

INTRUSI AIR LAUT DI KABUPATEN PEMALANG

Karuniadi Satrijo Utomo

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang (UNNES)
Gedung E4, Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229
email: utomo_unnes@yahoo.com

Abstract: *One of water supply problem at coastal areas of Pemalang Regency is saltwater intrusion. Aims of this study are to predict that saltwater intrusion and its map, also to prepare suitable efforts to reduce that problem. Result of this study shows that saltwater intrusion at unconfined aquifers on coastal areas of Comal and Ulujami Districts will reach 5.8 km length from their shorelines and at their confined aquifers will reach 4.0 km length from their shorelines in 2013. Whilst, saltwater intrusion at both confined and unconfined aquifers on coastal areas of Pemalang, Taman, and Petarukan Districts will only reach less than 1 km length from their shorelines in 2013. For reducing that problem in the future, it is important to cultivate mangrove, to control sink discharge from the existing well pumps, and to build more collective deep wells.*

Keywords: *saltwater intrusion, coastal areas*

Abstrak: Satu di antara masalah penyediaan air baku di daerah pantai Kabupaten Pemalang adalah Intrusi air laut. Tujuan studi ini adalah untuk memprediksi dan memetakan intrusi air laut di wilayah tersebut, serta menyiapkan upaya pengendaliannya. Hasil studi ini menunjukkan bahwa intrusi air laut pada *aquifer* bebas di Kecamatan Comal dan Ulujami akan mencapai 5,8 km dari garis pantai dan pada *aquifer* tertekan akan mencapai 4,0 km dari garis pantai di tahun 2013. Sementara itu, intrusi air laut pada *aquifer* bebas maupun tertekan di Kecamatan Pemalang, Taman, dan Petarukan masih akan mencapai kurang dari 1 km dari garis pantai di tahun 2013. Untuk mereduksi masalah itu di masa datang, penting dilakukan reboisasi mangrove, pengendalian debit pemompaan dari sumur-sumur yang ada, dan membangun sumur-sumur dalam kolektif.

Kata kunci: *Intrusi air laut, daerah pantai*

PENDAHULUAN

Kabupaten Pemalang merupakan satu di antara kabupaten di Provinsi Jawa Tengah Indonesia yang memiliki daya dukung lahan daerah pantai berpotensi besar, khususnya di Kecamatan Pemalang, Taman, Petarukan, Comal, dan Ulujami. Potensi tersebut secara giat terus dikembangkan guna mempercepat peningkatan kesejahteraan masyarakatnya. Upaya tersebut perlu didukung pembangunan sarana maupun prasarana penyediaan air baku untuk kebutuhan domestik dan industri, baik melalui perusahaan daerah, perusahaan swasta, maupun swadaya masyarakat. Kini, upaya penyediaan air baku di daerah pantai Kabupaten Pemalang dihadapkan masalah adanya keresahan masyarakat akan cepatnya perluasan daerah intrusi air laut ke daratan.

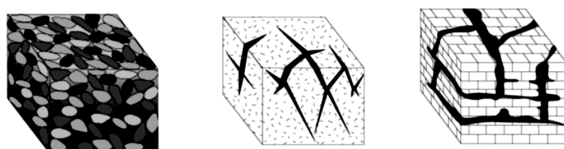
Guna mengetahui kondisi Intrusi air laut dan upaya penanganannya dilakukan studi. Hasil studi akan dituangkan dalam peraturan daerah (Perda) eksploitasi dan konservasi air tanah di daerah intrusi air laut maupun rawan intrusi air laut. Hasil studi dan Perda dimaksud diharapkan mempermudah upaya eksplorasi dan eksploitasi air tanah bagi pihak-pihak yang berkompeten dan dapat memberikan jaminan lebih memadai bagi masyarakat di daerah Intrusi dalam mengkonsumsi air tanah.

INTRUSI AIR LAUT

Intrusi air laut merupakan satu di antara fenomena alam yang umum dijumpai di daerah pantai. Namun, pada kondisi daerah pantai di mana akan dikembangkan potensinya menjadi permukiman maupun tujuan wisata, fenomena

intrusi air laut yang semula wajar/biasa dapat menjadi masalah pelik. Hal itu karena intrusi air laut dapat menjadi penghalang eksploitasi air tawar untuk memenuhi kebutuhan air baku domestik maupun industri.

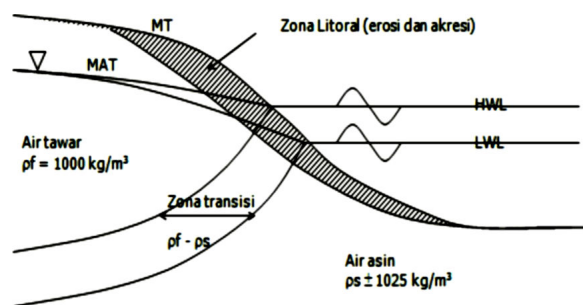
Intrusi air laut berkaitan erat dengan air tanah mengingat eksploitasi air tawar untuk air baku umum diambil dari dalam tanah. Air tanah menurut Barlow (2003) diklasifikasikan: (1) Air Tanah Dangkal adalah air di bawah permukaan tanah hingga kedalaman 90 m dari permukaan tanah di mana lapis kedap air berada. Air tanah ini membentuk permukaan air sebagaimana permukaan air pada sumur-sumur penduduk. Zone formasi geologi tanah yang ditempati molekul air disebut "aquifer". Air tanah dapat berada pada pori-pori tanah, retakan, dan rongga-rongga pada *aquifer*. (2) Air Tanah Dalam, sering disebut air artesis, berada pada kedalaman lebih dari 90 m dari muka tanah. Diklasifikasikan: (a) Air Tanah Tidak Tertekan/ Bebas (*unconfined aquifer*) adalah *aquifer* yang dibatasi oleh permukaan air tanah (*water table*) di bagian atas dan lapisan kedap air di bagian bawah. (b) Air Tanah Tertekan (*Confined Aquifer*) yaitu *aquifer* yang di bagian atas dan bawahnya dibatasi oleh lapisan kedap air. (c) Air Tanah Semi Tertekan (*Semi-Confined Aquifer*) adalah air tanah tertekan yang *aquifernya* masih berhubungan secara tidak langsung dengan air tanah bebas.



(a) pori-pori tanah (b) retakan batuan (c) rongga batuan
Sumber: USGS (2003)

Gambar 1. Jenis-jenis Aquifer

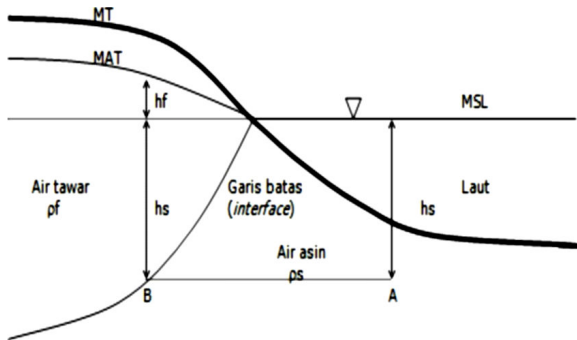
Pada kondisi aliran normal, Gambar 2, air tawar dengan rapat massa $\rho_f = 1000 \text{ kg/m}^3$ mengalir dari darat ke laut di bagian atas zone percampuran, sedang air laut dengan rapat massa $\rho_s \approx 1025 \text{ kg/m}^3$ mengalir ke darat di bagian bawah. Pasang surut mengakibatkan elevasi muka air laut berubah tiap saat, misal pasang atau muka air tinggi (*High Water Level, HWL*) dan surut atau muka air rendah (*Low Water Level, LWL*). Elevasi permukaan air tanah juga berubah menyesuaikan pasang surut. Zona litoral merupakan zona yang tidak stabil akibat erosi dan akresi oleh gelombang, angin, atau pun sebab lainnya. Zona transisi merupakan zona pertemuan antara air tawar dan air asin. Makin ke bawah, kadar garam di zona ini makin besar karena campuran air tawar dan laut bersifat terlarut (*miscible fluids*). Lokasi zona ini sangat sulit ditentukan secara teoritik maupun pengukuran di lapangan (Das Gupta-Gaikwad, 1988 dalam Istiarto, 1990).



Sumber: Das Gupta-Gaikwad (1988)

Gambar 2. Aliran Air Tanah di Daerah Pantai

Ghyben dan Herzberg (dalam Todd D.K., 1959, McWhorter dan Sunada, 1977, dan Bear, J. 1979) menyederhanakan lokasi zona transisi sebagaimana tampak pada Gambar 3. Muka air laut dipilih Muka Air Rata-rata (*Mean Sea Level, MSL*). Garis Batas (*interface*) adalah elevasi air yang mempunyai kadar garam rata-rata air tawar dan air asin.

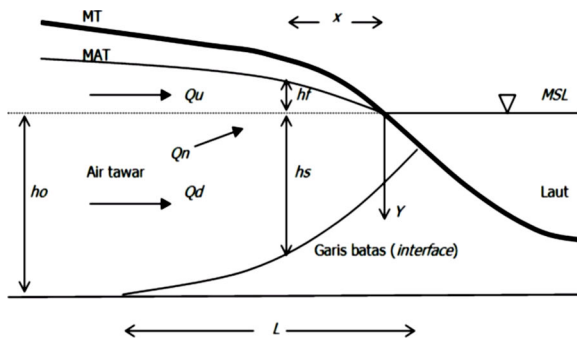


Sumber: Das Gupta-Gaikwad (1988)

Gambar 3. Idealisasi Aliran Air Tanah Ghyben-Herzberg di Daerah Pantai

Mengacu Hukum Pascal di titik A dan B, didapat persamaan intrusi Das Gupta-Gaikwad (1988) yang diturunkan dari persamaan terdahulu oleh Ghyben dan Herzberg yaitu:

$$hs = \frac{\rho f}{\rho s + \rho f} hf \quad \dots \dots (1)$$



Sumber: Das Gupta-Gaikwad (1988)

Gambar 4. Aliran Air Tanah di Daerah Pantai pada Kondisi Aliran Normal

Das Gupta-Gaikwad juga menyatakan $Q_n = Q_u + Q_d$ dengan Q_n : debit air tawar normal pada akuifer, Q_u : debit air tawar bagian atas antara muka air tanah (MAT) dan MSL, dan Q_d : debit air tawar bagian bawah antara MSL dan dasar akuifer, maka panjang intrusi (L):

$$Q_n = \alpha(1 + \alpha)KL \left\{ \left[1 + \left(\frac{ho}{L} \right)^2 \right]^{0,5} - 1 \right\} \quad (2)$$

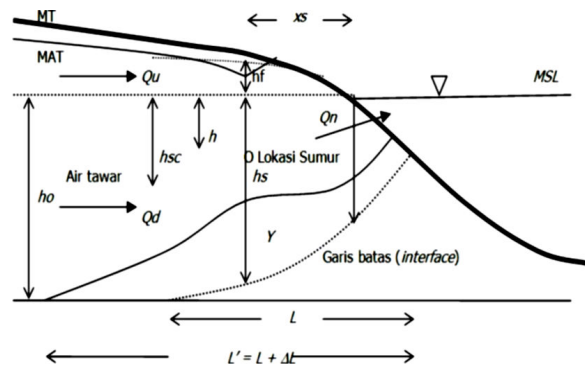
dengan K : konduktivitas hidraulik tanah dan α : selisih rapat masa relatif air asin terhadap air tawar, ($\alpha = \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f}$).

Bentuk umum persamaan profil garis batas dapat ditulis menjadi:

$$\frac{hs}{ho} = \left\{ 1 - \frac{2m^2}{\beta} \left[\left(1 + \frac{\beta}{m^2} \right)^{0,5} - 1 \right] (1 - (x)) \right\}^{0,5} \quad (3)$$

dengan $m = L/ho$ dan $\alpha = 1$, $(x) = x/L$

Pada kondisi aliran dengan pemompaan, pemompaan mengakibatkan panjang intrusi bertambah jauh ke daratan, makin naiknya profil garis batas (*upconing*), dan penurunan MAT (*drawdown*), lihat Gambar 5.



Sumber: Das Gupta-Gaikwad (1988)

Gambar 5. Aliran Air Tanah di Daerah Pantai pada Kondisi Aliran dengan Pemompaan

Pertambahan jangkauan/ panjang intrusi air asin ke daratan (ΔL) dihitung dengan syarat batas:

$$x = xs ; hs = hsc \text{ dan } x = L' ; hs = ho$$

serta debit asli yang menuju ke laut (Q_n).

$$\Delta m = \frac{\Delta L}{ho} = (m) + \frac{\beta}{2m} \left\{ \frac{\left[1 - \left(\frac{hsc}{ho} \right)^2 \right]}{\left[\left(1 + \frac{\beta}{m^2} \right)^{0,5} - 1 \right]} \right\} - m \quad (4)$$

Profil garis batas dicari untuk daerah antara garis pantai dan sumur pompa ($0 \leq x \leq xs$) dengan debit air tawar Q_s serta antara sumur pompa dan batas hulu ($xs \leq x \leq L'$) dengan debit air tawar Q_n . Dalam hal ini, debit sumur pompa adalah $Q_w = Q_n - Q_s$.

Jika $x' = x/xs$, maka bentuk persamaan non-dimensional profil garis batas di bagian hilir sumur pompa ($0 \leq x' \leq 1$):

$$\frac{hs}{ho} = \left\{ \frac{(m)^2}{\beta} (x-1)[(x-1)+2x'] \right\}^{0,5} \quad (5)$$

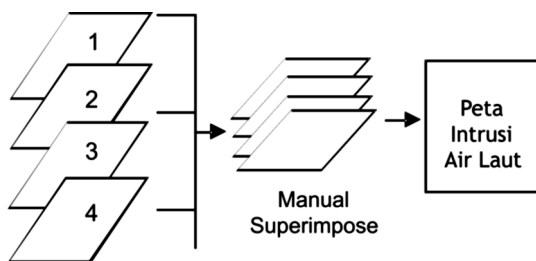
dengan $x = \left\{ 1 + \beta \left[\frac{hsc}{xs} \right]^2 \right\}^{0,5}$

sedang di bagian hulu sumur pompa ($1 \leq x' \leq (m + \Delta m)/(m)$):

$$\frac{hs}{ho} = \left\{ \frac{2m(m)}{\beta} \left[\left(1 + \frac{\beta}{m^2} \right)^{0,5} - 1 \right] (x'-1) + \left(\frac{hsc}{ho} \right)^2 \right\}^{0,5} \quad (6)$$

METODE PEMETAAN

Teknik superimpose digunakan atas peta-peta hasil analisis yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya, lihat Gambar 6.



Keterangan:

1. Peta Kelerengan
2. Peta Air Bawah Permukaan
3. Peta Jenis Tanah
4. Peta Guna Lahan

Gambar 6. Proses Peta Superimpose

Tabel 1. Sumur yang Terintrusi Air Laut

No.	Kategori Sumur	Nama Pemilik	Desa/ Kelurahan	Kecamatan	Parameter Cl (mg/l)
1.	Sumur Dangkal	Sutiah	Wonokromo	Ulujami	75
		Balai Desa	Mojo	Ulujami	45
		Zaenudin	Sugihwaras	Pemalang	50
2	Sumur Dalam	Kuswati	Wonokromo	Ulujami	55
		Masjid Baiturohman	Mojo	Ulujami	30
		Ponpes "Nurul Athfal"	Pesantren	Ulujami	15

Kadar Cl pada sampel-sampel air sumur dianalisa berdasarkan syarat-syarat kualitas air bersih Permenkes Nomor 416/MenKes/Per/IX/1990, di mana dinyatakan ambang baku mutu

DATA HASIL SURVEY DAN ANALISA KIMIA DI LABORATORIUM

Data analisis intrusi air laut diukur ketika survey di lapangan, a.l.: koordinat lokasi sumur, permukaan air sumur, dan kegunaannya. Nilai-nilai parameter intrusi diuji di laboratorium dari sumur-sumur yang diambil airnya sebagai sampel pengujian. Lokasi sumur-sumur sampel disajikan bersama hasil analisis dalam Gambar 9 dan 10. Sedang karakteristik lainnya dari sumur-sumur dimuat dalam Tabel 1.

Kondisi intrusi air laut pada sumur-sumur penduduk dilihat pada parameter kimia khlorida (Cl), yang dihasilkan dari analisa laboratorium atas sampel-sampel air sumur bersangkutan.

Di antara 37 Sumur Dalam (SDL) dan Sumur Dangkal (SDK) yang diambil sebagai sampel, hanya 6 sumur mengandung Cl. Hal itu mengindikasikan hanya 6 sumur di antara 37 sumur telah terintrusi air laut. Di antara 6 sumur yang telah terintrusi itu, 1 sumur berupa Sumur Dangkal terletak di Desa Sugihwaras Kecamatan Pemalang. Lima sumur lainnya berada di Desa Wonokromo, Mojo, dan Pesantren di Kecamatan Ulujami. Dua di antaranya berupa Sumur Dangkal dan 3 sumur lainnya berupa Sumur Dalam.

parameter Cl adalah 600 mg/lit. Batas ambang baku mutu kadar Cl untuk air bersih itu setara dengan 95% kandungan Cl terlarut dalam air atau salinitas 33,73 ppt yang berlokasi di

daratan. Sedangkan nilai 100% berada di laut/garis pantai, setara dengan kandungan Cl sebesar 631,58 mg/lit atau salinitas 35,51 ppt.

Seluruh Sumur Dangkal yang diamati dan diambil airnya di wilayah studi rata-rata memiliki kedalaman antara 4 – 10 m. Kedalaman muka air sumur (air tanah setempat) pada musim penghujan dalam kisaran kurang dari 4 – 8 m. Sedangkan pada musim kemarau, kedalaman air tanah lebih dari 10 m, kecuali di Kecamatan Pemalang rata-rata lebih dari 6 m dan di Kecamatan Ulujami antara 3 – 6 m.

Kedalaman Sumur Dalam di wilayah studi antara 80 sampai dengan lebih dari 100 m. Berlainan dengan air Sumur Dangkal setempat yang hampir seluruhnya diambil dengan timba, pengambilan air Sumur Dalam harus dilakukan memakai pompa. Dari hasil survey, debit pompa Sumur Dalam di 5 kecamatan antara 1 – 2 ltr/dt. Pompa-pompa sumur di Kecamatan Petarukan dioperasikan sekitar 8 jam per hari; di Kecamatan Taman sekitar 12 jam per hari; sedangkan di Kecamatan Pemalang, Comal, dan Ulujami pompa-pompa sumur tersebut dioperasikan sekitar 24 jam per hari.

Air Sumur-sumur Dangkal tersebut digunakan untuk penyediaan air MCK, penyiraman tanaman, dan minuman ternak. Sedangkan khusus di Kecamatan Petarukan, Comal, dan Ulujami, air Sumur Dangkal digunakan pula sebagai air baku untuk pemenuhan kebutuhan air minum penduduk, di samping untuk air minum ternak. Hal ini disebabkan, kebutuhan air minum maupun air baku penduduk pada ketiga kecamatan tersebut sampai kini belum terlayani air baku dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM).

Kegunaan air Sumur Dalam di Kecamatan Pemalang adalah untuk mendukung Industri

(SPBU), di samping untuk MCK. Khusus di Kecamatan Comal dan Ulujami, air Sumur Dalam dimanfaatkan guna memenuhi kebutuhan banyak warga, seperti pondok pesantren dan kolektif untuk beberapa Kepala Keluarga (KK), di samping keperluan rumah tangga pribadi.

Tabel 2. Data Perhitungan Intrusi Air Laut

No	Jenis data	Satuan	Nilai
1.	Rapat massa air tawar	kg/m ³	1.000
2.	Rapat massa air laut	kg/m ³	1.025
3.	Kedalaman akuifer	m	20 – 40
4.	Konduktivitas hidraulik	m/hr	45 – 45
5.	Kadar Cl rata-rata	mg/l	65
6.	Lokasi sumur	m	100
7.	Kedalaman MAT	m	6
8.	Debit pemompaan	ltr/det	2

Di samping data primer, diperlukan pula data sekunder dalam studi ini, yaitu data dari instansi-instansi terkait yang memberi dukungan dalam pelaksanaan studi, meliputi: (a) catatan tahunan pemeriksaan kandungan Klorida (Cl) di daerah intrusi air laut, (b) peta topografi, (c) peta geologi, (d) peta CAT Pemalang, (e) peta guna lahan, (f) catatan pasang surut di perairan pantai Daerah Pantai Pemalang, dan (g) demografi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasar interpretasi data hidrologi, geologi, geokimia, hasil analisa laboratorium, dan pengukuran di lapangan dapat disusun hasil perhitungan sebagai berikut.

Debit air tawar yang tersedia pada *aquifer* pada kondisi aliran normal maupun aliran dengan pompa (Q_n) dihitung dengan Persamaan (2) dengan kondisi batas sumur pada $x_1 = 100$ m; $h_{s1} = 10$ m dan $x_2 = 150$ m; $h_{s2} = 15$ m.

Profil garis batas pada aliran normal dihitung dengan Persamaan (3), sedangkan

profil garis batas pada kondisi aliran dengan pompa dihitung dengan Persamaan (5) dan (6). Hasil hitungan pada titik Hitung A (tampak samping intrusi A□A) disajikan berurutan pada Tabel 3 dan 4, serta Gambar 7. Selengkapnya,

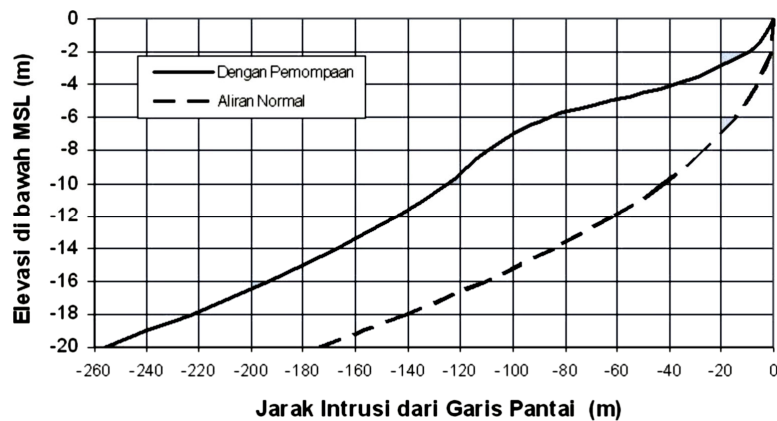
hasil hitungan intrusi air laut selanjutnya digambarkan pada tampang potongan tanah dan peta di wilayah studi sebagaimana dalam Gambar 8, 9, dan 10.

Tabel 3. Hubungan antara hs/ho dengan x/L pada Aliran Normal

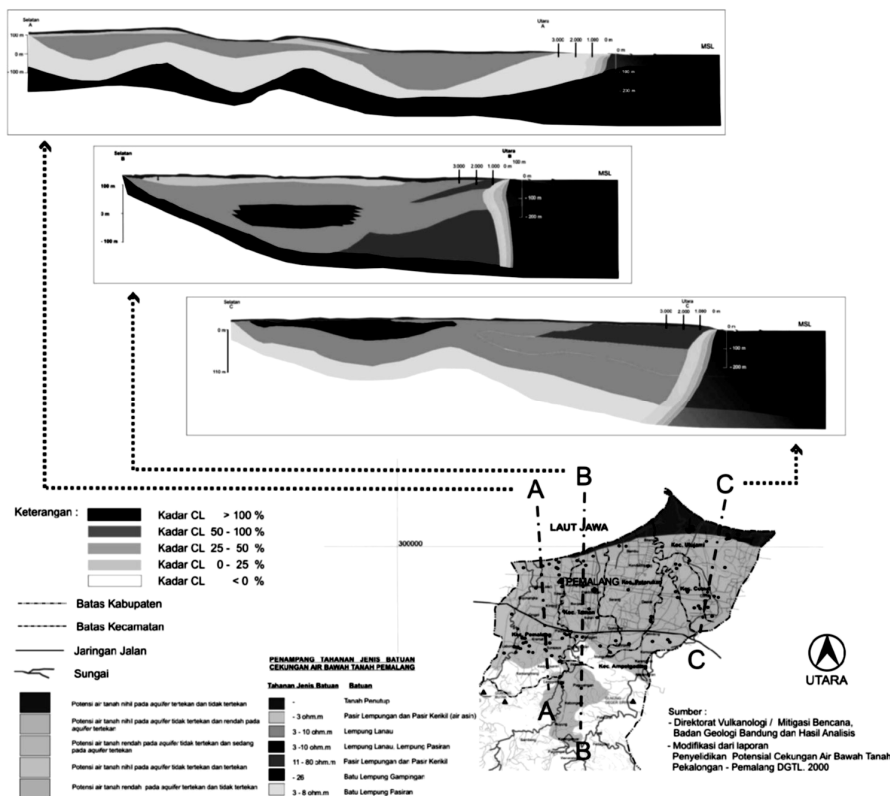
hs/ho	-1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0
x/L	-1	-0,809	-0,639	-0,488	-0,358	-0,248	-0,157	-0,087	-0,037	-0,007	0

Tabel 4. Hubungan antara hs/ho dengan x/L pada Aliran dengan Pemompaan

hs/ho	-1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0
x/L	-2,558	-2,227	-1,931	-1,670	-1,443	-1,252	-1,095	-1	-0,856	-0,380	-0,094



Gambar 7. Profil Intrusi Air Asin pada Kondisi Aliran Normal dan Dengan Pemompaan

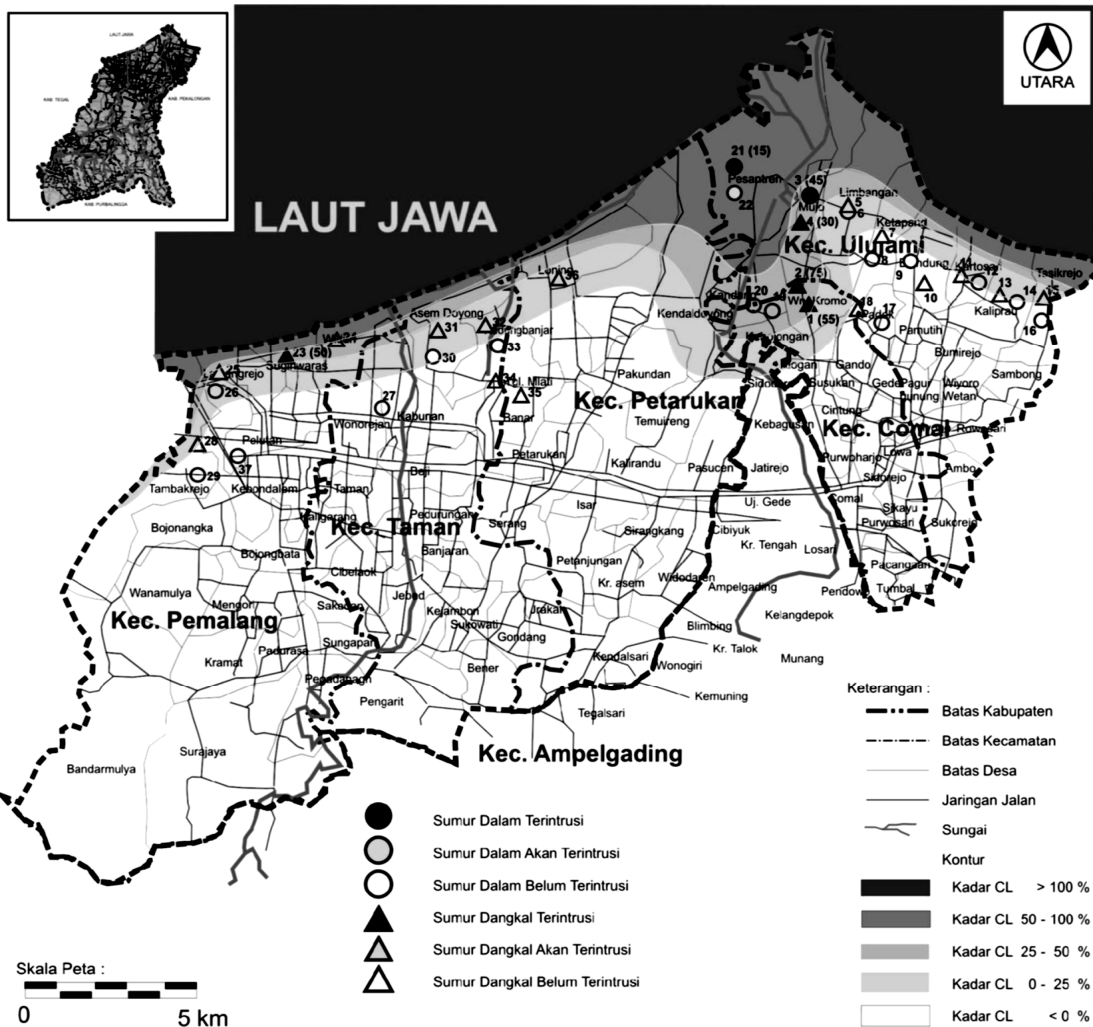


Gambar 8. Tampak Samping Intrusi Air Laut Kabupaten Pemalang Tahun 2013

Pada Gambar 8 tampak bahwa kondisi geologi daerah pantai di wilayah studi memiliki formasi lapisan tanah cukup bervariasi, meskipun secara umum formasi lapisan tanah tersebut mirip antara satu dengan lainnya. Berdasar studi CAT Pekalongan-Pemalang terdahulu oleh Setiadi H. (2000) dan Wahyudin dkk. (2006) atas litologi pembentuk *aquifer* tidak tertekan dan *aquifer* tertekan di Kabupaten Pemalang, maka wilayah studi diklasifikasikan dalam tiga zone. Masing-masing zone tersebut ditunjukkan dengan Tampak samping (tampang lintang) dari A-A, B-B, dan C-C.

Tampak samping A-A mewakili *aquifer*

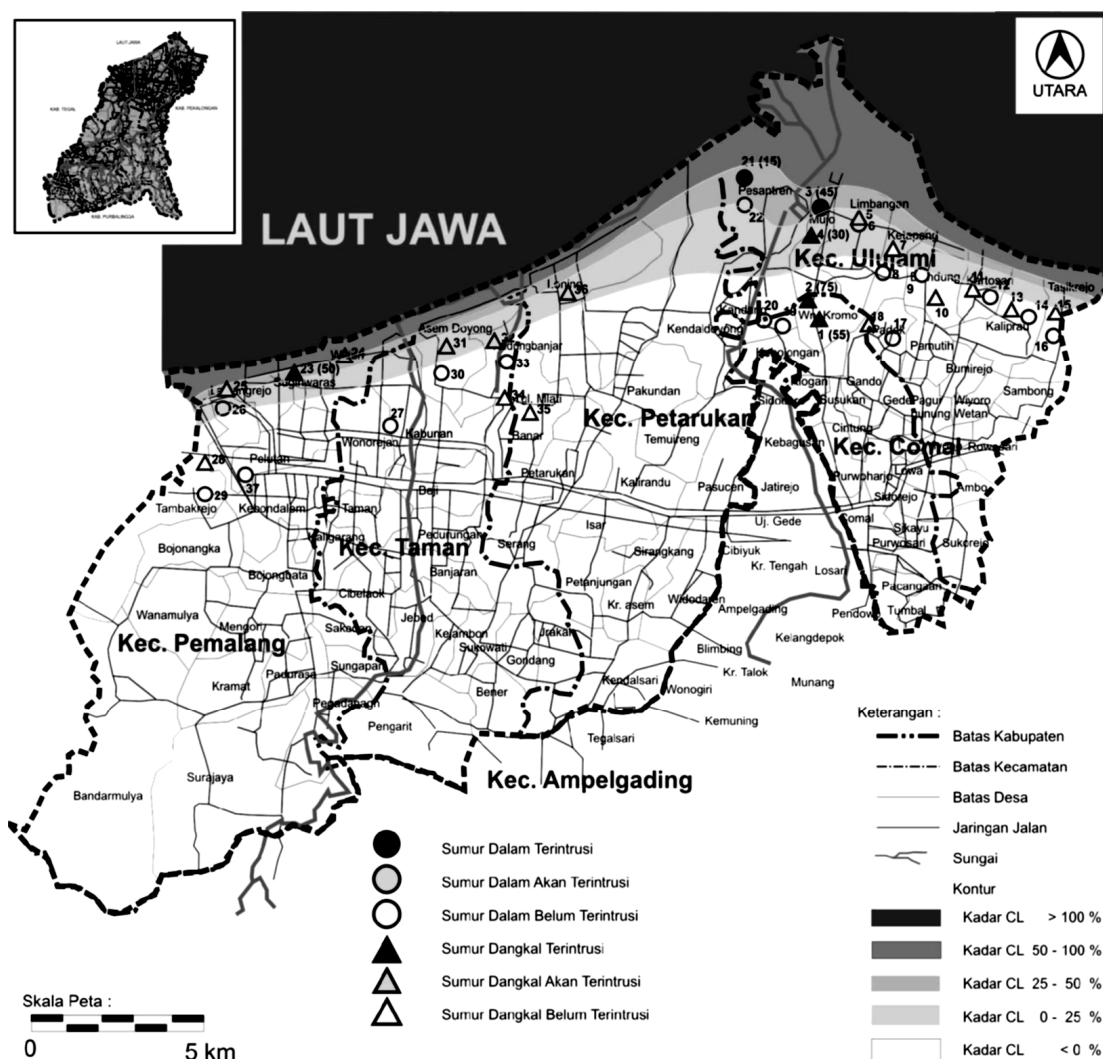
Pemalang dan tampak samping B-B mewakili *aquifer* Petarukan. Sedangkan tampak samping C-C mewakili *aquifer* Comal dan Ulujami. Tampak *aquifer* Petarukan, Comal, dan Ulujami yang memiliki formasi tanah didominasi lempung pasir lebih mudah ditembus air daripada *aquifer* Pemalang yang didominasi formasi lempung lanauan. Tampak juga, meski memiliki formasi *aquifer* serupa, intrusi air laut pada *aquifer* Comal dan Ulujami lebih parah daripada *aquifer* Petarukan karena tingginya laju pemompaan air di *aquifer* Comal dan Ulujami.



Gambar 9. Intrusi Air Laut pada Sumur Dangkal di Kabupaten Pemalang Tahun 2013

Intrusi air laut di wilayah Kecamatan Pemalang, Taman, dan Petarukan relatif belum berbahaya mengingat jangkauan intrusi air laut setempat masih kurang dari 1 km dari garis pantai. Sementara, pemukiman padat terletak di luar jangkauan intrusi air laut. Namun demikian, kecuali di Kecamatan Petarukan, sebagian besar masyarakat setempat telah menaikkan air dengan sumur-sumur pompa yang relatif dalam maka diperlukan pengendalian laju pemompaan agar laju intrusi air laut ke daratan dapat ditekan sekecil mungkin.

Sedangkan di Kecamatan Comal dan Ulujami, intrusi air laut telah mencapai 5,8 km dari garis pantai, dipicu pasang air laut masuk Kali Comal (*tidebore*) dan laju pengambilan air tanah relatif tinggi untuk kebutuhan industri. Karena itu, diperlukan pembangunan sumur-sumur kolektif lebih banyak lagi agar masyarakat setempat tidak mengkonsumsi air minum yang terkontaminasi Cl, mengingat masih banyak masyarakat kurang mampu di wilayah itu memenuhi kebutuhan air baku dengan jalan menimba air.



Gambar 10. Intrusi Air Laut pada Sumur Dalam di Kabupaten Pemalang Tahun 2013

Pada zone air tanah dalam, intrusi air laut di wilayah Kecamatan Pemalang, Taman, dan

Petarukan belum mengkhawatirkan. Hal itu tampak dari jangkauan intrusi air laut setempat

masih kurang dari 1 km dari garis pantai. Sementara, intrusi air laut di Kecamatan Comal dan Ulujami telah mengkhawatirkan, intrusi air laut setempat telah mencapai 4,0 km dari garis pantai. Karena itu, pemompaan air tawar pada Sumur-sumur Dalam di Kecamatan Comal dan Ulujami penting untuk dikendalikan.

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Laju Intrusi Air Laut

Intrusi air laut merupakan fenomena alam yang sama sekali tidak dapat dihindarkan. Namun, dalam kaitannya dengan penyediaan air baku untuk pengembangan daerah pantai, laju intrusi air laut menjadi penting untuk direduksi/dikendalikan. Faktor-faktor yang mempengaruhi laju intrusi air laut yang perlu diperhatikan, a.l.:

1. Eksploitasi air tanah yang dilakukan tanpa melalui prosedur legal dan sesuai dengan kondisi air tanah sekitar.
2. Aktivitas penduduk yang merubah fungsi lahan tanpa mempertimbangkan lingkungan.
3. Keberadaan area tanaman Bakau sebagai *buffer zone*, sekurangnya terdapat 4 manfaat yang dapat diraih yaitu: (a) Pertahanan laju penetrasi intrusi air laut ke daratan oleh kandungan air tawar pada perakaran Bakau; (b) Penyerapan/ penetralan garam-garam beracun dari laut yang mencapai perairan pantai melalui metabolisme Hutan Bakau; (c) Penyerapan/ penetralan garam-garam dari rumah tangga dan industri melalui metabolisme Hutan Bakau; (d) Perlindungan garis pantai dari gempuran gelombang dan pasang surut, terutama di Musim Baratan.
4. Kenaikan air laut akibat Pemanasan Global (*global warming*).

Selain faktor-faktor yang tergolong dapat dikendalikan manusia, terdapat faktor-faktor

alam yang pengaruhnya terhadap intrusi air laut ke darat sulit dikendalikan manusia, a.l.:

1. Klimatologi, meliputi iklim, musim, dan cuaca.
2. Geologi daerah, meliputi jenis dan formasi litologi tanah dan batuan, serta fenomena geologi regional maupun lokal.

SIMPULAN

1. Intrusi air laut di Kabupaten Pemalang telah menjangkau wilayah Kecamatan Pemalang, Taman, Petarukan, Comal, dan Ulujami.
2. Jangkauan intrusi air laut pada *aquifer* bebas di Kecamatan Comal dan Ulujami mencapai 5,8 km dari garis pantai, dipicu pasang air laut masuk K. Comal. Sedang pada *aquifer* tertekan hingga 4 km dari garis pantai. Sedang, jangkauan intrusi air laut pada *aquifer* bebas dan tertekan di Kecamatan Pemalang, Taman, dan Petarukan masih kurang dari 1 km dari garis pantai.

REKOMENDASI

Beberapa pokok penting perlu dilakukan oleh Pemerintah Kabupaten Pemalang:

1. Memperbanyak jumlah sumur dalam untuk penyediaan air baku kolektif bagi penduduk miskin di daerah intrusi air laut.
2. Mempertegas pengendalian izin pembuatan sumur dalam pribadi maupun industri.
3. Mensinergikan pemanfaatan lahan pesisir untuk perdagangan, pertambakan, wisata, dan jasa terhadap penyediaan *buffer zone*.
4. Pengoptimalan daerah resapan air di DAS.

DAFTAR PUSTAKA

- Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 416/MenKes/Per/IX/1990 tentang Standar Parameter Air Baku.
- Barlow, P.M. 2003. *Ground Water in Freshwater Saltwater Environments of the Atlantic*

- Coast. Circular 1262*. Reston, Virginia: The U.S. Geological Survey (USGS).
- Bear, J. 1979. *Hydraulics of Groundwater*. Hal: 379-435. New York: McGraw-Hill.
- Istiarto. 1990. Pengaruh Pemompaan terhadap Intrusi Air Asin di Daerah Pantai. PIT VII HATHI dan Seminar PAU-IT UGM. Yogyakarta 24 - 25 September 1990.
- McWhorter, D.B. dan Sunada, D.K. 1977. *Ground-Water Hydrology and Hydraulics*. Hal: 156-168. Colorado: Water Resources Publication.
- Setiadi, H. 2000. Penyelidikan Potensi Cekungan Air bawah Tanah Pekalongan – Pemalang. Departemen Geologi Tambang dan Lingkungan (DGTL).
- Todd, D.K.1959. *Ground-Water Hydrology*. Tokyo: Toppan Company Ltd.
- Wahyudin, Haryadi T., dan Budi J.P. 2006. *Pemodelan Cekungan Air Tanah Pekalongan – Pemalang Provinsi Jawa Tengah*. Pusat Lingkungan Geologi Departemen Energi dan Sumber daya Mineral Badan Geologi.