edy Suhartono

**b. Peta Sebaran Nilai Khlorida (Cl)**

Sebaran dari konsentrasi khlorida tersebut diilustrasikan dalam gambar peta dengan menggunakan metode Kriging dan menggunakan program komputasi Surfer 8 disajikan oleh Gambar 1.



Keterangan Gambar : warna merah&kuning = akuifer rendah; warna hijau = akuifer baik/tinggi

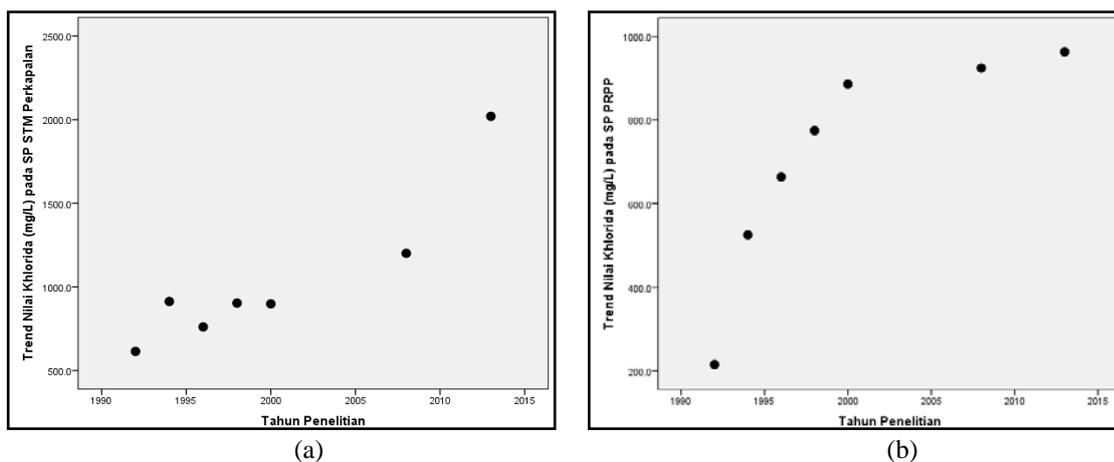
**Gambar 1.** Tingkat Konsentrasi Khlorida (Cl) pada Tahun 1992.

Pada Gambar 1, diilustrasikan pada Tahun 1992, air tanah di sumur pantau pada akuifer rendah (warna merah), STM Perkapalan berjarak 2.082,6 meter dari garis pantai memiliki tingkat konsentrasi khlorida (Cl) sebesar 614,2 mg/L dan telah melebihi baku mutu sebesar 250 mg/L (PERMENKES No. 492/MENKES/PER/IV/2010), hal ini selain disebabkan oleh Potensi Air Tanah Rendah pada Akuifer Dangkal dan pada Non Akuifer dibawahnya, juga disebabkan oleh tingkat kepadatan dan kegiatan penduduk yang tinggi ditandai dengan banyaknya sumur di wilayah tersebut. PRPP berjarak 1.194,1 meter dari garis pantai memiliki tingkat konsentrasi khlorida (Cl) sebesar 215,2 mg/L dan masih dibawah baku mutu, hal ini terjadi karena pada Tahun 1992, kegiatan dan kepadatan penduduk di wilayah sumur pantau ini masih rendah. Pel. Tanjung Mas berjarak 458,9 meter dari garis pantai (di halaman Masjid Pelabuhan) memiliki tingkat konsentrasi khlorida (Cl) sebesar 100,6 mg/L dan masih dibawah baku mutu, hal ini terjadi karena pada tahun ini, wilayah pelabuhan masih banyak lahan kosong dan kegiatan penduduk masih rendah. PT. Panca Jaya berjarak 739,7 meter dari garis pantai memiliki tingkat konsentrasi khlorida (Cl) sebesar 193,6 mg/L dan masih dibawah baku mutu, hal ini terjadi karena pada tahun ini, kegiatan di PT Panca Jaya masih rendah dan lahan sekitar PT Panca Jaya masih banyak yang belum dimanfaatkan. Kemudian air tanah di sumur pantau pada akuifer rendah (warna kuning tua) yaitu LIK Kaligawe berjarak 2.737,2 meter dari garis pantai memiliki tingkat konsentrasi khlorida (Cl) sebesar 125,0 mg/L dan masih dibawah baku mutu, hal ini terjadi karena pada tahun ini, kegiatan di LIK Kaligawe masih rendah dan lahan sekitar LIK Kaligawe masih banyak yang belum dimanfaatkan. Selanjutnya air tanah di sumur pantau pada akuifer tinggi (warna hijau) yaitu Kimia Farma, Simpang Lima dan Sandratex. Kimia Farma berjarak 5.686,4 meter dari garis pantai memiliki tingkat konsentrasi khlorida (Cl) sebesar 17,0 mg/L dan masih dibawah baku mutu, hal ini selain karena berada di kawasan akuifer yang baik, juga karena jaraknya sangat jauh dari garis pantai. Simpang Lima berjarak 3.853 meter dari garis pantai memiliki tingkat konsentrasi khlorida (Cl) sebesar 207,7 mg/L dan masih dibawah baku mutu, hal ini selain karena berada di

kawasan akuifer yang baik dan jarak yang cukup jauh, juga karena kegiatan dan kepadatan penduduk di sekitar kawasan masih rendah. Sandratex berjarak 5.981,2 meter dari garis pantai memiliki tingkat konsentrasi khlorida (Cl) sebesar 172,8 mg/L dan masih dibawah baku mutu, hal ini selain karena berada di kawasan akuifer yang baik dan jarak yang sangat jauh, juga karena kegiatan dan kepadatan penduduk di sekitar kawasan masih rendah. Dari simulasi gambar menginformasikan bahwa pada Tahun 1992, intrusi air laut mulai terjadi di sekitar wilayah kelurahan Panggung Kidul, Kecamatan Semarang Utara dengan tren sebaran konsentrasi khlorida (Cl) tinggi cenderung dari Barat Laut ke arah Tenggara. Sampai dengan Tahun 2013, tren tersebut masih terilustrasi pada peta sebaran yang tidak ditampilkan pada artikel ini.

**c. Grafik hubungan Tingkat Konsentrasi Khlorida (Cl) terhadap Waktu**

Hubungan tingkat konsentrasi khlorida (Cl) yang terkandung di dalam air tanah pada sumur pantau dari hasil penelitian periode 1992 – 2013 dengan waktu penelitian, dapat disajikan dalam bentuk diagram sebagai berikut :



**Gambar 2.** Grafik Tingkat konsentrasi khlorida (Cl) di Sumur Pantau (a). STM Perkapalan dan (b) PRPP

Pada Gambar 2(a), grafik tingkat konsentrasi khlorida (Cl) di Sumur Pantau STM Perkapalan menunjukkan trend meningkat mengikuti periode waktu, hal ini . mengindikasikan bahwa telah terjadi intrusi air laut pada sumur pantau STM Perkapalan yang berlokasi di Kelurahan Panggung Kidul, Kecamatan Semarang Utara sejak awal tahun penelitian dengan trend meningkat pada setiap tahunnya dengan nilai konstanta korelasi  $R = 0,704$ , Sedangkan pada Gambar 2(b), grafik tingkat konsentrasi khlorida (Cl) di Sumur Pantau PRPP menunjukkan trend yang sama dan mengindikasikan bahwa intrusi air laut juga telah terjadi pada sumur pantau PRPP yang berlokasi di Kelurahan Tawang Mas, Kecamatan Semarang Utara sejak tahun 1993 dengan trend meningkat pada setiap tahunnya dengan nilai konstanta korelasi  $R = 0,997$ .

**4. KESIMPULAN**

Kesimpulan dari uraian tersebut diatas adalah :

1. Tingkat konsentrasi Khlorida (Cl) pada sumur yang berlokasi di wilayah yang memiliki akuifer rendah pada umumnya memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah yang memiliki akuifer baik/tinggi.
2. Pada Tahun 1992, baru air tanah di sumur bor di sekitar kelurahan Panggung Kidul yang mengalami intrusi air laut, tetapi seiring bertambahnya waktu sejak Tahun 2000 sampai dengan sekarang, sumur bor di wilayah Kecamatan Semarang Utara, Semarang Tengah dan Gayamsari perlu diwaspadai telah terjadi intrusi air laut dengan tingkat konsentrasi Khlorida yang cukup tinggi.
3. Hasil simulasi pada peta sebaran menunjukkan bahwa trend terjadinya intrusi air laut condong dari Barat Laut ke arah Tenggara.
4. Dari diagram pencar menunjukkan bahwa tingkat konsentrasi Khlorida (Cl) pada sebagian besar sumur bor meningkat seiring dengan bertambahnya waktu.

## 5. REFERENSI

- Abdullah, M.H., Raveena, S.R., Aris A.Z. 2010, *A Numerical Modelling of Seawater Intrusion into an Oceanic Island Aquifer, Sipadan Island, Malaysia*, Sains Malaysiana. Malaysia.
- Dinas Pertambangan dan Energi Propinsi Jawa Tengah dan Direktorat Tata Lingkungan Geologi dan Kawasan Pertambangan, 2003, *Kajian Zonasi Konfigurasi dan Tata Guna Air Bawah Tanah pada Cekungan Semarang-Demak*.
- Hadi, S., 2008, *Penelitian Hidrologi Daerah Imbuhan Air Tanah Dengan Metode Isotop dan Hidrokimia di CAT Semarang Demak Tahap II*, Laporan No.16/ Lap/ BGE P2K/ 2008, Sub. Direktorat Hidrologi, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Dirjen Geologi dan Sumberdaya Mineral, Bandung.
- Mulyana, A., 1994, *Konservasi Air Tanah Daerah Semarang Demak dan Sekitarnya*, Laporan No. 07/HGKA/1994, Sub. Direktorat Hidrologi, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Dirjen Geologi dan Sumberdaya Mineral, Bandung.
- Kementerian Kesehatan RI, 2010, *Baku Mutu Air Minum* dalam PERMENKES No. 492/MENKES/PER/IV/2010.
- Putranto, T.T., Rüde, T.R., 2011, *Groundwater Problems in Semarang Demak Urban Area, Java/Indonesia*, RWTH Aachen University, Institute of Hydrogeology, Germany
- Sihwanto., Iskandar, N., 1999, *Konservasi Air Tanah Daerah Semarang*, Laporan No. 36/ Lap/ PHPA/1999, Sub. Direktorat Hidrologi, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Dirjen Geologi dan Sumberdaya Mineral, Bandung.
- Sihwanto., Budi, M.R., 2000, *Konservasi Air Tanah Daerah Semarang*, Sub. Direktorat Hidrologi, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Dirjen Geologi dan Sumberdaya Mineral, Bandung
- Taufik, A., 2010, *Konservasi Air Tanah Daerah Semarang Demak dan Sekitarnya*, Laporan No. 145/Lap BGE P2K/2010, Sub. Direktorat Hidrologi, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Dirjen Geologi dan Sumberdaya Mineral, Bandung.
- Wahid, H., 1996, *Konservasi Air Tanah Daerah Semarang Demak dan Sekitarnya*, Laporan No. 25/Lap/PHPA/1996, Sub. Direktorat Hidrologi, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Dirjen Geologi dan Sumberdaya Mineral, Bandung.