

BAB 3 GEOLOGI TERPADU

3.1. Tematik Geologi Lingkungan

Tematik geologi lingkungan ini meliputi pembahasan kondisi aspek-aspek geologi dengan skala 1 : 50.000. Data kegeologian yang disajikan diambil dari data sekunder dan hasil penyelidikan lapangan (*ground check*). Aspek-aspek geologi tersebut meliputi aspek morfologi, kemiringan lereng, susunan batuan, daya dukung tanah/batuan untuk pondasi, ketersediaan air tanah, dan kebencanaan geologi.

3.1.1. Morfologi

a. Satuan Morfologi

Berdasarkan tinggi – rendah topografi dan kemiringan lereng, Kawasan Pantai Utara Jawa Tengah dapat dibagi menjadi 3 satuan morfologi. Ketiga satuan tersebut terdiri atas : satuan morfologi pedataran, satuan morfologi perbukitan landai, dan satuan morfologi perbukitan terjal (Gambar 3.1).

- **Satuan Morfologi Pedataran**

Satuan morfologi pedataran menempati sekitar 70 % dari luas daerah penyelidikan, yaitu menempati bagian utara daerah penyelidikan, terutama menempati sepanjang pantai utara Kabupaten Pekalongan, Kota Pekalongan, Kabupaten Kendal, Kota Semarang dan Kabupaten Demak. Disamping itu satuan morfologi ini juga menempati lembah antar bukit di sekitar perbatasan Kabupaten Batang dan Kabupaten Kendal serta perbatasan Kabupaten Kendal dan Kabupaten Semarang.

Satuan morfologi ini merupakan pedataran dengan kemiringan lereng umumnya < 3 %, secara setempat mencapai 3 – 5 %, dengan elevasi < 50 m di atas permukaan laut. Secara umum tersusun dari endapan aluvial dan endapan vulkanik muda. Litologi endapan aluvial terdiri atas lempung, lanau, pasir, dan kerikil. Litologi endapan vulkanik muda umumnya tufa. Sungai-sungai yang mengalir pada satuan morfologi ini mengalir dengan arah relatif dari selatan ke utara membentuk pola aliran relatif sejajar.

Berdasarkan pengamatan di lapangan penggunaan lahan pada satuan morfologi pedataran umumnya berupa : lahan permukiman, kebun, campuran, sawah beririgasi dan sawah tadah hujan.

- **Satuan Morfologi Perbukitan Landai**

Satuan morfologi perbukitan landai menempati sekitar 18 % dari luas daerah penyelidikan, terutama menempati bagian tengah kawasan pantura Kabupaten Batang, Kabupaten Kendal, dan Kabupaten Semarang. Di kawasan pantura Kabupaten Pekalongan, satuan morfologi ini hanya sedikit yaitu di bagian barat, sedangkan di kawasan pantura Kabupaten Demak hampir tidak dijumpai satuan morfologi ini, karena daerah ini merupakan daerah pedataran.

Satuan morfologi ini merupakan perbukitan landai. Berkemiringan lereng umumnya 5 – 15 %, dengan elevasi 25 - 100 m di atas permukaan laut. Secara umum tersusun dari batuan gunung api dan batuan sedimen klastik halus. Sungai-sungai yang mengalir pada satuan morfologi ini mengalir dengan arah relatif dari selatan ke utara membentuk pola aliran dendritik.

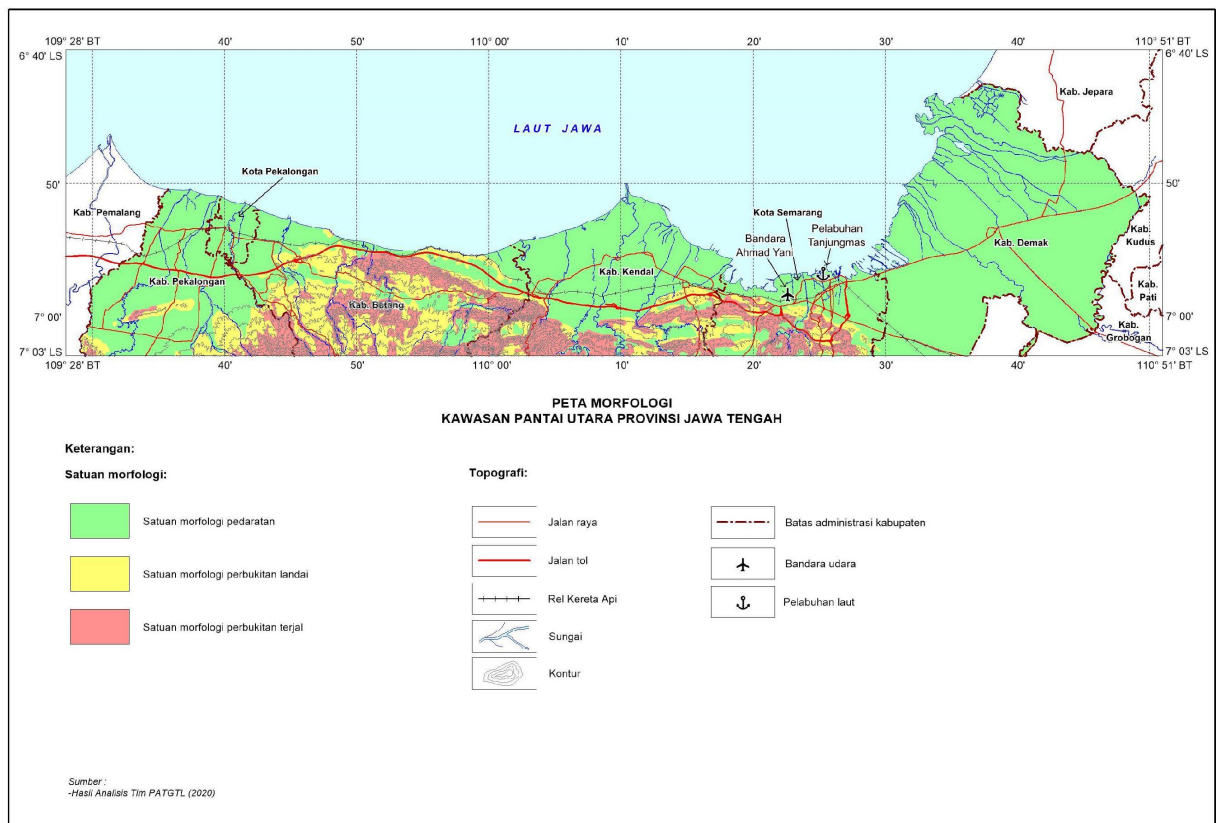
Berdasarkan pengamatan di lapangan penggunaan lahan pada satuan morfologi pedataran umumnya berupa permukiman pedesaan, kebun campuran, hutan jati, dan tegalan/ladang.

- **Satuan Morfologi Perbukitan Terjal**

Satuan morfologi perbukitan terjal menempati sekitar 12 % dari luas daerah penyelidikan, yaitu menempati kawasan pantura Kabupaten Pekalongan bagian selatan, bagian utara dan tengah Kabupaten Batang, serta bagian tengah dan selatan Kabupaten Kendal, dan Kabupaten Semarang.

Satuan morfologi ini merupakan perbukitan relatif terjal, berkemiringan lereng umumnya > 15 %, dengan elevasi 100 - 350 m di atas permukaan laut. Secara umum tersusun dari batuan gunung api dan batuan sedimen klastik berbutir kasar. Sungai-sungai yang mengalir pada satuan morfologi ini merupakan bagian hulu dari sungai-sungai di daerah penyelidikan, mengalir dengan arah relatif dari selatan ke utara membentuk pola aliran dendritik.

Penggunaan lahan eksisting pada satuan morfologi perbukitan terjal ini umumnya berupa kebun campuran, perkebunan, hutan jati, hutan produksi.



Gambar 3.1. Peta Morfologi

b. Kemiringan Lereng

Untuk memudahkan penerapan aspek morfologi dalam penyusunan peta kesesuaian lahan untuk pengembangan wilayah perkotaan telah dibuat peta kemiringan lereng dengan interval kemiringan 0 – 5 %, 5 – 15 %, dan > 15 %. Peta kemiringan lereng daerah penyelidikan seperti ditampilkan pada Gambar 3.2.

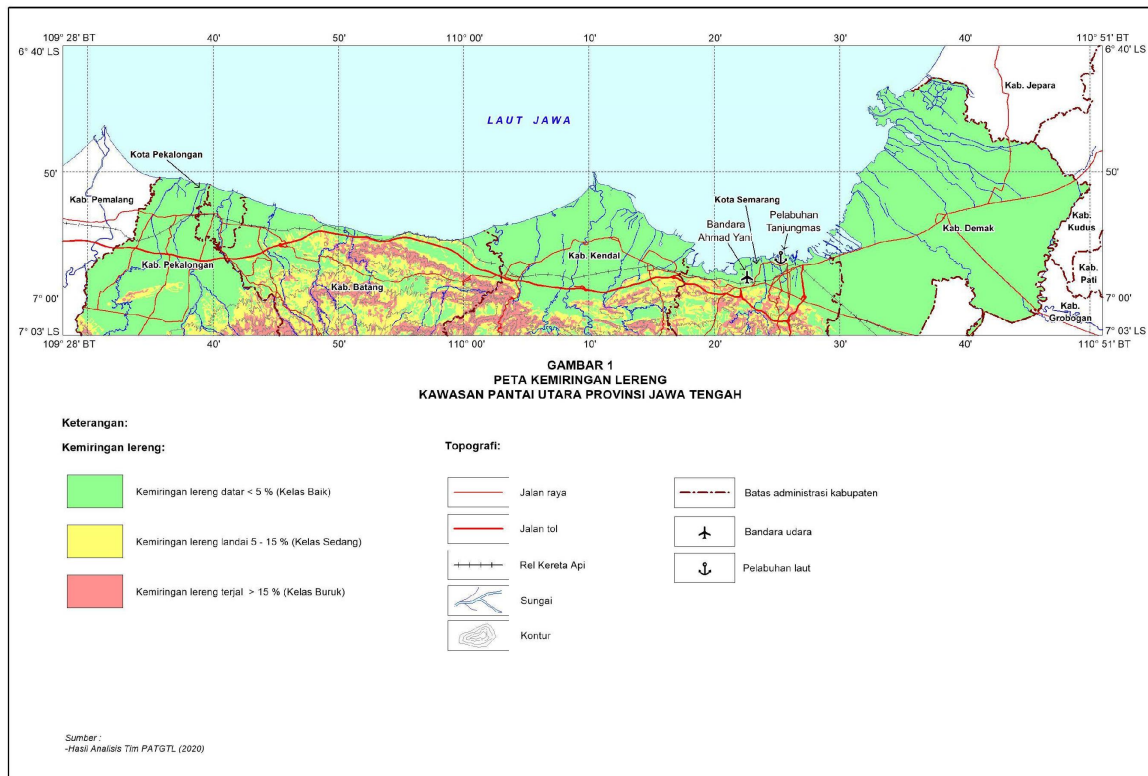
- **Kemiringan Lereng 0 – 5 %**

Lahan berkemiringan lereng 0 – 5 % terutama menempati sepanjang pantai utara Kota Pekalongan, Kabupaten Kendal, Kota Semarang dan Kabupaten Demak.

- **Kemiringan Lereng 5 – 15 %**

Lahan berkemiringan lereng 5 – 15 % terutama menempati bagian tengah kawasan pantura Kabupaten Batang, Kabupaten Kendal, dan Kabupaten Semarang. Di kawasan pantura Kabupaten Pekalongan, lahan berkemiringan

lereng 5 – 15 % hanya sedikit yaitu di bagian barat. Di kawasan pantura Kabupaten Demak umumnya dataran dengan kemiringan lereng < 5%.



Gambar 3.2. Peta Kemiringan Lereng

- **Kemiringan Lereng > 15 %**

Lahan berkemiringan lereng > 15 % menempati bagian selatan Kabupaten Pekalongan, Kabupaten Semarang dan Kabupaten Demak dan bagian utara dan selatan Kabupaten Batang,

3.1.2. Batuan

a. Stratigrafi

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Banjarnegara - Pekalongan (Condon dkk., 1996), Peta Geologi Lembar Magelang - Semarang (Thanden dkk., 1996), Peta Geologi Lembar Kudus (Suwarti dkk., 1992) dan berdasarkan pengamatan langsung di lapangan, daerah penyelidikan tersusun dari batuan sedimen, batuan gunung api dan endapan permukaan.

Secara lengkap, formasi batuan yang menyusun daerah penyelidikan tersebut, dari batuan yang berumur paling tua hingga batuan yang berumur paling muda dapat diuraikan sebagai berikut (Gambar 3.3) :

a.1. Batuan Sedimen :

- Formasi Damar Anggota Batu Pasir (Tpds) :

Formasi Damar Anggota Batu Pasir (Tpds) tersusun dari batu pasir dan konglomerat. Formasi batuan ini hanya terdapat di kawasan pantura Kabupaten Batang.

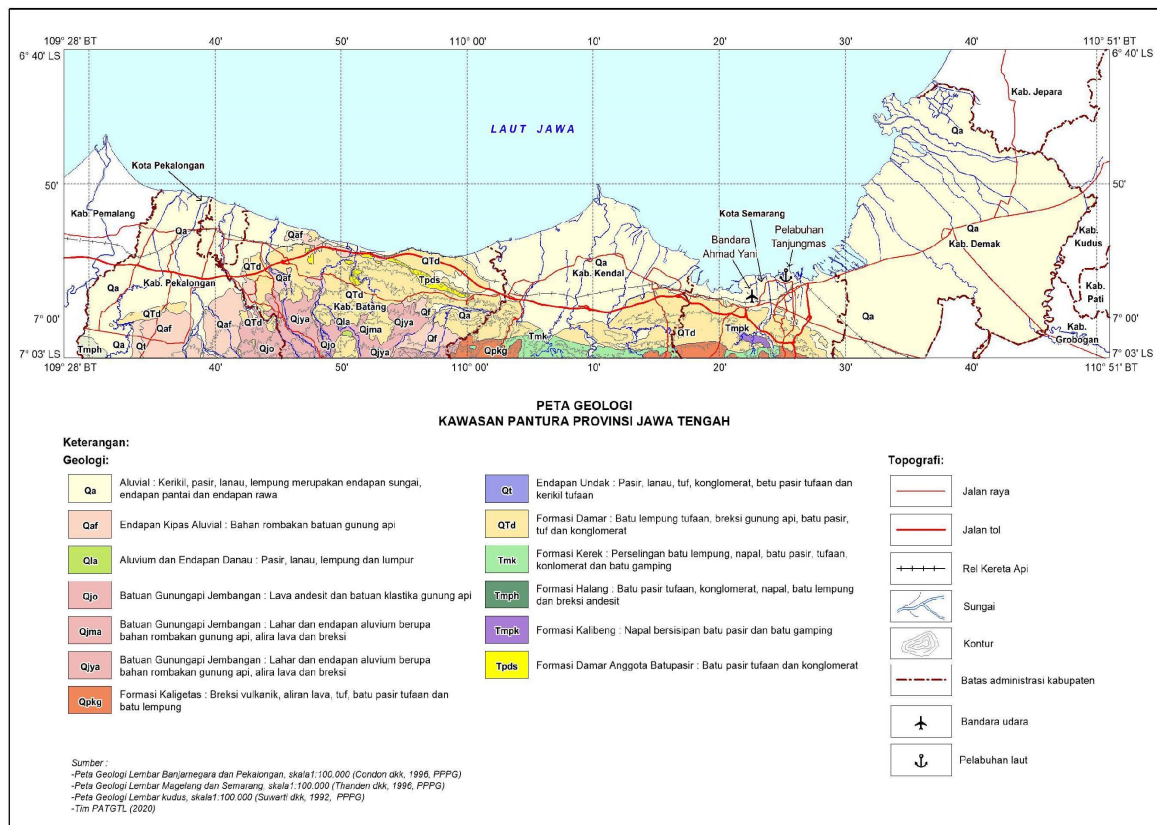
- Formasi Kalibeng (TmPk) : Formasi Kalibeng (TmPk) tersusun dari napal dengan sisipan batu pasir dan batu gamping. Formasi batuan ini hanya terdapat di kawasan pantura Kabupaten Semarang.

- Formasi Halang (Tmph) :

Formasi Halang (Tmph) tersusun dari batu pasir tufaan, konglomerat, napal, batu gamping dan breksi andesit. Formasi batuan ini hanya terdapat di bagian barat kawasan pantura Kabupaten Pekalongan.

- Formasi Kerek (Tmk) :

Formasi Kerek (Tmk) tersusun dari batu lempung, napal, batu pasir tufaan, konglomerat dan batu gamping. Formasi batuan ini hanya terdapat di bagian selatan kawasan pantura Kabupaten Kendal dan Kabupaten Semarang.



Gambar 3.3. Peta Geologi

- Formasi Damar (QTd) :

Formasi Damar (QTd) tersusun dari batu lempung tufaan, breksi gunung api, batu pasir, tuf dan konglomerat. Formasi batuan ini terutama menempati bagian tengah kawasan pantura Kabupaten Batang, Kabupaten Kendal, dan Kabupaten Semarang. Di kawasan pantura Kabupaten Pekalongan, formasi batuan ini hanya terdapat di bagian tengah.

- Endapan Undak (Qt) :

Endapan Undak (Qt) tersusun dari pasir, lanau, tuf, konglomerat dan kerikil tufaan. Endapan ini hanya terdapat di bagian selatan kawasan pantura Kabupaten Pekalongan.

- Formasi Kaligetas (Qpkg) :

Formasi Kaligetas (Qpkg) tersusun dari breksi gunung api, aliran lava, tuf, batu pasir tufaan dan batu lempung. Formasi ini hanya terdapat di bagian selatan kawasan pantura Kabupaten Kendal dan Kabupaten Semarang.

a.2. Batuan Gunung Api

- Batuan Gunung Api Jembangan (Qiya) :

Batuan Gunung Api Jembangan (Qiya) tersusun lahar dan endapan aluvium berupa rombakan batuan gunung api, aliran lava dan breksi. Batuan gunung api ini terdapat di bagian tengah dan selatan kawasan pantura Kabupaten Batang.

- Batuan Gunung Api Jembangan (Qjma) :

Batuan Gunung Api Jembangan (Qjma) tersusun dari lahar dan endapan aluvium berupa rombakan batuan gunung api, aliran lava dan breksi. Batuan gunung api ini terdapat di bagian selatan kawasan pantura Kabupaten Batang.

- Batuan Gunung Api Jembangan (Qjo) :

Batuan Gunung Api Jembangan (Qjo) tersusun dari lava andesit dan batuan klastika gunung api. Batuan gunung api ini terdapat di bagian selatan kawasan pantura Kabupaten Prkalongan dan Kabupaten Batang.

a.3. Endapan Permukaan :

- Aluvium dan Endapan Danau (Qla) :

Aluvium dan Endapan Danau (Qla) tersusun dari litologi pasir, lanau, lempung dan lumpur. Endapan ini terdapat di bagian tengah kawasan pantura Kabupaten Batang.

- Kipas Aluvium (Qaf) :

Kipas Aluvium (Qaf) tersusun dari litologi bahan rombakan batuan gunung api. Endapan ini terdapat di bagian tengah dan selatan kawasan pantura Kabupaten Pekalongan dan Kabupaten Batang.

- Aluvium (Qa) :

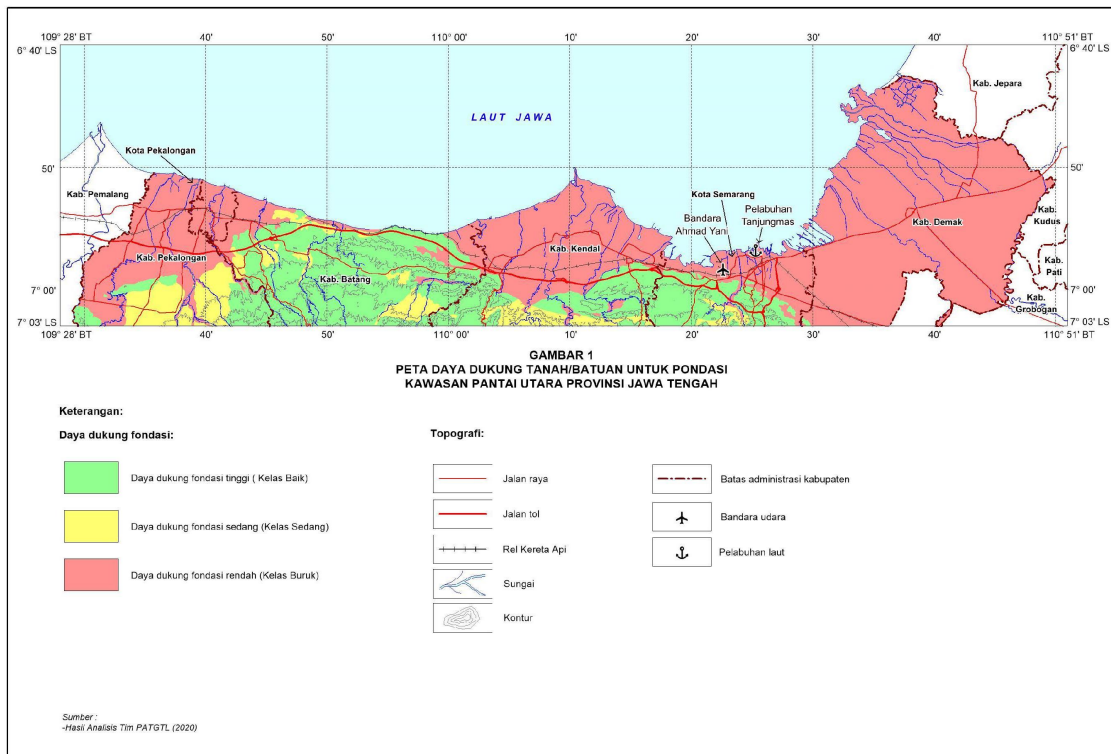
Aluvium (Qa) tersusun dari litologi kerikil, pasir, lanau dan lempung, merupakan endapan sungai, endapan pantai dan endapan rawa. Endapan ini tersebar di sepanjang pantai utara Kabupaten Pekalongan, Kota Pekalongan, Kabupaten Kendal, Kota Semarang dan Kabupaten Demak.

b. Daya Dukung Pondasi

Berdasarkan pengamatan di lapangan, litologi yang menutupi daerah penyelidikan terdiri atas tanah hasil pelapukan dari berbagai jenis dan umur batuan. Berdasarkan sifat fisik dan keteknikannya, secara umum daya dukung pondasi dari sebaran bahan permukaan yang menutupi daerah penyelidikan dapat diuraikan sebagai berikut (Gambar 3.4) :

- **Daya dukung rendah**, berupa endapan aluvial sungai dan pantai yang terdiri atas lempung, lanau, pasir, dan kerikil. Dari data hasil pemboran tangan, sampai dengan kedalaman 4 meter tanah ini sangat lunak, dari kedalaman 4 m hingga 5 m bersifat lunak hingga agak teguh, dari kedalaman 5 m hingga 6,4 m bersifat agak teguh hingga teguh.
- **Daya dukung sedang**, berupa lapukan dari formasi batuan sedimen yang berlitologi dominan batuan berbutir halus seperti batu lempung, napal, dan tufa. Secara umum, dari data hasil pemboran tangan, sampai dengan kedalaman 1,5 meter tanah ini lunak, dari kedalaman 1,5 m hingga 3 m bersifat lunak hingga agak teguh, dari kedalaman 3 m hingga 5 m bersifat teguh hingga agak padat.
- **Daya dukung tinggi**, berupa lapukan dari batuan gunung api seperti breksi dan lava, dan batuan sedimen berbutir kasar. Lapukan batuan ini sangat tipis. Dari data hasil pemboran tangan, sampai dengan kedalaman 0,5 meter

tanah ini lunak, dari kedalaman 0,5 m hingga 1 m bersifat lunak hingga teguh, dari kedalaman 1 m hingga 2 m bersifat teguh hingga padat.



Gambar 3.4. Peta Daya Dukung Pondasi

3.1.3. Struktur Geologi

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Magelang - Semarang (Thanden dkk., 1996) diketahui bahwa di daerah penyelidikan terdapat beberapa sesar utama yang merupakan bagian dari kulit bumi yang masih aktif di masa Kuarter. Sesar utama yang melintas Semarang diantaranya Sesar Kaligarang, Sesar Pedurungan, Sesar Kaliwungu dan sesar Baribis. Menurut Pramumijoyo (2000), bahwa sesar-sesar aktif di Semarang adalah hasil tekanan pada arah utara-selatan. Sesar yang aktif memotong batuan Plistosen Akhir maupun batuan yang lebih muda, melintas sepanjang Kaligarang dari Utara daerah Gajahmungkur sampai Gunung Swakul di bagian selatan. Untuk ketiga sesar aktif tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Sesar normal mengiri Kaligarang berarah utara-selatan dan diperkirakan memotong endapan di pantai utara Semarang, Sesar Kaligarang yang memiliki laju pergeseran batuan (*slip rate*) sebesar 4,5 mm per tahun.
- Sesar mendatar mengiri Pedurungan berarah timur laut – barat daya hingga di

sekitar Gunung Muria, diduga sebagai sesar tua yang aktif kembali.

- Sesar mendatar mengangan Kaliwungu berarah baratlaut – tenggara memanjang hingga wilayah timur pantai Kendal.
- Sesar naik Baribis segmen Semarang melintas di bagian utara, berarah relatif barat timur. Blok yang naik terdapat di bagian selatan, sedangkan blok yang turun terdapat di bagian utara jalur sesar.

Pada Peta Geologi diatas memperlihatkan adanya sesar Sungkup (*thrust fault*) yang menerus hingga ke bogor dibarat dan Kendeng di timur. Sesar Sungkup ini dipotong oleh berbagai ukuran sesar jurus mendatar, sesar sungkup ini memisahkan Formasi Damar dan Formasi Kerek, sesar tersebut muncul di Desa Jatirejo dan Sronдол Wetan memotong sungai Kreo, Sungai Kripik dan Sungai Garang. Kearah timur sesar ini melengkung memotong Formasi Kaligetas di Desa Sronдол Wetan dan Kremas (Simanjuntak, 2003).

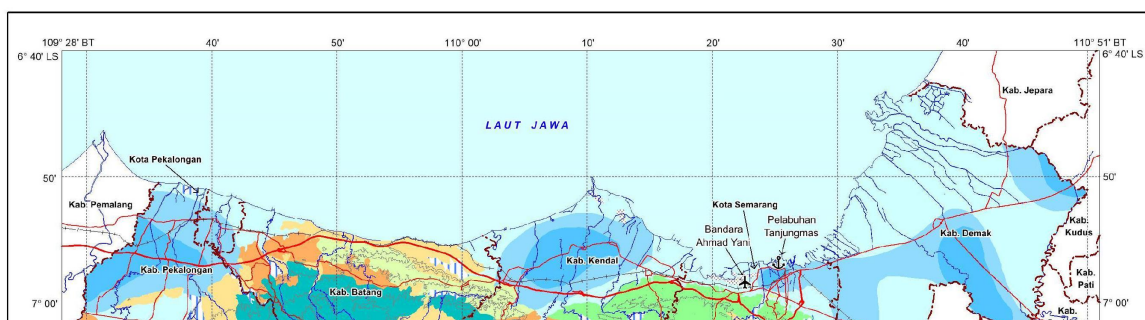
3.1.4. Ketersediaan Air Tanah

a. Produktivitas Akuifer

Ketersediaan air tanah di suatu daerah tergantung pada kondisi hidrogeologi setempat. Untuk kawasan pantura Jawa Tengah yang bermorfologi dataran hingga perbukitan terjal dan tersusun dari batuan sedimen, batuan vulkanik dan endapan permukaan, potensi air tanahnya berkisar dari daerah akuifer produktif hingga daerah air langka.

Berdasarkan Peta Hidrogeologi Lembar Pekalongan (Effendi, 1983) dan Peta Hidrogeologi Lembar Semarang (Said dan Soekrisno, 1988) serta pengamatan langsung di lapangan, kondisi hidrogeologi daerah penyelidikan menunjukkan sistem akuifer sebagai berikut (Gambar 3.5) :

- Akuifer dengan aliran melalui ruang antar butir
- Akuifer dengan aliran melalui celahan, rekahan dan saluran
- Akuifer (bercelah atau sarang) dengan produktivitas rendah dan daerah air tanah langka



Gambar 3.5. Peta Hidrogeologi

1). Akuifer dengan aliran melalui ruang antar butir

- Akuifer produktif tinggi dengan penyebaran luas

Akuifer ini tersebar pada daerah dataran terutama di bagian barat, tengah dan sedikit di bagian timur daerah penyelidikan. Sebaran akuifer produktif ini menempati dataran sekitar barat daya Kota Pekalongan, kota Kendal dan bagian selatan kota Demak.

Akuifer ini terbentuk dari endapan aluvial pantai dan aluvial sungai dengan litologi berupa lempung, lanau, pasir dan kerikil.

Akuifer ini terbentuk dari endapan aluvial pantai dan aluvial sungai dengan litologi berupa lempung, lanau, pasir dan kerikil.

Akuifer berlapis banyak dengan keterusan sedang sampai tinggi, maka airtanah beragam, umumnya dekat permukaan tanah, di beberapa daerah ada di atas muka tanah, debit sumur umumnya lebih dari 10 l/detik.

- Akuifer produktif dengan penyebaran luas

Akuifer ini tersebar pada daerah dataran di sebagian wilayah Kabupaten Pekalongan dan Kota Pekalongan, Kabupaten Kendal dan pada dataran di sekitar Kota Semarang dan Kabupaten Demak.

Akuifer ini terbentuk dari endapan aluvial pantai dan aluvial sungai dengan litologi berupa lempung, lanau dan pasir. Akuifer berlapis banyak dengan aliran melalui ruang antar butir, mempunyai nilai keterusan sedang, muka airtanah beragam dan umumnya dekat dengan permukaan tanah, debit sumur umumnya 5 hingga 10 l/detik.

- **Akuifer produktif sedang dengan penyebaran luas**

Akuifer ini tersebar pada daerah dataran terutama di bagian utara dan selatan Kota Pekalongan, sedikit di pantai utara Kendal dan sebagian besar pantai utara Demak.

Akuifer ini terbentuk dari endapan aluvial pantai dan aluvial sungai dengan litologi berupa lempung, lanau dan pasir. Akuifer berlapis banyak dengan aliran melalui ruang antar butir, tidak menerus, tipis dengan keterusan rendah, setempat sedang, muka airtanah beragam pada umumnya dekat dengan permukaan tanah, debit sumur umumnya kurang dari 5 l/detik.

- **Setempat akuifer produktif sedang**

Sebaran akuifer ini menempati lembah memanjang di sekita perbatasan Kabupaten Batang dan Kabupaten Pekalongan.

Akuifer mempunyai nilai keterusan sangat beragam, alirannya melalui ruang antar butir. Kedudukan muka air tanah umumnya dalam dengan debit sumur kecil hingga sedang.

2). Akuifer dengan aliran melalui celahan dan ruang antar butir

- **Akuifer produktif tinggi dengan penyebaran luas**

Akuifer ini tersebar terutama pada daerah perbukitan landai di bagian selatan Kabupaten Batang dan Kabupaten Pekalongan.

Akuifer ini terbentuk dari endapan gunung api muda berlitologi terutama breksi vulkanik dan tuf. Akuifer ini mempunyai produktivitas tinggi dengan penyebaran luas, mempunyai keterusan dan kisaran kedalaman muka air tanah beragam, debit sumur umumnya lebih dari 5 - 10 l/dtk.

- **Akuifer produktif sedang dengan penyebaran luas**

Akuifer ini tersebar terutama pada daerah perbukitan landai di bagian selatan Kabupaten Kedal dan Kota Semarang.

Akuifer ini terbentuk dari breksi gunung api, batu pasir, tuf dan konglomerat. Akuifer ini mempunyai keterusan sangat beragam, kedalaman muka air tanah umumnya dalam, debit sumur umumnya kurang dari 5/dtk, mata air umumnya berdebit sedang, muncul terutama pada daerah lekuk lereng.

- **Setempat akuifer produktif**

Akuifer ini tersebar pada daerah perbukitan landai. Sebarannya sempit, memanjang dari bagian tengah Kabupaten Batang hingga bagian barat Kabupaten Kendal.

Akuifer ini terbentuk dari breksi gunung api, batu pasir, tuf dan konglomerat. Akuifer mempunyai keterusan sangat beragam, umumnya air tanah ini tidak dimanfaatkan karena dalamnya muka airtanah, setempat mata air berdebit kecil dapat diturap.

3). Akuifer (bercelah atau sarang) produktif kecil dan daerah air tanah langka

- **Akuifer produktif kecil setempat berarti**

Sebaran akuifer ini menempati perbukitan landai dan kaki-kaki bukit. Batuan penyusunnya terdiri atas beberapa batuan gunung api seperti tuf, breksi dan lava. Akuifer produktif kecil terdapat secara setempat-setempat yaitu pada kaki dan lembah di antara perbukitan.

Akuifer ini mempunyai keterusan umumnya rendah sampai sangat rendah, setempat air tanah dalam jumlah terbatas dapat diperoleh terutama pada daerah rendah atau zona pelapukan batuan padu.

Sebaran akuifer ini terutama terdapat di bagian utara Kabupaten Batang dan bagian timur Kabupaten Pekalongan.

- **Daerah air tanah langka**

Daerah air tanah langka menempati perbukitan berlereng terjal dengan susunan litologi yang berupa batuan sedimen padat dan batuan gunung api sehingga relatif kedap air.

Daerah air tanah langka ini terdapat terutama di bagian barat laut Kabupaten Batang dan dan bagian selatan Kabupaten Kendal.

3.1.5. Potensi Bahan Galian Bangunan

Di kawasan Pantura Jawa Tengah terdapat beberapa jenis bahan galian untuk bahan bangunan, di antaranya :

a. Lempung

Endapan lempung umumnya terdapat di daerah dataran, merupakan endapan aluvial. Penggalian dilakukan pada lahan bekas sawah dengan kedalaman 1 – 1,5 m. Lempung ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan genteng dan batu bata.

b. Tras

Bahan galian tras umumnya merupakan lapukan dari batuan gunung api seperti tuf dan tuf batu apung. Sebarannya menempati lereng-lereng bukit yang tersusun dari batuan gunung api. Tras di daerah ini umumnya dimanfaatkan serbagai urugan.

c. Batu Andesit

Bahan galian batu andesit umumnya berupa lava dan komponen breksi vulkanik. Batuan ini sangat keras, sehingga banyak dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi. Bahan galian ini umumnya terdapat di daerah perbukitan vulkanik di bagian selatan pantura.

d. Pasir

Bahan galian pasir umumnya merupakan endapan pasir sungai. Material pasir diendapkan pada badan aliran sungai terutama pada kelokan sungai bagian dalam yaitu pada saat banjir. Pasir sungai banyak dimanfaatkan sebagai pasir pasang yaitu untuk bahan pemasangan batu bata dan plesteran.

3.1.6. Kebencanaan Geologi

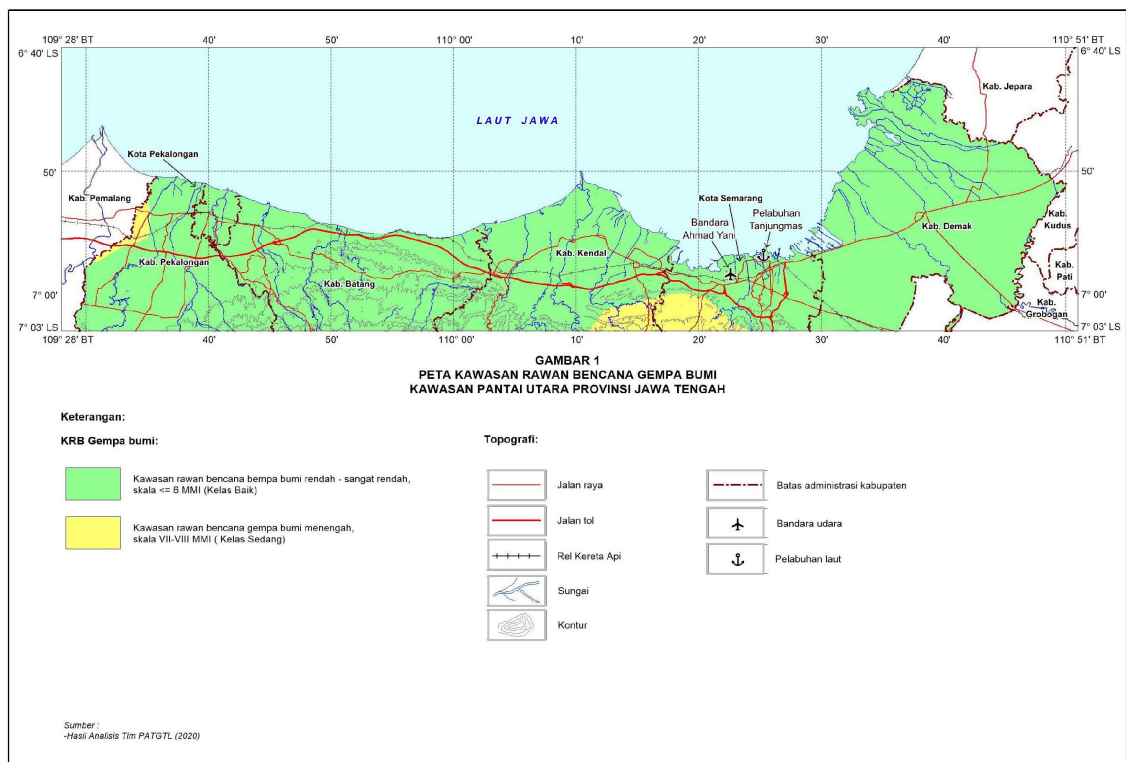
Berdasarkan data sekunder yang ada dan berdasarkan hasil pengamatan langsung di lapangan, kebencanaan geologi di kawasan Pantura Jawa Tengah dapat diuraikan sebagai berikut :

a). Gempa Bumi

Berdasarkan Peta Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi Indonesia (Kertapati dkk., 2001), daerah penyelidikan terletak pada 2 zonasi gempa bumi, yaitu :

1. Zona < VI MMI
2. Zona VII – VIII MMI

Zona gempa bumi berskala MMI < VI menempati sekitar 90 % dari luas daerah penyelidikan, sedangkan zona gempa bumi berskala VII –VIII MMI menempati hanya sekitar 10 5% dari luas daerah penyelidikan, yaitu bagian selatan Kendal dan bagian barat Pekalongan. Gambar 3.6 menunjukkan Peta Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi Pantura Jawa Tengah.

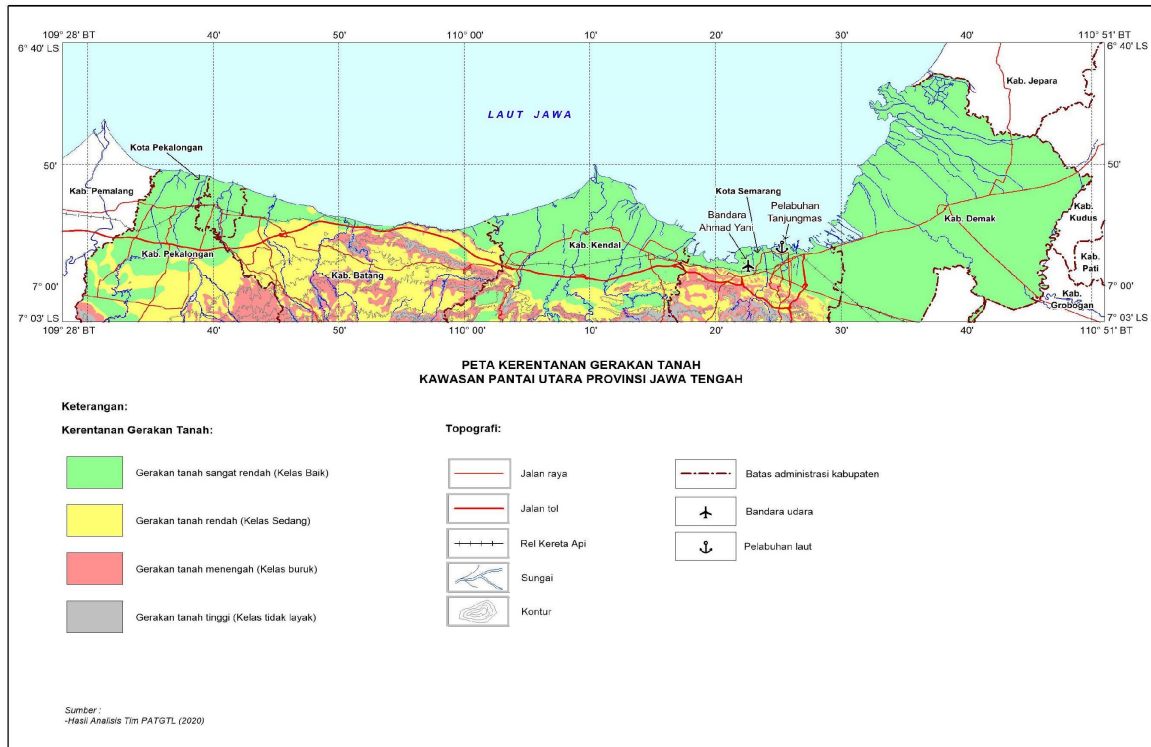


Gambar 3.6. Peta Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi

b). Gerakan tanah

Kerentanan gerakan tanah di suatu daerah sangat tergantung pada beberapa aspek, yaitu : kemiringan lereng, jenis litologi, curah hujan dan vegetasi atau tutupan lahan.

Berdasarkan pengamatan di lapangan, dengan mempertimbangkan kondisi topografi (kelerengan), litologi dan vegetasi, tingkat kerentanan gerakan tanah di daerah penyelidikan dapat diuraikan sebagai berikut (Gambar 3.7) :



Gambar 3.7. Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah

- Daerah kerentanan gerakan tanah sangat rendah

Daerah kerentanan gerakan sangat tanah rendah terutama terdapat di bagian selatan daerah penyelidikan, yaitu pada dataran aluvial dan dataran pantai.

Daerah ini bermorfologi datar, mempunyai kemiringan < 5 % dengan elevasi < 25 m di atas permukaan laut. Secara administrasi terdapat di wilayah Kota Pekalongan, sebagian

Kabupaten Pekalongan, sebagian besar wilayah Kabupaten Kendal, Kota Semarang dan Kabupaten Demak.

Daerah ini secara umum tersusun dari endapan aluvial dengan litologi berupa lempung, pasir, dan kerikil. Pada daerah ini tidak terlihat adanya gejala pergerakan masa tanah, yang terlihat hanya erosi pada dinding sungai dan pada lahan tidak bervegetasi.

- Daerah kerentanan gerakan tanah rendah

Daerah berkerentanan gerakan tanah rendah menempati dataran bergelombang terurama di bagian barat dan tengah dan sedikit di bagian utara daerah penyelidikan. Secara administratif daerah ini terdapat di wilayah Kabupaten Pekalongan, Kabupaten Batang, Kabupaten Kendal dan Kabupaten Semarang.

Daerah ini terdapat pada morfologi dataran bergelombang, berkemiringan lereng 5 – 8 %, tersusun dari batuan sedimen dan batuan gunung api .

Pada daerah ini secara umum tidak menunjukkan adanya pergerakan masa tanah yang membahayakan, yang terlihat hanya longsoran kecil pada dinding sungai akibat erosi.

- ***Daerah kerentanan gerakan tanah sedang***

Daerah kerentanan gerakan tanah sedang terutama terdapat di bagian utara dan selatan Kabupaten Batang, di bagian selatan Kabupaten Kendal dan Kota Semarang, memanjang dari bagian barat hingga bagian timur daerah penyelidikan.

Daerah ini terdapat pada perbukitan landai hingga sedang, umumnya berkemiringan lereng 15 % hingga 30 %.

Pada daerah berkerentanan gerakan tanah sedang ini di samping terlihat adanya longsoran pada tebing sungai, juga terlihat adanya longsoran-longsoran kecil pada tanah lapukan yang tebal pada lereng yang agak terjal.

- ***Daerah kerentanan gerakan tanah tinggi***

Daerah berkerentanan gerakan tanah tinggi terdapat pada perbukitan terjal. Gejala gerakan tanah yang terjadi berupa longsoran pada tebing curam dan pada beberapa tempat dijumpai adanya jatuhnya batuan (*rock fall*) pada lereng terjal.

Daerah berkerentanan gerakan tanah tinggi ini tersusun dari batuan gunung api dan batuan sedimen. Tanah lapukan yang cukup tebal dan kemiringan lereng terjal merupakan faktor utama banyak terjadinya gerakan tanah di daerah ini.

Daerah ini tidak luas, hanya terdapat di bagian selatan Kabupaten Batang, Kabupaten Kendal dan Kota Semarang.

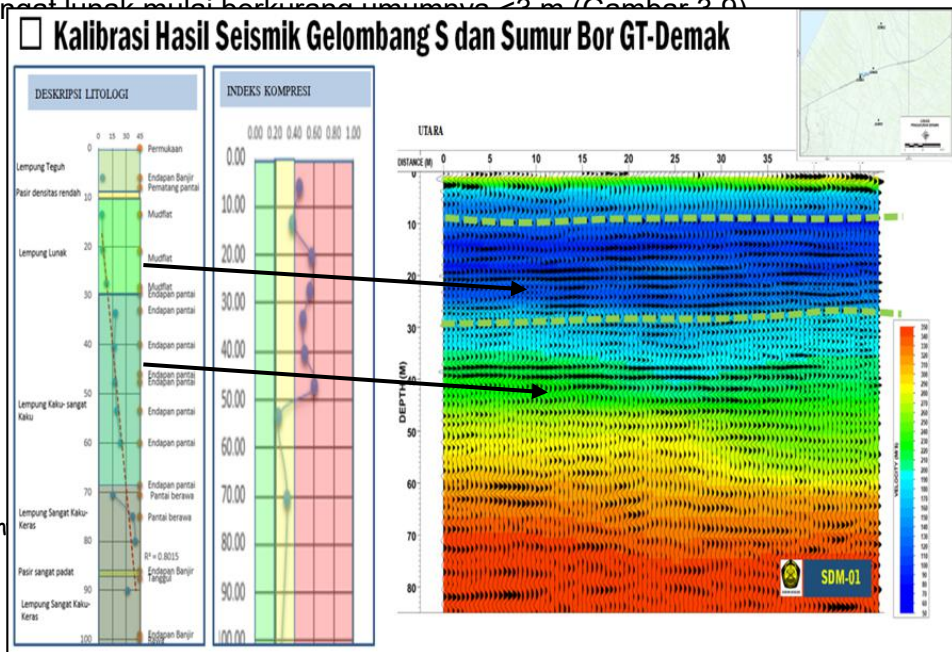
3.2. Geologi Teknik

3.2.1. Geologi Teknik Kawasan Pantura Demak

Berdasarkan hasil pengeboran inti di daerah Gemulak, Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak hingga kedalaman 200 m, litologi lempung paling dominan sedangkan perselingan pasir dijumpai pada kedalaman 6 m, 86 m, 107,7 m, 116,6 m, 134,7 m, 136,9 m, 148,2 m, 167,4 m, 173,9 m dengan ketebalan sekitar 0,6 sampai 4,5 m. Kalibrasi hasil survey seismik dengan litologi pengeboran di daerah Gemulak seperti terlihat pada Gambar 3.8 di bawah in.

Lempung lunak dengan plastisitas sedang-tinggi dijumpai pada awal kedalaman hingga sekitar 10 m.bmt s.d 30 m.bmt, kecuali di bagian atas (<6m) yang memiliki konsistensi teguh. Lempung lunak pada beberapa kedalaman menunjukkan terjadi pada beberapa siklus pengendapan yang berbeda dengan indikasi kehadiran cangkang *pelecypoda*, baik utuh maupun dalam kondisi pecah yang berkumpul di titik-titik kedalaman tertentu. Lempung kaku hingga sangat kaku dengan plastisitas sedang-tinggi dijumpai mulai kedalaman 30 m hingga 40 m dan di 70 m sampai 80 m terdapat indikasi lempung memiliki sifat mengembang yang aktif dibandingkan pada beberapa lempung di kedalaman lainnya.

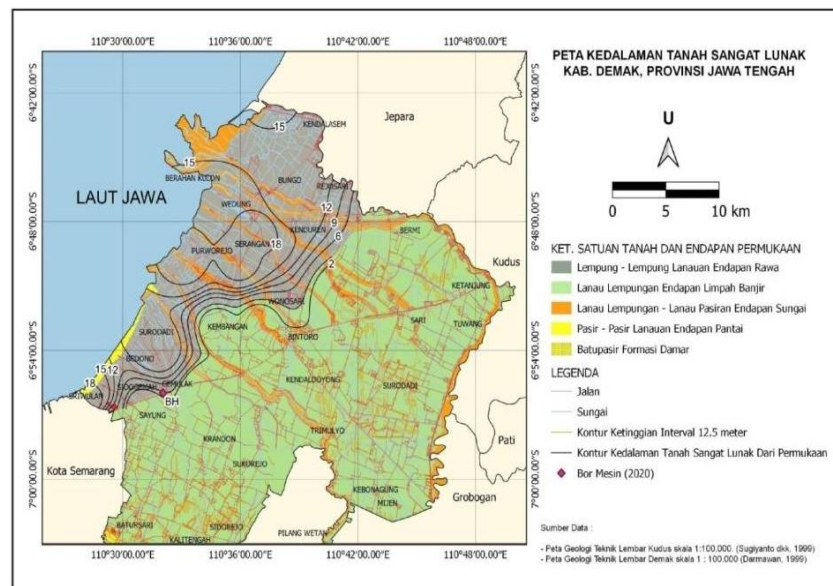
Berdasarkan analisis data sondir, dapat diketahui sebaran kedalaman tanah sangat lunak yang diperkirakan berpengaruh terhadap penurunan tanah di daerah penyelidikan. Dengan menggunakan klasifikasi konsistensi tanah lempung berdasarkan nilai tekanan konus q_c (Szechy dan Varga, 1978) (Tabel 3.1), menunjukkan sebaran tanah sangat lunak pada endapan aluvial semakin tebal kearah utara, seperti di daerah Gemulak Kecamatan Sayung ketebalan tanah lunak mulai dari 3 m sampai dengan > 18 m, sedangkan bagian tengah dan selatan Kota Demak sekitar jalan nasional ke arah selatan ketebalan tanah sangat lunak mulai berkurang umunya < 3 m (Gambar 3.9)



Gambar 3.8. Kalibrasi Hasil Seismik dengan Data Bor Teknik di Desa Gemulak, Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak

Tabel 3.1. Klasifikasi Konsistensi Tanah Lempung (Szechy dan Varga, 1978)

Tekanan Konus (q_c)	Konsistensi
< 5	Sangat lunak
5 - 15	Lunak – agak kaku
15 - 30	Kaku
30 - 60	Sangat Kaku
> 60	Keras



Gambar 3.9. Peta Kedalaman Tanah Sangat Lunak Daerah Demak

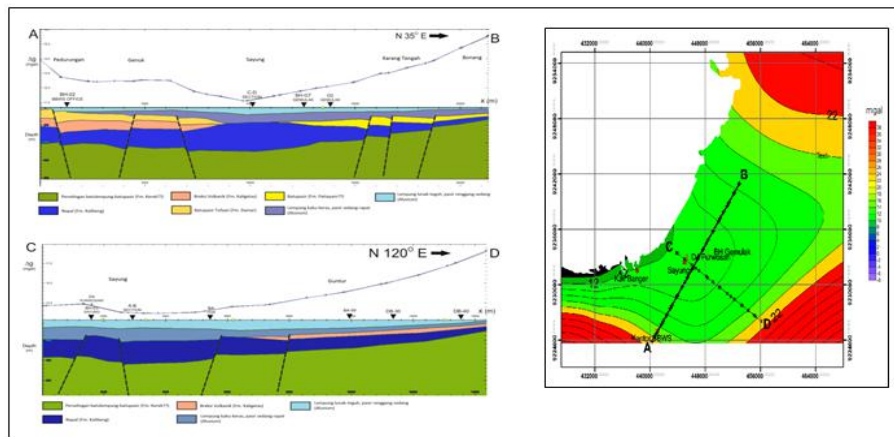
Data geofisik berdasarkan analisis anomali gaya berat dan interpretasi penampang bawah permukaan (Buana, 2016), di daerah Demak diduga batas alluvium berupa batuan berumur Kuartar, batupasir tufan Formasi Damar dan breksi vulkanik Formasi Kaligetas diperkirakan mengalami deformasi struktur bawah permukaan karena aktivitas tektonik.

Hasil pendugaan gaya berat daerah Demak dan sekitarnya menunjukkan daerah penyelidikan memiliki batas alluvium yang semakin menebal kearah Sayung hingga pantai utara Jawa. Ketebalan alluvium diperkirakan dapat

mencapai sekitar 200 m di bawah muka tanah. Berdasarkan hasil pengeboran di Gemulak sampai kedalaman 200 meter belum dijumpai batuan yang keras melainkan batuan yang sangat lemah (*extremely weak rock*) (Gambar 3.10).

Dalam penyelidikan (Buana, 2016), berdasarkan hasil intepretasi struktur geologi terhadap dua lintasan penampang A-B dan C-D diperkirakan struktur geologi memiliki peranan terhadap penurunan tanah yang terjadi di daerah penyelidikan. Ketebalan endapan alluvium di daerah ini dikontrol oleh struktur geologi yang ada. Pada penampang A-B hasil interpretasi gaya berat memperlihatkan graben di sekitar Sayung. Bentuk graben ini menunjukkan kalau daerah ini mengalami penurunan yang dipengaruhi oleh struktur geologi.

Pada penampang C-D menunjukkan pola struktur geologi dengan pergerakan relatif menurun kearah utara, tanah lunak daerah utara diperkirakan lebih tebal kearah pantai karena kontrol struktur geologi, yang diperkuat oleh hasil analisis data sondir yang memberikan informasi ketebalan tanah sangat lunak di bagian utara umumnya lebih besar dibandingkan bagian tengah dan selatan.



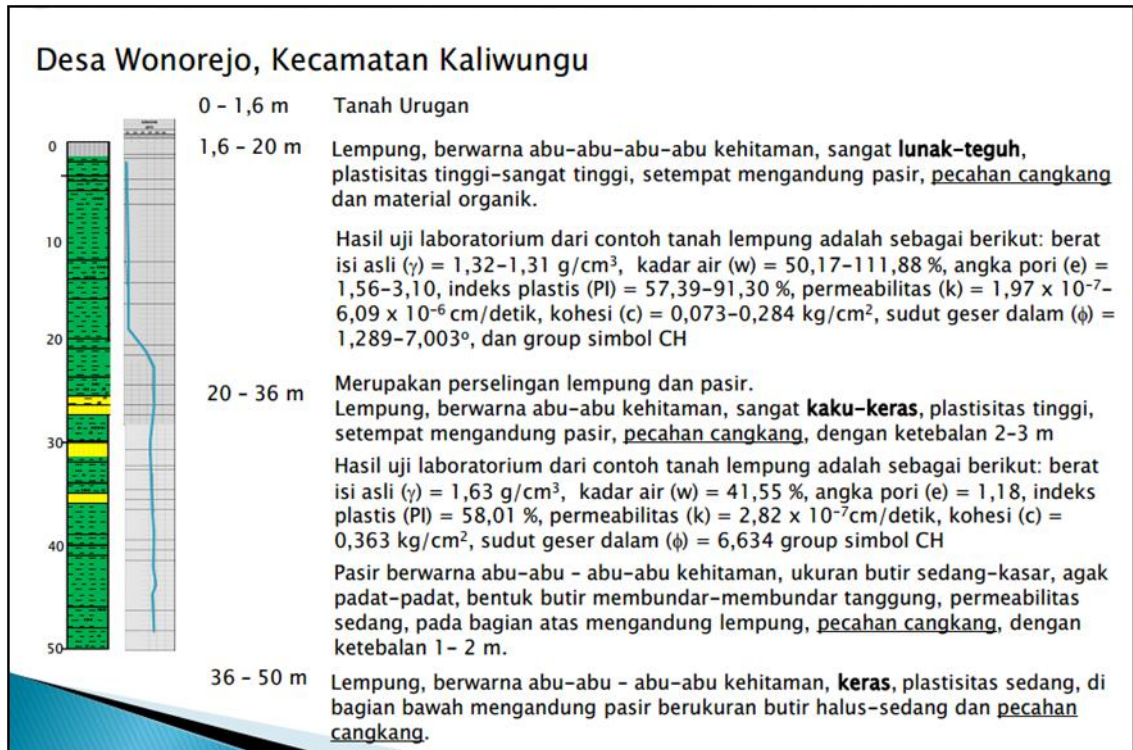
Gambar 3.10. Kontur Gaya Berat (mgal) dan Penampang Lintasan Gaya Berat
3.2.2. Geologi Teknik Kawasan Pantura Kendal

Hasil pengeboran teknik di Desa Wonorejo, Kecamatan Kaliwungu, Kabupaten Kendal, yang berada di Kawasan Ekonomi Khusus Kendal (KEK), menunjukkan stratigrafi hasil pengeboran teknik hingga kedalaman 50 meter dapat dilihat di (Tabel 3.2) dan (Gambar 3.11) bawah ini.

Tabel 3.2. Stratigrafi Hasil Pengeboran Teknik di Desa Wonorejo, Kendal (Hermawan, 2016)

No.	Kedalaman	Litologi
1.	0 – 1,6 m	Tanah Urugan

2.	1,6 – 20 m	Lempung, berwarna abu-abu, sangat lunak-teguh, plastisitas tinggi-sangat tinggi, setempat mengandung pasir dan pecahan cangkang.
3.	20 – 36 m	Merupakan perselingan lempung dan pasir. Lempung, berwarna abu-abu kehitaman, sangat kaku-keras, plastisitas rendah-sedang, setempat mengandung pasir, pecahan cangkang dan karang (gamping), dengan ketebalan 2 – 3 m. Pasir berwarna abu-abu – abu-abu kehitaman, ukuran butir sedang-kasar, agak padat-padat, bentuk butir membundar-membundar tanggung, permeabilitas sedang, pada bagian atas mengandung lempung, pecahan cangkang dan karang (gamping), dengan ketebalan 1- 2 m.
4.	36 – 50 m	Lempung, berwarna abu-abu – abu-abu kehitaman, keras, plastisitas rendah-sedang, di bagian bawah mengandung pasir berukuran butir halus-sedang dan pecahan cangkang.



Gambar 3.11. Startigrifi Hasil Pengeboran Teknik di Desa Wonorejo, Kecamatan Kaliwungu, Kabupaten Kendal

Sedangkan hasil pengujian SPT di daerah ini menunjukkan pada kedalaman 0 – 20 m, litologi umumnya merupakan lempung dengan konsistensi sangat lunak-teguh, nilai SPT menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya kedalaman, sedangkan pada kedalaman 20 – 50 m konsistensi pada tanah lempung umumnya sangat kaku – keras, dengan nilai SPT 29 – 39 tumbukan, dan kepadatan relatif pada pasir dengan SPT 30 - 40 tumbukan, agak padat-padat (Tabel 3.3).

Tabel 3.3. Hasil Uji SPT dan Jenis Tanah pada Lokasi Pengeboran Teknik di Desa Wonorejo, Kendal (Hermawan, 2016)

No	Kode	Kedalaman (m)	Jenis Tanah	Nilai SPT
1	SPT-1	2.00 – 2.45	Lempung , sangat lunak	2
2	SPT-2	4.00 – 4.45	Lempung , sangat lunak	2

3	SPT-3	6.00 – 6.45	Lempung , sangat lunak	2
4	SPT-4	8.00 – 8.45	Lempung, sangat lunak	2
5	SPT-5	10.00 – 10.45	Lempung, lunak	3
6	SPT-6	12.00 – 12.45	Lempung, sangat lunak	2
7	SPT-7	14.00 – 14.45	Lempung, lunak	4
8	SPT-8	16.00 – 16.45	Lempung, teguh	5
9	SPT-9	18.00 – 18.45	Lempung, teguh	5
10	SPT-10	20.00 – 20.45	Lempung, sangat kaku	29
11	SPT-11	22.00 – 22.45	Lempung, keras	39
12	SPT-12	24.00 – 24.45	Lempung, keras	37
13	SPT-13	26.00 – 26.45	Pasir, padat	40
14	SPT-14	28.00 – 28.45	Lempung, keras	33
15	SPT-15	30.00 – 30.45	Pasir, agak padat-padat	30
16	SPT-16	32.00 – 32.45	Lempung, keras	34
17	SPT-17	34.00 – 34.45	Lempung, keras	33
18	SPT-18	36.00 – 36.45	Lempung, keras	34
19	SPT-19	38.00 – 38.45	Lempung, keras	34
20	SPT-20	40.00 – 40.45	Lempung, keras	36
21	SPT-21	42.00 – 42.45	Lempung, keras	34
22	SPT-22	44.00 – 44.45	Lempung, keras	32
23	SPT-23	46.00 – 46.45	Lempung, keras	35
24	SPT-24	48.00 – 48.45	Lempung, keras	33

Sedangkan hasil pengeboran teknik di Kantor Kecamatan Waleri, Desa Karangdowo, Kecamatan Waleri, Kendal, relatif berada di bagian selatan, merupakan daerah yang berkembang menjadi salah satu pusat perniagaan di Kabupaten Kendal.

Stratigrafi hasil pengeboran teknik hingga kedalaman 50 meter di lokasi ini dapat dilihat pada (Tabel 3.4), sedangkan hasil pengujian SPT dan jenis tanah dapat dilihat pada (Tabel 3.5).

Tabel 3.4. Stratigrafi pada Lokasi Desa Karangdowo (Hermawan, 2016)

No.	Kedalaman	Litologi
1.	0 – 2 m	Tanah Urugan
2.	2 – 10 m	Lempung bersisipan lanau pasiran. Lempung berwarna coklat - abu-abu, sangat lunak-teguh, plastisitas tinggi-sangat tinggi, setempat mengandung kerakal dan material organik. Lanau pasiran, abu-abu, teguh, plastisitas rendah, mengandung pasir halus 40%.
3.	10 – 14 m	Pasir halus-kasar dan pada bagian bawah kerikilan, menunjukkan gradasi mengkasar ke bawah, berwarna coklat - abu-abu, lepas-agak padat, mebulat-menyudut, porositas baik, permeabilitas baik, setempat mengandung lanau, kerakal dan pecahan cangkang, dengan ketebalan 4 m.
4.	14 – 36,45 m	Lempung, berwarna coklat - abu-abu kehitaman, sangat kaku-keras, plastisitas rendah-sedang, setempat mengandung pasir , kerikil, kerakal, dan pecahan cangkang.

5	36,45 - 50 m	Tuff sisipan breksi. Tuff berwarna abu-abu kecoklatan, coklat kemerahan –coklat kekuningan, melapuk kuat, berbutir halus-sedang, mengandung feldspar dan setempat mengandung komponen andesit. Breksi, menyudut-menyudut tanggung, dengan komponen andesit, berukuran 2-7 cm, dengan ketebalan 0,2 -1,8 m. Merupakan bagian dari Formasi Damar (QTd).
---	--------------	---

Tabel 3.5. Hasil Uji SPT dan Jenis Tanah pada Lokasi Pengeboran Teknik Desa Karangdowo (Hermawan, 2016)

No	Kode	Kedalaman (m)	Jenis Tanah	Nilai SPT
1	SPT-1	2.00 – 2.45	Lempung , sangat lunak	2
2	SPT-2	4.00 – 4.45	Lempung , sangat lunak	2
3	SPT-3	6.00 – 6.45	Lempung, teguh-kaku	16
4	SPT-4	8.00 – 8.45	Lempung pasiran, teguh	5
5	SPT-5	10.00 – 10.45	Pasir halus-kasar, agak padat	17
6	SPT-6	14.00 – 14.45	Lempung, sangat kaku	21
7	SPT-7	16.00 – 16.45	Lempung, kaku	14
8	SPT-8	18.00 – 18.45	Lempung, sangat kaku	24
9	SPT-9	20.00 – 20.45	Lempung, sangat kaku	27
10	SPT-10	22.00 – 22.45	Lempung, keras	31
11	SPT-11	24.00 – 24.45	Lempung, keras	33
12	SPT-12	26.00 – 26.45	Lempung, sangat kaku	29
13	SPT-13	28.00 – 28.45	Lempung, keras	31
14	SPT-14	30.00 – 30.45	Lempung, keras	34
15	SPT-15	32.00 – 32.45	Lempung, sangat kaku	27
16	SPT-16	34.00 – 34.45	Lempung, sangat kaku	22
17	SPT-17	36.00 – 36.45	Lempung, sangat kaku-keras	30
18	SPT-18	38.00 – 38.45	Tuff, melapuk kuat	50
19	SPT-19	42.00 – 42.45	Tuff, melapuk kuat	44
20	SPT-20	44.00 – 44.45	Tuff, melapuk kuat	30
21	SPT-21	46.00 – 46.45	Tuff, melapuk kuat	44
22	SPT-22	48.00 – 48.45	Tuff, melapuk kuat	47

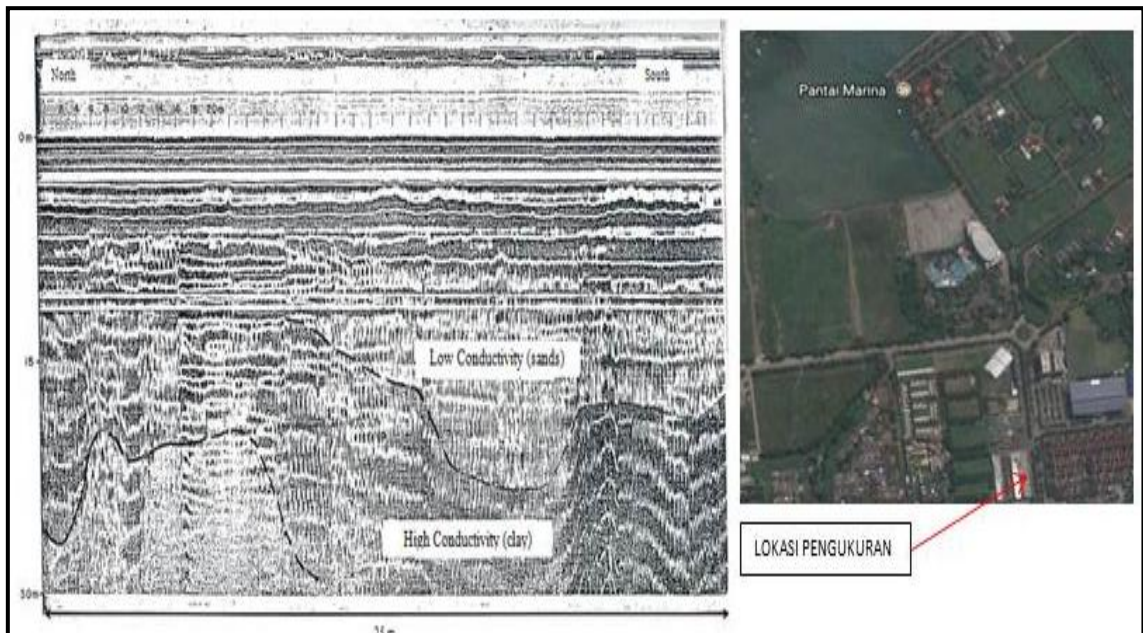
Hasil pengujian SPT menunjukkan pada kedalaman 0 – 10 m, litologi umumnya merupakan lempung dengan konsistensi sangat lunak-teguh dengan nilai SPT 2 – 5 tumbukan, pada kedalaman 10 – 37 m konsistensi tanah lempung umumnya kaku-keras dengan nilai SPT 14 – 34 tumbukan, dan kepadatan relatif pada pasir dengan SPT 17 tumbukan agak padat. Pada kedalaman 37 – 50 m pada tuff melapuk kuat menunjukkan nilai SPT 30 – 50.

3.2.3. Geologi Teknik Kawasan Pantura Semarang

Kawasan pantai utara Semarang dicirikan oleh relief rendah yang disusun oleh endapan alluvial pantai, rawa dan marin. Karakteristik garis pantai dicirikan oleh endapan lumpur, tumbuhan mangrove, pantai berpasir dan berbatuan. Berdasarkan hasil survey PPGL, 2005 dengan melakukan rekaman *subsurface interface radar (SIR)* kondisi geologi bawah permukaan dapat diketahui bahwa di

utara Kota Semarang merupakan endapan alluvial pantai (Tanjung Mas) dan bagian kota atau selatan (Simpang Lima) didasari oleh batuan vulkanik.

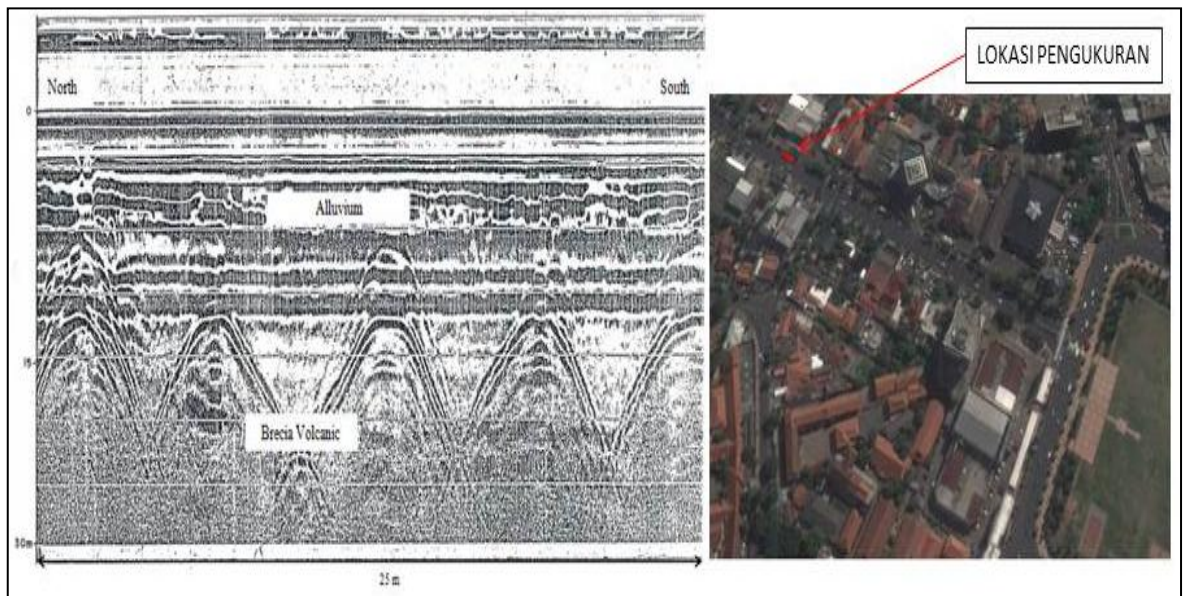
Berdasarkan hasil pendeteksian georadar kondisi geologi bawah permukaan disekitar Pantai Marina pada lintasan 1 (Gambar 3.12), menunjukkan sedimen bawah permukaan dicirikan oleh konduktifitas yang berbeda-beda. Konduktifitas tinggi dicirikan oleh warna yang relatif hitam dan konduktifitas rendah oleh warna yang relatif terang. Sedimen dengan sifat konduktifitas tinggi biasanya diduga sebagai sedimen lempung atau sedimen berpasir dengan kadar air yang relatif tinggi atau kandungan air asin karena pada daerah pantai. Berdasarkan hasil rekaman tersebut maka dapat ditafsirkan pada lintasan georadar ini mencerminkan sedimen lempung dan sedimen berpasir dimana keduanya kemungkinan merupakan endapan alluvial pantai atau marin.



Gambar 3.12. Hasil Georadar Lintasan 1 di Pantai Marina Semarang

Pendeteksian georadar pada lintasan 2 di daerah Simpang Lima Kota Semarang (Gambar 3.13), menunjukkan sedimen bawah permukaan dibagian selatan pantai terdiri dari batuan vulkanik yang ditutupi oleh endapan alluvial pantai atau marine. Penafsiran rekaman georadar di lintasan 2 memperlihatkan kedalaman 0-10 meter terdiri dari litologi dengan konduktifitas tinggi ditafsirkan sebagai sedimen lempung atau lanau yang kadang-kadang diselengi oleh sedimen pasir. Dibagian bawahnya ditafsirkan sebagai litologi yang lebih padat yang dicirikan oleh bentuk-bentuk hiperbolik yang sangat berbeda dengan

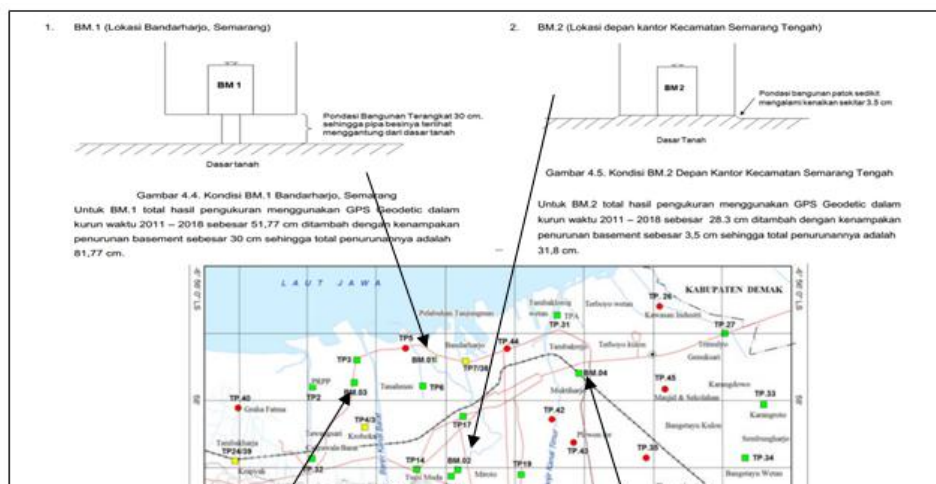
lapisan penutupnya. Kemungkinan lapisan tersebut merupakan batuan breksi vulkanik.



Gambar 3.13. Hasil Georadar Lintasan 2 di Daerah Simping Lima, Kota Semarang

Berdasarkan hasil pemantauan GPS Geodetik Trimble GNSS R7 (Risna, 2018), pada lokasi titik pemantauan di Semarang (Gambar 3.10), menunjukkan perubahan yang bervariasi, seperti di BM-1 daerah Bandarharjo yang terangkat dengan jarak antara bawah beton dengan tanah sebesar 30 cm, BM-2 di daerah Miroto yang terangkat dengan jarak antara bagian bawah beton dengan tanah sebesar 3,5 cm, BM-3 di kantor Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah (Madukoro), terangkat dengan jarak antara bagian bawah beton dengan tanah sebesar 42 cm, dan di BM-4 di Kantor dinas Kebersihan Provinsi Jawa Tengah (Kaligawe) di daerah sekitarnya sudah terjadi peninggian 80 cm.

Jika dilihat dari sisi variasi litologi di BM-4 terdapat lapisan lempung yang paling tebal sehingga di daerah ini laju penurunan tanah paling tinggi diikuti oleh BM-3, BM-1. Dan berdasarkan hasil data pemboran di titik-titik BM tersebut Kota Semarang didominasi oleh lempung yang semakin menebal kearah utara dan timur.



Gambar 3.14. Titik Lokasi Pemantauan Penurunan Tanah dan Laju Penurunan Tanah Semarang (Widyaningrum, 2018)

3.2.4. Geologi Teknik Kawasan Pantura Pekalongan

Kondisi bawah permukaan berdasarkan hasil pengeboran teknik BM-1 (Tabel 3.6 dan Tabel 3.7), di Stadion Hoegeng, Desa Pasir Kraton Kramat, Kecamatan Pekalongan Barat, menurut Buana, (2020), menjelaskan fasies lingkungan pengendapan dan juga kondisi bawah permukaan dapat dibagi dalam beberapa group endapan aluvial yaitu:

Tabel 3.6. Kondisi Bawah Tanah Sumur Bor BM-1 di Stadion Hoegeng (Buana, 2020)

DALAM	DESKRIPSI	LINGKUNGAN PENGENDAPAN
1.3 - 10.45	Pasir, abu-abu, pasir halus - pasir sedang, membulat, mengandung sedikit lempungan porositas baik, permeabilitas baik	Dataran Banjir (Proximal)
10.45 - 14.0	Lempung, abu-abu, sangat lunak, plastisitas tinggi-sangat tinggi, terdapat pecahan molusca laut, ada sedikit campuran pasir halus	Marsh
14.00 - 24.45	Lempung, abu-abu, sangat lunak, plastisitas tinggi-sangat tinggi.	Endapan Fluvial Menuju Marsh
24.45 - 39.0	Lempung, abu-abu, lunak - teguh, plastisitas sedang tinggi, setempat terdapat material asing (caliche), laminasi	Endapan Rawa
39.0 - 47.0	Lempung, coklat keabuan, lunak - teguh, plastisitas sedang - tinggi	Endapan Fluvial (Distal)
47.0 - 50.5	Pasir tufaan, pasir halus, coklat keabuan, membulat, porositas baik, permeabilitas baik, lepas	Endapan Fluvial Vulkanik (Chanel - Chanel Shifting)
50.5 - 50.7	Basalt Konglomerat	Basal Konglomerat
50.7 - 50.75	Humus	Humus
50.75 - 52.0	Lanau tufaan abu kehijauan, disikasi, terdapat akar tumbuhan (alang-alang), teguh - kaku, plastisitas sedang	Endapan Fluvio Vulkanik
52.0 - 56.6	Pasir tufaan, coklat, pasir halus, porositas sedang, permeabilitas sedang, setempat laminasi	Endapan Piroklastik
56.6 - 58.5	Pasir lanauan, abu-abu, pasir halus - pasir kasar, porositas sedang, permeabilitas sedang	Endapan Fluvial (Chanel)
58.5 - 61.5	Pasir, abu-abu, pasir sedang - pasir kasar, porositas baik, permeabilitas baik, terdapat nodul kecoklatan	Endapan Fluvio Vulkanik
61.5 - 62.5	Pasir, abu-abu, pasir halus, seragam, tufaan, membulat, porositas sedang, permeabilitas sedang, setempat cross bedding	Endapan Vulkanik (Distal Flood Plain)
62.5 - 63.7	Pasir lanauan, abu-abu, lanau-pasir halus, porositas sedang, permeabilitas sedang, terdapat butiran tuf warna merah yang sudah lapuk	Endapan Fluvial (Distal Flood Plain)
63.7 - 65.8	Lempung, hitam, kaku, organik kayu, terdapat sedikit tuf	Endapan Rawa
65.8 - 70.0	Pasir, abu-abu, pasir halus, seragam, tufaan, membulat, porositas sedang, permeabilitas sedang, setempat cross bedding	Endapan Fluvio Vulkanik
70.0 - 71.0	Lempung, abu-abu kecoklatan, tufaan, teguh, plastisitas rendah	Endapan Vulkanik Keybed Piroklastik

- **Grup endapan fluvial 1 (EF-1)**

Berupa pasir, abu-abu, pasir halus - pasir sedang, membulat, mengandung sedikit lempungan. Lingkungan pengendapan diperkirakan merupakan daerah dataran banjir mulai dari kedalaman 10,45 m di bawah muka tanah hingga permukaan tanah.

- **Grup endapan rawa hingga marsh (ERM)**

Berupa lempung abu-abu dan beberapa pasir halus dengan struktur laminasi paralel serta terdapat pecahan moluska laut dan caliche. Grup ini diperkirakan berada pada lingkungan pengendapan rawa hingga marsh mulai kedalaman 39 m hingga 10.45 m di bawah muka tanah.

- **Grup endapan fluvial 2 (EF-2)**

Berupa lempung cokelat keabu-abuan dan pada bagian bawahnya berupa pasir dan paling bawah berupa konglomerat alas. Konglomerat alas di bagian bawah diperkirakan berawal dari lingkungan pengendapan diperkirakan berupa endapan sungai (*channel*) menuju dataran banjir mulai dari kedalaman 50.7m hingga 39 m di bawah muka tanah.

- **Grup endapan fluvio vulkanik (EFv)**

Grup ini mulai kedalaman 75,5 m hingga 50.7 m dan memiliki karakter yang khas karena keterdapatannya material vulkanik seperti tuf baik berupa material rombakan maupun lapisan tuf. Lapisan tuf ini terdapat di dua lokasi yaitu pada kedalaman 70 m dan 52 m di bawah muka tanah. Lapisan tuf ini diperkirakan sebagai produk piroklastik jatuhnya dan dapat digunakan sebagai lapisan pengunci (*keybed*). Litologi pada umumnya berupa lempung, lanau dan pasir yang mengandung tuf berwarna cokelat hingga abu-abu. Pada bagian tengahnya dijumpai endapan rawa berupa lempung hitam dengan sisa kayu. Grup ini diperkirakan sempat terpapar cukup lama di permukaan sehingga dijumpai

humus setebal 0.75 m dan terdapat sisa akar tumbuhan alang-alang yang dijumpai juga pada lapisan bawahnya.

- **Grup endapan fluvial 3 (EF-3)**

Tersusun atas lanau dan pasir dan di beberapa tempat dijumpai pasir yang beberapa tempat sebagian sudah terkompaksi dan tersementasi lemah serta sedikit terdapat noktah noktah tuf. Lingkungan pengendapan diperkirakan berupa daerah dataran banjir mulai dari 100 m hingga 75,5 m. Sedangkan fasies lingkungan pengendapan di BM-2, Desa Kuripan Kertoharjo, Kecamatan Pekalongan selatan adalah sebagai berikut (Tabel 3.7).

Tabel 3.7. Kondisi Bawah Tanah Sumur Bor di BM-2 (Buana, 2020)

DALAM	DESKRIPSI	LINGKUNGAN PENGENDAPAN
1.0 - 7.0	Lanau - Lempung abu-abu kecoklatan, lunak, plastisitas tinggi	Endapan Banjir
7.0 - 8.45	Pasir lempungan, abu-abu, pasir halus - lempungan, porositas baik, permeabilitas baik, membulat	Endapan Banjir Proximal
8.45 - 9.6	Pasir, abu-abu, pasir sedang, porositas baik, permeabilitas baik, bersudut 5°, laminasi, membulat, seragam, lepas	Chanel Shifting
9.6 - 12.8	Pasir, abu-abu, pasir sedang - pasir kasar, porositas baik, permeabilitas baik, membulat, lepas	Chanel (Endapan Banjir)
12.8 - 13.0	Lempung, abu-abu, lunak, plastisitas tinggi	Minor Chanel
13.0 - 19.8	Lempung, abu-abu kehitaman, lunak, plastisitas tinggi, setempat terdapat molusca air tawar	Endapan Rawa
19.8 - 26.0	Lanau pasiran, abu-abu, mengandung pasir halus (sebagai sisipan), lunak, plastisitas sedang - tinggi	Endapan Banjir Menuju Distal
26.0 - 27.6	Mix pasir - brangkal, terdapat matriks pasir lepas, membulat	Main Chanel
27.6 - 28.0	Lanau (softrock), abu-abu, keras, atasnya terdapat mix pasir - kerikil - kerakal - brangkal, porositas baik, permeabilitas baik	Endapan Banjir Proximal (Levee)
32.0 - 33.0	Lempung, abu-abu, teguh, plastisitas sedang	Endapan Banjir (Kipas Aluvial Bagian Atas/Distal)
33.0 - 47.5	Bongkah rombakan, andesit, diameter 6 - 22 cm, membulat, mix dengan pasir kasar, porositas baik, permeabilitas	Kipas Aluvial
47.5 - 52.0	Lempung, tufaan, merah keabuan, ada material andesit lapuk, plastisitas sedang	Endapan Banjir Fluvio Vulkanik
52.0 - 53.3	Tuf, abu-abu, kaku, tidak plastis	Piroklastik Fault
53.3 - 57.1	Lempung - pasir kerikilan, ada tufaan, ada rombakan andesit, coklat keabuan, sangat padat	Endapan Banjir Fluvio Vulkanik
57.1 - 58.3	Brangkal pasiran, coklat, membulat, sangat padat, ada tuf, porositas baik, permeabilitas baik	Chanel Endapan Banjir
58.3 - 61.5	Pasir, kehitaman, sangat padat, laminasi, pasir halus - pasir sedang, porositas baik, permeabilitas baik	Chanel (Rawa)
61.5 - 65.5	Lempung, abu-abu kehitaman, keras, tidak plastis, extremely weak rock	Endapan Banjir Distal (Rawa)
65.5 - 66.0	Batupasir, abu-abu kehitaman, weak rock	Chanel Endapan Banjir
66.0 - 67.0	Batulempung, extremely weak rock, ada sulfur	Endapan Banjir Agak Ke Tengah
67.0 - 70.0	Batupasir, abu-abu, pasir kasar, extremely weak rock	Endapan Banjir Distal/Chanel (Rawa)

- **Grup endapan fluvial 1 (EF-1)**

Grup ini pada umumnya berupa pasir halus sampai kasar pada bagian bawah mulai dari 13 m hingga 7 m di bawah muka tanah dan lanau lempungan di bagian atas. Lingkungan pengendapan diperkirakan merupakan daerah *channel* sampai tanggul alam dan semakin ke atas menuju dataran banjir.

- **Grup endapan rawa (ER)**

Grup ini pada umumnya berupa lempung - lanau abu-abu kehitaman dan

beberapa pasir halus terdapat moluska air tawar. Grup ini diperkirakan berada pada lingkungan pengendapan rawa hingga dataran banjir bagian distal 26 m hingga 13 m di bawah muka tanah.

- **Grup endapan fluvial 2**

Grup ini pada umumnya berupa campuran pasir - kerikil - kerakal – brangkal dan lanau. Lingkungan pengendapan diperkirakan berupa endapan sungai (*channel*) menuju tanggul alam atau dataran banjir proksimal mulai dari kedalaman 32 m hingga 26 m di bawah muka tanah.

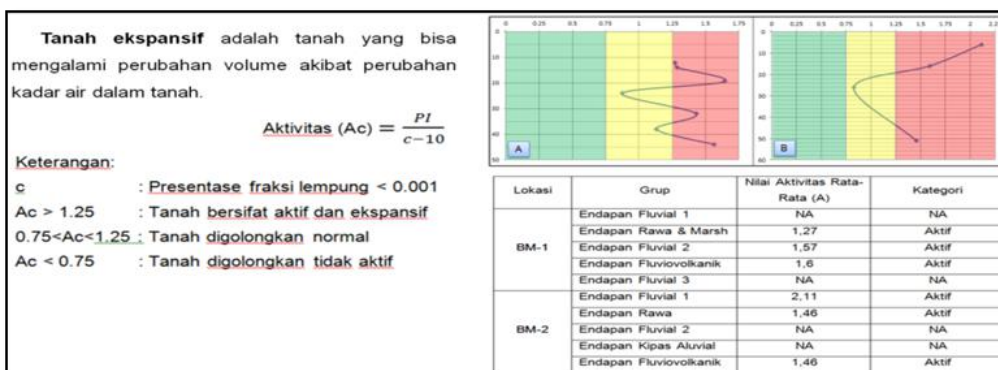
- **Grup endapan kipas aluvial (EK)**

Grup ini pada umumnya tersusun atas bongkah rombakan, andesit, diameter 6 - 22 cm, membulat, mix dengan pasir kasar di bagian bawah dan di bagian atas tertutup lempung. Lingkungan pengendapan diperkirakan bagian dari kipas aluvial mulai dari 32 m hingga 47.5 m di bawah muka tanah.

- **Grup endapan fluvio vulkanik (EFv)**

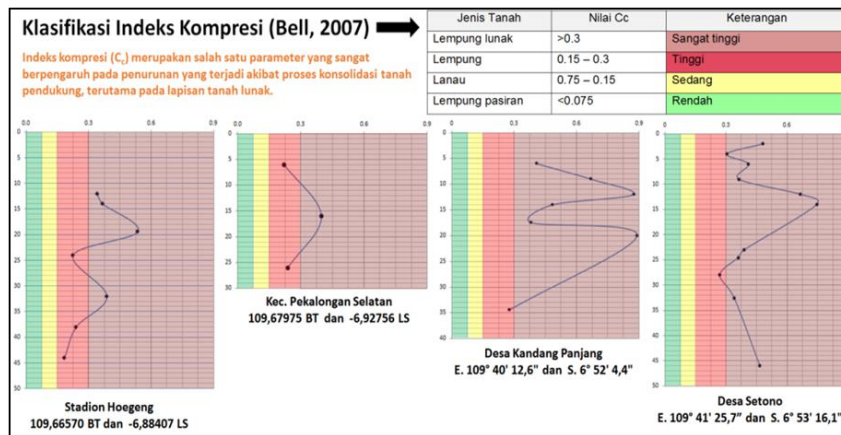
Grup ini mulai kedalaman 70 m hingga 47.5 m dan memiliki karakter yang khas karena keterdapat material vulkanik seperti tuf baik berupa material rombakan maupun lapisan tuf. Lapisan tuf ini diperkirakan sebagai produk piroklastik jatuhan dan dapat digunakan sebagai lapisan pengunci (*keybed*). Litologi pada umumnya berupa lempung, lanau dan pasir yang mengandung tuf berwarna coklat hingga abu-abu. Pada bagian tengahnya dijumpai endapan rawa berupa lempung hitam dengan sisa kayu. Pada bagian bawah terdapat terdapat batupasir-batulempung yang sudah terkompaksi dan tersementasi lemah.

Aktifitas tanah yang mengalami perubahan volume di daerah pekalongan di dua lokasi pengeboran BM-1 ada pada endapan rawa dan Marsh, lebih jelasnya dapat dilihat dalam keterangan (Gambar 3.15) di bawah ini.

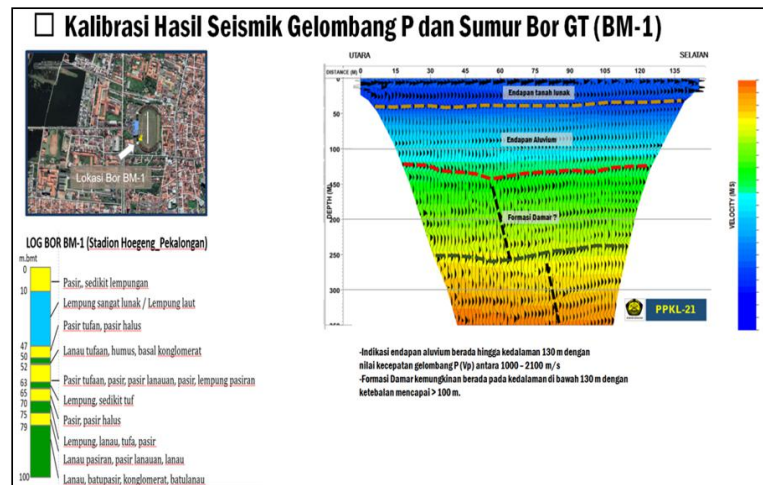


Gambar 3.15. Tanah Ekspansif Daerah Pekalongan

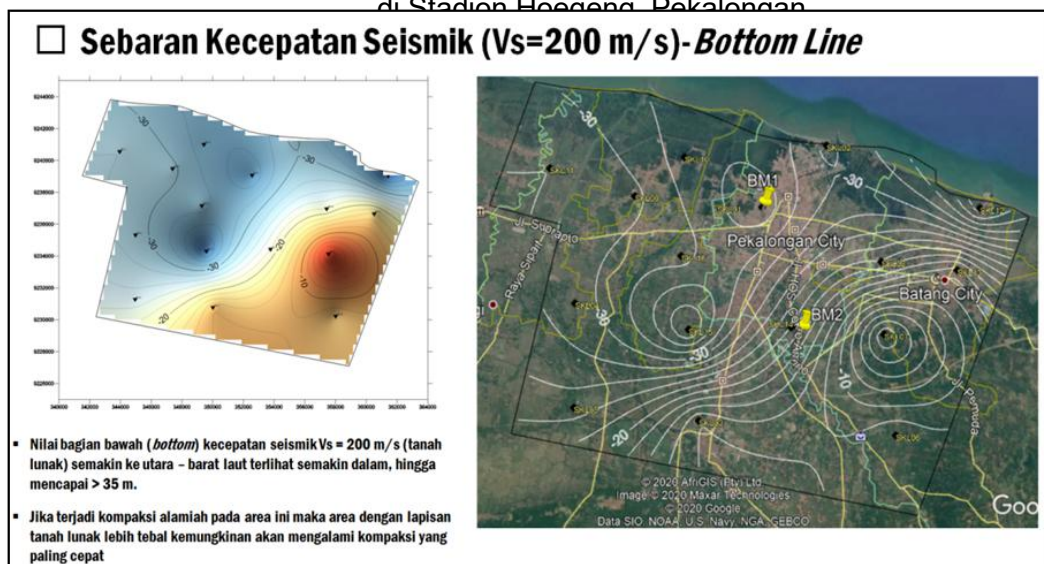
Sedangkan kondisi bawah permukaan di daerah Pekalongan Berdasarkan hasil pengeboran, tanah yang berpotensi mengalami penurunan pada BM 1. berada pada kedalaman 10.45 – 47 meter, sedangkan pada BM.2 berada pada kedalaman 1-7 meter dan 13 – 26 meter, dijelaskan dalam (Gambar 3.16, Gambar 3.17 dan Gambar 3.18).



Gambar 3.16. Indeks Kompresi Tanah Bawah Permukaan Daerah Pekalongan



Gambar 3.17. Kalibrasi Hasil Seismik dan Sumur Bor di Stadion Hoegeng, Pekalongan



Gambar 3.18. Kecepatan Seismik di Daerah Pekalongan

3.3. Hidrogeologi

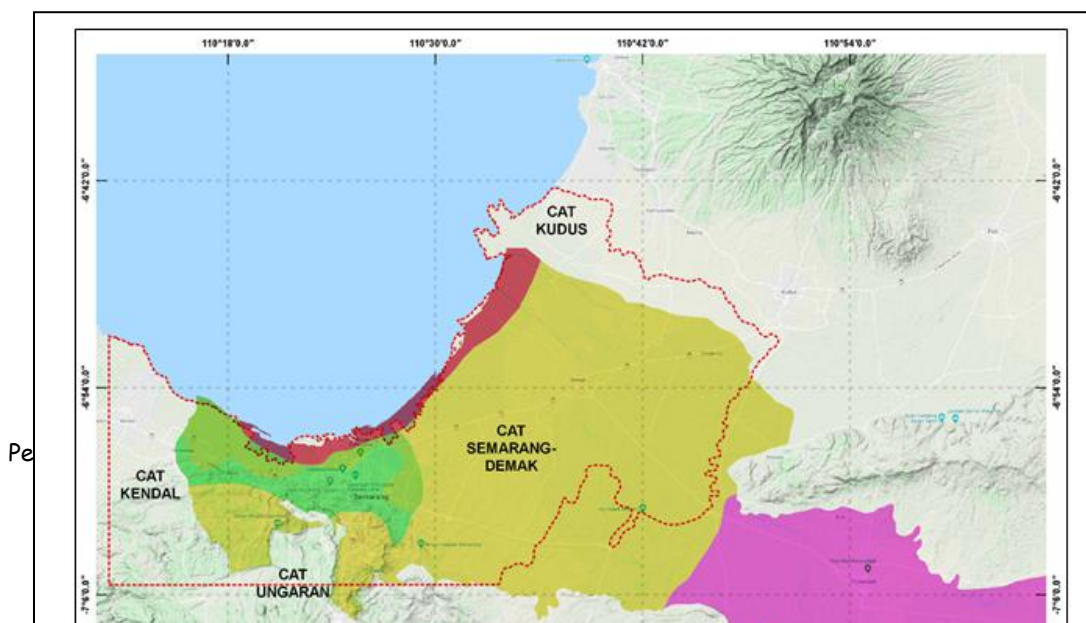
3.3.1. Hidrogeologi Kawasan Pantura Semarang – Demak

a. Potensi Air Tanah

Potensi air tanah ini menyangkut 2 (dua) parameter, yakni kuantitas dan mutu (kualitas) air tanah. Cekungan Air Tanah Semarang–Demak dikelompokkan menjadi 6 (enam) wilayah potensi air tanah (Wahyudin dkk., 2003). Gambar 3.19 menunjukkan Peta Potensi Air Tanah CAT Semarang – Demak.

- **Potensi Air Tanah Rendah pada Akuifer Dangkal dan Dalam**

Wilayah ini sebarannya di sekitar Protowetan, Mijen, Ngliyan, Gunungpati, dan Banyumanik, serta bagian timur Demak. Pada akuifer dangkal, aliran air tanah melalui ruang antar butir dan rekahan. Air tanah dijumpai pada kedudukan yang beragam yaitu 1-20 m bmt, kedudukan muka air tanah statis (MAS)= 1-15 m bmt, koefisien kelulusan (k)= 0,57-1,13 m/hari, koefisien keterusan (T)= 5,7-13,5 m²/hari, debit jenis (Q_s)= 0,03-0,09 liter/detik/meter, debit optimum (Q_{opt})= 0,2-1 liter/detik untuk jarak antar sumur 10-100 m. Kualitas air tanah umumnya baik dan layak untuk air minum. Pada akuifer dalam, aliran air tanah melalui ruang antar butir dan rekahan. Kedalaman akuifer 40-150 m bmt, MAS= 10-35 m bmt, k = 1,46-4,14 m/hari, T = 19,4-62,2 m²/hari, Q_s = 0,2-0,6 liter/detik/m, dan Q_{opt} = 0,6-1,9 liter/detik dengan jarak antar sumur 50-500 m. Kualitas air tanah umumnya baik untuk air minum.



Gambar 3.19. Peta Potensi Air Tanah CAT Semarang-Demak (Wahyudin, 2003)

- **Potensi Air Tanah Rendah untuk Akuifer Dangkal dan Sedang untuk Akuifer Dalam**

Wilayah ini meliputi Kaliwungu bagian selatan sampai Kota Semarang bagian selatan. Pada akuifer dangkal, aliran air tanah melalui ruang antar butir dengan litologi penyusun berupa material lepas pasir lempungan, pasir halus hingga kasar, kerikil dan kerakal. Kedudukan akuifer antara 1–25 m bmt, MAS= 1–10 m bmt, $k = 0,57-1,13$ m/hari, $T = 5-13$ m²/hari, $Q_s = 0,05-0,13$ liter/detik/m, dan $Q_{opt} = 0,5-1,8$ liter/detik dengan jarak antar sumur 10-100 m. Kualitas air tanah umumnya baik untuk air minum.

Pada akuifer dalam, aliran air tanah melalui ruang antar butir dengan litologi penyusun pasir lempungan, pasir halus hingga kasar, dan breksi vulkanik, kedudukan akuifer antara 60–150 m bmt, MAS= 10–35 m bmt, $k = 2-6,5$ m/hari, $T = 22-190$ m²/hari, $Q_s = 0,2-2,5$ liter/detik/m, $Q_{opt} = 2,5-9$ liter/detik dengan jarak antar sumur 100-400 m. Mutu air tanah dalam ini umumnya baik, setempat dijumpai sisipan lapisan akuifer dengan airtanah payau.

- **Potensi Air Tanah Nihil untuk Akuifer Dangkal dan Sedang untuk Akuifer Dalam**

Wilayah ini meliputi daerah Kaliwungu, Tambakharjo, sampai Kota Semarang bagian utara. Pada akuifer dangkal, aliran air tanah melalui ruang

antar butir dengan litologi penyusun berupa material lepas pasir lempungan, pasir halus hingga kasar, kerikil dan kerakal. Kedudukan akuifer antara 10–15 m bmt, MAS=5–15 m bmt, $k= 0,57-1,13$ m/hari, $T= 5,7-13,52$ m²/hari, $Q_s= 0,05-0,13$ liter/detik/m, dan $Q_{opt}= 0,5-1,3$ liter/detik dengan jarak antar sumur 4-14 m. Kualitas air tanah umumnya tidak layak untuk air minum.

Pada akuifer dalam, aliran air tanah melalui ruang antar butir dengan litologi penyusun pasir lempungan, pasir halus hingga kasar, dan breksi vulkanik, kedudukan akuifer antara 40–150 m bmt, MAS= 55 m bmt sampai 1 m di atas muka tanah, $k= 2-6,5$ m/hari, $T= 20-250$ m²/hari, $Q_s= 0,2-9,7$ liter/detik/m, $Q_{opt}= 2-9$ liter/detik dengan jarak antar sumur 100-300 m. Mutu air tanah dalam ini umumnya baik, setempat dijumpai sisipan lapisan akuifer dengan airtanah payau pengaruh dari pasang surut air laut.

- **Potensi Air Tanah Nihil pada Akuifer Dangkal dan Rendah pada Akuifer Dalam**

Wilayah ini meliputi daerah Demak sampai sekitar pantai utara Laut Jawa. Pada akuifer dangkal, aliran air tanah melalui ruang antar butir dengan litologi penyusun berupa material lepas pasir lempungan, pasir halus hingga kasar, kerikil dan kerakal. Kualitas air tanah umumnya tidak layak untuk air minum, karena payau-asin (kadar klorida lebih dari 250 mg/liter).

Pada akuifer dalam, aliran air tanah melalui ruang antar butir dengan litologi penyusun pasir lempungan, dan pasir halus hingga kasar. Kedudukan akuifer antara 30–150 m bmt, MAS= 5-30 m bmt, $k= 1,46-4,14$ m/hari, $T= 10-50$ m²/hari, $Q_s= 0,2-9,7$ liter/detik/m, $Q_{opt}= 0,5-2$ liter/detik dengan jarak antar sumur 50-300 m. Mutu air tanah dalam ini umumnya baik, setempat dijumpai sisipan lapisan akuifer dengan airtanah payau.

- **Potensi Air Tanah Rendah pada Akuifer Dangkal dan Akuitar di Bawahnya**

Wilayah ini meliputi daerah bagian timur CAT Semarang-Demak, sekitar Purwodadi sampai daerah perbatasan Kab. Blora.

Pada akuifer dangkal, aliran air tanah melalui ruang antar butir dengan litologi penyusun berupa material lepas pasir lempungan, dan pasir halus hingga kasar. Kedudukan akuifer antara 2–20 m bmt, MAS=1–15 m bmt, $k= 0,57-1,13$ m/hari, $T= 5,7-13,52$ m²/hari, $Q_s= 0,05-0,13$ liter/detik/m, dan

$Q_{opt} = 0,5-1,3$ liter/detik dengan jarak antar sumur 20-100 m. Kualitas air tanah umumnya layak untuk air minum.

Bagian bawah yang mengalasi akuifer dangkal adalah napal dan batugamping yang berumur Tersier. Batuan ini dijumpai pada kedalaman sekitar 30 m bmt. Setempat air tanah memungkinkan dijumpai pada zona celahan, rekahan dan saluran, dengan debit yang kecil dan airnya sangat asin.

- **Potensi Air Tanah Nihil pada Akuifer Dangkal dan Dalam**

Wilayah ini meliputi daerah pantai dari Kaliwungu sampai Kota Semarang bagian utara, kemudian ke arah timur hingga Daerah pantai utara Demak.

Pada akuifer dangkal, aliran air tanah melalui ruang antar butir dengan litologi penyusun berupa material lepas pasir lempungan, pasir halus hingga kasar, kerikil, dan krakal. Kedudukan akuifer antara 2 sampai lebih dari 15 m bmt. $MAS = 1-15$ m bmt, $k = 0,22-0,72$ m/hari, $T = 5,7-13,52$ m²/hari, $Q_s = 0,05-1,3$ liter/detik/m, dan $Q_{opt} = 0,5-1,3$ liter/detik dengan jarak antar sumur 20-100 m. Kualitas air tanah umumnya tidak layak untuk air minum.

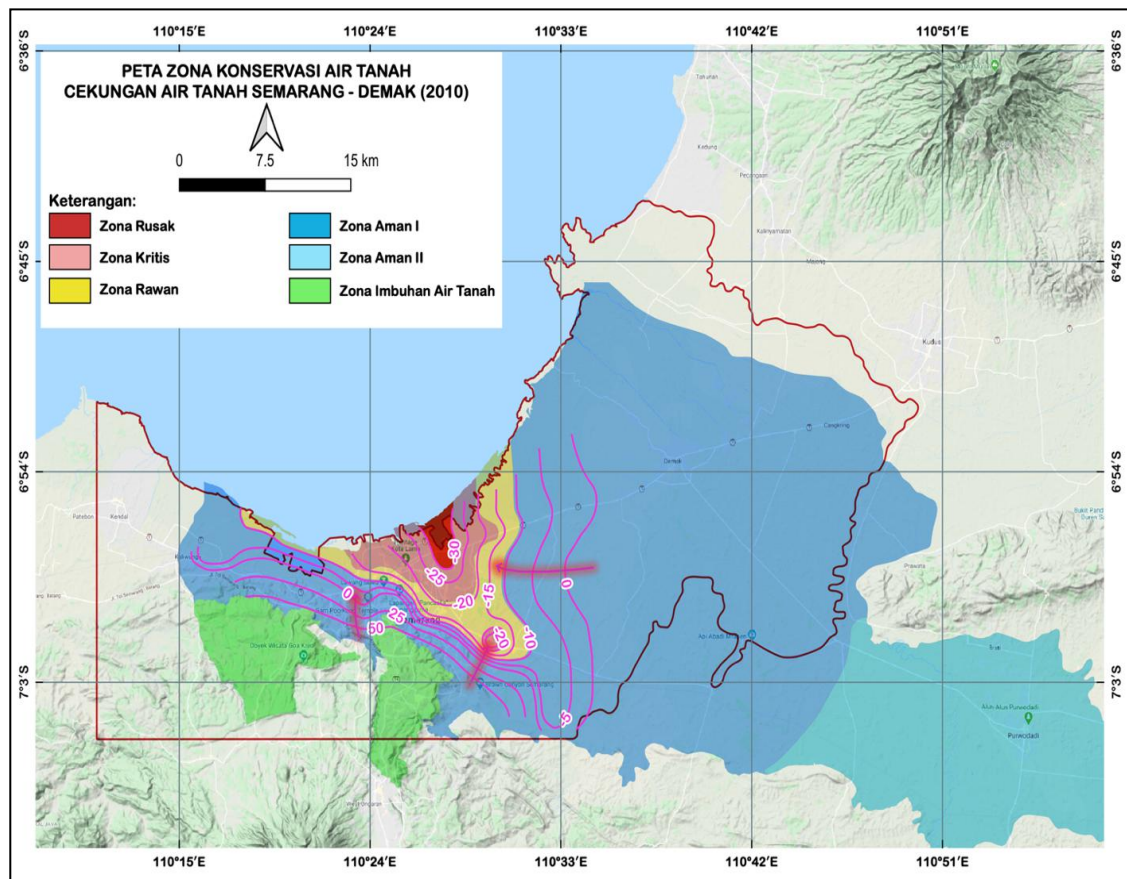
Bagian bawah yang mengalasi akuifer dangkal adalah napal dan batugamping yang berumur Tersier. Batuan ini dijumpai pada kedalaman sekitar 30 m bmt. Setempat air tanah memungkinkan dijumpai pada zona celahan, rekahan dan saluran, dengan debit yang kecil dan airnya sangat asin.

Pada akuifer dalam, aliran air tanah melalui ruang antar butir dengan litologi penyusun pasir lempungan, dan pasir halus hingga kasar. Kedudukan akuifer antara 30-80 m bmt pada akuifer endapan delta Garang, dan 100-150 m bmt pada batuan sedimen Kuater. $MAS = 5$ m bmt-15 m bmt, $k = 37,59-198,7$ m/hari, $T = 37,44-388,8$ m²/hari, $Q_s = 0,3-9,1$ liter/detik/m, $Q_{opt} = 10-30$ liter/detik dengan jarak antar sumur 50-200 m. Mutu air tanah dalam ini umumnya tidak layak sebagai sumber air bersih.

b. Konservasi Air Tanah

Kesamaan ketersediaan air tanah, kesamaan tingkat kerusakan air tanah dan kesamaan pengaturannyadipakai sebagai dasar dalam penyusunan Zona Konservasi Air Tanah. Zona Konservasi Air Tanah ini mencakup pengaturan kedalaman penyadapan dan pembatasan debit pengambilan,

serta prioritas peruntukannya. Cekungan Air Tanah Semarang–Demak dapat dibagi menjadi 6 zona (Gambar 3.20), yaitu:



Gambar 3.20. Peta Zona Konservasi Air Tanah CAT Semarang-Demak (PLG, 2010)

– **Zona Rusak (Zona I)**

Zona rusak untuk pengambilan air tanah pada akuifer 30-150 m bmt. Pengambilan air tanah pada akuifer tengah telah berlebihan, ditandai dengan penurunan muka air tanah sampai jauh di bawah muka tanah setempat (lebih dari -30 m dml). Penurunan muka tanah mencapai lebih dari 8 cm/tahun. Di beberapa tempat tergenang oleh pasang air laut dan

banjir, telah terjadi pencemaran air laut dan kemungkinan juga oleh limbah.

Zona rusak ini daerah penyebarannya meliputi Terboyo Kulon, Terboyo Wetan, Muktiharjo lor, dan Gebangsari (Kota Semarang).

Sebagai upaya pemulihan kondisi air tanah di zona ini adalah:

- Pengambilan air tanah pada kedalaman akuifer kurang dari 30 m bmt hanya diperbolehkan untuk keperluan air minum dan rumah tangga dengan pengambilan maksimum per sumur 100 m³/bulan.
- Pengambilan air tanah melalui pembuatan sumur bor baru dapat dilakukan pada akuifer kedalaman lebih dari 150 m, dengan debit maksimum 130 m³/hari/sumur dan setelah melakukan pemboran eksplorasi terlebih dahulu.
- Kemudian pembuatan sumur imbuhan dengan pipa saringan dipasang pada kedalaman lebih dari 30 m atau sama dengan pipa saringan yang dipasang pada sumur produksi pada zona ini.

– **Zona Kritis (Zona II)**

Penyebarannya meliputi sekitar Tawangsari - Tawang Mas - Panggung – Tanjung Mas – Kaligawe – Pedurungan – Genuksari – Trimulyo dan Penggaron – Plamongansari (Kota Semarang) – Sayung (Kab. Demak).

Kedudukan muka air tanah pada zona ini berkisar antara -21 m sampai -30 m dml. Penurunan muka tanah lebih dari 4-5 cm/tahun. Di beberapa tempat tergenang oleh pasang laut dan banjir sehingga resiko pencemaran air laut dan limbah cukup tinggi.

Sebagai upaya pemulihan kondisi air tanah di zona ini adalah:

- Pengambilan air tanah melalui pembuatan sumur bor baru yang menyadap akuifer pada kedalaman 30–150 m bmt disarankan hanya diperbolehkan untuk keperluan air minum dan rumah tangga dengan debit pengambilan maksimum 100 m³/bulan.
- Untuk keperluan selain air minum dan rumah tangga disarankan untuk menyadap akuifer dengan kedalaman lebih dari 150 m bmt dengan debit maksimum 160 m³/hari/sumur dan setelah melakukan pemboran eksplorasi terlebih dahulu.
- Untuk perpanjangan sumur–sumur lama pada zona ini, pada saat perpanjangan izin pengambilan air tanah disarankan untuk dilakukan pengurangan debit 15-20% dari debit sebelumnya.
- Pembuatan sumur imbuhan dengan pipa saringan dipasang pada kedalaman lebih dari 30 m atau sama dengan pipa saringan yang dipasang pada sumur produksi pada zona ini.

– **Zona Rawan (Zona III)**

Zona ini menempati daerah dataran, dibatasi oleh garis kontur pisometrik antara -12 m sampai -21 m dml dengan kedudukan akuifer yang umumnya pada kedalaman 30–90 m bmt.

Zona ini meliputi daerah pantai mulai dari daerah Mororejo Kaliwungu sampai Tambakharjo, kemudian Pandansari – Plamongansari – Mranggen – Karangroto – Sayung.

Untuk daerah dataran pantai, zona ini mempunyai resiko mengalami pencemaran air laut dan limbah.

Sebagai upaya pemulihan kondisi air tanah di zona ini adalah:

- Akuifer yang disadap pada kedalaman 30-90 m bmt direkomendasikan untuk membatasi debit pengambilannya maksimum 200 m³/hari.
- Akuifer yang disadap pada kedalaman lebih dari 90 m bmt, direkomendasikan debit pengambilannya dimungkinkan hingga 200 m³/hari, dan setelah melakukan pemboran eksplorasi terlebih dahulu.
- Sumur bor lama yang berada pada zona ini, disarankan pada saat pemberian perpanjangan izin agar debit pengambilan dikurangi 10-15%.
- Pembuatan sumur baru sebagai sumur pengganti dapat dilakukan apabila sumur lama tidak berfungsi lagi.

– **Zona Aman (Zona IV)**

Zona ini menempati daerah dataran, dibatasi oleh garis kontur pisometrik kurang dari -12 m dml dengan kedudukan akuifer yang umumnya pada kedalaman 30–90 m bmt.

Zona ini meliputi Mororejo (Kaliwungu)–Mankang–Manyaran-Semarang Selatan-Timur–Mranggen-Grobogan-Demak–Bonang.

Upaya pengendalian air tanah pada zona ini adalah pengambilan air tanah disarankan menyadap akuifer dengan kedalaman lebih dari 30 m direkomendasikan untuk membatasi debit pengambilannya maksimum 300 m³/hari/sumur. Air tanah pada akuifer dengan kedalaman kurang dari 30 m bmt diperuntukan hanya untuk keperluan air minum dan rumah tangga dengan debit maksimum 100 m³/bulan.

– **Zona Aman dengan Produktivitas Rendah (Zona V)**

Zona ini menempati daerah dataran bagian timur-selatan CAT Semarang-Demak, yaitu sekitar Karangrayung – Panawangan-Purwodadi-Kradenan-Kunduran.

Air tanah pada akuifer dengan kedalaman kurang dari 30 m bmt hanya untuk keperluan air minum dan rumah tangga dengan debit maksimum 100 m³/bulan. Pada kedalaman lebih dari 30 m bmt, umumnya merupakan batuan non akuifer. Meskipun demikian, setempat air tanah masih memungkinkan dijumpai pada zona rekahan dengan produktivitas kecil, disarankan hanya untuk keperluan air minum dan rumah tangga.

– **Zona Imbuhan Air Tanah (Zona V)**

Zona ini menempati daerah pebukitan yang ditutupi oleh batuan vulkanik tua dari Formasi Damar (batupasir tufan, konglomerat, breksi vulkanik) dan Formasi Kaligetas (breksi vulkanik, aliran lava, tuf, batupasir tufan dan batulempung). Tinggi pisometrik air tanah lebih dari 50 m dml.

Zona ini tidak untruk dikembangkan bagi berbagai peruntukkan, kecuali untuk air minum dan rumah tangga dengan dengan debit maksimum 100 m³/bulan. Untuk keperluan lainnya dapat dipertimbangkan setelah dilakukan pengkajian hidrogeologi dan persyaratan teknis tertentu.

c. Kuantitas Air Tanah Daerah Penelitian

Pengambilan air tanah yang intensif mengakibatkan dampak penurunan muka air tanah sehingga membentuk kerucut depresi muka air tanah. Pada kondisi yang lebih lanjut dari penurunan muka air tanah, mengakibatkan terjadinya penurunan muka tanah (amblesan tanah) sehingga membentuk depresi permukaan tanah yang menyebabkan terjadinya genangan air/banjir. Kerucut depresi muka air tanah juga dapat memicu terjadinya kontaminasi air tanah dari akuifer dangkal yang kualitas airnya buruk, atau adanya kemungkinan terjadinya intrusi air laut.

• **Kedudukan Muka Air Tanah**

Kedudukan muka air tanah di daerah penyelidikan diperoleh dari pengukuran muka air tanah pada sumur bor pantau dan sumur bor produksi terpilih (titik minat). Karena jumlah sumur bor pantau terbatas, maka untuk memperoleh

data muka air tanah yang representatif, dipakai pengukuran muka air tanah pada sumur bor produksi yang difungsikan sebagai sumur bor pantau, yaitu dengan menghentikan pemompaan selama 30 menit.

Perubahan kedudukan muka air tanah dangkal sangat dipengaruhi oleh musim dan curah hujan. Hal ini ditunjukkan oleh naiknya muka air tanah dangkal sebagai akibat proses pengisian kembali pada musim hujan dan penurunan muka air tanah pada musim kemarau. Sehingga indikasi adanya perubahan pola muka air tanah dangkal sebagai akibat pengambilan tidak dapat diketahui.

Di daerah dataran, air tanah dangkal umumnya tersimpan dalam akuifer endapan aluvium yang terdiri dari bahan-bahan lepas berukuran pasir halus sampai kerikil. Di daerah ini, kedalaman muka air tanah umumnya kurang dari 5 m bmt. Ke arah selatan mulai ketinggian sekitar 75 m aml, kedalaman muka air tanah umumnya antara 5–10 m bmt, dan di daerah perbukitan, air tanah yang tersimpan dalam akuifer batupasir tufan, batupasir gampingan dan lapukan breksi, kedalamannya antara 10-15 m bmt. Muka air tanah di daerah lembah, umumnya lebih dangkal dibandingkan di daerah punggung. Di daerah punggung perbukitan, kedalaman muka air tanah umumnya lebih dari 15 m bmt.

Arah aliran air tanah dangkal untuk bagian barat daerah penelitian. di sekitar Semarang relatif mengarah ke selatan-utara dengan garis kesamaan potensial berarah hampir barat-timur mengikuti pola topografi setempat. Di bagian tengah arah aliran air tanah tenggara-timur laut, sedangkan di bagian timur aliran air tanah mengarah timur-barat.

Kondisi muka air tanah dangkal ini mempunyai kecenderungan semakin dangkal ke arah utara. Hal ini berkaitan dengan kondisi morfologi yang semakin rendah dan melandai ke arah utara. Di bagian tengah hingga timur cekungan, kedalaman muka air tanah cenderung landai sepanjang daerah dataran.

Dalam suatu cekungan air tanah, muka air tanah selalu dalam keadaan dinamis. Apabila besar imbuhan air tanah sama dengan jumlah lepasan atau jumlah pengambilan air tanah, maka terjadi suatu keseimbangan. Dalam kondisi ini muka air tanah relatif tetap atau tidak berubah oleh waktu. Kemudian akibat dari jumlah pengambilan air tanah yang melampaui



kemampuan imbuhan, maka akan terjadi penurunan muka air tanah yang dapat membentuk kerucut terbalik (*cone of depression*) pada daerah dimana pengambilan air tanah intensif (Gambar 3.21).

Gambar 3.21. Peta Kontur Muka Air Tanah Tertekan (PATGTL, 2020)

Kedudukan muka air tanah pada akuifer tengah ini relatif dangkal, bahkan di beberapa tempat positif yaitu kedudukan muka air tanah atau tinggi pisometri di atas muka tanah. Kemudian muka air tanah cenderung semakin dalam ke arah daerah pengambilan air tanahnya intensif terutama pada kawasan padat industri.

Menurunnya kuantitas air tanah ditunjukkan oleh penurunan kedudukan muka air tanah. Perubahan jumlah air tanah yang terdapat dalam cekungan maka akan diikuti oleh perubahan kedudukan muka air tanah, oleh karena itu untuk mengetahui perubahan kuantitas maka kita dapat dilakukan melalui observasi penurunan muka air tanah.

Pola kedudukan muka air tanah tertekan selain dipengaruhi oleh topografi juga sangat dipengaruhi oleh intensitas pengambilan air tanah. Pada saat ini kedudukan muka air tanah di dataran Semarang telah berada di bawah muka laut dengan hampir mencakup sebagian besar daerah dataran pantai meliputi daerah Brangsong, Kaliwungu, Mangkang, Guntur, dan Demak.

Daerah dengan kedudukan muka air tanah tertekan terdalam ditandai oleh adanya kerucut penurunan muka air tanah dengan bentuk menyerupai elip yang terpotong oleh garis pantai. Kondisi ini terdapat di daerah Semarang bagian Timur Laut dan Demak bagian Utara, ialah daerah Pelabuhan Tanjungmas, Pengapon, Kaligawe, Terboyo, Genuk, dan Bangetayu. Kerucut penurunan muka air tanah tertekan tersebut terjadi akibat pengambilan air tanah yang intensif sehingga mengakibatkan penurunan muka air tanah, dengan kedudukan terdalam di Tambakbulusan mencapai sekitar 44,36 m di bawah muka laut. Perubahan muka air tanah pada sumur bor atau sumur pantau dengan muka air tanah di atas muka laut.

Muka air tanah di daerah Banowati dan Panggunglor (PAM Kampung Peres dan Sumur Pantau Madukoro) menunjukkan penurunan muka air tanah yang paling signifikan dalam 10 tahun terakhir yaitu di angka 10 m. Di daerah Purwosari dan Bugangan menunjukkan penurunan muka air tanah sebesar 7 m dari pengukuran tahun 2010. Muka air tanah di daerah Pranten dan Tawangmas menunjukkan penurunan muka air tanah yang lumayan signifikan yaitu 3 m setelah 10 tahun. Sedangkan beberapa daerah seperti di Mororejo dan Genuk secara setempat mengalami kenaikan kedudukan muka air tanah, hal ini dikarenakan faktor cuaca dimana saat dilakukan penelitian merupakan musim penghujan

d. Kualitas Air Tanah Daerah Penelitian

Kualitas air tanah dipengaruhi oleh 3 (tiga) komponen yaitu material (tanah dan batuan) yang mengandung atau yang dilewati air tanah, macam aliran dan proses perubahan akibat dari pencemaran yang sesuai dengan hukum fisika, kimia dan biologi. Oleh karena itu kualitas air tanah dapat berbeda antara satu tempat dengan tempat yang lain.

Untuk mengetahui gambaran mengenai kualitas air tanah, telah dilakukan pengukuran suhu dan daya hantar listrik (DHL) secara langsung di lapangan. Selain itu, dilakukan analisis sifat fisika, kimia dan biologi dari contoh air tanah terpilih di Laboratorium.



Gambar 3.22. Peta Kesamaan Daya Hantar Listrik Air Tanah

Berdasarkan peta daya hantar listrik air tanah pada Gambar 3.22 pada bagian Timur daerah penelitian memiliki nilai DHL yang cukup tinggi, yaitu daerah Kedondong, Kebonsari, dan Sidoardjo, Kabupaten Demak hasil pengambilan conto air tanah pada Sumur Bor PAG, dengan nilai DHL diatas 5000 uS/cm hal ini menunjukkan bahwa bagian timur daerah penelitian penelitian. Daya hantar listrik air tanah berbanding lurus dengan nilai TDS (zat padat terlarut) menurut Klasifikasi air tanah berdasarkan nilai TDS, air tanah pada daerah tersebut masuk kedalam kategori Air Payau. Hal ini membuktikan bahwa sebelah timur daerah penelitian yaitu kabupaten Demak pada sekitar 19 km dari garis pantai di sebelah utara telah terpengaruh oleh air laut.

Tabel 3.8. Klasifikasi Air Berdasarkan Nilai Zat Padat Terlarut (TDS)

Tipe Air Tanah	Zat Padat Terlarut (TDS) (mg/L)
Air Tawar	1-1000
Air Payau	1000-10.000

Air Asin	10.000 – 100.000
Air Laut	>100.000

Tabel 3.9. Nilai Salinitas Air Tanah Daerah Semarang - Demak

No	Lokasi	DHL uS/cm	Salinity (ppm)	TDS mg/L	Jenis Air
1	PRPP	1199	0.47	803.33	air tawar
2	SB PAG 2008 (Bongsari)	740	0.17	495.80	air tawar
3	SB PAG 2009 (Teluk)	1458	0.02	976.86	air tawar
4	PT. Rodeo Garment	676	0.19	452.92	air tawar
5	PT. Indo Nanya	1074	0.29	719.58	air tawar
6	PT. Indofood	387	0.07	259.29	air tawar
7	Pabrik ES Prawito	491	0.05	328.97	air tawar
8	PT. Asia Pasific Fibers	507	0.03	339.69	air tawar
9	SB PAG 2016 (Nagmpel)	961	0.03	643.87	air tawar
10	PT. Kayu Lapis Indonesia	733	0.32	491.11	air tawar
11	SB Artesis Kaliwungu	1115	0.49	747.05	air tawar
12	SB Warga Mangunharjo	1472	0.67	986.24	air tawar
13	SB PAG 2017 (Kedondong)	5980	2.88	4,006.60	air payau
14	SB PAG 2014 Kebonsari)	2060	1.62	1,380.20	air payau
15	SB PAG 2008 (sidoharjo)	1511	0.58	1,012.37	air payau
16	SB PAG 2011	2570	1.23	1,721.90	air payau
17	Masjid Wonokerto	1307	0.45	875.69	air tawar
18	SB PAG 2018 (Trimulyo)	3030	1.42	2,030.10	air payau
19	SB PAG 2008	1650	0.54	1,105.50	air payau
20	Hotel Siliwangi	1309	0.33	877.03	air tawar
21	Hotel Merbabu	1504	0.75	1,007.68	air payau
22	Car Sentro	1027	0.16	688.09	air tawar
23	PT. Gentong Gotri	717	0.14	480.39	air tawar
24	Masjid Agung Jawa Tengah	1034	0.31	692.78	air tawar

• **Analisis Facies Hidrokimia Daerah Penelitian**

Intrusi air laut adalah fenomena yang terjadi pada antarmuka antara air tanah dan air laut. Densitas air laut lebih tinggi dari air tawar sehingga air laut mendorong air tanah (Groend, 1979). Antarmuka adalah zona di mana air laut dan air tawar bertemu. Antarmuka ini tidak ditemukan dalam bentuk bidang tipis-tajam, tetapi ada sebagai daerah di mana difusi antara air tawar dan air laut terjadi. Semakin kuat tekanan air tanah, semakin dekat antarmuka ke laut. Ketika tekanan berkurang karena pengambilan air tanah yang lebih tinggi, air laut mendorong air tanah ke atas, sehingga antarmuka lebih dangkal.

Pengaruh air laut yang mengintrusi air tanah dapat dipengaruhi beberapa hal salah satunya adalah penurunan muka air tanah. Namun selain itu juga dapat dilakukan pendekatan kimia air yang dapat mengindikasikan adanya intrusi air laut. Terdapat delapan ion yang dapat dijadikan indikasi adanya intrusi air laut, yaitu Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Ca^+ , Mg^+ dan K^+ . Kedelapan ion tersebut selalu ada, baik dalam air laut maupun air tanah, hanya persentasenya saja yang berbeda, contohnya ion klorida secara alami akan dominan di air laut dan sedikit di air tawar, sebaliknya ion karbonat atau bikarbonat dominan di air tawar dan sedikit di air laut. Terdapat beberapa pendekatan kimia air untuk mengetahui adanya intrusi air laut, diantaranya yang diaplikasikan pada daerah penelitian adalah Rasio Molar Klorida dan Bikarbonat dan melalui evaluasi diagram piper. Dalam hal ini dapat diketahui bahwa ion Cl^- dan Na^+ lebih dominan pada air laut, sedangkan pada air tawar ion yang dominan adalah CO_3^{2-} dan HCO_3^- .

Tabel 3.10. Hasil Analisis Hidrokimia Contoh Air Tanah

No	Lokasi	TDS	Cl ⁻	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Ca terlarut*	Mg terlarut*	K terlarut	Na Terlarut
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	PRPP	803,33	258,28	0	231,80	32,80	33,42	28,58	21,93	179,64
2	SB PAG 2008 (Bongsari)	495,80	92,30	0	189,10	40,00	43,72	42,63	15,08	34,90
3	SB PAG 2009 (Teluk)	976,86	12,01	0	244,00	489,00	25,34	36,09	19,80	215,93
4	PT. Rodeo Garment	452,92	106,92	0	137,25	55,80	6,02	2,12	7,34	135,41
5	PT. Indo Nanya	719,58	159,17	0	310,92	48,90	14,26	12,32	18,11	191,64
6	PT. Indofood	259,29	36,44	0	147,76	7,10	36,43	11,26	10,06	15,92
7	Pabrik ES Prawito	328,97	25,43	0	244,00	11,40	51,00	15,59	11,65	27,86
8	PT. Asia Pasific Fibers	339,69	16,82	0	274,50	11,90	36,43	10,78	10,38	53,47
9	SB PAG 2016			0			77,62			

	(Nagmpel)	643,87	16,02		579,50	16,10		26,56	15,18	76,68
10	PT. Kayu Lapis Indonesia	491,11	179,20	0	122,00	4,60	3,80	2,12	11,87	157,18
11	SB Artesis Kaliwungu	747,05	270,30	0	134,20	45,50	24,71	18,38	5,11	200,00
12	SB Warga Mangunharjo	986,24	369,91	0	183,00	16,20	34,69	14,05	21,47	259,24
13	SB PAG 2017 (Kedondong)	4.006,60	1.594,75	0	6,10	29,90	33,74	12,32	22,09	866,77
14	SB PAG 2014 (Kebonsari)	1.380,20	894,98	0	134,20	23,80	16,79	6,83	8,60	634,59
15	SB PAG 2008 (sidoharjo)	1.012,37	319,35	0	237,90	53,30	12,99	4,43	5,67	315,46
16	SB PAG 2011	1.721,90	678,75	0	292,80	49,00	32,63	14,82	16,82	570,71
17	Masjid Wonokerto	875,69	248,27	0	274,50	54,10	7,13	1,73	6,69	295,70
18	SB PAG 2018 (Trimulyo)	2.030,10	788,37	0	359,90	42,80	52,27	35,41	18,32	571,42
19	SB PAG 2008	1.105,50	297,33	0	335,50	47,40	30,25	11,74	17,50	321,39
20	Hotel Siliwangi	877,03	182,20	0	536,80	42,70	43,88	37,34	13,07	258,83
21	Hotel Merbabu	1.007,68	413,95	0	152,50	18,50	61,78	20,21	20,78	227,60
22	Car Sentro	688,09	89,60	0	542,90	52,70	36,59	13,38	13,56	254,33
23	PT. Gentong Gotri	480,39	76,08	0	237,90	22,70	6,34	2,41	8,87	131,88
24	Masjid Agung Jawa Tengah	692,78	173,19	0	274,50	51,30	37,54	15,97	25,48	161,94

• **Rasio Molar Klorida dan Bikarbonat**

Perbandingan klorida bikarbonat dalam berbagai nilai dan kondisi air tanah dapat dilihat pada tabel 3.11.

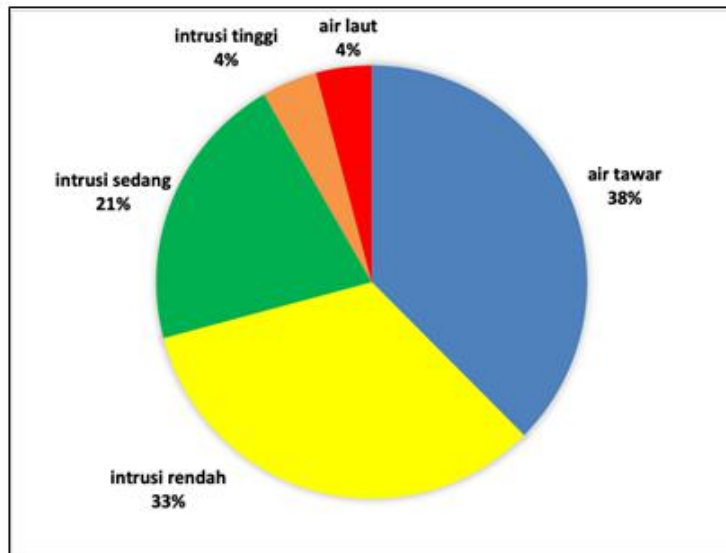
Tabel 3.11. Perbandingan Klorida Bikarbonat Dalam Berbagai Kondisi Air Tanah

Rasio $Cl^- / (CO_3^{2-} + HCO_3^-)$	Tingkat Intrusi Air Laut
< 0,5	Air tanah tawar (<i>fresh groundwater</i>)
0,5 – 1,30	Terjadi intrusi air laut sedikit
1,30 – 2,80	Terjadi intrusi air laut sedang
2,80 – 6,60	Terjadi intrusi air laut agak tinggi
6,60 – 15,50	Terjadi intrusi air laut tinggi
15,5 – 20	Air laut

$$CBR = \frac{Cl^-}{CO_3^{2-} + HCO_3^-}$$

Tabel 3.12. Perbandingan Klorida Bikarbonat Air Tanah

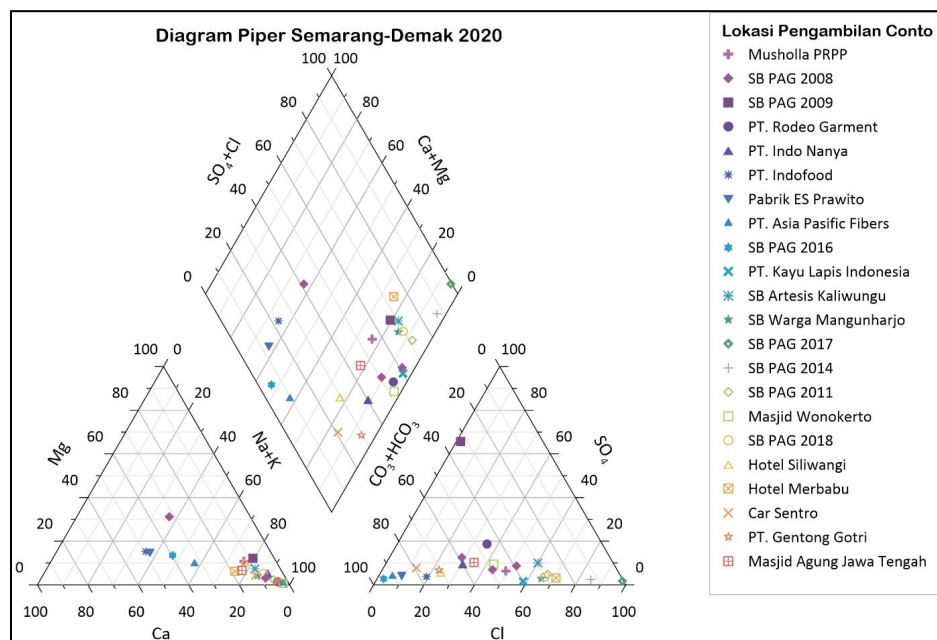
NO	LOKASI	RASIO KLORIDA - BIKARBONAT	TINGKAT INTRUSI AIR LAUT
1	Musholla PRPP	1.11	intrusi rendah
2	SB PAG 2008 (Bongsari)	0.49	air tawar
3	SB PAG 2009 (Teluk)	0.05	air tawar
4	PT. Rodeo Garment	0.78	intrusi rendah
5	PT. Indo Nanya	0.51	intrusi rendah
6	PT. Indofood	0.25	air tawar
7	Pabrik ES Prawito	0.10	air tawar
8	PT. Asia Pasific Fibers	0.06	air tawar
9	SB PAG 2016 (Nagmpel)	0.03	air tawar
10	PT. Kayu Lapis Indonesia	1.47	intrusi rendah
11	SB Artesis Kaliwungu	2.01	intrusi sedang
12	SB Warga Mangunharjo	2.02	intrusi sedang
13	SB PAG 2017 (Kedondong)	261.43	air laut
14	SB PAG 2014 Kebonsari)	6.67	intrusi tinggi
15	SB PAG 2008 (sidoharjo)	1.34	intrusi rendah
16	SB PAG 2011	2.32	intrusi sedang
17	Masjid Wonokerto	0.90	intrusi rendah
18	SB PAG 2018 (Trimulyo)	2.19	intrusi sedang
19	SB PAG 2008	0.89	intrusi rendah
20	Hotel Siliwangi	0.34	air tawar
21	Hotel Merbabu	2.71	intrusi sedang
22	Car Sentro	0.17	air tawar
23	PT. Gentong Gotri	0.32	air tawar
24	Masjid Agung Jawa Tengah	0.63	intrusi rendah



Dari data yang ditampilkan pada Tabel 3.12, tingkat intrusi air laut hasil analisis rasio molar Klorida dan Bikarbonat didominasi oleh air tawar dan air dengan tingkat intrusi rendah, namun di beberapa lokasi seperti di sekitar hotel merbabu dan Kaliwungu mengalami intrusi air laut tingkat sedang. Intrusi air laut tingkat tinggi terjadi di daerah Kedondong dan Kebonsari Kabupaten Demak.

- **Pendekatan dengan Analisis Diagram Piper**

Dari hasil analisis pada Tabel 3.12 digambarkan dalam diagram piper



Gambar 3.23. Interpretasi Tipikal Air Ttanah Menggunakan Diagram Piper

Dari Gambar 3.23 di atas dapat disimpulkan bahwa kation pada daerah penelitian memiliki tipe Sodium (Na+K) sedangkan anionnya tipe Bikarbonat(CO₃+HCO₃) dan tipe klorida (Cl). Sedangkan dari hasil plot diagram piper quadrilateral diperoleh dua tipe air yaitu tipe SodiumKlorida (NaCl) yang lebih dominan. Dominasi tipe NaCl ini menunjukkan adanya kontaminasi air laut sebagai akibat intrusi air laut.

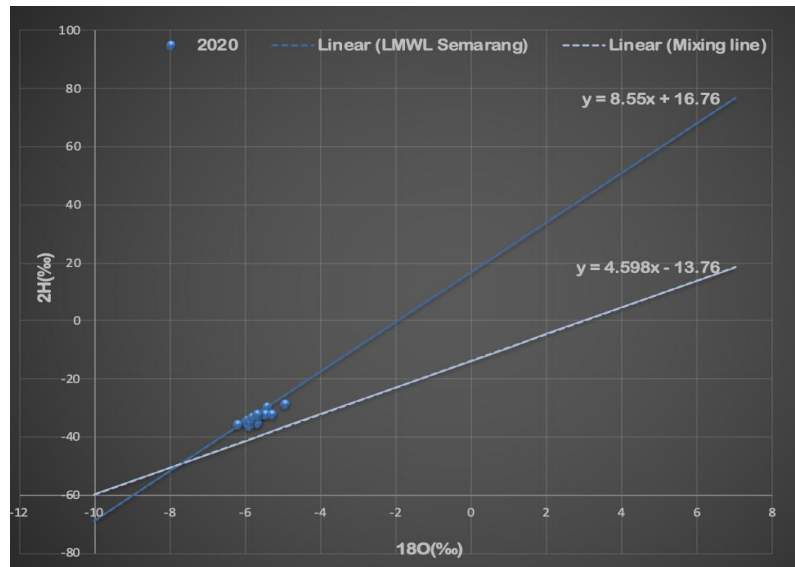
- **Analisis Isotop Stabil ¹⁸O dan ²H**

Analisis terhadap sample-sampel air tanah yang telah dilakukan di Lab air Pusat Air Tanah dan Geologi tata lingkungan yang meliputi analisis isotop stabil ¹⁸O dan ²H menggunakan alat analisis *Piccaro* hasilnya dapat dilihat pada tabel 3.13. Data isotop stabil ¹⁸O dan ²H pada tabel 4-9 selanjutnya diplotkan dalam bentuk

grafik hubungan antara isotop ^2H dan isotop ^{18}O untuk mengetahui tipikal dari sampel-sampel air yang telah dianalisis (Gambar 3.24).

Tabel 3.13. Hasil Analisis Isotop Stabil ^{18}O dan ^2H Air Tanah

No	LOKASI	$\delta^{18}\text{O}$	SD^{18}O	$\delta^2\text{H}$	SD^2H
1	PRPP	-5.647	0.253	-35.707	0.654
2	SB PAG 2008 (Bongsari)	-5.776	0.255	-34.331	0.670
3	SB PAG 2009 (Teluk)	-5.697	0.234	-33.836	0.584
4	PT. Rodeo Garment	-5.723	0.247	-34.380	0.592
5	PT. Indo Nanya	-5.723	0.242	-33.281	0.663
6	PT. Indofood	-5.796	0.242	-34.220	0.660
7	Pabrik ES Prawito	-5.758	0.230	-34.088	0.641
8	PT. Asia Pasific Fibers	-5.931	0.247	-34.828	0.725
9	SB PAG 2016 (Nagmpel)	-5.569	0.254	-32.271	0.621
10	PT. Kayu Lapis Indonesia	-5.374	0.238	-29.834	0.655
11	SB Artesis Kaliwungu	-6.153	0.238	-35.856	0.660
12	SB Warga Mangunharjo	-5.500	0.233	-32.405	0.653
13	SB PAG 2017 (Kedondong)	-4.905	0.254	-28.931	0.641
14	SB PAG 2014 Kebonsari)	-5.659	0.241	-35.262	0.648
15	SB PAG 2008 (sidoharjo)	-5.856	0.250	-36.562	0.686
16	SB PAG 2011	-5.791	0.235	-34.101	0.711
17	Masjid Wonokerto	-5.885	0.230	-34.425	0.594
18	SB PAG 2018 (Trimulyo)	-5.840	0.236	-35.147	0.657
19	SB PAG 2008	-5.651	0.236	-33.391	0.642
20	Hotel Siliwangi	-5.646	0.234	-33.505	0.633
21	Hotel Merbabu	-5.435	0.246	-32.562	0.641
22	Car Sentro	-5.770	0.246	-33.631	0.640
23	PT. Gentong Gotri	-5.250	0.240	-32.685	0.649
24	Masjid Agung Jawa Tengah	-5.634	0.241	-32.710	0.623



Gambar 3.24. Grafik Hubungan Isotop ^2H terhadap ^{18}O Sampel Air Tanah

Berdasarkan hasil analisis isotop ^2H dan ^{18}O diatas terlihat bahwa komposisi isotop pada daerah penyelidikan memiliki kandungan yang relatif *depleted* dan cenderung lebih banyak berada dekat dengan garis meteorik lokal Semarang. Hal ini menunjukkan bahwa tipikal air tanah pada daerah penelitian masih didominasi oleh imbuhan lokal dan masuk kedalam kategori air tawar dan belum mengalami kontaminasi air laut yang signifikan.

3.3.2. Hidrogeologi Kawasan Pantura Pekalongan - Batang - Kendal

Secara regional dengan melihat kondisi morfologi dan geologinya, daerah penelitian didominasi mandala air tanah dataran di sepanjang pantai bagian utara. Untuk daerah Kab. Batang hingga Kab. Kendal, bagian selatannya masuk dalam mandala air tanah gunungapi strato. Arah aliran air tanah dari selatan ke utara menuju mandala air tanah dataran. Secara hidrostratigrafi, batuan tergantung jenisnya yang berumur kuarter umumnya akan berperan sebagai akuifer baik tidak tertekan maupun tertekan dalam media ruang antar butir atau media rekahan. Sedangkan batuan berumur lebih tua dari kuarter cenderung kedap atau non-akuifer, kecuali untuk yang dilintasi struktur geologi sehingga berkembang zona rekahan. Oleh sebab itu, aluvium dan kipas aluvium di daerah penelitian akan berkembang sebagai akuifer. Lempung pasir sebagai akuifer yang dapat menyimpan dan mengalirkan air dalam jumlah terbatas atau tidak ekonomis. Lempung, serpih, tuf halus, dan lanau sebagai akuiklud yang dapat menyimpan tetapi tidak dapat mengalirkan air dalam jumlah yang berarti. Batuan

kompak berupa sedimen berumur tersier atau batuan terobosan sebagai akuifug yang kedap air.

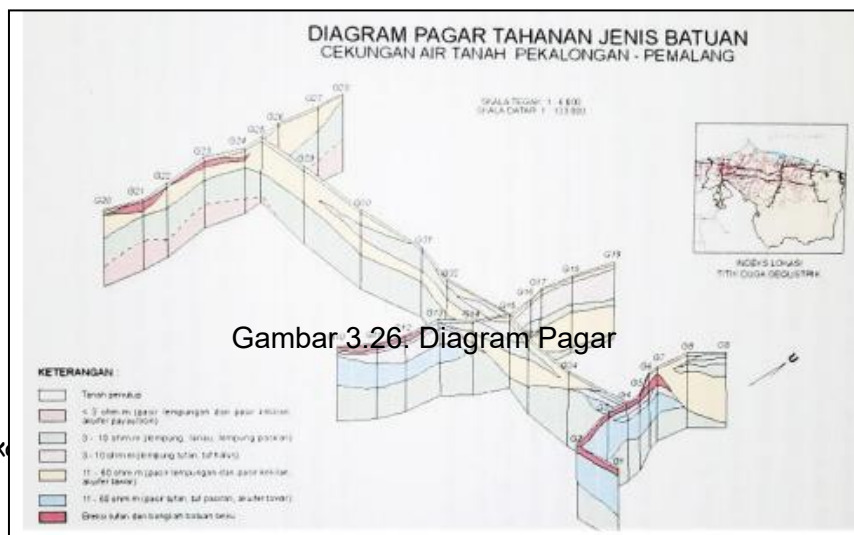
a. Cekungan Air Tanah

Daerah penelitian dari barat ke timur memiliki tiga cekungan air tanah (CAT), yaitu CAT Pekalongan-Pemalang, CAT Subah, dan CAT Kendal. Batas antar antar cekungan air tanah adalah garis pemisah air tanah yang berimpit dengan batas aliran permukaan, muka air tetap dari aliran sungai, dan setempat batas tidak ada aliran berupa kontak litologi dengan batuan berumur Tersier. Batas vertical diperkirakan berupa batuan dasar berumur Tersier atau lebih tua yang bersifat kedap air. Gambar 3.25 memperlihatkan peta hidrogeologi yang dilengkapi batas cekungan air tanah dalam bentuk garis berwarna hitam.



b. Konfigurasi Sistem Akuifer

Mengacu pada konfigurasi sistem akuifer CAT Pekalongan-Pemalang (Setiadi, 2000), CAT Pekalongan-Pemalang disusun oleh batuan hasil gunungapi muda di bagian selatan, endapan permukaan di bagian utara, dan batuan sedimen setempat-setempat. Diagram pagar atau fence diagram dari hasil korelasi penampang geolistrik dilengkapi informasi geologi dan hidrogeologi memberikan gambaran konfigurasi akuifer bawah permukaan (Gambar 3.26).



Konfigurasi akuifer tersebut menggambarkan dua sistem akuifer untuk CAT Pekalongan-Pemalang, yaitu:

- **Sistem Akuifer Tidak Tertekan**

Sistem akuifer yang hanya dibatasi oleh lapisan kedap air di bagian bawahnya dan bagian atasnya berupa permukaan tanah langsung. Sistem akuifer tidak tertekan disusun oleh pasir, pasir lempungan, dan lempung pasiran yang bersifat lepas sampai kurang padu pada endapan sedimen 13 di bagian utara. Di bagian selatan berupa endapan laharik dan batuan gunungapi yang dibentuk oleh fragmen batuan beku dengan masa dasar pasir tufan berbutir sedang-kasar, serta pelapukan breksi gunungapi dan aglomerat yang umumnya kurang padu. Diinterpretasi dari hasil geolistrik dan evaluasi data sumur bor, sistem akuifer tidak tertekan pada batuan sedimen dibatasi batuan relatif kedap air berupa lempung, lanau, dan lempung pasiran. Kedalaman di daerah Wiradesa dan Batang sekitar 50 meter di bawah permukaan tanah (mbmt), sedangkan pada batuan gunungapi sekitar 30 mbmt.

- **Sistem Akuifer Tertekan**

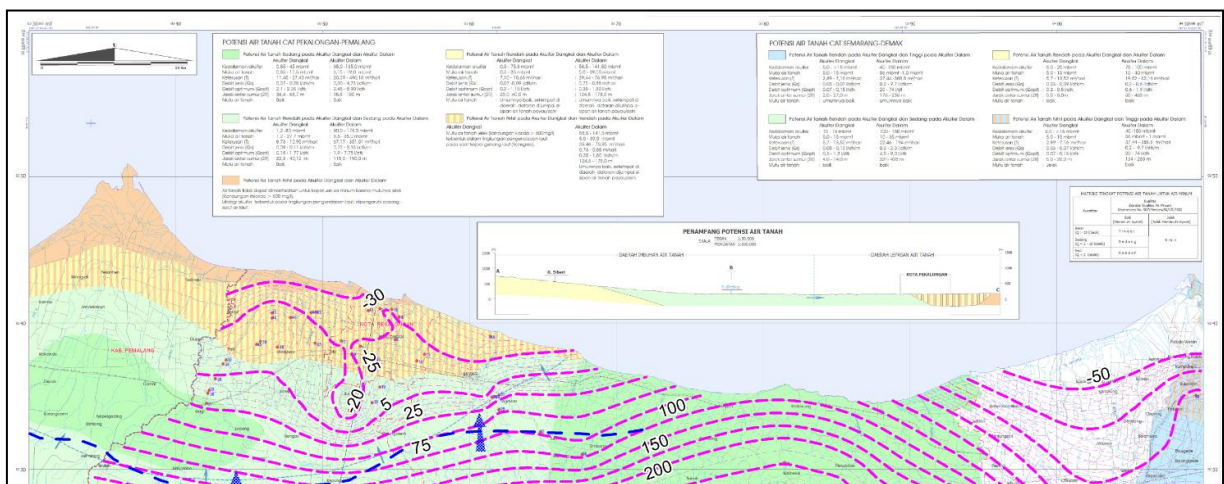
Berbeda dengan sistem akuifer tidak tertekan, untuk akuifer tertekan di bagian atasnya dibatasi oleh lapisan batuan yang kedap air. Akuifer ini sering dikenal dengan akuifer dalam. Bagian utara daerah Pekalongan pernah mengalami periode genang laut-susut laut sedangkan di bagian selatannya berlangsung aktivitas gunungapi muda sehingga terdapat hubungan yang saling menjari antara kedua jenis batuan tersebut. Sistem akuifer tertekan dikelompokkan menjadi dua yang menebal ke arah utara dan menipis ke arah Batang di timur, yaitu kelompok akuifer I yang terdiri dari batuan hasil kegiatan gunungapi dan kelompok akuifer II yang terdiri dari berbagai jenis batuan sedimen lepas. Kelompok Akuifer I berdasarkan nilai tahanan jenis batuan ditafsirkan sebagai pasir tufan dan tuf pasiran, serta setempat-setempat terdapat fragmen batuan beku berukuran kerakal-bongkah yang tertanam dalam masadasar tuf berukuran sedang-kasar dan aliran lava andesit yang terkekarkan. Ketebalan mencapai 100 m di bagian selatan dan timur kemudian menipis ke bagian tengah, berhubungan saling menjari dengan kelompok akuifer batuan sedimen. Kelompok Akuifer II berdasarkan nilai tahanan jenis batuan ditafsirkan pasir lempungan dan pasir yang setempat mengandung berbagai jenis fragmen batuan berukuran kerikil sampai kerakal tersebar di bagian utara 14 dengan sebaran luas di bagian barat dan berangsur-angsur menyempit ke arah tengah dan timur. Ketebalan akuifer

maksimum mencapai 120 m terdapat di muara K. Comal, Bojong, dan Batang. Bagian bawah kelompok akuifer II merupakan batuan sedimen atau gunungapi berumur Tersier yang relatif padu dan kedap air. Sebaran ke arah utara semakin menipis sehingga menjari dengan endapan sedimen.

c. Parameter Akuifer

- **Fisik Akuifer**

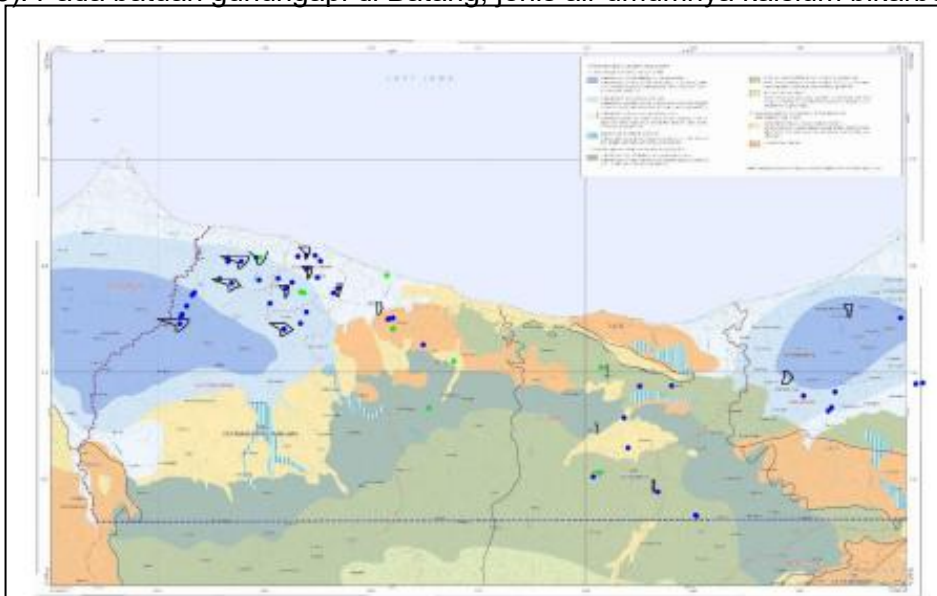
Penilaian parameter akuifer tidak tertekan berdasarkan pada hasil uji pemompaan sembilan sumur gali dan dianalisis dengan metode Bouwer Rices (Setiadi dkk., 2000). Pelapukan batuan gunungapi menunjukkan bahwa bagian selatan memiliki nilai kelulusan lebih kurang 0,888 m/hari dengan keterusan 10,66 m²/hari, sedangkan lereng bawah di bagian tengah yang berbatasan dengan pelapukan batuan sedimen menunjukkan kelulusan antara 0,315 m/hari dan 0,436 m/hari dengan keterusan 4,73- 6,54 m²/hari. Kapasitas jenis sumur dalam kisaran antara 0,092-0,105 liter/detik/meter. Kululusan sekitar Pekalongan-Batang 0,002-0,282 m/hari dengan keterusan 0,04-5,24 m²/hari. Penilaian parameter akuifer tertekan berdasarkan data sekunder uji pemompaan sumur bor Primatexco yang menyadap akuifer tertekan dari batuan gunungapi, dapat diketahui bahwa nilai kelulusan mencapai 10,189-25,338 m/hari dengan keterusan akuifer berkisar antara 152,84- 345,74 m²/hari, sedangkan kapasitas jenis 1,45-3,28 liter/detik/meter. Parameter akuifer untuk kelompok Aluvium di sekitar WiradesaPekalongan menunjukkan kelulusan 2,55-16,33 m/hari dengan keterusan 30,57-97,99 m²/hari. Sedangkan di bagian tengah memiliki kelulusan antara 0,85-43,47 m/hari dan keterusan 20,39-652 m²/hari. Daerah Batang yang didominasi batuan gunungapi memiliki potensi air tanah sedang pada akuifer dangkal dan dalamnya di bagian utara. Keterusan akuifer dangkal berkisar antara 5,7-13 m²/hari sedangkan pada akuifer dalam berkisar antara 20-300 m²/hari. Kapasitas jenis akuifer dangkal berkisar antar 0,1-1,5 lt/dtk/m sedangkan untuk akuifer dalam berkisar antara 0,3-4,7 lt/dtk/m. Bagian selatan potensi air tanahnya rendah dengan keterusan akuifer dangkal berkisar antara 7,1-10,5 m²/hari dan keterusan akuifer dalam 39-75 m²/hari.



Gambar 3.27. Peta Potensi Air Tanah CAT Pekalongan - Pemalang

- **Kimia air Tanah**

Pada cekungan air tanah Pekalongan-Pemalang di bagian barat terjadi perubahan tipe air dari sodium bikarbonat di selatan menjadi sodium klorida di utara yang menunjukkan adanya pencampuran dengan air laut di utara (Gambar 3.28). Pada batuan gunungapi di Batang, jenis air umumnya kalsium bikarbonat.



Gambar 3.28. Peta Diagram Stiff, Diagram Piper, dan Diagram Schoeller.

- **Air Tanah dan Penurunan Tanah**

Pengambilan air tanah yang melebihi keseimbangan akan menimbulkan dampak terhadap kualitas air tanah, kuantitas air tanah, dan lingkungan di sekitar pengambilan air tanah. Penurunan muka air tanah merupakan indikator penurunan kuantitas air tanah, untuk air tanah pada akuifer tidak tertekan atau akuifer bebas akan berdampak pada keringnya sumur gali penduduk. Sedangkan untuk akuifer tertekan akan semakin dalam pengambilan air tanah sehingga perlu menurunkan pompa selam bahkan sumur bor bisa menjadi

kering. Dampak kualitas air tanah dapat dilihat dari perubahan kualitas air terutama untuk lokasi yang mendekati pantai atau tepi laut. Garis batas pemisah air laut yang asin akan semakin tertarik ke daratan yang berimbas pada kualitas air menjadi tidak tawar, payau, hingga asin. Ditinjau dari konservasi air tanah (Danaryanto dkk, 2007), penurunan tanah atau amblesan tanah merupakan indikasi bahwa kondisi lingkungan air tanahnya dikategorikan rusak. Pekalongan menjadi salah satu wilayah yang menjadi isu terjadinya penurunan tanah yang disebabkan oleh pengambilan air tanah. Dengan membandingkan data ketinggian tanah Rupa Bumi Indonesia (RBI) tahun 2003 dan data DEM SRTM Citra Aster tahun 2007, Ilhami dkk (2014) mengklasifikasi penurunan tanah di Kabupaten Pekalongan dengan nilai penurunan lebih dari 60 mm/tahun merupakan daerah warna merah yang sangat rawan terhadap banjir rob (Gambar 3.29).



Foto 1. Memperlihatkan rumah yang ditinggalkan penghuninya, lingkungan yang terendam, dan menara air Pamsimas di belakangnya, di daerah Pecakaran, Pekalongan



Gambar 3.29. Peta Indikasi Penurunan Tanah (Ilhami dkk, 2014)

Di lapangan, di daerah tersebut banyak sekali sumur bor-sumur bor pamsimas yang dibangun untuk memenuhi kebutuhan air masyarakat. Permasalahannya adalah sumur bor tersebut sebagian besar bahkan semuanya tidak memiliki data teknis seperti konstruksi sumur. Dari 128 sumur bor di Kota Pekalongan, hanya

13 sumur bor yang bisa diukur kedalaman muka air tanah dan atau debitnya dari 19 sumur bor yang ditinjau.

Salah satu sumur yang diamati yaitu sumur Perumda Tirtayasa (PDAM Kota Pekalongan) yang berlokasi di Kadang Panjang, Pekalongan Utara, berjarak sekitar 1,3 Km dari tepi laut, sumur bor dengan kedalaman 150 m dan menyadap mulai kedalaman 50 m di bawah permukaan tanah memiliki kualitas air tawar. Sumur bor dipompa dengan kapasitas debit 10,08 liter per detik dan menurut info dari Perumda Tirtayasa bahwa pompa dimatikan hanya dua jam setiap harinya sehingga kedalaman muka air tanah yang diukur adalah muka air tanah dinamis dengan kedalaman 48,4 m di bawah permukaan tanah. Peninjauan ke 11 lokasi dari 43 lokasi yang ada dalam daftar sumur bor Perumda Tirtayasa, hanya tujuh lokasi sumur bor yang dapat diukur kedalaman muka air tanah dan debitnya. 20 Kedudukan muka air tanah lebih dalam dari 40 m di bawah permukaan tanah dikonfirmasi dari data sumur pantau Dinas ESDM Prov. Jawa Tengah di Pekalongan. Lokasi sumur pantau di Bakorwil Jl. Pemuda No. 50 Kota Pekalongan memperlihatkan kedalaman muka air tanah tanggal 13 Mei 2020 pk. 18.00 WIB tercatat -48,52 mbmt dan jika dibuat garis regresi ke waktu sebelumnya memiliki garis dengan kecenderungan muka air tanah naik dengan gradient $y = 0,003x - 51,089$. Lokasi sumur pantau di Bekas Bakorwil Jl. Diponegoro No. 1 Kota Pekalongan memperlihatkan kedalaman muka air tanah tanggal 13 Mei 2020 pk. 19.00 WIB tercatat - 44,86 mbmt dan jika dibuat garis regresi ke waktu sebelumnya memiliki garis dengan kecenderungan muka air tanah naik dengan gradient $y = 2E05x - 45,128$. Ketiadaan data teknis sumur bor menjadi permasalahan yang menjadi kendala untuk menganalisis pengambilan air tanah sebagai penyebab turunnya permukaan tanah di Pekalongan dan sekitarnya. Dengan kedudukan muka air tanah dinamis mencapai lebih dari 40 m di bawah permukaan tanah, lempung yang cukup tebal, dan terutama perubahan lahan di atasnya dengan menjadi permukiman menjadi siklus penyebab yang saling berkaitan. Upaya yang dilakukan adalah tidak menambah besar faktor penyebab turunnya tanah. Hal ini dimulai dengan pengaturan kembali secara ketat izin baru pengambilan air tanah, pengawasan konstruksi sesuai rekomendasi teknis, hingga inventarisasi termasuk sumur yang sudah terbangun. Meninjau kembali tata ruang dan peruntukannya dengan mengembangkan sesuai dengan potensinya seperti industri yang dalam proses produksinya tidak tergantung dengan kualitas air yang tawar.



Foto 2. Sumur Perumda Tirtayasa (PDAM Kota Pekalongan) yang berlokasi di Kadang Panjang, Pekalongan Utara.

3.4. Penurunan Tanah (*Subsidence*)

Penurunan tanah atau biasa disebut dengan amblesan tanah adalah sebuah peristiwa turunnya permukaan tanah yang disebabkan karena adanya perubahan volume lapisan batuan yang terkandung di bawahnya. Menurunnya muka tanah ini biasanya terjadi secara perlahan-lahan dan dalam jangka waktu yang lama. Hal ini kadang membuat kita tidak dapat secara langsung menyadari peristiwanya. Oleh karena itu, amblesan tanah juga sering dinamakan sebagai "*The Silent Killer*", karena proses yang kejadiannya berlangsung secara perlahan namun pasti dan sangat merugikan. Faktor-faktor yang diperkirakan menjadi penyebab terjadinya penurunan muka tanah di beberapa wilayah di Pantai Utara Jawa dapat dibagi menjadi 2 (dua) faktor, yaitu faktor alamiah (natural) dan faktor manusia (antropogenik). Faktor alamiah yang dapat mempengaruhi amblesan tanah adalah: (1) sifat alami konsolidasi tanah, umumnya berada pada endapan yang relatif muda (Kuartar), tanah lunak dan (2) pengaruh adanya tektonik, biasanya disebabkan oleh adanya struktur geologi. Sementara itu, faktor antropogenik atau faktor yang disebabkan oleh manusia adalah: (1) pengambilan air tanah yang tidak terkontrol dan (2) pembebanan, yang berasal dari bangunan infrastruktur yang berlebihan. Daerah yang telah terjadi penurunan muka tanah yaitu: Pekalongan, Kendal, Semarang dan Kab. Demak (Gambar 3.30).



Gambar 3.30. Kemungkinan Faktor Penyebab Amblesan

3.4.1. Tanah Lunak

Tanah Lunak Tanah lunak memiliki karakteristik sifat fisik dan keteknikan yang khas disebabkan oleh umurnya yang relatif muda sehingga bersifat lunak dan kurang padu karena belum mengalami kompaksi atau pemadatan secara sempurna sehingga berpotensi menimbulkan banyak permasalahan dalam pembangunan infrastruktur berupa kerusakan bahkan kegagalan konstruksi.

Sifat-sifat Tanah Lunak :

1. Gaya gesernya kecil
2. Kemampatan yang besar
3. Permeabilitas tinggi
4. Tanah lunak memiliki sifat kompresibilitas yang sangat tinggi. Salah satu faktor yang menyebabkan tingginya tingkat kompresibilitas pada tanah lunak adalah karena tanah jenis ini memiliki angka pori yang tinggi.
5. Memiliki kadar air yang tinggi sehingga menyebabkan tanah lunak memiliki daya dukung yang sangat rendah dan memiliki masalah penurunan yang besar selama dan setelah konstruksi dibangun.

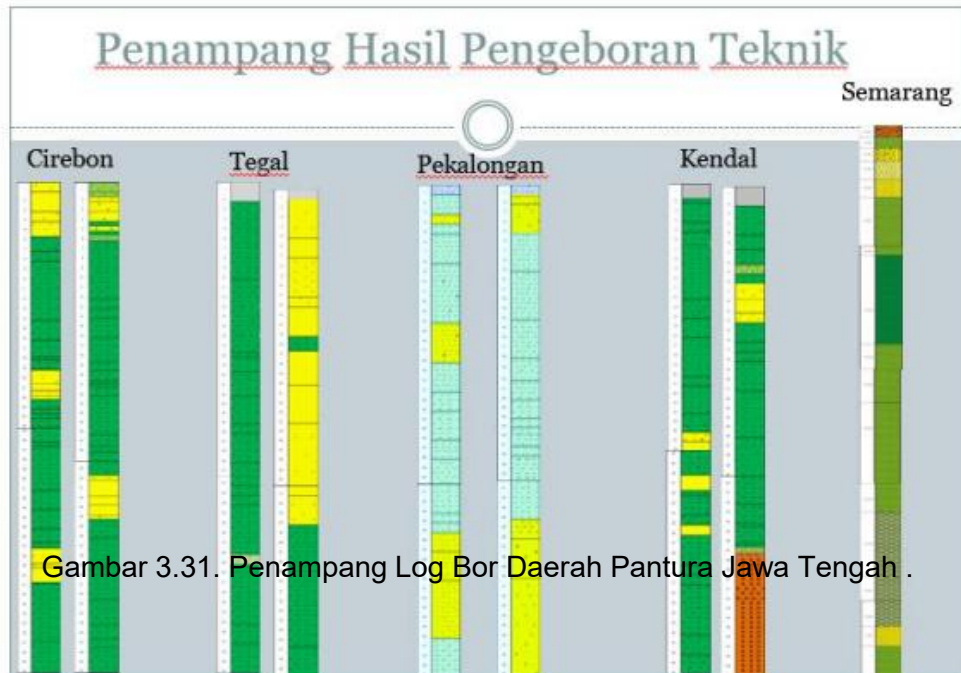
Kondisi yang demikian ini akan memerlukan perencanaan khusus sebelum dilakukan kegiatan pembangunan karena akan berdampak pada "cost" atau biaya yang harus dikeluarkan.

Hasil pengeboran teknik yang telah dilakukan di daerah Pantai Utara, konsistensi tanah (Nilai SPT) menunjukkan bahwa beberapa lapisan tanah daerah tersebut masih terdapat tanah lunak-teguh. Kegiatan yang telah dilakukan meliputi daerah :

1. Pekalongan
 - a. BH 1 sangat lunak-lunak kedalaman 0-13 m
 - b. BH-2 sangat lunak 0-13 m, teguh 13-21
2. Kendal
 - a. BH 1 sangat lunak-lunak kedalaman 0-15 m, 15-19 m teguh
 - b. BH-2 sangat lunak-lunak kedalaman 0-5 m
3. Semarang
BM-1 lunak –teguh 12-20 m
4. Demak

BH-1 sangat lunak-lunak kedalaman 0-14 m, 14-27 m teguh.

Dari pengeboran teknik yang telah dilakukan umumnya daerah pantai utara terbentuk dari lempung, lanau dan pasir (Gambar 3.31). Gambar 3.32 Peta Sebaran Tanah Lunak Pantura Jawa Tengah



Gambar 3.31. Penampang Log Bor Daerah Pantura Jawa Tengah .



Gambar 3.32. Peta Sebaran Tanah Lunak Kawasan Pantura Jawa Tengah

3.4.2. Indeks Kompresibilitas

Indeks kompresibilitas (C_c) tanah adalah perubahan rongga antar butir (void ratio) dari masa tanah akibat pertambahan tekanan efektif secara vertikal. Pada lempung yang dibebani normal C_c ada hubungannya dengan batas cair, dan untuk menghitung Indeks Kompresibilitas digunakan persamaan Terzaghi dan Peck (1976), sebagai berikut :

$$C_c = 0,009 (LL - 10), \text{ dimana :}$$

Cc = Indeks Kompresibilitas

LL = Batas Cair

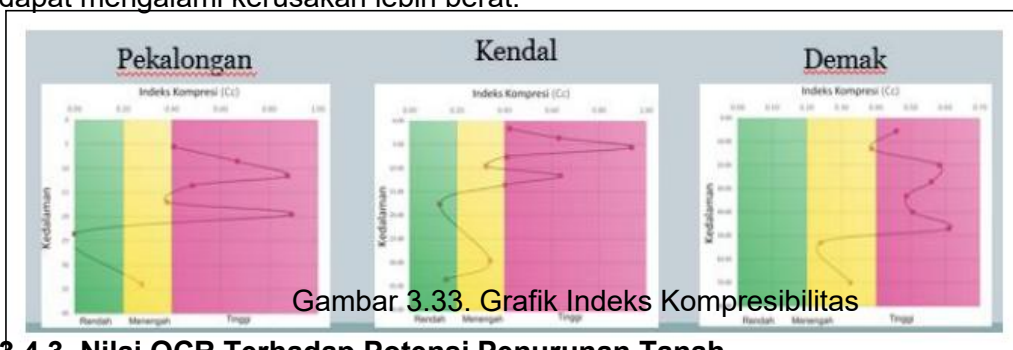
Hasil perhitungan indeks kompresibilitas dari contoh tanah yang diambil dari pengeboran teknik dengan menggunakan rumus tersebut di atas dapat dilihat pada gambar 3.33. Kisaran indeks kompresibilitas ditinjau dari lapisan tanah yang berpotensi terjadi penurunan tanah digunakan batasan kompresibilitas. (Tabel 3.14)

Tabel 3.14. Batasan Indeks Kompresibilitas

ISTILAH	INDEKS KOMPRESI	BATAS CAIR
Kompresibilitas Rendah	0 - 0,19	0 - 30
Kompresibilitas Menengah	0,20 - 0,39	31 - 50
Kompresibilitas Tinggi	> 0,40	> 51

Nilai indeks kompresibilitas digunakan untuk menghitung besarnya penurunan yang terjadi di lapangan sebagai akibat dari konsolidasi. Jika indeks kompresibilitasnya tinggi maka tanah akan mudah terkonsolidasi apabila terjadi perubahan tegangan efektif di dalam tanah tersebut. Perubahan tegangan efektif ini dapat dipengaruhi oleh beban tanah di atasnya (overburden), penambahan beban di atas tanah baik pembangunan infrastruktur maupun penimbunan tanah, terjadinya penurunan tekanan air pori, dan lain-lain.

Pembangunan Infrastruktur pada tanah yang memiliki nilai kompresibilitas tinggi perlu mempertimbangkan beban yang akan diterima oleh tanah, karena beban bangunan yang berlebihan akan mengakibatkan penurunan tanah yang cukup besar. Jika terjadi penurunan tanah yang tidak merata maka bangunan dapat mengalami kerusakan lebih berat.

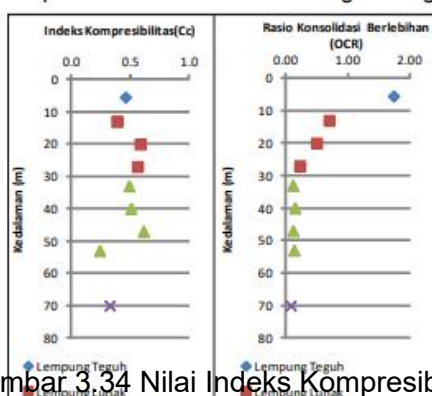


Gambar 3.33. Grafik Indeks Kompresibilitas

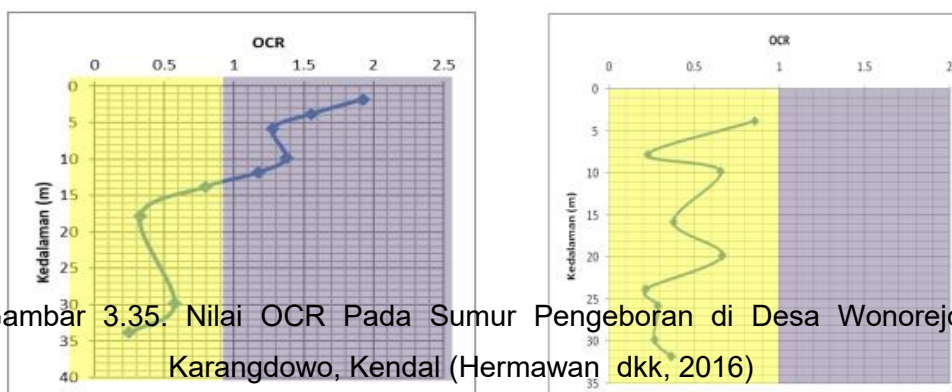
3.4.3. Nilai OCR Terhadap Potensi Penurunan Tanah

Nilainya lebih kecil daripada $OCR > 1$, maka kondisi ini diklasifikasikan sebagai tanah overkonsolidasi (overconsolidated soil). Rasio ini sering dikenal sebagai (over consolidated ratio). Nilainya lebih besar daripada atau sama dengan 1. Kondisi ini dikenal sebagai tanah terkonsolidasi normal (*normally consolidated soil*) Hasil uji Lab pada Bor dalam di Kab. Demak dan Kab. Kendal (Taufik Dkk,

2016) dan (Hermawan dkk, 2016) berdasarkan nilai OCR, kondisi lempung masih dalam keadaan terkonsolidasi normal mulai kedalaman 10 m di bawah muka tanah yang mengindikasikan pengendapan secara geologi berjalan secara normal kecuali pada bagian permukaan hingga kedalaman 10 m di bawah muka tanah. Pada bagian permukaan nilai OCR yang tinggi (lebih dari 1) yang bermakna beban sekarang bukan merupakan beban maksimal sepanjang sejarah pengendapan geologi (Bell, 2007). Hal ini dapat disebabkan proses erosi yang aktif hingga melepaskan beban secara berangsur-angsur.



Gambar 3.34 Nilai Indeks Kompresibilitas dan OCR Seiring Kedalaman



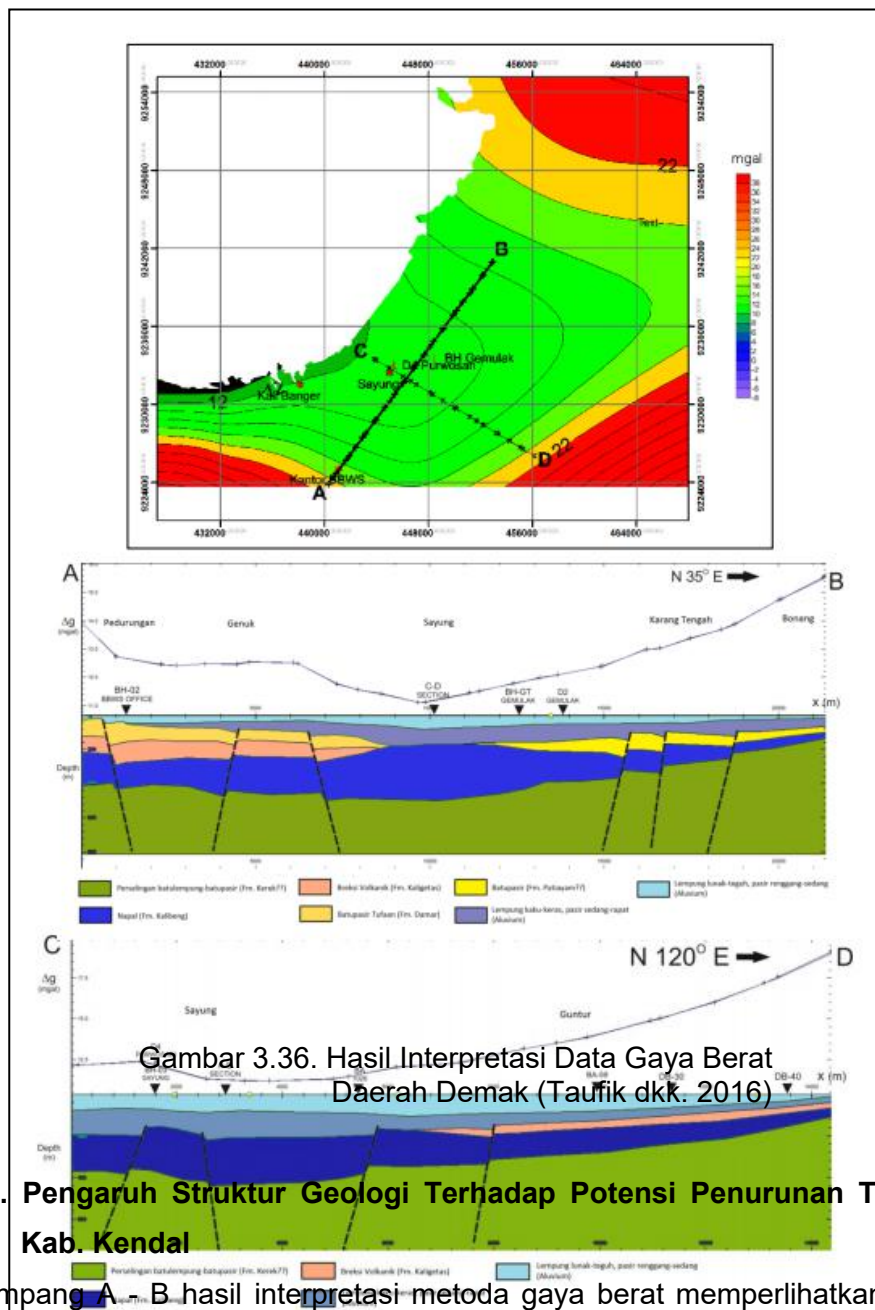
Gambar 3.35. Nilai OCR Pada Sumur Pengeboran di Desa Wonorejo, dan Karangdowo, Kendal (Hermawan dkk, 2016)

Pengaruh penurunan muka tanah di daerah pantai utara Jawa Tengah dari hasil uji laboratorium mekanika tanah dan batuan menunjukkan bahwa daerah tersebut masih mengalami proses konsolidasi alamiah.

3.4.4. Pengaruh Struktur Geologi Terhadap Potensi Penurunan Tanah di Kab. Demak

Berdasarkan interpretasi data gaya berat (Gambar 3.36), kondisi bawah permukaan antar Semarang – Demak cenderung dikontrol oleh struktur geologi. Proses tektonik menyebabkan perlipatan pada litologi perselingan batulempung-batupasir (kemungkinan pada Formasi Kalibeng/Kerek) disertai dengan beberapa patahan yang membentuk graben dan horst sehingga sebagian akan terangkat dan sebagian turun. Hasil rekonstruksi penampang A-B maupun C-D (Gambar

3.36) menunjukkan bahwa struktur geologi menjai faktor penting yang mengontrol kondisi geologi di Demak. Patahan cenderung bersifat aktif karena memotong Formasi batuan berumur Kuartar seperti Formasi Damar dan Kaligetas sedangkan aluvium tidak begitu jelas pada penampang tersebut karena materialnya berupa tanah. Pola patahan secara umum memiliki pola timur laut – barat daya dan relatif tegak lurus dengan sumbu perlipatan secara regional. Berdasarkan kontur bathymetri, Indikasi patahan ini diperkirakan menerus di sebelah barat Gunung Muria di laut Jawa.

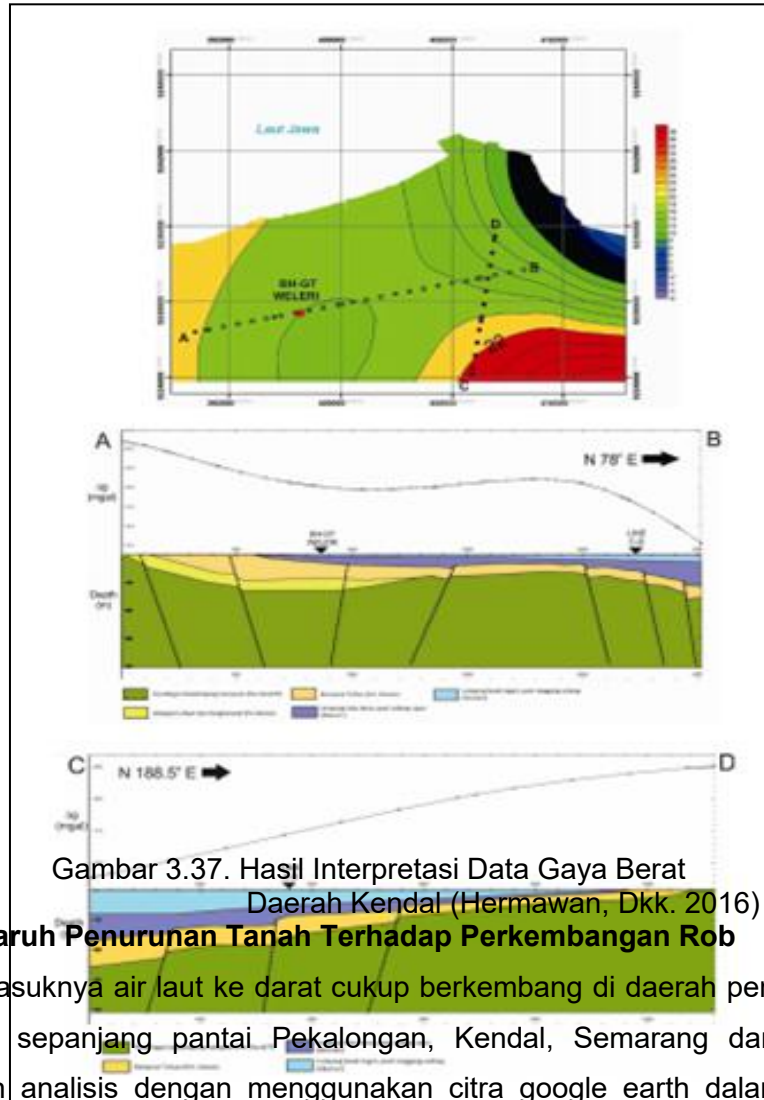


Gambar 3.36. Hasil Interpretasi Data Gaya Berat Daerah Demak (Taufik dkk. 2016)

3.4.5. Pengaruh Struktur Geologi Terhadap Potensi Penurunan Tanah di Kab. Kendal

Penampang A – B hasil interpretasi metoda gaya berat memperlihatkan bentuk graben di sekitar daerah Weleri dan bentuk horst di daerah Podosari hingga

Donosari, kemudian ke arah timur menunjukkan pola struktur dengan pergerakan relatif menurun ke arah timur. Bentuk graben di sekitar daerah Weleri menunjukkan daerah ini diperkirakan mengalami penurunan yang dipengaruhi struktur geologi. Penampang C – D menunjukkan pola struktur geologi dengan pola pergerakan relatif menurun ke arah utara. Pergerakan menurun dimulai dari Ngampel hingga Tunggulrejo, ketebalan tanah lunak di daerah Kendal diperkirakan karena peranan struktur geologi ini (Gambar 3.37).



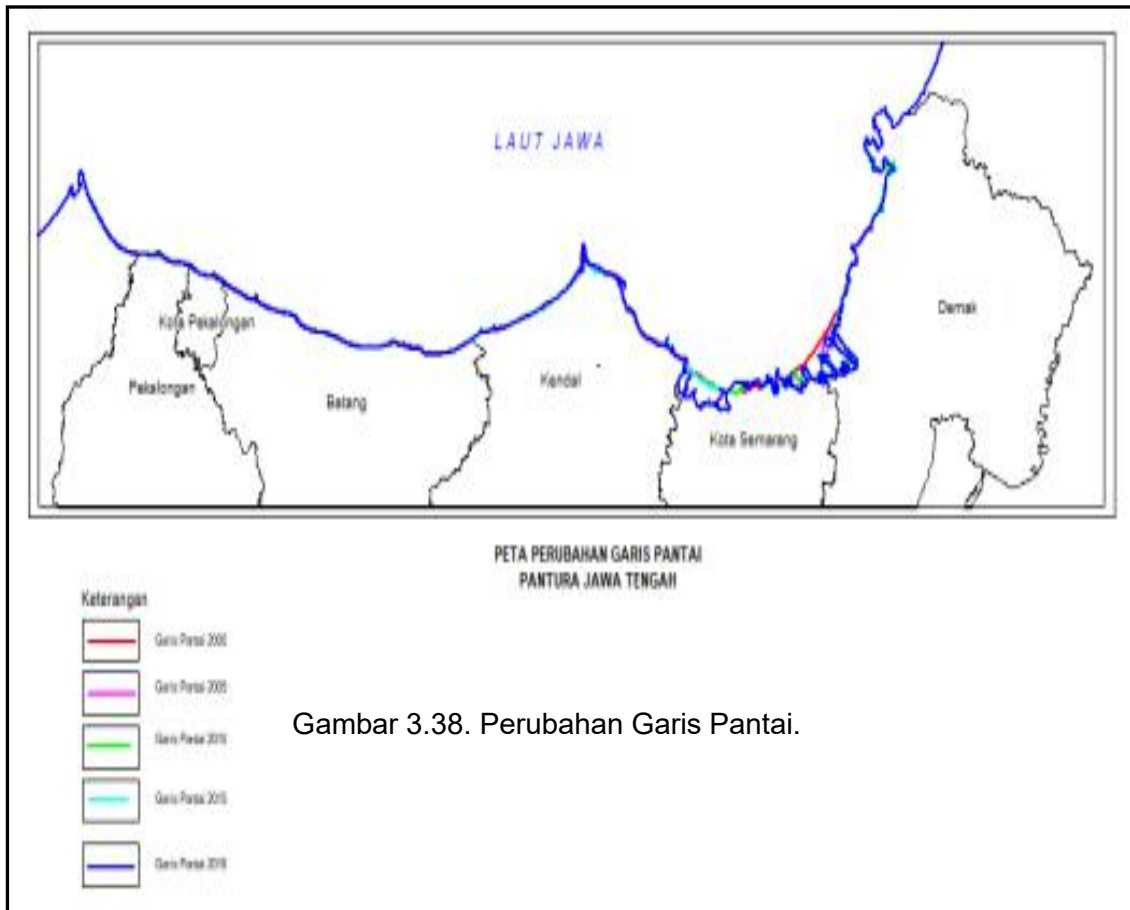
Gambar 3.37. Hasil Interpretasi Data Gaya Berat Daerah Kendal (Hermawan, Dkk. 2016)

3.4.6. Pengaruh Penurunan Tanah Terhadap Perkembangan Rob

Rob atau masuknya air laut ke darat cukup berkembang di daerah penyelidikan, terutama di sepanjang pantai Pekalongan, Kendal, Semarang dan Demak. Berdasarkan analisis dengan menggunakan citra google earth dalam perioda yang berbeda.

Penurunan tanah menyebabkan elevasi daratan di sekitar pantai lebih rendah dari permukaan laut. Kondisi ini menyebabkan pada beberapa lokasi air laut masuk menjorok ke daratan sehingga menjadi genangan rob dan menenggelamkan lokasi tersebut.

Tenggelamnya sebagian daratan di sekitar pantai menyebabkan perubahan garis pantai yang cukup berarti seperti yang terjadi pada zona penurunan tanah di sekitar pantura Pekalongan, Kendal, Semarang dan Demak. Gambar 3.38 menunjukkan perubahan per periode tertentu di sekitar zona penurunan tanah pada Kawasan Pantura Jawa Tengah.



Gambar 3.38. Perubahan Garis Pantai.