

ANALISIS TEKANAN LUAP DAN MEKANISME PEMBENTUKANNYA MENGUNAKAN DATA SUMUR DAN KECEPATAN SEISMIK PADA LAPANGAN “SKW”, CEKUNGAN JAWA TIMUR UTARA

Fasih Kazainullah¹, Agus M. Ramdhan², Perdana R. Putra³

1. PT. Elnusa, Tbk., Jl. TB Simatupang Kav. 1 B, Jakarta
2. Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung (ITB), Jl. Ganesha No.10, Bandung, Jawa Barat
3. Pertamina URTI, Jl. Mega Kuningan Barat III, Lot 10. 1-6, Jakarta

Sari – Cekungan Jawa Timur Utara dikenal sebagai salah satu cekungan hidrokarbon prolif, yang masalah pengeborannya sering diakibatkan oleh keberadaan tekanan luap. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi tekanan luap dan menganalisis mekanisme pembentukannya dengan menggunakan data dari dua sumur dan kecepatan gelombang 2D (dua dimensi) seismik, sehingga masalah pemboran yang berhubungan dengan tekanan-luap dapat dihindari. Berdasarkan analisis tekanan pori, terdapat 5 zona tekanan. Zona A dan C memiliki tekanan hidrostatik normal, yang terjadi pada Formasi Lidah sampai Formasi Mundu bagian atas, serta Formasi Ledok. Zona B merupakan awal munculnya tekanan luap, yang terjadi pada Formasi Mundu bagian tengah sampai Formasi Mundu bagian bawah. Zona D mengalami tekanan luap sedang, yang terjadi pada Formasi Wonocolo bagian atas sampai Formasi Wonocolo bagian tengah. Zona E mengalami tekanan luap tinggi, yang terjadi pada Formasi Wonocolo bagian tengah sampai Formasi Ngrayong. Analisis penulis juga menunjukkan bahwa ketebalan sedimen ikut mengontrol besarnya tekanan-luap di wilayah studi, yang menunjukkan bahwa tekanan-luap disebabkan oleh mekanisme pembebanan. Interpretasi mekanisme pembebanan sebagai mekanisme pembentukan utama tekanan-luap di wilayah studi juga didukung oleh data tegangan efektif yang konstan seperti yang diamati pada sumur yang dianalisis dalam makalah ini. Analisis sejarah pemendaman juga menunjukkan bahwa laju sedimentasi di wilayah studi berada dalam kisaran 200 m/juta tahun mendukung interpretasi mekanisme pembebanan. Kami juga menemukan bahwa mulai dari kedalaman 4000 ft, smektit mulai berubah menjadi ilit, namun transformasi ini tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap besarnya tekanan-luap di wilayah studi.

Kata kunci: Cekungan Jawa Timur Utara, kecepatan seismik, zonasi tekanan luap, ketebalan sedimen.

Abstract - The drilling in the North East Java Basin, known as one of the prolific hydrocarbon basins in Indonesia, is often experiencing several problems due to the presence of overpressure. This study aims to predict overpressure and analyze the generating mechanism using well and seismic data in SKW field in the basin, so that overpressure-related drilling problems could be avoided. Based on pore pressure analysis, we found that there are 5 pressure zones in the study area, i.e: hydrostatic pressure in Zone A and C, occurring in Lidah to the upper of Mundu formation and Ledok Formation; first appearance (top) of overpressure at Zone B occurring in the middle to lower Mundu Formation; moderate overpressure in Zone D occurring in upper – middle Wonocolo Formation; high overpressure in Zone E occurring in middle Wonocolo – Ngrayong formations. Our analysis also shows that sediment thickness controls overpressure magnitude in the study area, indicating that overpressure is due to loading mechanism. The interpretation of loading mechanism as the main generating mechanism of overpressure in the study area is also supported by constant effective stress behaviour as observed in wells analysed in this paper. Burial history analysis also shows that rate of sedimentation in the study area is about 200 m/mY, in favour of supporting the loading mechanism interpretation. We also found that starting at the depth of 4000 ft, smectite starts to transform into illite, however, this transformation does not give substantial impact to overpressure magnitude in the study area.

Keywords: North East Java Basin, seismic velocity, overpressures zone, sediment thickness.

1. PENDAHULUAN

Cekungan Jawa Timur Utara telah dikenal sebagai salah satu cekungan hidrokarbon yang prolif sejak abad 19. Kegiatan eksplorasi di Lapangan SKW, Cekungan Jawa Timur Utara (**Gambar 1**) tidak terlepas dari kendala-kendala yang dijumpai selama pengeboran,

seperti penyempitan lubang pengeboran, kehilangan sirkulasi lumpur, dan *cutting* yang tidak terangkat ke permukaan (Pertamina BPPKA, 1996). Kendala-kendala tersebut terjadi salah satunya akibat adanya kehadiran tekanan luap selama proses pengeboran. Hal

tersebut sebetulnya dapat dihindari dengan melakukan analisis tekanan bawah permukaan. Pemahaman mengenai distribusi tekanan bawah permukaan dan mekanisme pembentukan tekanan luap sangat penting untuk memprediksi keberadaan tekanan luap. Penelitian ini juga memprediksi tekanan pori yang dianalisis dari data sumur, yang kemudian dibandingkan dengan data seismik. Apabila data sumur dan seismik menunjukkan korelasi yang tinggi, maka diterapkan estimasi nilai tekanan pori secara lateral dengan menggunakan data seismik.

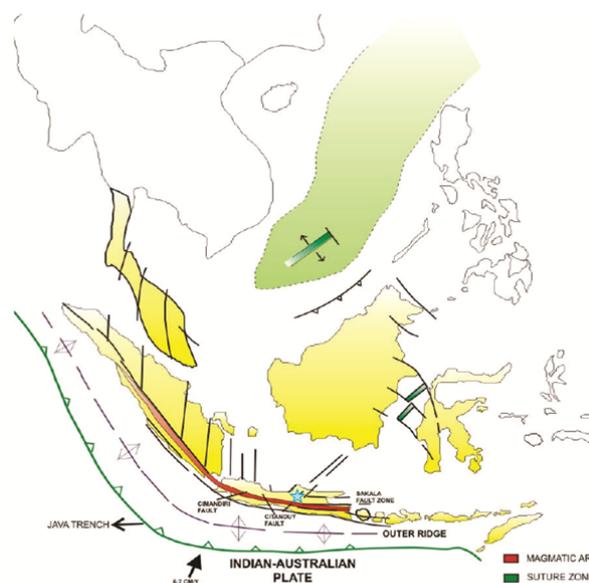


Gambar 1. Lokasi penelitian (Pertamina BPPKA, 1996).

Menurut Sribudiyani dkk. (2003), sejarah tektonik dan pembentukan struktur di Cekungan Jawa Timur Utara pada Kala Miosen Tengah-Miosen Akhir (20-5 juta tahun yang lalu) adalah batas Lempeng Indo-Australia mengalami pergeseran ke arah selatan yang disertai oleh aktivitas magmatik di sepanjang Pulau Jawa (**Gambar 2**). Berakhirnya rezim *compressional* tersebut ditandai oleh berakhirnya pengendapan Formasi Tuban dan mulai diendapkannya Formasi Ngrayong yang sedikit muncul ke permukaan. Sementara itu, fase *subsidence intermediate* ditandai oleh diendapkannya Formasi Wonocolo yang diikuti oleh Formasi Ledok. Lingkungan pengendapan pada masa ini berada di laut dangkal yang sangat dominan mengalami progradasi (Brandsen dan Matthew, 1992).

Peristiwa yang terjadi pada periode Pliosen-Pleistosen (5-0,001 juta tahun yang lalu) adalah subduksi yang masih sama seperti periode sebelumnya dan mempunyai arah struktur dominan berarah timur-barat. Peristiwa tektonik yang terjadi dicirikan oleh

terbentuknya *thrust fault* (sesar naik) dan *flower structure* (struktur yang menyerupai bunga). Periode ini juga memasuki fase inversi dan kompresi-akhir yang ditandai oleh diendapkannya Formasi Mundu, dan Formasi Lidah (Sribudiyani dkk., 2003).

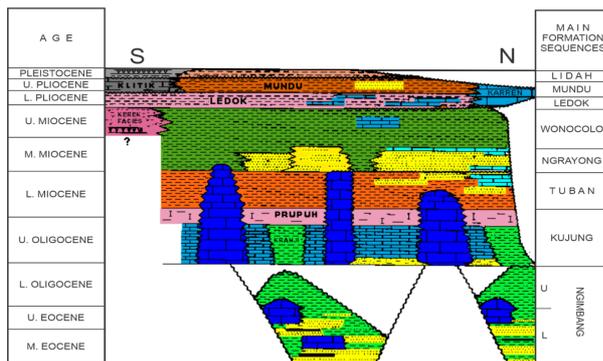


★ : Lokasi Penelitian

Gambar 2. Tektonik regional Cekungan Jawa Timur Utara pada Kala Miosen Tengah – Miosen Akhir (Sribudiyani dkk., 2003).

Mudjiono dan Pireno (2001), menjelaskan mengenai stratigrafi regional Cekungan Jawa Timur Utara pada **Gambar 3**. Formasi Ngrayong disusun oleh batupasir kuarsa dengan sisipan batugamping orbitoid dan batulempung pasir. Formasi ini umumnya tersingkap di daerah puncak antiklin di utara Cepu. Lingkungan pengendapan batupasir kuarsa. Formasi Ngrayong adalah transisi (*sandbar*) dan batulempung di laut dalam. Formasi Wonocolo disusun oleh napal pasir dengan sisipan lapisan batugamping pasir yang tipis dan sisipan fragmen lignit. Umur Formasi Wonocolo adalah Miosen Atas (N14-N15), diendapkan pada lingkungan laut neritik luar. Formasi Ledok berumur Miosen Atas (N16-N17), disusun oleh batugamping pasir lapis tipis dan batupasir gampingan berstruktur sedimen silang siur yang berbentuk mangkok. Diendapkan pada lingkungan pengendapan laut dangkal neritik pinggir. Formasi Mundu diendapkan selaras batunapal pasir.

Batunapal anggota formasi ini memiliki komposisi fosil foraminifera plankton yang banyak, yang menunjukkan umur N18-N20. Formasi ini diendapkan pada kondisi laut neritik luar. Formasi Lidah diendapkan selaras batulempung berwarna abu-abu kebiruan, kaya akan fosil bentos dan plankton, diperkirakan diendapkan pada N22-N23 (Pleistosen), dalam lingkungan laut dangkal neritik pinggir sampai transisi.



Gambar 3. Kolom stratigrafi umum di bagian darat Cekungan Jawa Timur Utara (Mudjiono dan Pireno, 2001).

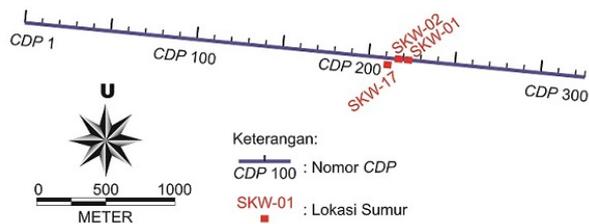
2. DATA DAN METODOLOGI

Data utama yang tersedia dalam penelitian ini adalah 3 data sumur, yang meliputi Sumur SKW-01, SKW-02, dan SKW-17 seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 1**. Perhitungan profil tekanan bawah permukaan juga memerlukan laporan akhir sumur (*final well report*), data log berupa sinar gamma, densitas, porositas, resistivitas, sonik, dan data lumpur pengeboran. Data sejarah pemendaman dipakai untuk menghitung kecepatan sedimentasi. Data gradien panas bumi dipakai untuk mengetahui suhu pada kedalaman tertentu, yang akan digunakan dalam menganalisis mekanisme *unloading*. Hasil pengolahan XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan terhadap 9 sampel *cutting* pada sumur SKW-17. Data ini digunakan untuk memvalidasi transformasi mineral dan jenis mineralnya pada daerah penelitian.

Tabel 1. Data sumur yang tersedia pada Lapangan SKW

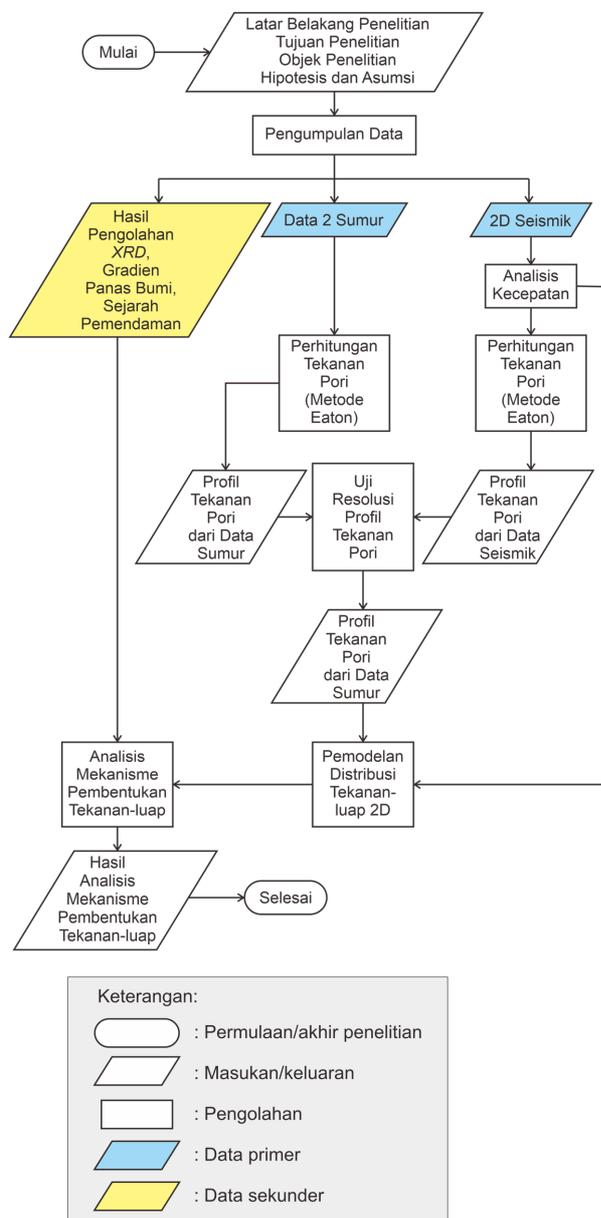
No	Jenis Data	Sumur SKW-01	Sumur SKW-02	Sumur SKW-17
1	Log Sinar Gamma	Ada	Ada	Ada
2	Log Densitas	Ada	Ada	Ada
3	Log Porositas	Ada	Ada	Ada
4	Log Resistivitas	Ada	Ada	Ada
5	Log Sonik	Ada	Ada	Ada
6	Deviasi Sumur	Ada	Ada	Tidak Ada
7	Laporan Akhir Sumur	Ada	Ada	Ada
8	Data lumpur pengeboran	Ada	Ada	Tidak Ada
9	XRD	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
10	Sejarah Pemendaman	Ada	Tidak Ada	Tidak Ada

Lintasan data seismik 2D dengan panjang ± 4 km, yang melewati Sumur SKW-01, dan SKW-02, ditunjukkan **Gambar 4**. Berdasarkan data yang tersedia pada **Tabel 1** di atas, sumur yang digunakan untuk analisis tekanan bawah permukaan adalah sumur SKW-01 dan SKW-02. Sumur SKW-17 hanya mempunyai data log dari kedalaman 7884.5 ft *TVDSS* (*True Vertical Depth Sub Sea*) sampai kedalaman 8725.5 ft *TVDSS*, sehingga tidak representatif untuk dilakukan analisis tekanan bawah permukaan. Data uji kandung lapisan *DST* (*Drill Steam Test*) data lumpur pengeboran, dan data masalah pengeboran juga digunakan untuk memvalidasi profil tekanan bawah permukaan. Laporan akhir sumur (*final well report*) dapat memberikan informasi rekaman kejadian selama kegiatan pengeboran berlangsung sebagai validasi dari estimasi tekanan pori yang dihasilkan.



Gambar 4. Lintasan seismik dan lokasi sumur penelitian.

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada **Gambar 5**. Penelitian ini melakukan analisis ulang kecepatan *RMS (Root Mean Square)* seismik untuk mendapatkan kecepatan seismik yang lebih akurat, sehingga didapatkan analisis tekanan pori yang lebih baik.



Gambar 5. Diagram alir penelitian.

Tekanan pori dalam penelitian ini dihitung dengan metode Eaton. Hal ini dilakukan dengan membandingkan pembacaan data log tali kawat (log sonik dan log resistivitas) atau kecepatan interval seismik dengan nilai tren kompaksi normal/*Normal Compaction Trend (NCT)* pada kedalaman yang sama (Ramdhan, 2010). Tren kompaksi normal (*NCT*) adalah garis yang menunjukkan bagaimana porositas suatu batuan berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman. Jika suatu batuan terkompaksi secara normal, maka mengikuti garis *NCT*, yang porositasnya berkurang, nilai tegangan efektifnya bertambah, dan nilai tekanan pori sama dengan tekanan hidrostatik normal (Ramdhan, 2010).

Eaton (1975) menggunakan data log tali kawat dan seismik untuk melakukan prediksi tekanan pori. Metode Eaton ini menghitung selisih antara tegangan efektif aktual terhadap tegangan efektif normal.

Setelah itu, perhitungan tekanan pori dari data sumur dibandingkan dengan perhitungan tekanan pori dari data seismik. Deteksi menggunakan data sumur lebih akurat tetapi terbatas pada skala spasial dan bersifat satu dimensi. Sementara, deteksi menggunakan data kecepatan seismik memiliki jangkauan yang cukup luas dan bisa 2D bahkan 3D (tiga dimensi), akan tetapi nilai prediksi yang diperoleh akan sangat ambigu, karena tidak ada nilai acuan akurat yang bisa digunakan sebagai referensi. Kombinasi kedua data dalam mendeteksi tekanan luap akan memiliki kelebihan yang cukup banyak, karena prediksi dalam lingkup 2D bisa lebih akurat karena menggunakan informasi dari data-data sumur sebagai referensi.

Penelitian ini mempunyai koefisien determinasi antara tekanan pori dan kecepatan seismik pada sumur SKW-01 dan SKW-02 sebesar 0.76 dan 0.71, sehingga dapat disimpulkan bahwa kecepatan seismik dapat digunakan untuk membantu persebaran tekanan pori. Penentuan mekanisme pembentukan tekanan luap, baik mekanisme pembebanan (*loading*) maupun *unloading*, dilakukan dengan analisis perubahan besar

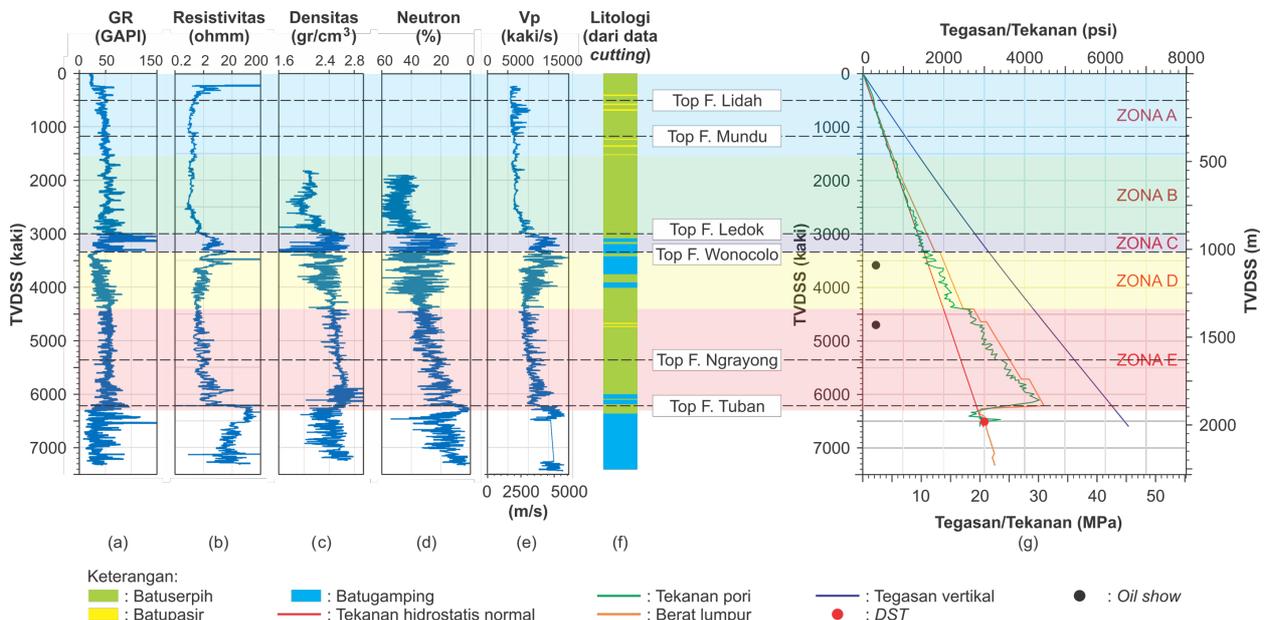
tegasan efektif, yang didukung oleh respons log tali kawat, dan plot silang log sonik dengan log densitas (Dutta, 2002). Hasil pengolahan data *XRD*, gradien panas bumi, dan sejarah pemendaman adalah data-data sekunder yang dipakai untuk membantu menganalisis mekanisme pembentukan tekanan luap.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan karakteristik litologi dan profil tekanan luapnya, maka dibagi menjadi 5 zona tekanan, yaitu, zona A, B, C, D, dan E (**Gambar 6**). Zona A merupakan zona tekanan hidrostatik normal, yang terjadi pada Formasi Lidah sampai Formasi Mundu bagian atas. Zona B awal munculnya tekanan luap pada Lapangan SKW, dengan gradien tekanan pori 1.32 SG, yang terjadi pada Formasi Mundu bagian tengah sampai Formasi Mundu bagian akhir. Zona C sama dengan zona A, sebagai tekanan hidrostatik normal, tetapi terjadi pada semua Formasi Ledok. Zona D mengalami tekanan luap sedang dengan gradien tekanan

pori 1.24 SG, yang terjadi pada Formasi Wonocolo bagian atas sampai Formasi Wonocolo bagian tengah. Zona E mengalami tekanan luap tinggi dengan gradien tekanan pori 1.84 SG, yang terjadi pada Formasi Wonocolo bagian tengah sampai Formasi Ngrayong.

Ramadhan dkk. (2013) menyatakan bahwa secara regional, pada Cekungan Jawa Timur Utara terdapat dua zona tekanan luap, yaitu tekanan luap rendah (*low overpressure zone*) pada Post-Tuban, dan tekanan luap sedang-tinggi (*moderate-high overpressure zone*) pada Formasi Tuban. Hal ini terlihat pada sumur SKW-01 dan sumur SKW-02, yang pada Post-Tubannya terdapat dua zona tekanan luap. Dua zona tekanan luap ini ditemukan secara lokal, dan kemungkinan tidak tergambarkan secara regional di Cekungan Jawa Timur Utara. Namun secara garis besar dapat ditarik tren yang sama dengan zona tekanan luap.



Gambar 6. Penentuan zona tekanan pori pada Sumur SKW-01 (a) log sinar gamma, (b) log resistivitas, (c) log densitas, (d) log porositas, (e) log sonik, (f) litologi dari data *cutting*, (g) tekanan pori.

Tekanan luap dapat terbentuk melalui dua mekanisme yaitu mekanisme pembebanan (*loading*) dan mekanisme *unloading*. Menurut Ramadhan (2010), mekanisme tekanan luap dapat dideteksi secara dini menggunakan analisis dari besar nilai tren tegasan efektif.

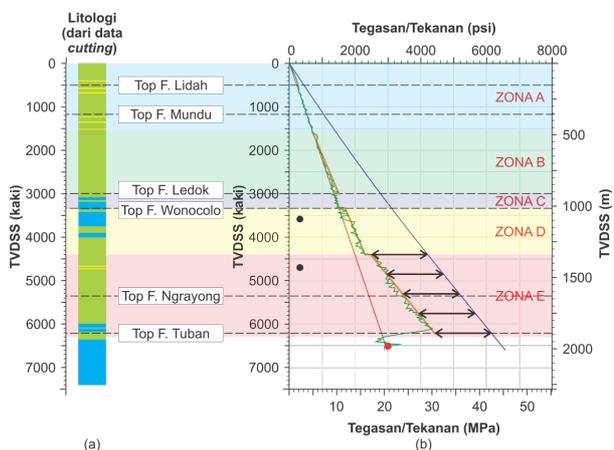
Sedangkan pada mekanisme *unloading*, nilai dari tegasan vertikal relatif konstan, sedangkan tegasan efektif berkurang seiring bertambahnya kedalaman berbanding terbalik dengan tekanan pori yang terus meningkat seiring bertambahnya kedalaman. Dengan

mengamati nilai dari tegasan vertikal, tegasan efektif, dan tekanan pori dapat diinterpretasikan mengenai mekanisme terjadinya tekanan luap pada daerah penelitian. Berdasarkan pengamatan dari zona tekanan luap sumur SKW-01 dan SKW-02, dapat diketahui bahwa nilai tegasan vertikal dan tekanan pori bertambah seiring dengan bertambahnya kedalaman, namun nilai tegasan efektif cenderung konstan, sehingga dapat diinterpretasikan bahwa mekanisme pembentukan tekanan luap pada Lapangan SKW adalah mekanisme pembebanan (*loading*) berupa *disequilibrium compaction*. Mekanisme pembebanan tersebut disebabkan oleh proses sedimentasi yang berjalan cepat sehingga fluida yang berada didalam pori tidak sempat untuk keluar, proses ini sangat berkaitan dengan sejarah pengendapan dari formasi.

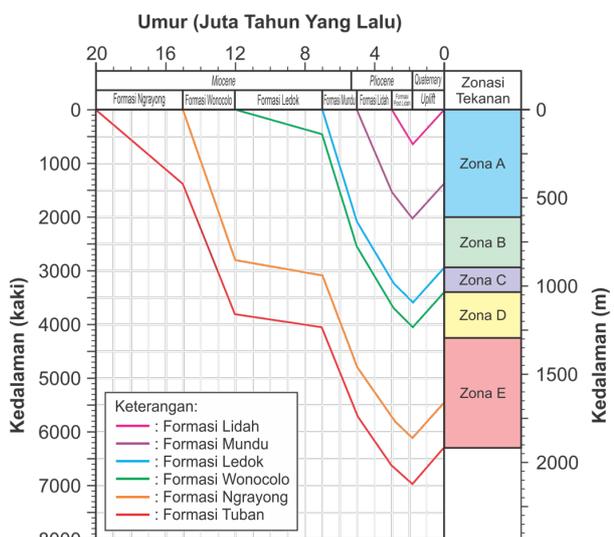
Puncak tekanan luap tinggi berada pada Formasi Wonocolo bagian tengah, yang didominasi litologi batuserpih. Setelah pengendapan Formasi Wonocolo, diendapkan formasi-formasi berikutnya yaitu Formasi Ledok, Formasi Mundu, dan Formasi Lidah. Total ketebalan dari formasi-formasi yang menumpang di atas Formasi Wonocolo pada daerah penelitian kurang lebih mencapai 4450 ft yang diendapkan selama 12 juta tahun (**Gambar 7**), sehingga dapat diketahui kecepatan sedimentasi rata-rata 200 m/juta tahun. Menurut Swarbrick dkk. (2006), kecepatan sedimentasi tersebut sudah termasuk laju sedimentasi cepat (*rapid sedimentation*), sehingga proses *dewatering* di Formasi Wonocolo dan Formasi Ngrayong menjadi terhambat (**Gambar 8**).

Selain mekanisme pembebanan (*loading*) sebagai mekanisme utama tekanan luap pada lapangan SKW, ditemukan juga indikasi mekanisme *unloading* sebagai mekanisme sekunder penyebab tekanan luap. Plot silang antara log densitas dan log sonik pada sumur SKW-01 dan SKW-02 mengindikasikan adanya diagenesis mineral lempung yaitu transformasi mineral smektit menjadi mineral ilit. Plot silang tersebut menunjukkan bahwa pada kedalaman ± 3500 ft TVDSS terjadi

perpindahan orientasi titik dari garis hitam yang mewakili smektit ke arah garis oranye yang mewakili ilit (**Gambar 9**). Orientasi titik hasil perpotongan silang densitas dan sonik menyentuh garis ilit pada kedalaman ± 4000 ft TVDSS yang diperkirakan pada kedalaman tersebut sudah terjadi perubahan mineral smektit menjadi ilit.



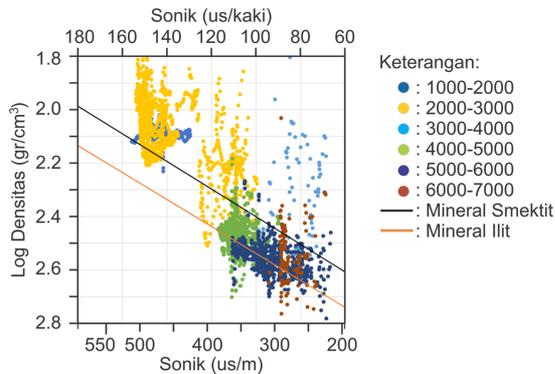
Gambar 7. Mekanisme utama pembentukan tekanan luap Sumur SKW-01 adalah mekanisme pembebanan (*loading*).



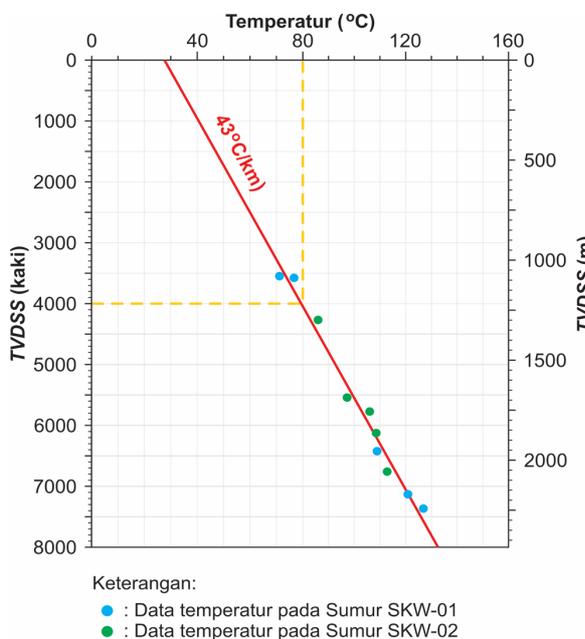
Gambar 8. Sejarah pemendaman pada Sumur SKW-01 (Pertamina, 2013).

Mekanisme *unloading* berupa diagenesis mineral lempung berkontribusi sebagai mekanisme sekunder terjadinya tekanan luap. Gradien panas bumi Lapangan SKW sebesar $43^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ditunjukkan **Gambar 10**, sehingga pada kedalaman 4000 ft TVDSS suhu sudah mencapai 80°C dan dapat merubah mineral smektit menjadi ilit. Mekanisme ini terjadi

pada kedalaman yang tinggi, karena diagenesis mineral lempung membutuhkan suhu dan tekanan yang tinggi.



Gambar 9. Mekanisme sekunder tekanan luap pada sumur SKW-01 adalah mekanisme *unloading*.



Gambar 10. Gradien panas bumi pada Lapangan SKW (Pertamina, 2013).

Pembebanan material di atas Formasi Wonocolo yang cukup tebal mencapai 4450 ft menyebabkan suhu dan tekanan pada Formasi Wonocolo tinggi sehingga mineral-mineral lempung menjadi tidak stabil dan mengalami transformasi menjadi mineral lempung lain dengan struktur kimia yang lebih stabil pada suhu yang tinggi. Proses transformasi mineral lempung tersebut diikuti dengan pelepasan H₂O yang menambah nilai tekanan pori pada batuan. Kemudian perbedaan ukuran mineral sebelum mengalami transformasi dengan

sesudah meninggalkan rongga pada pori batuan yang menyebabkan nilai tegasan efektif berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman.

Kedua proses ini menambah tekanan luap yang sudah terbentuk oleh proses pembebanan pada daerah penelitian. Interpretasi ini divalidasi dengan analisis *XRD* dari sampel *core* untuk mengetahui kandungan mineral smektit dan illit pada lokasi penelitian. **Tabel 2** menunjukkan persentase mineral smektit semakin berkurang dengan bertambahnya kedalaman, sementara persentase mineral illit semakin bertambah dengan bertambahnya kedalaman.

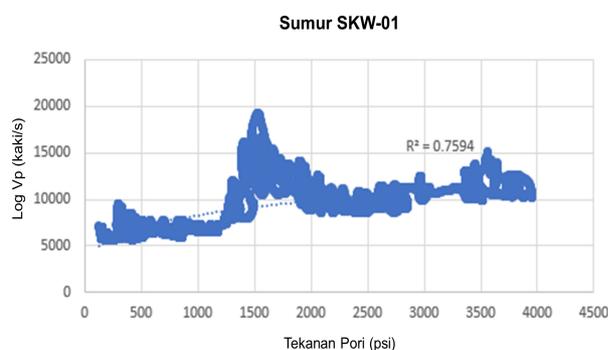
Tabel 2. Persentase mineral lempung yang teridentifikasi pada sumur SKW-17 (Pertamina, 2013).

Kedalaman TVDSS (ft)	Nama Formasi	Smektit	Mixed Layer	Illit
970	Lidah	99%	1%	-
1730	Lidah	97%	3%	-
2350	Mundu	95%	5%	-
3100	Ledok	94%	6%	-
4330	Wonocolo	82%	8%	10%
5400	Wonocolo	61%	16%	23%
6100	Wonocolo	39%	25%	36%

Mekanisme *unloading* yang terjadi pada daerah penelitian selain disebabkan oleh diagenesis mineral lempung juga diperkirakan disebabkan oleh proses pematangan hidrokarbon. Kehadiran *oil show* pada beberapa interval kedalaman sumur pada zona tekanan luap juga dapat membantu kenaikan tekanan pori pada daerah penelitian. Berdasarkan kenampakan *oil show* pada sumur SKW-01 dan SKW-02 dapat diketahui bahwa minyak ditemukan pada Formasi Wonocolo dan Formasi Ngrayong. Analisis ini mengindikasikan bahwa pembentukan hidrokarbon pada formasi tersebut berkorelasi terhadap peningkatan tekanan pori yang menyebabkan pembentukan tekanan luap. Transformasi kerogen dari bentuk padat menjadi fluida hidrokarbon mengakibatkan transfer beban dari tegasan efektif ke tekanan pori. Namun interpretasi ini masih harus didukung oleh analisis lain seperti analisis

TOC, analisis kematangan hidrokarbon, dan analisis geokimia untuk membuktikan korelasi pembentukan hidrokarbon dengan pembentukan tekanan luap.

Sebelum melakukan pemodelan, perlu dilakukan perhitungan koefisien determinasi, yang memperlihatkan hubungan antara tekanan pori dengan kecepatan seismik, jika koefisien determinasi bernilai tinggi, maka dapat dikatakan kedua variabel tersebut saling berhubungan satu sama lain. Koefisien determinasi yang tinggi (lebih dari 0.7) antara tekanan pori dan kecepatan seismik pada sumur SKW-01 ditunjukkan **Gambar 11**, sehingga dapat disimpulkan bahwa kecepatan seismik dapat digunakan untuk membantu persebaran tekanan pori.



Gambar 11. Koefisien determinasi antara tekanan pori dan kecepatan seismik pada sumur SKW-01.

Nilai tekanan pori yang diperoleh dari 2 sumur di Lapangan SKW digunakan sebagai acuan untuk membuat pemodelan distribusi tekanan pori. Pemodelan distribusi tekanan pori secara 2D pada penelitian ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Rockdoc*, dengan batas vertikal atas berupa horizon dari puncak Formasi Lidah dan puncak Formasi Tuban sebagai batas vertikal bawah. Dalam melakukan pemodelan, tekanan pori pada tiap sumur disebarkan menggunakan bantuan data kecepatan seismik sebagai variabel sekunder, dan menggunakan rumus Eaton (1975), seperti yang ditunjukkan persamaan 1.

$$PP = \sigma_v - [(\sigma_v - P_n) \times \left(\frac{V_i}{V_n}\right)^3] \quad (1)$$

dengan:

PP = Tekanan pori (psi)

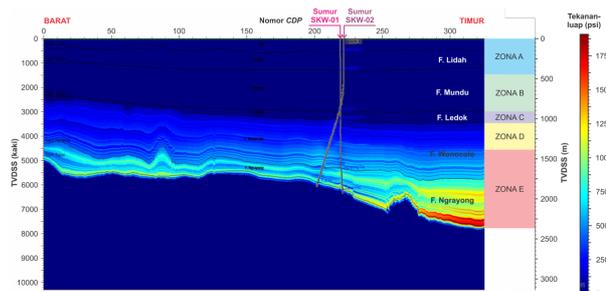
σ_v = Tegangan litostatik (psi)

P_n = Tekanan hidrostatik normal (psi)

V_i = *Velocity interval* dari data seismik (m/s)

V_n = *Velocity* pada saat keadaan *NCT* (m/s)

Hasil distribusi tekanan luap 2D ditunjukkan **Gambar 12**. Dapat dilihat persebaran tekanan luap yang telah dimodelkan bahwa nilai tekanan luap tertinggi mencapai 1803 psi berada pada tenggara daerah penelitian dan nilai tekanan luap terendah berada pada barat laut daerah penelitian. Ketebalan sedimen ikut mengontrol adanya tekanan luap. Jika sedimen relatif tebal, kemungkinan besar terjadi tekanan luap, dan jika sedimennya tipis, tekanan cenderung bertekanan hidrostatik atau hanya memiliki tekanan luap rendah pada area tersebut.



Gambar 12. Pemodelan distribusi tekanan pori 2D.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan karakteristik litologi dan profil tekanan luapnya, Lapangan SKW dibagi menjadi 5 zona tekanan, yaitu zona A, B, C, D, dan E. Zona A merupakan zona tekanan hidrostatik normal pada Formasi Lidah sampai Formasi Mundu bagian atas. Zona B awal munculnya tekanan luap pada Lapangan SKW, dengan gradien tekanan luapnya 1.32 SG, yang terjadi pada Formasi Mundu bagian tengah sampai Formasi Mundu bagian bawah. Zona C sama dengan zona A, merupakan zona tekanan hidrostatik normal, pada Formasi Ledok, Litologi dominan batugamping yang berada pada zona C menyebabkan tidak terjadinya tekanan luap. Zona D mengalami tekanan luap sedang, dengan gradien tekanan luap 1.24 SG yang terjadi pada Formasi Wonocolo bagian atas sampai Formasi Wonocolo bagian tengah.

Zona E mengalami tekanan luap tinggi, dengan gradien tekanan luap 1.84 SG, yang terjadi pada Formasi Wonocolo bagian tengah sampai Formasi Ngrayong. Nilai tekanan luap pada daerah timur wilayah kerja penelitian cenderung memiliki tekanan luap yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah barat laut penelitian. Ketebalan sedimen ikut mengontrol keberadaan tekanan luap.

Kombinasi data sumur dan data seismik dalam mendeteksi tekanan luap memiliki kelebihan yang cukup banyak. Hal ini disebabkan karena prediksi bisa dilakukan dalam lingkup 2D dan bisa lebih akurat karena menggunakan informasi dari data sumur sebagai referensi.

Mekanisme primer pembentukan tekanan luap adalah pembebanan (*loading*), yang ditunjukkan dengan adanya nilai tegasan efektif yang konstan sebesar 2125 psi pada sumur SKW-01, dan 1935 psi pada sumur SKW-02. Hal ini diperkuat dengan adanya laju sedimentasi cepat (rata-rata 200 m/juta tahun). Mekanisme sekunder pembentukan tekanan luap adalah *unloading*, yang pada kedalaman \pm 4000 ft *TVDSS* dan suhu yang mencapai 80°C diperkirakan terjadi perubahan mineral smektit menjadi ilit. Hal ini didukung dengan data *XRD* yang menunjukkan perubahan persentase mineral smektit, dan ilit. Analisis mekanisme pembebanan (*loading*) masih harus didukung oleh analisis lain seperti analisis TOC, analisis kematangan hidrokarbon, dan analisis geokimia untuk membuktikan korelasi pembentukan hidrokarbon dengan pembentukan tekanan luap.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada manajemen Pertamina URTI yang telah memberikan ijin untuk melakukan studi dan publikasi.

DAFTAR PUSTAKA

Bell, D. W. (2002): Velocity estimation for pore pressure prediction, dalam Huffman, A. R. & Bowers, G. L. ed., *Pressure Regimes in Sedimentary Basins and Their Prediction*, AAPG Tulsa, Memoir **76**, 177-215.

Bransden, P.J.E. dan Matthews, S.J. (1992): Structural and stratigraphic evolution of the East Java Sea, Indonesia. *Indonesia Petroleum Association, Proceedings, 21th Annual Convention*, 417-453.

Dutta, N.C. (2002): Deep Water Geohazard Prediction using Prestack Inversion of Large Offset P-Wave Data and Rock Model, *The Leading Edge*, **21**, 193-198.

Eaton, B. A. (1975): The equation for overpressure prediction from well logs. *Proceedings Society of Petroleum Engineers of AIME, Fiftyth Annual Fall Meeting of the Dallas*. American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers. p. 1-11.

Mudjiono, R., dan Pireno, G.E. (2001): Exploration of the North Madura platform, offshore East Java, Indonesia, *Indonesia Petroleum Association, Proceedings, 28th Annual Convention*.

Pertamina BPPKA (1996): Petroleum geology of Indonesian basins: *principles, methods, and applications, IV: East Java Basin*

Pertamina (2013): *Studi shale dan organic salt mud ramah lingkungan di lapangan sukowati*, Laporan Internal Pertamina Upstream Technology Center, Jakarta. Tidak dipublikasikan.

Ramdhan, A. M. (2010): *Overpressure and Compaction in the Lower Kutai Basin, Indonesia* Disertasi Program Doktor, Durham University, 300 p.

Ramdhan, A.M., Hakim, F., dan Hutasoit, L. M. (2013): Importance of Understanding Geology in Overpressure Prediction: The Example of The East Java Basin. *Proceedings of Indonesian Petroleum Association, 37th Annual Convention*. Jakarta. p 13.

Ramdhan, A.M. (2017): *Overpressure in Indonesia's sedimentary basin, volume 1: The Lower Kutai Basin*. Institut Teknologi Bandung, Bandung, 147 p.

Sribudiyani, Muchsin, N., Ryacudu, R., Kunto,

T., Astono, P., Prasetya, I., Sapiie, B. Asikin, S., Harsolumakso, A.G., dan Yu;ianto, I. (2003): The Collision of the East Java Microplate and its Implication for Hydrocarbon Occurances in the East Java Basin *Proceedings of Indonesian Petroleum Association, 29th Annual Convention. Jakarta.*

Swarbrick, R.E., Osborne, M.J. dan Yardley, G.S. (2006): Comparison of overpressure magnitude resulting from the main generating mechanisms. *dalam* Huffman, A.R. and Bowers, G.L. ed. *Pressure Regimes in Sedimentary Basins and their Prediction.* American Association of Petroleum Geologists Memoir, v. 76, 1–12.