

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Geologi Regional

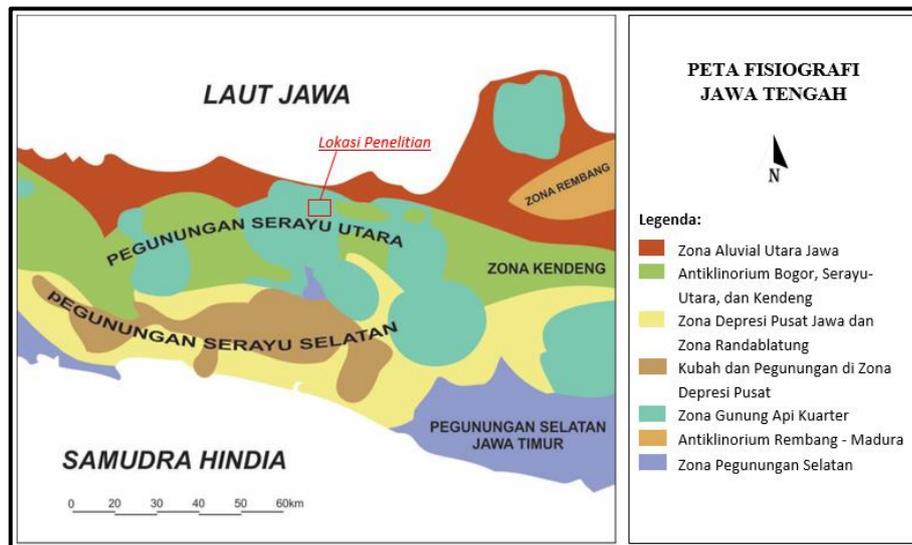
Kabupaten Batang dan Kabupaten Kendal terletak di bagian utara Provinsi Jawa Tengah yang berbatasan langsung dengan Laut Jawa. van Bemmelen (1949) membagi atas 6 zona Fisiografi Jawa Tengah, yaitu:

1. Zona Dataran Aluvial Utara Jawa.
2. Zona Gunung Api Kuartar.
3. Zona Antiklinorium Bogor, Serayu-Utara, Kendeng.
4. Zona Depresi Jawa Tengah.
5. Kubah dan Depresi Rangkaian Pegunungan Serayu Selatan.
6. Zona Pegunungan Selatan Jawa Barat dan Jawa Timur.

Daerah Jawa Tengah terbentuk oleh dua pegunungan yaitu Pegunungan Serayu Utara yang berbatasan dengan jalur Pegunungan Bogor di sebelah barat dan Pegunungan Kendeng di sebelah timur serta Pegunungan Serayu Selatan yang merupakan terusan dari Depresi Bandung di Jawa Barat.

Pegunungan Serayu Utara memiliki luas 30-50 km, pada bagian barat dibatasi oleh Gunung Slamet dan di bagian timur ditutupi oleh endapan gunung api muda dari Gunung Rogojembangan, Gunung Prau dan Gunung Ungaran. Zona ini menerus ke Jawa Barat menjadi Zona Bogor dengan batas antara keduanya terletak di sekitar Prupuk, Bumiayu hingga Ajibarang, tepat di sebelah barat Gunung Slamet, ke arah timur membentuk Zona Kendeng.

Secara administrasi daerah penelitian berada di perbatasan Kecamatan Plantungan, Kendal dengan Kecamatan Bawang, Batang, maka berdasarkan Gambar 2.1 bahwa daerah penelitian berada di Zona Serayu Utara dengan area vulkano yang menutupi. Lokasi penelitian terletak di bagian timur laut-timur daerah Gunung Rogojembangan, bagian utara Gunung Prau dan Dataran Dieng, dan bagian barat-barat laut Gunung Ungaran. Pada Gambar 2.1 terlihat bahwa zona Pegunungan Serayu Utara pada bagian utara berbatasan dengan zona Aluvial Utara Jawa dan di bagian selatan berbatasan dengan zona Depresi Jawa.

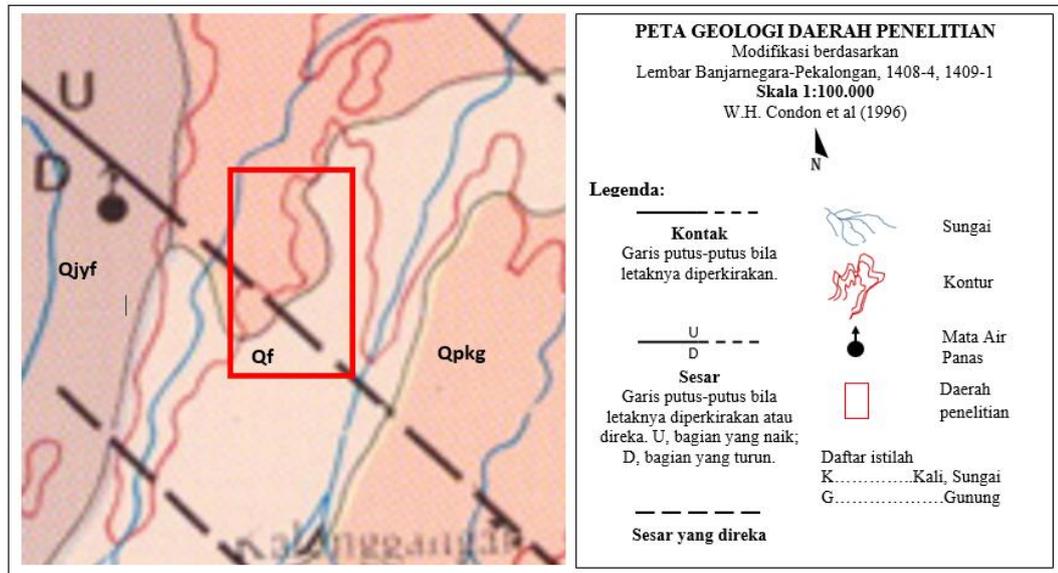


Gambar 2.1 Sketsa Peta Fisiografi Jawa Tengah. Modifikasi berdasarkan van Bemmelen (1970)

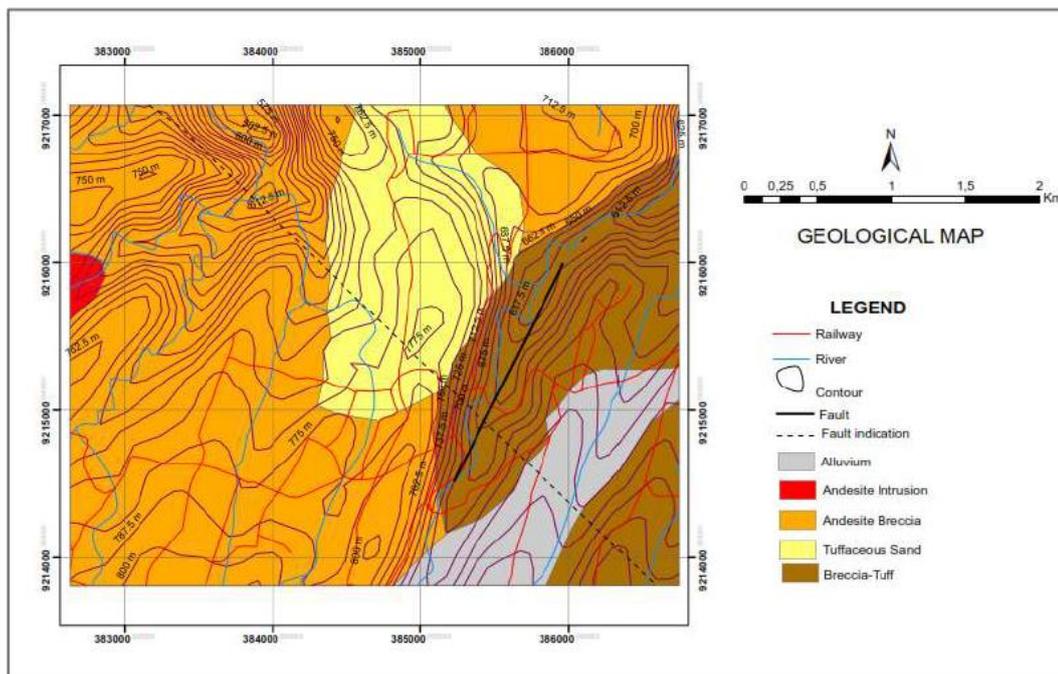
Berdasarkan Peta Geologi Lembar Banjarnegara-Pekalongan formasi daerah penelitian tersusun atas:

1. *Qf* (*Kipas Aluvium*). Terutama bahan rombakan gunungapi; telah tersayat.
2. *Qpkg* (*Formasi Kaligetas*). Breksi vulkanik, aliran lava, tuf, batupasir tufan, dan batulempung. Breksi aliran dengan sisipan lava dan tuf halus sampai kasar. Setempat di bagian bawahnya ditemukan batulempung mengandung moluska dan batupasir tufan. Batuan gunungapi yang melapuk berwarna coklat kemerahan dan sering membentuk bongkah-bongkah besar. Tebal berkisar antara 50-200 meter.
3. *Struktur Geologi*. Kelurusan berupa kelurusan sesar normal dengan arah relatif barat laut – tenggara.

Menurut Hanifah (2018) dan Dewi (2018) struktur geologi yang berkembang pada kawasan manifestasi panas bumi Sangubanyu dengan menggunakan metode geolistrik dan magnetik ialah berupa sesar turun dengan arah barat laut- tenggara, Harmoko *et al.* (2019) menambahkan bahwa selain adanya sesar berarah barat laut-tenggara di kawasan ini pula terdapat sesar berarah barat daya-timur laut yang selurus dengan Kali Lampir (Gambar 2.3).



Gambar 2.2 Daerah penelitian berdasarkan Peta Geologi Lembar Banjarnegara-Pekalongan, Jawa (1996)

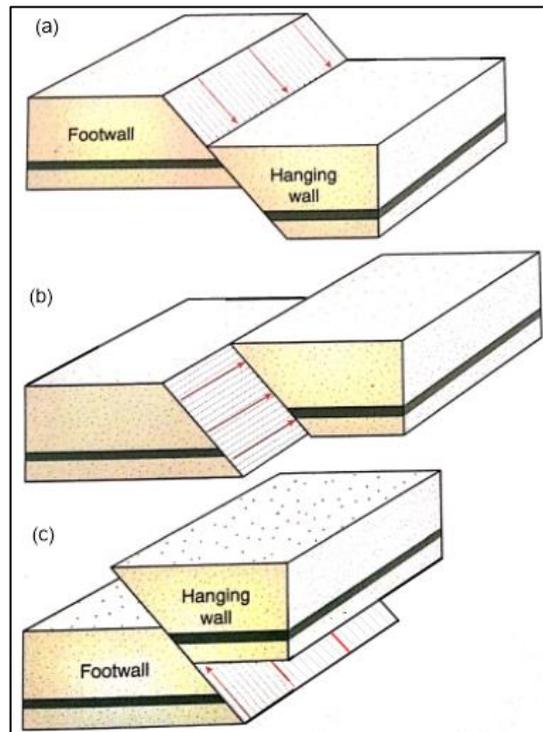


Gambar 2.3 Peta geologi area manifestasi panas bumi Sangubanyu (Harmoko *et al*, 2019)

2.2. Sesar (*fault*)

Sesar atau patahan (*fault*) adalah rekahan pada batuan yang telah mengalami pergeseran melalui bidang rekahnya atau satu blok terhadap blok batuan lainnya (Sapiie dan Harsolumakso, 2008; Fossen, 2010). Sesar diakibatkan karena adanya pergerakan yang cukup besar pada kerak bumi, dan sesar hampir terdapat diseluruh

bagian bumi. Para *geologist* sering menyebutkan sesar sebagai *shear fracture* dikarenakan adanya rekahan pergeseran yang terjadi. Sesar menghasilkan perangkap bawah tanah yang merupakan reservoir dari suatu akumulasi hidrokarbon atau merupakan tempat sirkulasi air (panas dan dingin) (Sapiie dan Harsolumakso, 2008).



Gambar 2.4 Jenis patahan (sesar). Sesar normal (a), *strike-slip* (*sinitral*) (b), sesar naik (*reverse*) (c) (Fossen, 2010)

Sesar yang tidak vertikal memisahkan *hanging wall* terhadap *foot wall*. *Hanging wall* ialah blok yang terletak di atas bidang sesar, sedang *foot wall* ialah blok yang terletak di bawah bidang sesar. Bidang sesar sendiri memiliki pengertian yaitu bidang rekahan tempat terjadinya pergeseran, yang kedudukannya dinyatakan dengan jurus dan kemiringan. Ketika *hanging wall* relatif lebih turun atau rendah terhadap *foot wall* maka ini disebut sesar normal (*normal fault*) (Gambar 2.4a), namun ketika *hanging wall* berada relatif naik (*reverse*) terhadap *foot wall* maka disebut sesar naik (*reverse fault*) (Gambar 2.4c) (Fossen, 2010). Sudut kemiringan yang tinggi alias *high-angle dip* yaitu $> 45^\circ$ dan sudut kemiringan rendah atau *low-angle dip* yaitu $< 45^\circ$ (Sapiie dan Harsolumakso, 2008). Sesar yang pergeserannya terjadi secara lateral disebut sesar geser atau *strike-slip fault* (Gambar 2.4b).

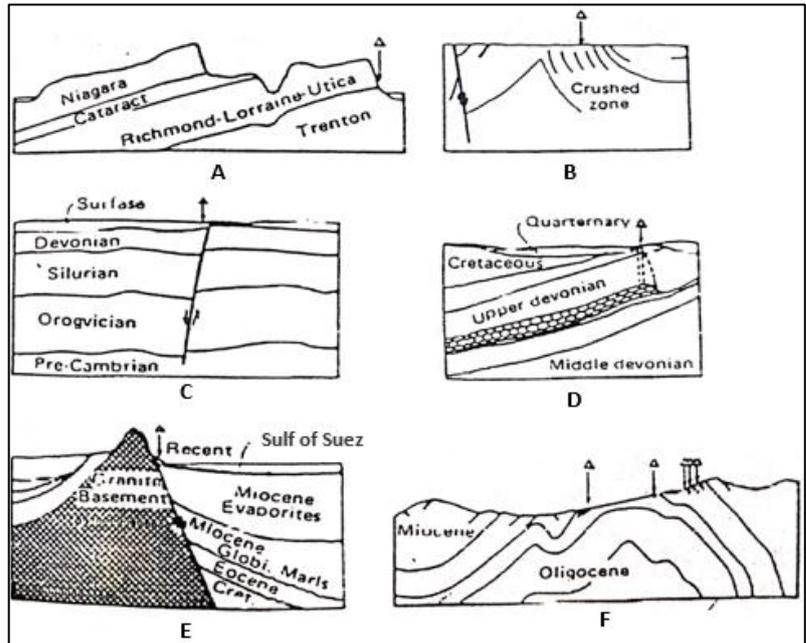
2.3. Rembesan Hidrokarbon

Rembesan hidrokarbon (*hydrocarbon seepage*) merupakan kemunculan hidrokarbon ke permukaan yang bermigrasi dari kondisi tekanan tinggi (*subsurface*) menuju ke tekanan rendah (*surface*) melalui rekahan-rekahan batuan (Zheng *et al*, 2018). Rembesan ini sendiri sebenarnya tidak memiliki nilai ekonomis (Koesoemadinata, 1980), tetapi dengan adanya rembesan hidrokarbon ke permukaan mengindikasikan bahwa setidaknya terdapat *petroleum system* di bawah permukaan yang masih aktif (Aminzadeh *et al*, 2013; Hidayat dan Fatimah, 2007; Koesoemadinata, 1980). Indikasi dekat permukaan dari migrasi hidrokarbon memberikan analisis penting dari sistem petroleum tentang sumber hidrokarbon seperti jalur migrasi, tatanan geologi, dan informasi lainnya (Abrams, 2005). Rembesan (*seepage*) memiliki variabel komponen yang sangat beragam, dapat berupa minyak, gas, bitumen cair, aspal, dan tar (Kennicutt, 2017).

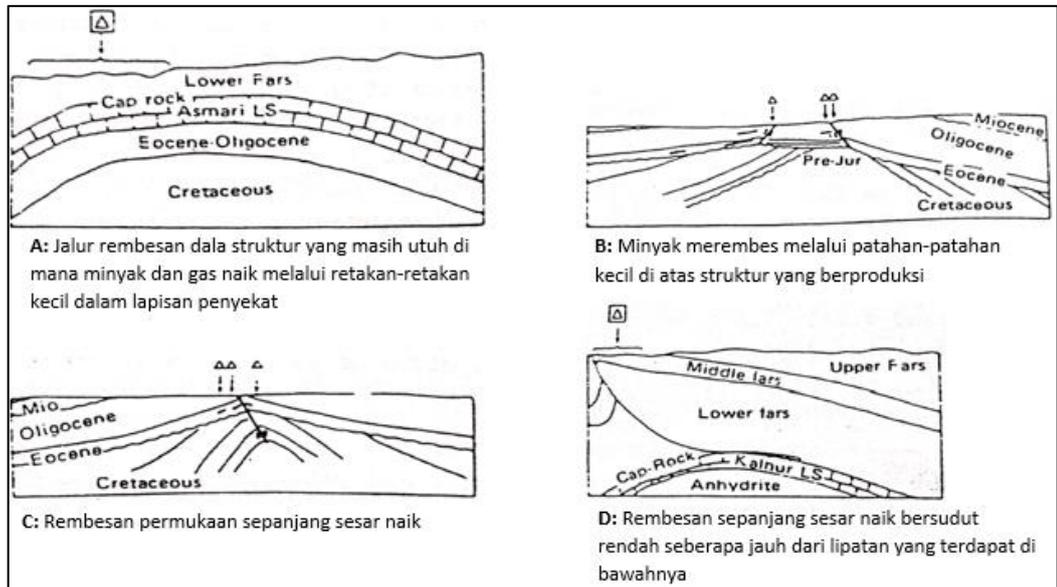
2.3.1. Klasifikasi Rembesan Minyak Bumi

Link (1952) dalam Koesoemadinata (1980) mengklasifikasikan rembesan minyak bumi ke dalam 5 bagian utama berdasarkan asal mulanya, yaitu:

- a. *Rembesan yang keluar dari Homoklin* yang memiliki ujung yang telah tererosi atau tersingkap, namun minyak belum sampai pada permukaan, rembesan seperti ini biasanya kecil (Gambar 2.5).
- b. *Rembesan minyak yang berasosiasi dengan lapisan dan formasi tempat minyak tersebut terbentuk*. Batuan induk minyak bumi biasanya terdapat pada lapisan serpih, namun ketika batuan induk ini mengalami keretakan dan hancur maka akan membuat minyak lolos dalam jumlah yang kecil. Dalam hal ini hanya sedikit sekali terdapat indikasi rembesan pada permukaan (Gambar 2.6).



Gambar 2.5 Jenis rembesan minyak bumi akibat homoklin yang tererosi atau tersingkap (Link, 1952 dalam Koesoemadinata, 1980)



A: Jalur rembesan dalam struktur yang masih utuh di mana minyak dan gas naik melalui retakan-retakan kecil dalam lapisan penyekat

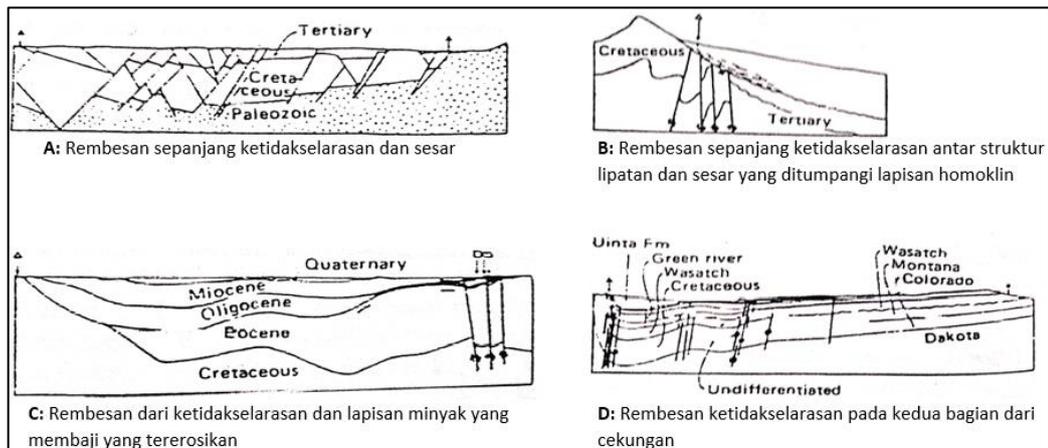
B: Minyak merembes melalui patahan-patahan kecil di atas struktur yang berproduksi

C: Rembesan permukaan sepanjang sesar naik

D: Rembesan sepanjang sesar naik bersudut rendah seberapa jauh dari lipatan yang terdapat di bawahnya

Gambar 2.6 Rembesan minyak yang berasosiasi dengan lapisan dan formasi tempat minyak terbentuk (Link, 1952 dalam Koesoemadinata, 1980)

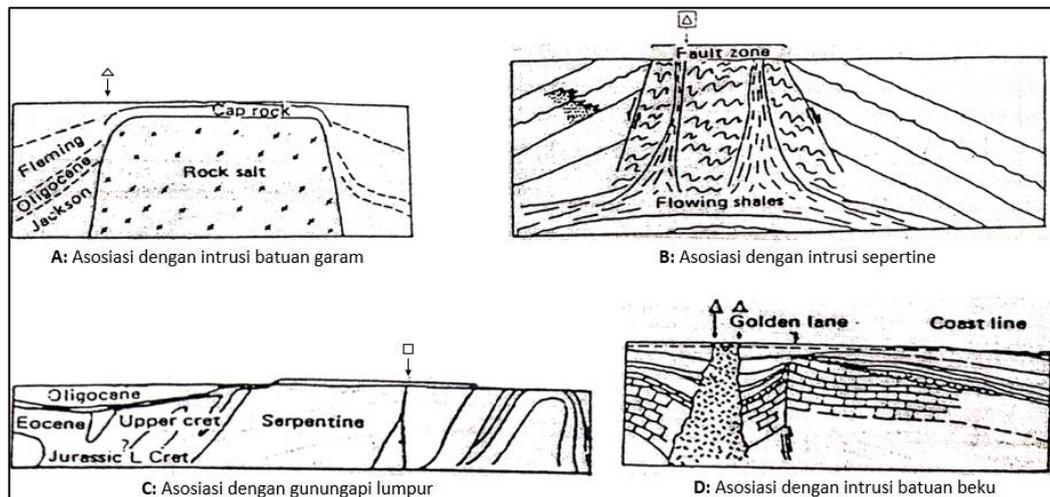
- c. Rembesan minyak dan gas yang keluar dari akumulasi minyak yang besar dan telah tersingkap oleh erosi atau reservoirnya hancur karena patahan dan lipatan. Rembesan yang terbentuk karena adanya proses inilah biasanya merupakan daerah rembesan terbesar di dunia (Gambar 2.7). Pada rembesan ini terdapat beberapa variasi diantaranya:



Gambar 2.7 Rembesan minyak yang keluar sepanjang ketidakselarasan dan patahan (Link, 1952 dalam Koesoemadinata, 1980)

- Keluarnya minyak dari patahan normal suatu lapisan homoklin ataupun akumulasi struktur yang kemudian keluar melalui patahan (Gambar 2.7b).
 - Suatu reservoir bocor karena patahan yang disebabkan oleh penyusutan yang berada di atas struktur lapisan minyak tersebut (Gambar 2.6b).
 - Adanya lapisan reservoir yang berbatasan dengan batuan beku, batas batuan tersebut tempat perembesan minyak keluar (Gambar 2.8d)
 - Rembesan yang merupakan struktur antiklin yang telah tererosi sampai ke dalam reservoir minyak. Erosi yang terjadi ini tidak menyebabkan minyak keluar secara tiba-tiba dan besar-besaran, tetapi secara sedikit demi sedikit melalui celah dan retak yang terjadi serbelum erosi tersebut, sehingga menyingkapkan lapisan reservoir itu sendiri.
 - Rembesan yang mengeluarkan minyak melalui retakan dalam lapisan penutupnya (Gambar 2.6a).
- d. *Minyak keluar pada permukaan sepanjang bidang ketidakselarasan.* Dalam hal ini kemungkinan adanya rembesan lain yang keluar atau memotong ketidakselarasan, kemudian rembesan-rembesan ini berkumpul dan membentuk rembesan yang besar, maka untuk mengetahui asal rembesan tersebut akan sangat susah.

- e. *Rembesan yang berasosiasi dengan intrusi*, seperti gunungapi lumpur, intrusi batuan beku atau penusukan oleh kubah garam. Rembesan semacam ini dapat berasosiasi ataupun tidak dengan reservoir yang telah hancur di bawahnya (Gambar 2.8).



Gambar 2.8 Rembesan yang berasosiasi dengan intrusi (Link, 1952 dalam Koesoemadinata, 1980)

2.3.2. Sistem Rembesan Hidrokarbon

Petroleum Seepage System (PSS) didefinisikan sebagai keterkaitan antara total pengisian sedimen, tektonik (jalur migrasi), generasi hidrokarbon (sumber dan pematangan), aliran fluida regional (rezim tekanan dan hidrodinamika), dan proses dekat permukaan. Hubungan antara rembesan hidrokarbon ke permukaan dengan sumber dan jebakan hidrokarbon di bawah permukaan sering kali memiliki hubungan yang kompleks dan perbedaannya sering disalah artikan (Abrams, 2002). Menurut Abrams (2005), sistem rembesan hidrokarbon memiliki beberapa elemen penting, yaitu:

- a. Aktivitas rembesan

Aktivitas rembesan terdapat dua macam yaitu aktif dan pasif. Aktivitas rembesan yang terjadi secara berkelanjutan (terus-menerus) maupun secara bertahap dari bawah permukaan menuju sedimen dekat permukaan dikatakan aktivitas rembesan aktif. Sebaliknya aktivitas rembesan pasif ialah rembesannya bersifat lambat dan hampir tidak terlihat.

b. Tipe rembesan

Tipe rembesan dilihat dari konsentrasi hidrokarbon yang termigrasi ke permukaan dan berhubungan dengan material *in situ*. Rembesan hidrokarbon terbagi atas dua tipe yaitu *macro-seepage* dan *micro-seepage*. *Macro-seepage* biasanya merupakan rembesan yang besar dari migrasi hidrokarbon, *oil seeps*, *gas seeps*, *mud volcanic*, dan *bitumen* adalah jenis *macro-seepage*. *Micro-seepage* mengacu pada hidrokarbon konsentrasi rendah yang bermigrasi ke permukaan, rembesan tidak terlihat jelas, namun dapat terdeteksi, seperti emisi yang lolos dari *macro seepage* (Abrams, 2005; Kennicutt, 2017).

c. Migrasi

Migrasi berhubungan langsung dengan rembesan dekat permukaan yang relatif terhadap jebakan hidrokarbon di bawah permukaan. Arah fokus migrasi akan lebih condong membentuk vertikal ketika terdapat jalur migrasi utama seperti patahan dan *diapirs* (intrusi), atau perpindahan lateral terkait dengan dinamika aliran fluida cekungan. Selain penyebab tersebut, rembesan minyak secara vertikal juga dapat terjadi karena adanya daya apung (*bouyancy*) dari gelembung mikro.

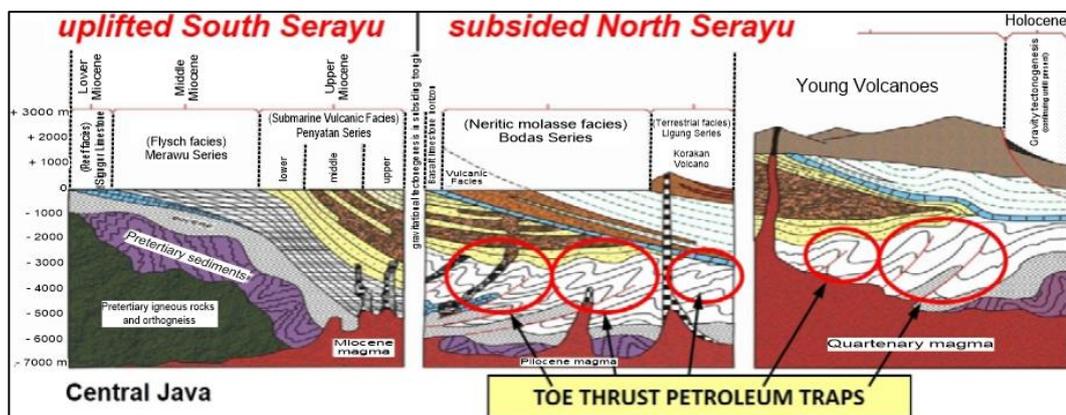
Migrasi hidrokarbon terbagi atas dua kelompok yaitu migrasi primer dan sekunder. Migrasi primer ialah keluarnya minyak bumi dari batuan induk dan masuk ke batuan reservoir lapisan penyalur (*carrier bed*), sedang migrasi sekunder ialah Bergeraknya fluida di dalam lapisan penyalur menuju tempat akumulasi atau perangkap. Di sebagian lapangan terdapat beberapa kasus minyak dapat bermigrasi secara vertikal di sepanjang rekahan, patahan, dan retakan. Patahan tersebut dapat bersifat sebagai penyalur maupun perangkap (Koesoemadinata, 1980).

Migrasi dapat dipengaruhi oleh gradien geothermal, yaitu faktor temperatur, dan faktor porositas dan kedalaman. Menurut Levorsen (1958), panas mempunyai efek terhadap migrasi, terutama mempengaruhi viskositas hidrokarbon, volume, tekanan dan kelarutan. Peningkatan temperatur akan menurunkan viskositas, peningkatan volume, tekanan, dan kelarutan. Kleme (1972) menunjukkan bahwa semakin bertambahnya kedalaman, porositas batupasir akan semakin menurun, hal ini dikarenakan adanya kenaikan tekanan kompaksi beban dan peningkatan kelarutan karena temperatur.

2.3.3. Potensi Hidrokarbon pada Daerah Subvolkanik Serayu Utara

Rembesan minyak dan gas bumi yang terjadi di Pulau Jawa dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian, yaitu: Blok Banten, Majalengka-Banyumas, dan Serayu Utara, namun ketiganya ditutupi oleh batuan vulkanik yang berumur Miocene hingga sekarang (Satyana, 2013).

Cekungan yang terdapat di Serayu Utara diakibatkan oleh adanya pengangkatan bagian selatan Jawa Tengah menuju bagian utara Jawa Tengah (pertengahan hingga akhir Miosen) yang secara volumetrik dikomposisikan dengan meningkatnya penurunan lantai cekungan Serayu Utara. Pada Mio-Pliosen basalt-limestone dari seri Bodas diendapkan secara tidak beraturan dan tidak sesuai setelah seri Akhir Miosen. Selanjutnya penurunan cekungan terjadi secara masiv, dan secara volumetrik mengimbangi peningkatan Mio-Pliosen di kawasan Serayu Selatan bagian selatan Jawa Tengah. Struktur yang berhubungan dengan tektonik gravitasi, seperti *toe thrust* (penunjaman), terjadi peningkatan ke arah utara. Batuan dasar Worowari, Lutut, dan formasi Sigugur nonmarine hingga marine yang berusia Eosen hingga Miosen akhir, Merawu dan Penyatan bagian bawah yang terdiformasi seperti antiklin *toe thrust* dan penyebaran lipatan patahan (Satyana, 2015).



Gambar 2.9 Tektonik gravitasi dari selatan hingga Serayu Utara dengan ditutupi gunung berapi (van Bemmelen, 1970 dalam Satyana, 2015)

Dari Gambar 2.9 dan penjelasan di atas dapat dilihat bahwa Serayu Utara memiliki semua *petroleum system*. Batuan induk Hidrokarbon pada area Serayu Utara dapat dihasilkan oleh nonmarine hingga *shallow marine* di *Worowari Shales* dan *marly clays* di *Merawu Beds*. Reservoir berada di batupasir kuarsit dan batupasir *tuff* dari Lutut dan Merawu Beds, dan batukapur karang dari Sigugur

Beds. Batuan penutupnya berupa shales yang bersifat *intraformational* antara Merawu dan Penyatan Beds. Kematangan batuan induk dapat dicapai karena adanya penurunan cekungan dan terkubur melalui sediment Miosen Akhir. Migrasi hidrokarbon dapat melalui antiklin *toe thrust* yang terbentuk di Lutut dan Merawu Beds atau karang Sigugur Beds melalui patahan *toe thrust* (Satyana, 2015).

Zona Serayu Utara memiliki potensi minyak yang sangat besar, ini dilihat dari banyaknya rembesan minyak yang terjadi dipermukaan (Satyana, 2007), namun analisis geologi dan geokimia yang dilakukan di daerah subvulkanik memberikan tantangan terhadap perekaman data seismik bawah permukaan. Tebalnya batuan vulkanik menyebabkan gangguan terhadap hasil seismik dan berakibat buruknya hasil perekaman (Satyana, 2013).

Terdapat beberapa rembesan minyak yang muncul ke permukaan di zona Serayu Utara, yaitu di Karangobar, Bawang dan Subah, Klantung dan Sojomerto, Kaliwaru, bagian barat dan timur gunung Ungaran. Beberapa perusahaan minyak telah berusaha melakukan pemboran namun hampir kesemuanya gagal, permasalahan dapat berupa sumur kering, banyaknya masalah mekanisme yang menghambat, hingga tidak ditemukannya hidrokarbon. Pemboran berhasil dilakukan pada wilayah Klantung dan Sojomerto dan ditemukanlah lapangan Cipluk sekitar tahun 1889 dengan capaian produksi 400 ton di tahun 1903-1912 dan 107.000 barel sebelum 1933. Sekarang lapangan ini telah ditinggalkan dan hanya warga sekitar yang memanfaatkannya menggunakan cara tradisional (Satyana, 2007; 2015)

2.4. Mikrotremor

Pada dasarnya permukaan tanah selalu aktif bergerak, pergerakan secara konstan diluar gempa bumi baik dikarenakan aktivitas manusia maupun alam ini disebut *microseisms* atau *microtremors* (Okada, 2003). Mikrotremor adalah getaran tanah yang memiliki amplitudo simpangan yang sangat kecil, jauh dari penginderaan manusia, yaitu sekitar 10^{-4} hingga 10^{-2} mm (Mirzaoglu dan Dýkmen, 2003; Okada, 2003) dan kecepatan getaran sekitar 10^{-3} hingga 10^{-2} cm/s (Mirzaoglu dan Dýkmen, 2003). Metode mikrotremor umumnya digunakan dalam seismik pasif tiga komponen (Yuliyanto *et al*, 2018). Getaran ambient yang bersumber dari aktivitas

manusia (lalu lintas dan mesin) biasanya memiliki frekuensi yang tinggi ($f > 1$ Hz) sedangkan getaran ambient yang bersumber dari alam biasanya memiliki frekuensi rendah ($f < 1$ Hz) (SESAME, 2004).

Survei mikrotremor dapat dilakukan dengan dua cara yaitu pendekatan pertama adalah perekaman dilakukan secara simultan pada dua lokasi atau lebih. Salah satu tempat perekaman harus dilakukan di daerah batuan keras (*hard rock*) sehingga tidak menunjukkan adanya penguatan frekuensi akibat gerakan tanah. Rasio spektrum yang didapatkan pada tempat lain akan dibandingkan dengan yang terekam pada *hard rock* sehingga akan didapatkan respon *site* terhadap mikrotremor. Pendekatan kedua diperkenalkan oleh Nakamura pada tahun 1989 bersamaan dengan metode analisisnya, bahwa rasio spektrum horizontal dan vertikal dari mikrotremor menikat pada frekuensi tersebut. Nakamura mengasumsikan bahwa H/V (*Horizontal to Vertical*) merefleksikan tingkat amplifikasi dari gerakan tanah. Dengan metode ini pengukuran tidak perlu dilakukan dengan syarat adanya batuan keras (*hard rock*). Secara umum perekaman data mikrotremor tidak berbeda dengan perekaman gelombang seismik pada seismometer, alat yang digunakan pun merupakan seismometer. Untuk metode Nakamura diperlukan seismometer tiga komponen yang merekam komponen horizontal *east-west*, *north-south*, dan komponen vertikal *up-down*. Pada perekaman mikrotremor tidak dibutuhkan adanya sumber buatan atau sumber berupa gempa bumi, namun pengukuran langsung dilakukan karena yang direkam merupakan gelombang yang berasal dari alam.

Gelombang yang terekam pada pengukuran mikrotremor adalah gabungan antara gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*) (Sungkono dan Santosa, 2011), gelombang badan merambat melalui lapisan interior bumi. Gelombang badan terdiri atas gelombang longitudinal atau primer (P) dan gelombang transversal atau sekunder (S). Gelombang badan longitudinal atau *Compressional wave velocity* (V_p) merupakan gelombang dengan arah gerak partikelnya sejajar dengan dengan arah perambatannya, V_p dapat merambat melalui media cair, padat, dan gas. Gelombang transversal atau *Shear wave velocity* (V_s) yaitu gelombang yang arah simpangannya tegak lurus terhadap arah rambatnya, V_s

hanya dapat merambat melalui medium padat. Batuan atau mineral yang bersifat lunak akan mempunyai nilai Vs yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan batuan keras, karena nilai kecepatan gelombang gesernya berbanding lurus dengan dengan densitas batuan. Tabel 2.1 menunjukkan klasifikasi material batuan berdasarkan nilai Vp dan Tabel 2.2 klasifikasi kekerasan batuan berdasarkan nilai Vs.

Tabel 2.1 Nilai Vp pada berbagai medium (Burger, 1992)

Material	Vp (m/s)
<i>Soil</i>	250-600
<i>Weathered layered</i>	300-900
<i>Alluvium</i>	500-2.000
<i>Sand (unsaturated)</i>	200-1.000
<i>Sand (saturated)</i>	800-2200
<i>Sand and gravel (unsaturated)</i>	400-500
<i>Sand and gravel (saturated)</i>	500-1.500
<i>Clay</i>	1.000-2.500
<i>Granite</i>	5.000-6.000
<i>Basalt</i>	5.400-6.400
<i>Metamorphic rock</i>	3.500-7.000
<i>Sandstone and shale</i>	2.000-4.000
<i>Limestone</i>	2.000-6.000

Tabel 2.2 Klasifikasi site berdasarkan nilai Vs hasil penyelidikan tanah dan laboratorium (Badan Standarisasi Nasional 1726, 2012)

Klasifikasi site	Vs (m/s)
Batuan keras	≥ 1500
Batuan	750 – 1500
Tanah sangat padat dan batuan lunak	350-750
Tanah sedang	175-350
Tanah lunak	< 175

2.5. Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr)

Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) adalah metode yang digunakan untuk mengetahui percepatan gelombang suatu permukaan tanah dengan perbandingan komponen seismik horizontal yang terekam ke komponen vertikal (Yuliyanto *et al*, 2018). Metode ini merupakan getaran gelombang geser yang terukur pada medium sedimen atau medium yang berada di atas *bedrock* (Koesuma,

2018). Komponen HVSR lebih umum digunakan dalam bidang gempa bumi, selain itu mampu memperkirakan kerentanan suatu tanah terhadap potensi longsor yang berakibat pada kerusakan bangunan, dalam pengembangannya HVSR dapat digunakan untuk menentukan ketebalan suatu lapisan sedimen secara kualitatif (Okada, 2003; Yuliyanto *et al*, 2018).

Metode HVSR dapat menjelaskan fenomena frekuensi resonansi lapisan permukaan tanpa harus menggunakan referensi dari batuan *bedrock*, yaitu dengan melakukan pengukuran di satu tempat dan menghasilkan tiga komponen yaitu vertikal, horizontal utara-selatan, dan horizontal timur-barat. Metode ini juga berfungsi untuk mengidentifikasi respon resonansi pada lembah sedimen atau cekungan yang berisi material sedimen.

Metode HVSR sangat berguna untuk mengidentifikasi respon resonansi cekungan yang berisi material sedimen. Fenomena resonansi dalam lapisan sedimen adalah terjebaknya gelombang seismik di lapisan permukaan karena adanya kontras impedansi antara lapisan sedimen dengan batuan keras yang lebih dalam. Interferensi antara gelombang seismik yang terjebak pada lapisan sedimen berkembang menuju pola resonansi yang berkenaan dengan karakteristik lapisan sedimen, Al-Qaryouti dan Al-Tarazi (2007); Sunardi *et al.* (2012) menjelaskan bahwa faktor amplifikasi spektrum HVSR meningkat pada formasi ketebalan sedimen yang lebih tebal dan halus. Metode HVSR merupakan metode yang efektif, murah, dan ramah lingkungan (Sitorus *et al*, 2017). Nilai frekuensi natural dan amplifikasi adalah parameter penting yang dihasilkan metode HVSR (Sungkono dan Santosa, 2011).

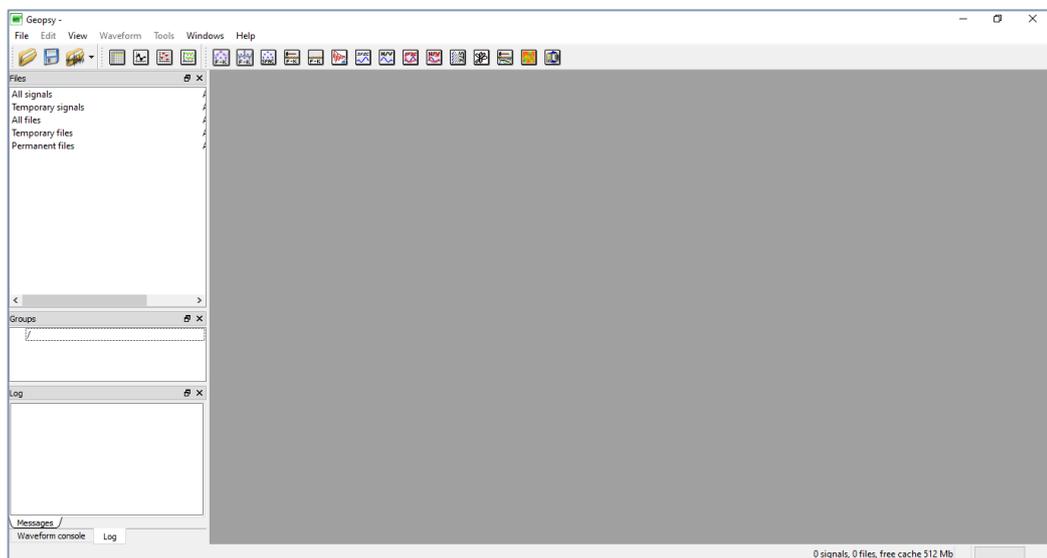
2.6. Perangkat Lunak

Terdapat empat perangkat lunak yang digunakan untuk membantu proses pengolahan data mikrotremor dalam penelitian ini, berikut perangkat lunak tersebut:

2.6.1. Geopsy

Perangkat lunak Geopsy adalah perangkat lunak *open source* yang dapat dipasang pada sistem operasi Windows, Linux, maupun Mac. Perangkat ini pertama

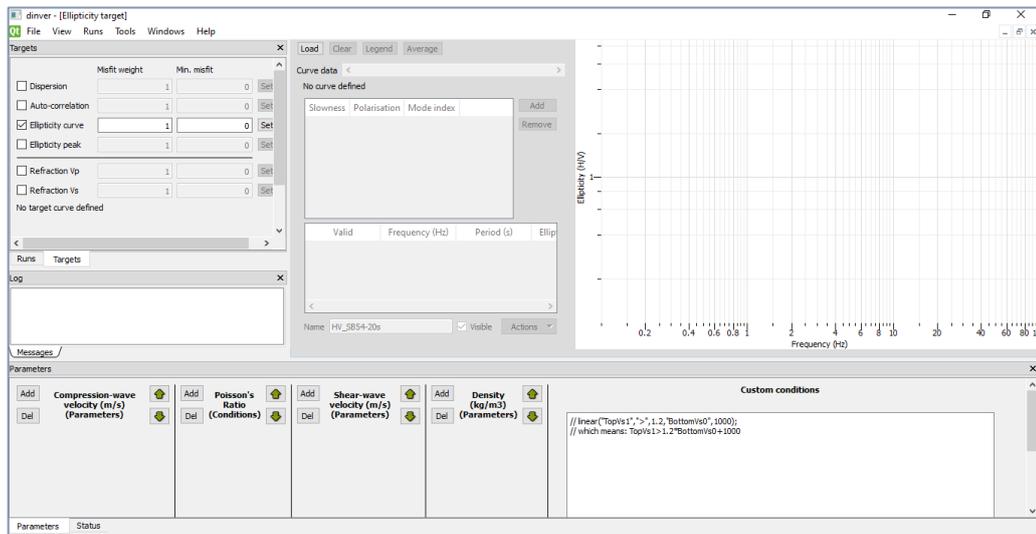
kali diperkenalkan pada *Site Effects Assessment Using Ambient Vibrations* (SESAME) pada proyek Eropa di tahun 2005, merupakan proyek multinasional (*European Project*), perangkat ini memiliki kemampuan dalam mengolah data *ambient noise* untuk karakterisasi suatu lokasi. Geopsy dapat digunakan secara gratis dan dapat diunduh pada laman www.geopsy.org. Dalam penelitian ini digunakan perangkat lunak Geopsy versi 2.9.1 pada sistem Windows 10, Gambar 2.10 adalah tampilan antar muka perangkat tersebut. Data mikrotremor yang dikumpulkan dapat langsung diolah menggunakan perangkat lunak Geopsy namun terlebih dahulu merubah format data ke dalam bentuk ASCII.



Gambar 2.10 Tampilan antar muka perangkat lunak Geopsy

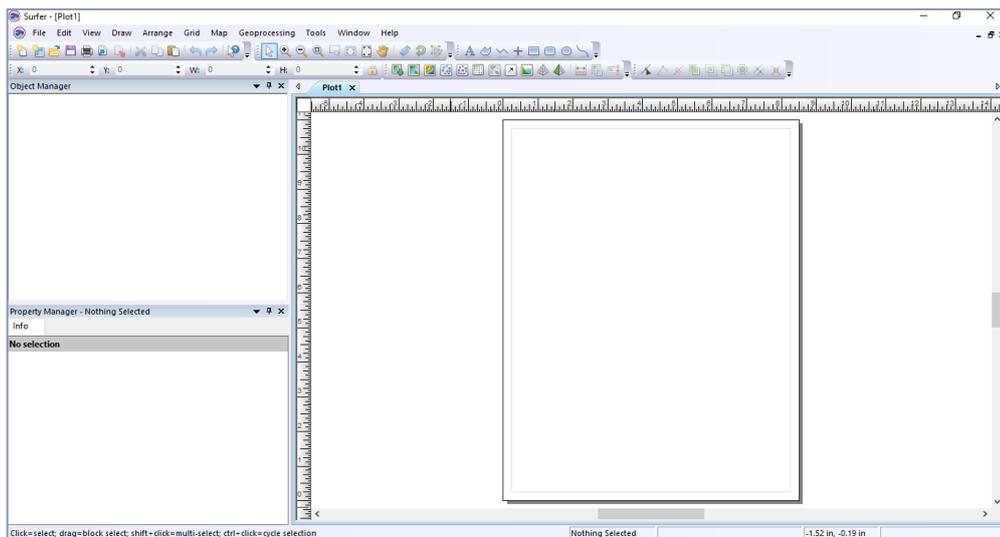
2.6.2. Dinver

Dinver adalah kerangka kerja untuk menyelesaikan masalah inversi dengan teknik *Neighbourhood Algorithm* atau teknik Monte Carlo yang mulanya diusulkan oleh Sambridge (1999), diimplementasikan ke dalam C++ dan ditingkatkan oleh Wathelet (200). Perangkat ini dapat dipasang pada seluruh *platform* (Linux, Mac OS X, dan Windows) dan dapat digunakan oleh siapapun di bawah ketentuan Lisensi Publik GNU versi 2. Penelitian ini menggunakan metode *elepticity curver* dalam pengolahan data. Bagian laman pembuka perangkat ini dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Tampilan antar muka perangkat lunak Dinver

2.6.3. Surfer



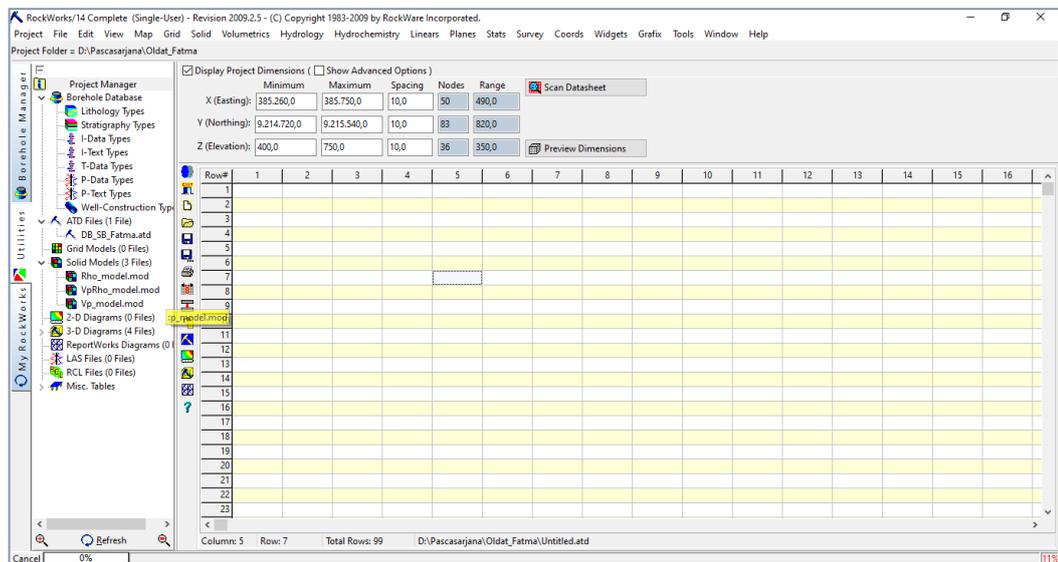
Gambar 2.12 Tampilan pembuka perangkat lunak Surfer

Perangkat lunak Surfer memiliki banyak kemampuan dalam memetakan dan memodelkan permukaan lapangan baik dalam bentuk 2D maupun 3D. Perangkat ini mampu mengkonversi data menjadi kontur, permukaan suatu wilayah, relief, *wireframe*, vektor, gambar, dan *post maps*. Hampir semua aspek peta dapat digambarkan oleh perangkat ini dengan sangat mudah dan cepat. Surfer merupakan program pemetaan berbasis grid yang menginterpolasi data XYZ yang ditempatkan secara tidak teratur ke dalam grid yang berjarak secara teratur. Peneliti

menggunakan perangkat ini untuk membuat peta kontur daerah penelitian. Gambar 2.12 adalah tampilan pembuka perangkat lunak Surfer.

2.6.4. Rockworks

Software Rockworks adalah perangkat lunak dari RockWare untuk memvisualisasikan data yang ada pada permukaan tanah dan di bawah permukaan tanah dengan berbagai macam alat bantu didalamnya seperti *maps*, *logs*, *cross sections*, *fence diagrams*, *solid models* dan *volumetrics*. Dalam penelitian ini peneliti menggunakan perangkat ini dalam membuat model 3D, *cross-section* (sayatan), dan *plan diagram*. Tampilan pembuka perangkat lunak Rockworks dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Tampilan pembuka perangkat lunak Rockworks