



## Tekanan Luap di Bagian Darat dan Cekungan Jawa Timur Utara dan Implikasinya terhadap Kondisi Tegasan pada Masa Kini

Agus M. Ramdhan

Kelompok Keahlian Geologi Terapan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan,  
Insitut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesha 10, Bandung, Indonesia

### Artikel Info:

Naskah Diterima:  
17 Mei 2021  
Diterima setelah  
perbaikan:  
26 Juli 2021  
Disetujui terbit:  
30 Agustus 2021

### Kata Kunci:

Cekungan Jawa  
Timur Utara  
*overpressure*  
*loading*  
*unloading*  
tegasan masa kini

### ABSTRAK

Cekungan Jawa Timur Utara merupakan salah satu cekungan sedimen di Indonesia dengan kondisi tekanan fluida di bawah permukaan yang *overpressure*. Beberapa sumur yang dibor di cekungan ini mengalami berbagai masalah pengeboran seperti *kick*, *caving*, dan *stuck pipe*. Untuk menghindari masalah-masalah tersebut, maka karakteristik *overpressure* harus diketahui dengan baik. Selain itu, tekanan fluida juga mempengaruhi kondisi tegasan di bawah permukaan dan kondisi tegasan tersebut dapat mempengaruhi kestabilan sumur bor. Studi ini dilakukan untuk menganalisis karakteristik *overpressure* di Cekungan Jawa Timur Utara dan pengaruh *overpressure* terhadap kondisi tegasan pada masa kini di cekungan tersebut. Data yang digunakan dalam studi ini berasal dari delapan sumur, yang terdiri atas data tekanan langsung dan tidak langsung, *leak-off test* (LOT), dan *wireline log*. Dalam studi ini, tekanan fluida dianalisis berdasarkan data tekanan langsung dan tidak langsung serta respons *wireline log*. Adapun pengaruh *overpressure* terhadap kondisi tegasan pada masa kini dianalisis menggunakan kriteria kegagalan pada Mohr-Coulomb. Profil tekanan/tegasan terhadap kedalaman menunjukkan bahwa tekanan fluida pada zona *overpressure* relatif paralel dengan tegasan vertikal yang mengindikasikan bahwa mekanisme pembentukan *overpressure* adalah pembebanan (*loading*). Respons log densitas dan sonik yang relatif konstan terhadap kedalaman juga mengindikasikan hal tersebut. Meskipun demikian, plot silang antara log sonik dan log densitas mengindikasikan bahwa mekanisme *unloading* berupa transformasi mineral smektit menjadi ilit juga berperan dalam pembentukan *overpressure* di cekungan ini. Sementara itu, kriteria kegagalan pada Mohr-Coulomb menunjukkan bahwa *overpressure* menyebabkan tegasan pada masa kini berada dalam kondisi kritis.

© LPMGB - 2021

### PENDAHULUAN

Cekungan Jawa Timur Utara adalah cekungan belakang busur yang terletak di bagian *onshore* dan *offshore* dari Jawa Timur (Gambar 1). Cekungan ini telah lama dikenal sebagai cekungan yang *overpressure* karena keterdapatannya beberapa gunung

lumpur, termasuk Lumpur Sidoarjo (LUSI) yang terjadi pada tahun 2006 silam. Selain itu, beberapa sumur eksplorasi di cekungan ini mengalami berbagai masalah pengeboran yang berhubungan dengan keberadaan *overpressure* tersebut, seperti *kick*, *caving*, *stuck pipe*, dan kandungan gas yang tinggi.

Perdebatan mengenai LUSI telah menghasilkan beberapa informasi mengenai *overpressure* pada kejadian LUSI. Mazzini, dkk. (2007) mengusulkan

Korespondensi:  
E-mail: [agusmr@gl.itb.ac.id](mailto:agusmr@gl.itb.ac.id)

mekanisme *unloading* berupa perubahan mineral smektit menjadi ilit sebagai mekanisme penyebab *overpressure* pada kejadian tersebut, sedangkan Tanikawa, dkk. (2010) mengusulkan mekanisme *loading* berupa batuan yang gagal kompak (*compaction disequilibrium*) akibat sedimentasi yang berlangsung cepat, ~1500 m/My selama Pleistosen Awal, sebagai penyebab *overpressure* pada kejadian LUSI. Kemudian, Davies dkk. (2011) dan Tingay (2014) sependapat bahwa mekanisme *loading* adalah kemungkinan penyebab *overpressure* pada kejadian LUSI. Meskipun demikian, karakteristik *overpressure* secara regional di Cekungan Jawa Timur Utara belum diketahui dengan baik. Studi ini dilakukan untuk menghasilkan pemahaman mengenai karakteristik *overpressure* secara regional di cekungan tersebut dan implikasi dari keberadaan *overpressure* terhadap kondisi tegasan pada masa kini.

## BAHAN DAN METODE

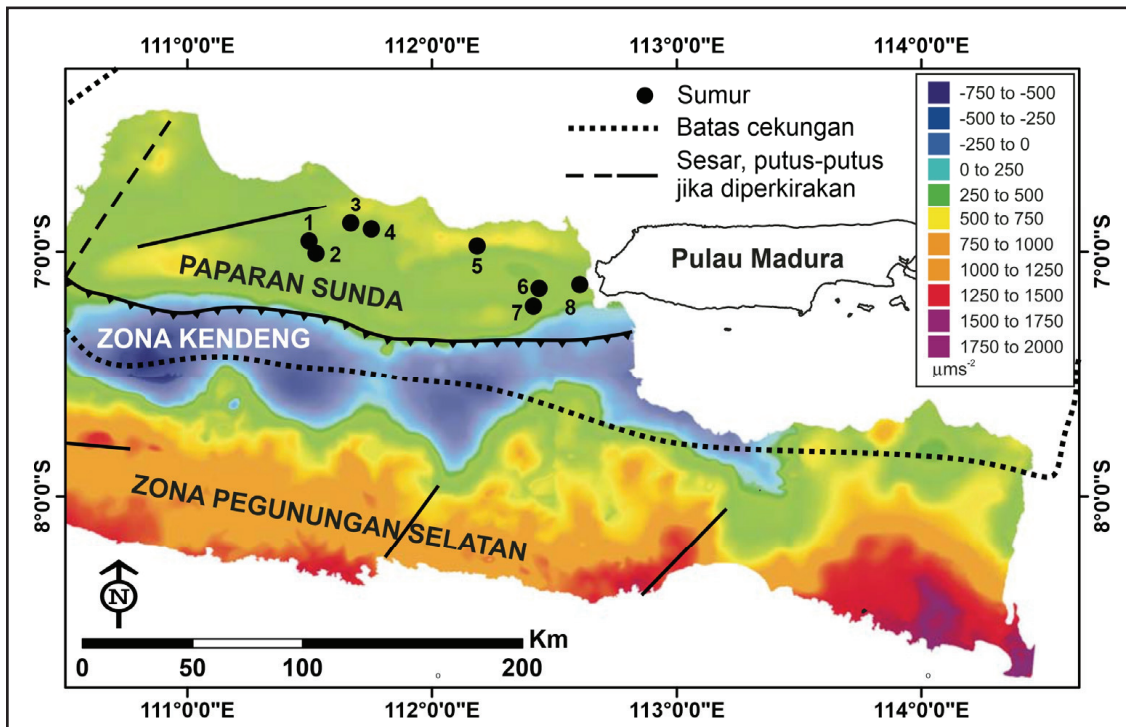
### A. Kondisi Geologi

Berdasarkan Smyth dkk. (2008), Jawa Timur dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu Zona Pegunungan Selatan, Zona Kendeng, dan Paparan

Sunda (Gambar 1). Sumur-sumur pada studi ini terletak di Paparan Sunda yang merupakan fokus sebagian besar eksplorasi hidrokarbon.

Gambar 2 menunjukkan stratigrafi dari Cekungan Jawa Timur Utara. Formasi Ngimbang merupakan formasi berumur Tersier yang tertua. Formasi ini merupakan endapan *syn-rift* berumur Eosen Tengah hingga Oligosen Awal yang terdiri atas batupasir dan batulumpur lakustrin-delta di bagian bawah dan batulumpur laut dalam dengan sisipan batupasir turbidit di bagian atas. Pada Formasi Ngimbang juga terdapat endapan karbonat yang berkembang di atas *basement high*, yang dikenal dengan nama batugamping CD (Gambar 2). Formasi ini merupakan salah satu reservoir utama di cekungan ini (Koesomadinata, 2020). Di atas formasi ini, secara tidak selaras diendapkan Grup Kujung yang didominasi oleh batugamping. Kemudian di atas Grup Kujung diendapkan Grup Tuban yang tersusun atas batulumpur Formasi Tuban dan batugamping Formasi Rancak. Selanjutnya, terdapat Grup Ngrayong yang terdiri atas batulumpur Formasi Tawun, batupasir Formasi Ngrayong, dan batugamping tipis Formasi Bulu.

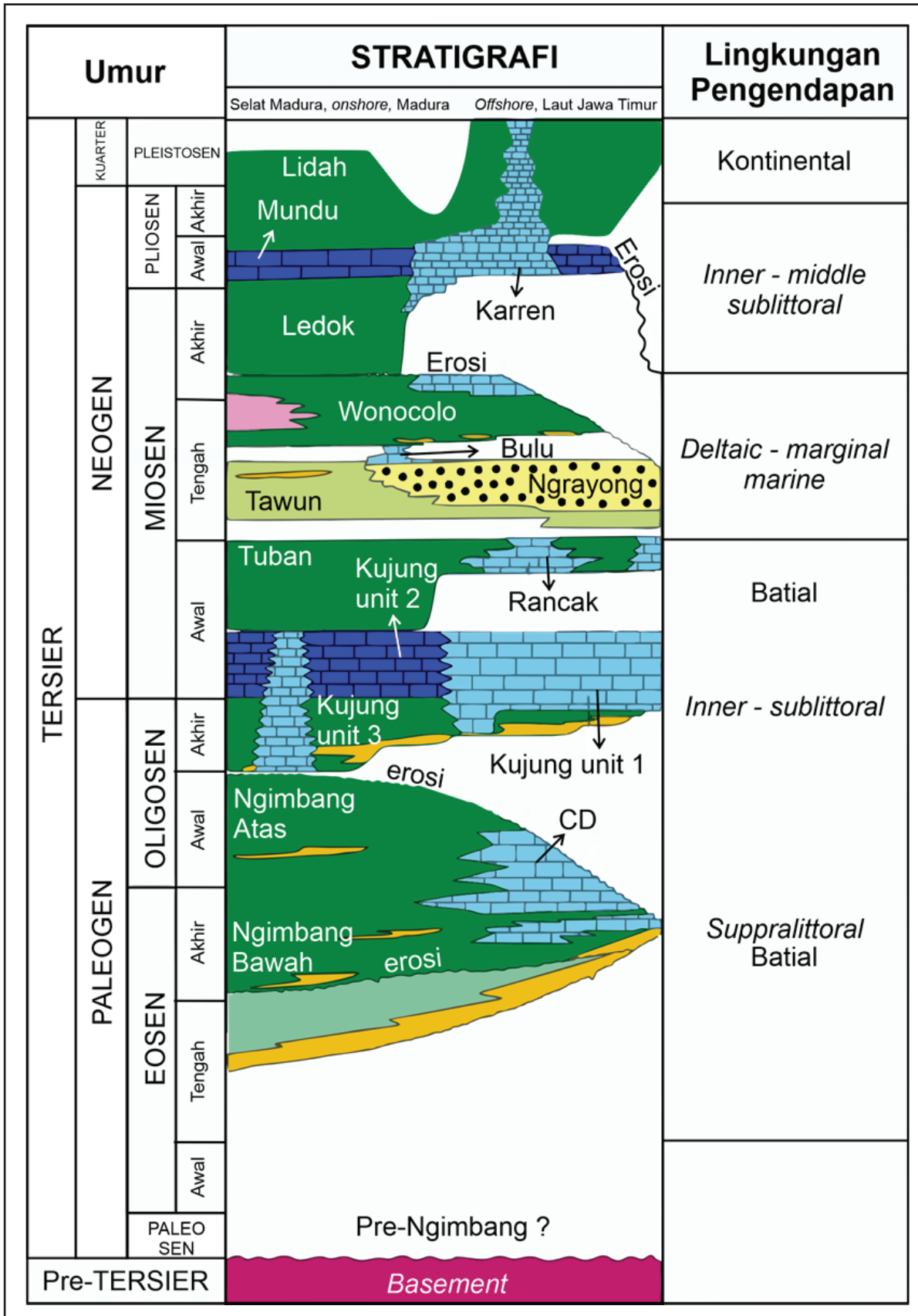
Di atas Grup Ngrayong diendapkan Formasi Wonocolo (bagian dari Grup Kawengan) secara tidak selaras. Formasi ini tersusun atas batulumpur



Gambar 1

Peta yang menunjukkan batas cekungan Jawa Timur Utara (berdasarkan Koesomadinata, 2020), anomali gravitasi Bouguer (dimodifikasi dari Smyth dkk., 2008), dan lokasi sumur dalam studi ini.

Tekanan Luap di Bagian Darat dan Cekungan Jawa Timur Utara dan Implikasinya terhadap Kondisi Tegasan pada Masa Kini (Agus M. Ramdhan)



Gambar 2  
Stratigrafi cekungan Jawa Timur Utara (dimodifikasi dari Mudjiono dan Pireno (2001), Pringgoprawiro (1983), dan Pertamina BPPKA (1996)).

laut dalam dengan sisipan batugamping dan endapan vulkanik. Di atas Formasi Wonocolo diendapkan formasi lain dari Grup Kawengan yang terdiri atas napal pasir Formasi Ledok dan batugamping pasir serta napal pasir Formasi Mundu. Formasi termuda di cekungan ini adalah Formasi Lidah yang tersusun atas lempung yang diendapkan di lingkungan laut yang tertutup. Berdasarkan Koesomadinata (2020), Fase tektonik pada Cekungan Jawa Timur Utara dapat dibagi menjadi empat, yaitu:

- Pre-rift
- *Extensional rifting* dengan endapan *syn-rift* pada Eosen Awal hingga Oligosen Awal

- *Sagging* dengan endapan *post-rift* paparan pada Oligosen Akhir hingga Miosen Awal
  - Kompresi pada Miosen Tengah hingga saat ini
- Fase kompresi tersebut menyebabkan terbentuknya struktur lipatan dan sesar di cekungan ini.

## B. Metodologi

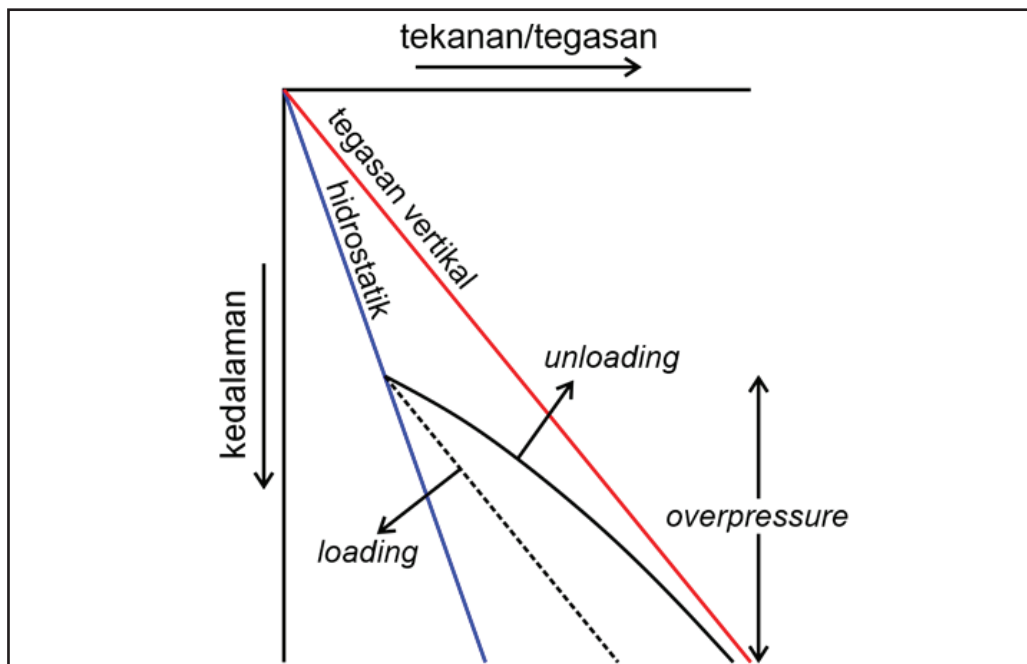
### 1. Ketersediaan Data

Data yang digunakan dalam studi ini berasal dari delapan sumur (Gambar 1) yang terdiri atas data tekanan langsung dan tidak langsung, *leak-off test* (LOT), *wireline log*. Ketersediaan masing-masing

Tabel 1  
Ketersediaan data pada masing-masing sumur.

| Sumur | Tekanan  |                      | LOT | Wireline Log |       |
|-------|----------|----------------------|-----|--------------|-------|
|       | Langsung | Tidak Langsung       |     | Densitas     | Sonik |
| 1     | DST      | MW                   | √   | √            | √     |
| 2     | -        | MW, <i>kick</i>      | √   | √            | √     |
| 3     | -        | MW, CG               | √   | √            | √     |
| 4     | -        | MW, <i>kick</i>      | √   | √            | √     |
| 5     | DST      | MW                   | -   | √            | √     |
| 6     | RFT      | MW                   | √   | √            | √     |
| 7     | RFT      | MW                   | √   | √            | √     |
| 8     | -        | MW, <i>kick</i> , CG | -   | √            | √     |

√ : tersedia  
- : tidak tersedia



Gambar 3

Skema profil tekanan pada zona *overpressure* akibat mekanisme *loading* dan *unloading*.

data tersebut pada setiap sumur ditunjukkan pada Tabel 1. Data tekanan langsung diperoleh dari *repeat formation tester* (RFT) dan *drill stem test* (DST), sedangkan data tekanan tidak langsung yang digunakan berupa data berat lumpur (*mudweight/MW*), *kick*, dan *connection gas* (CG). Adapun data *wireline log* yang digunakan dalam studi ini terdiri atas data log densitas dan sonik. Kedua data log tersebut tersedia pada seluruh sumur.

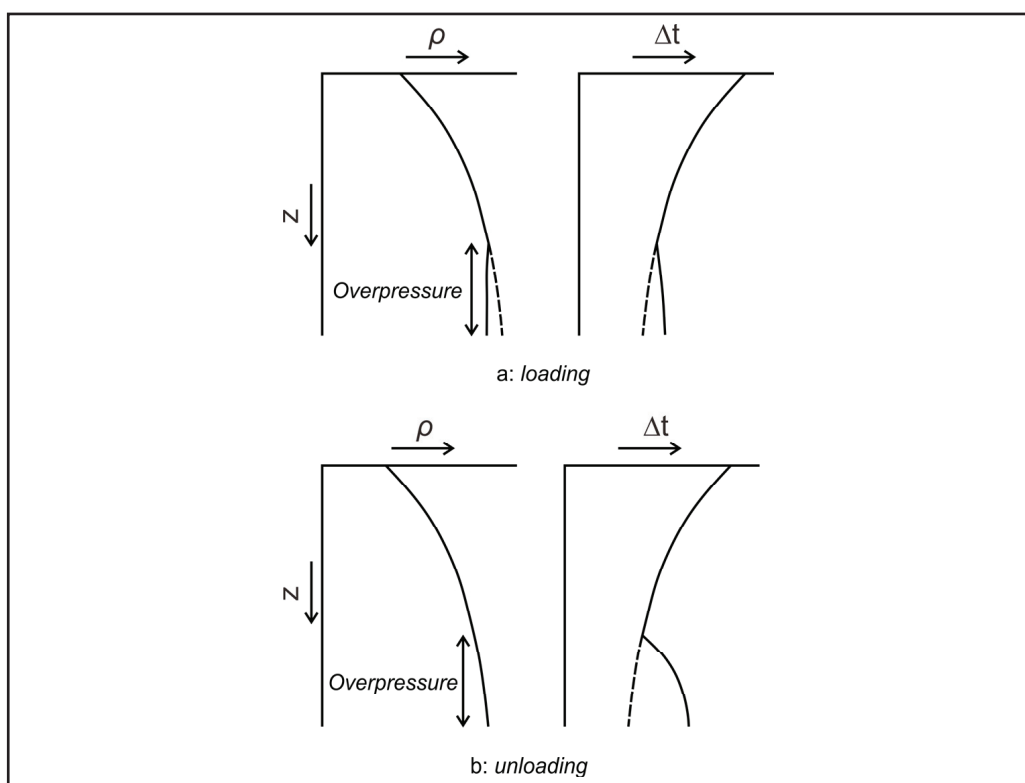
## 2. Karakteristik *Overpressure*

Berdasarkan Swarbrick & Osborne (1998), mekanisme utama yang dapat menghasilkan *overpressure* dengan nilai yang tinggi yaitu *loading* dan *unloading*. Mekanisme *loading* terjadi ketika batuan mengalami pembebanan secara vertikal akibat proses sedimentasi yang cepat ataupun secara lateral akibat proses tektonik kompresi. Dalam kondisi tekanan yang normal atau hidrostatik, batuan akan mengalami kompaksi sehingga porositas batuan akan berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman. Namun, pada mekanisme *loading*, batuan gagal untuk kompak atau air tidak dapat keluar dari pori batuan dengan cepat sehingga menyebabkan porositas batuan pada zona yang *overpressure* relatif tidak berubah atau konstan. *Overpressure* yang disebabkan oleh mekanisme *loading* ditandai oleh

profil tekanan yang paralel dengan tegasan vertikal (Gambar 3).

Adapun mekanisme *unloading* tidak berhubungan dengan gagalnya batuan untuk kompak. Artinya, pada mekanisme ini batuan tetap dapat terkompaksi secara normal sehingga porositasnya akan tetap berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman. Mekanisme ini terjadi karena penambahan fluida dalam pori batuan, transfer beban dari butir ke fluida, atau gabungan keduanya. *Overpressure* yang dihasilkan oleh mekanisme ini dapat bernilai sangat tinggi (Swarbrick & Osborne, 2002). Dua proses utama pada mekanisme *unloading* adalah perubahan mineral smektit menjadi ilit dan pembentukan hidrokarbon. *Overpressure* yang disebabkan oleh mekanisme ini ditandai oleh profil tekanan yang terus meningkat seiring bertambahnya kedalaman mendekati nilai tegasan vertikal.

Mekanisme pembentukan *overpressure* juga dapat dianalisis berdasarkan data log densitas dan sonik (Gambar 4). Jika batuan terkompaksi secara normal, log densitas ( $\rho$ ) akan meningkat seiring bertambahnya kedalaman ( $z$ ), sedangkan log sonik ( $\Delta t$ ) akan berkurang seiring bertambahnya kedalaman. Namun, pada zona *overpressure* yang diakibatkan oleh mekanisme *loading*, respons



Gambar 4  
Respons log densitas dan sonik terhadap kehadiran *overpressure* dengan mekanisme: (a) *loading* dan (b) *unloading*.

kedua log tersebut akan menyimpang dari tren kompaksi normal, dimana log densitas dan sonik akan relatif bernilai konstan terhadap kedalaman (Gambar 4a) akibat batuan yang gagal untuk kompak. Pada mekanisme *unloading*, karena batuan tetap terkompaksi secara normal, maka log densitas tidak merespons kehadiran *overpressure*. Namun, log sonik akan merespons kehadiran *overpressure* dan menyimpang lebih jauh dari tren kompaksi normal dibanding pada mekanisme *loading* (Gambar 4b).

Dalam studi ini, gradien tekanan hidrostatik yang digunakan adalah 0,433 psi/ft, yang merepresentasikan air dengan densitas 1 g/cm<sup>3</sup>. Adapun nilai tegasan vertikal (*vertical stress*) dihitung berdasarkan data log densitas dengan mengintegrasikan nilai densitas terhadap kedalaman menggunakan persamaan berikut:

$$S_v = \int_0^z \rho_b(z)gdz \quad (1)$$

Dimana  $S_v$  adalah tegasan vertikal,  $\rho_b$  adalah densitas *bulk* dari batuan,  $g$  adalah percepatan gravitasi, dan  $dz$  adalah kedalaman.

### 3. Pengaruh *Overpressure* terhadap Kondisi Tegasan pada Masa Kini

Pengaruh *overpressure* terhadap kondisi tegasan pada masa kini dianalisis berdasarkan kriteria kegagalan pada Mohr-Coulomb (*Mohr-Coulomb failure criterion*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Lingkaran Mohr pada gambar tersebut merepresentasikan nilai tegasan efektif in situ hasil pengurangan antara tegasan in situ dengan tekanan fluida. Tegasan in situ tersebut terdiri atas tegasan vertikal ( $S_v$ ), tegasan horizontal minimum ( $S_{hmin}$ ), dan tegasan horizontal maksimum ( $S_{hmax}$ ). Jika lingkaran Mohr tersebut menyentuh garis *failure envelope*, maka kondisi tegasan pada masa kini berada dalam kondisi kritis. Artinya, tegasan pada masa kini akan menyebabkan patahan yang orientasinya miring terhadap nilai tegasan maksimum (garis merah pada Gambar 5b) untuk bergerak. Berdasarkan Zoback (2007), gradien *failure envelope* yang digunakan adalah 0,6.

Nilai tegasan horizontal minimum pada studi ini direpresentasikan oleh data LOT (White dkk. (2002). Berdasarkan Yassir & Bell (1994), tekanan fluida mempengaruhi nilai tegasan horizontal minimum, dan nilai tegasan ini meningkat ketika tekanan fluida berada dalam kondisi *overpressure*.

Nilai tegasan horizontal maksimum tidak dapat dihitung seperti halnya tegasan vertikal dan tegasan

horizontal minimum. Meskipun demikian, orientasi dari tegasan ini dapat diinterpretasi berdasarkan data kegempaan, *borehole breakouts*, dan *tensile fracture* akibat pengeboran (Binh, dkk., 2011). Berdasarkan Satyana, dkk.(2004), secara geologi lokasi sumur-sumur dalam studi ini berada pada zona Sesar Geser Rembang-Madura-Kangean-Sakala atau yang dikenal Sesar RMKS. Oleh karena itu, nilai tegasan horizontal maksimum dapat diestimasi menggunakan persamaan dari Jaeger & Cook (1979):

$$\frac{S_1 - P_p}{S_3 - P_p} = [(\mu^2 + 1)^{0,5} + \mu^2] \quad (2)$$

adalah tekanan fluida,  $\mu$  adalah koefisien friksi (0,6),  $S_1$  adalah nilai tegasan maksimum, dan  $S_3$  adalah nilai tegasan minimum. Nilai  $S_1$  dan  $S_3$  masing-masing sama dengan nilai tegasan horizontal maksimum dan tegasan horizontal minimum pada rezim sesar geser.

## HASIL DAN DISKUSI

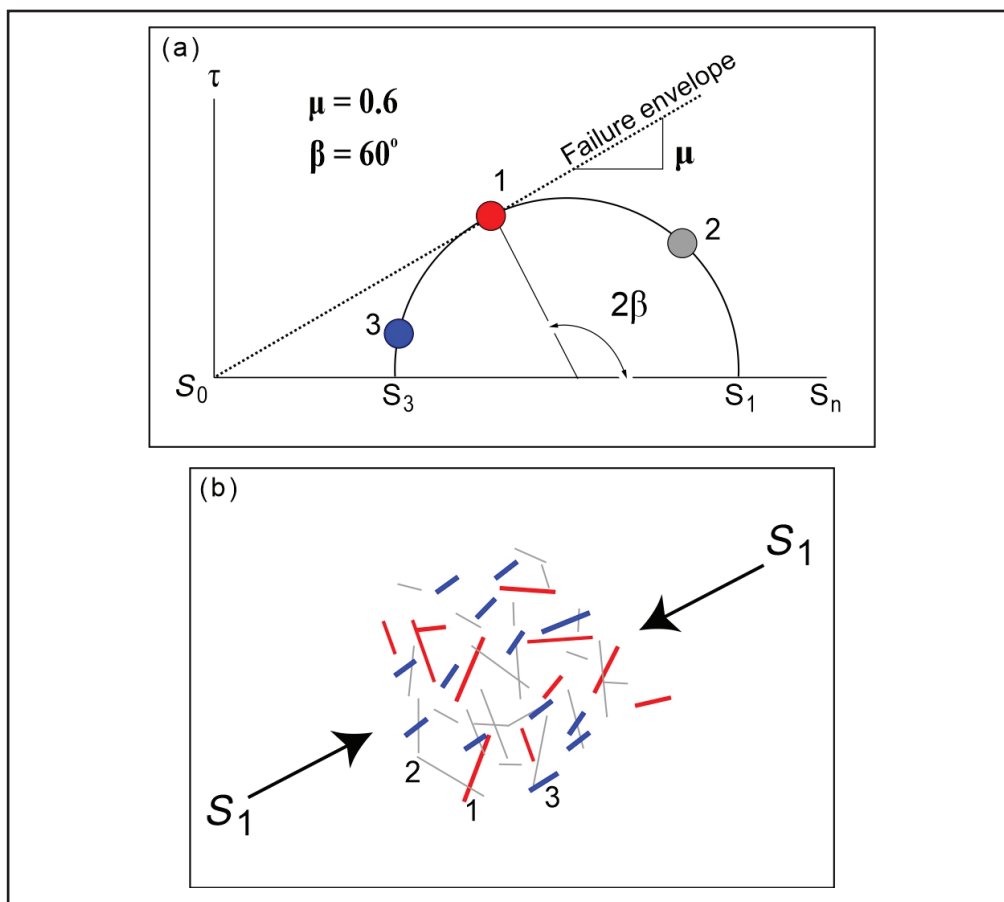
### A. Karakteristik *Overpressure*

Berdasarkan data tekanan langsung dan tidak langsung (Tabel 2) serta plot tekanan terhadap kedalaman (Gambar 6), *overpressure* ditemukan pada seluruh sumur di area studi, kecuali sumur nomor 5. Pada sumur nomor 5 (Gambar 6c), data tekanan langsung berupa DST menunjukkan bahwa sumur ini berada dalam kondisi tekanan yang hidrostatik hingga *underpressure* (lebih kecil dari tekanan hidrostatik).

*Overpressure* di area studi (Gambar 6a dan 6b) memiliki karakteristik yang sama, yaitu relatif paralel terhadap nilai tegasan vertikal ( $S_v$ ) dengan puncak. Hal tersebut mengindikasikan bahwa secara regional, *overpressure* di area studi disebabkan oleh mekanisme *loading*. Gambar 6a dan 6b menunjukkan bahwa puncak *overpressure* di area studi berada pada kedalaman berkisar antara ~2290 hingga 3400 ft.

Gambar 7 menunjukkan contoh log densitas ( $\rho$ ) dan sonik ( $\Delta t$ ) pada sumur dengan tekanan fluida yang *overpressure* di bawah permukaan. Keberadaan *overpressure* pada sumur tersebut direspons pertama kali oleh penyimpangan log sonik pada kedalaman ~3000 ft. Log densitas mulai merespons keberadaan *overpressure* pada kedalaman ~5000 ft.

Gambar 7 memperlihatkan bahwa data sonik pada kedalaman ~3000 hingga 7000 ft dan densitas



Gambar 5

*Mohr-Coulomb failure criterion* (dimodifikasi dari Zoback, 2007).

pada kedalaman ~5000 hingga 7000 ft bernilai relatif konstan terhadap kedalaman. Hal ini juga menunjukkan bahwa *overpressure* disebabkan oleh mekanisme *loading*. Pada kedalaman lebih dari 7000 ft (Gambar 7), log sonik dan densitas kembali mengikuti tren normal, yaitu log densitas meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman dan log sonik berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman. Plot silang antara log sonik dan densitas pada Gambar 8 menunjukkan bahwa pada kedalaman tersebut, data densitas dan sonik sudah berada pada garis kompaksi ilit. Berdasarkan Dutta (2002), hal ini mengindikasikan bahwa selain mekanisme *loading*, mekanisme *unloading* berupa transformasi smektit menjadi ilit juga berperan dalam pembentukan *overpressure* di daerah studi pada kedalaman yang dalam.

### B. Pengaruh *Overpressure* terhadap Kondisi Tegangan pada Masa Kini

Estimasi nilai tegangan horizontal minimum dan maksimum pada enam sumur, data LOT tersedia, diperlihatkan pada Gambar 9. Seperti yang sudah

disebutkan sebelumnya, nilai LOT merepresentasikan nilai tegangan horizontal minimum di area studi. Adapun nilai tegangan horizontal maksimum dihitung menggunakan pers. (3) berdasarkan nilai LOT dan tekanan fluida pada kedalaman data LOT tersebut.

Nilai tegangan vertikal pada Gambar 9 merupakan hasil regresi *power* dari nilai tegangan vertikal keenam sumur tersebut, dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_v = 0,7622z^{1,0201} \quad (3)$$

$S_v$  adalah tegangan vertikal (dalam psi) dan  $z$  adalah kedalaman (dalam ft).

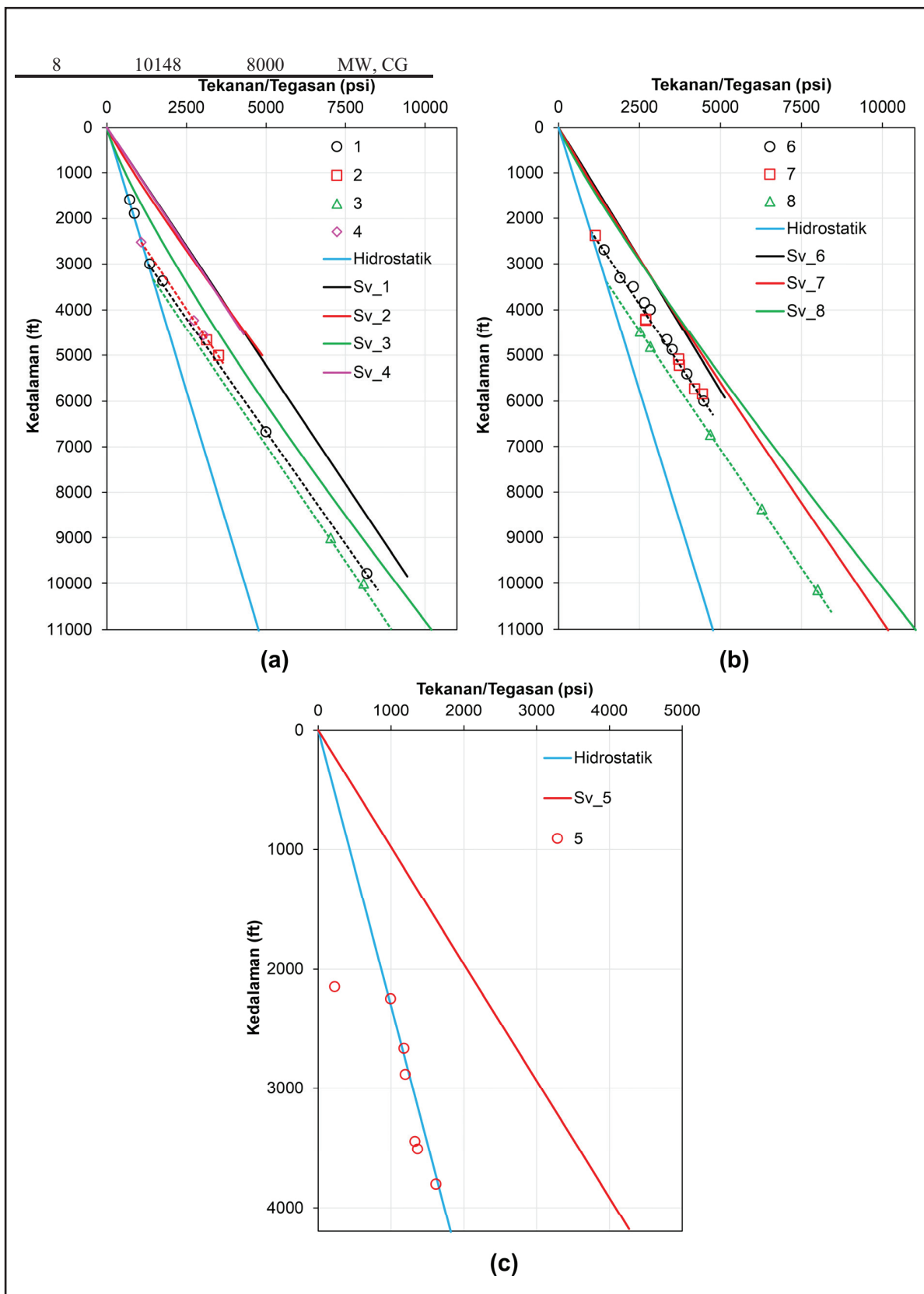
Pengaruh keberadaan *overpressure* terhadap kondisi tegangan pada masa kini diinterpretasi berdasarkan diagram Mohr (Gambar 10). Gambar tersebut memperlihatkan bahwa jika tekanan fluida berada dalam kondisi hidrostatik, kondisi tegangan di area studi akan berada dalam kondisi stabil dan lingkaran Mohr tidak menyentuh garis *failure envelope*. Namun, ketika tekanan fluida berada dalam kondisi *overpressure*, lingkaran Mohr akan menyentuh garis *failure envelope* yang

Tabel 2  
Data tekanan langsung dan tidak langsung pada masing-masing sumur di area studi

| Sumur | Kedalaman (ft) | Tekanan (psi) | Keterangan  |
|-------|----------------|---------------|-------------|
| 1     | 1586           | 720           | DST         |
| 1     | 1889           | 862           | DST         |
| 1     | 3000           | 1345          | MW, CG      |
| 1     | 3370           | 1759          | <i>Kick</i> |
| 1     | 6667           | 5000          | MW, CG      |
| 1     | 9778           | 8172          | MW, CG      |
| 2     | 4667           | 3138          | <i>Kick</i> |
| 2     | 5000           | 3517          | <i>Kick</i> |
| 3     | 9000           | 7035          | MW, CG      |
| 3     | 10000          | 8069          | MW, CG      |
| 4     | 2519           | 1069          | MW, CG      |
| 4     | 4222           | 2724          | <i>Kick</i> |
| 4     | 4556           | 3034          | <i>Kick</i> |
| 5     | 2148           | 227.3         | DST         |
| 5     | 2250           | 993.2         | DST         |
| 5     | 2667           | 1176.1        | DST         |
| 5     | 2885           | 1198.7        | DST         |
| 5     | 3447           | 1327.2        | DST         |
| 5     | 3513           | 1364.2        | DST         |
| 5     | 3805           | 1615.8        | DST         |
| 6     | 2692           | 1414          | MW, CG      |
| 6     | 3308           | 1896          | MW, CG      |
| 6     | 3500           | 2310          | <i>Kick</i> |
| 6     | 3851           | 2655          | RFT         |
| 6     | 4000           | 2828          | RFT         |
| 6     | 4667           | 3345          | MW, CG      |
| 6     | 4885           | 3516          | RFT         |
| 6     | 5407           | 3965          | MW, CG      |
| 6     | 6000           | 4483          | MW, CG      |
| 7     | 2385           | 1133          | MW, CG      |
| 7     | 4205           | 2694          | RFT         |
| 7     | 4230           | 2700          | MW, CG      |
| 7     | 5092           | 3713          | RFT         |
| 7     | 5222           | 3733          | MW, CG      |
| 7     | 5740           | 4207          | MW, CG      |
| 7     | 5851           | 4448          | MW, CG      |
| 8     | 4481           | 2517          | MW, CG      |
| 8     | 4815           | 2828          | MW, CG      |
| 8     | 6741           | 4690          | <i>Kick</i> |
| 8     | 8370           | 6276          | <i>Kick</i> |
| 8     | 10148          | 8000          | MW, CG      |

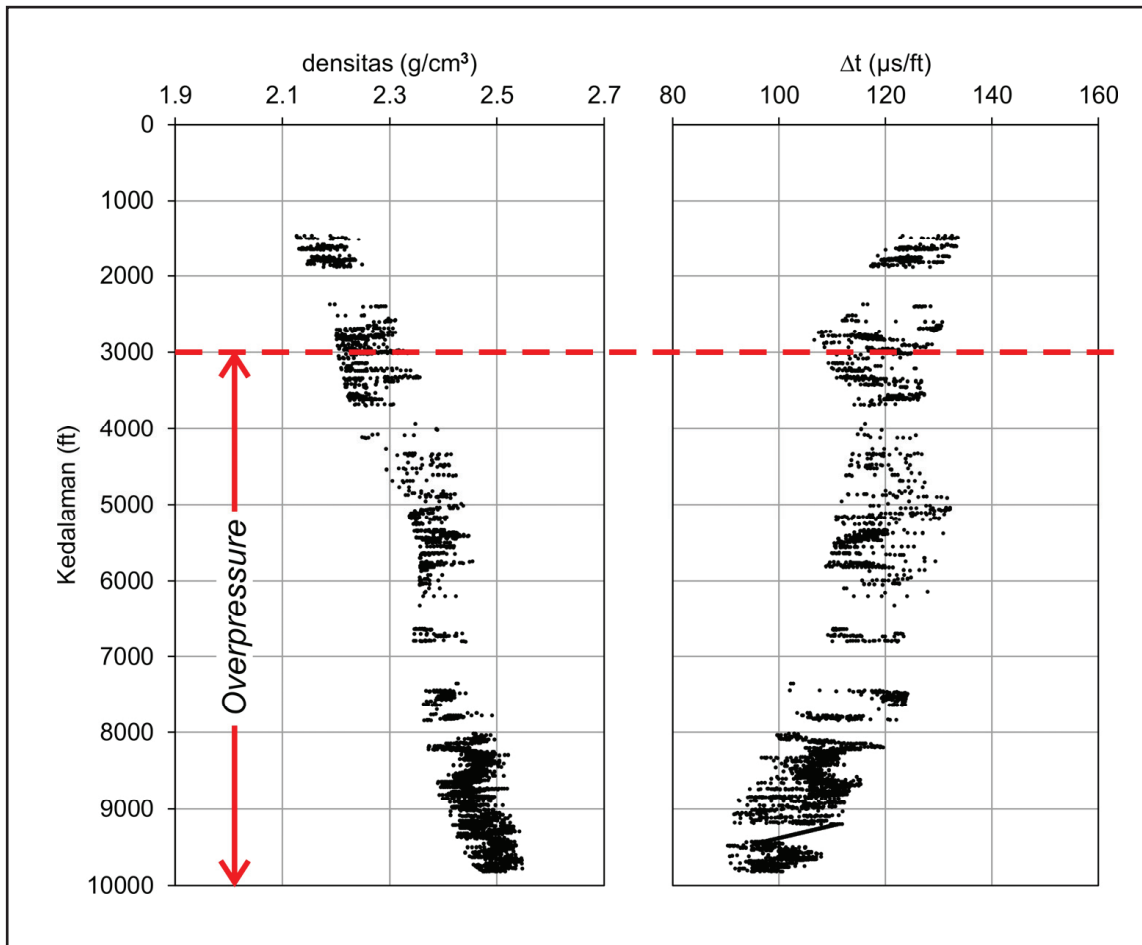


Tekanan Luap di Bagian Darat dan Cekungan Jawa Timur Utara dan Implikasinya terhadap Kondisi Tegangan pada Masa Kini (Agus M. Ramdhan)



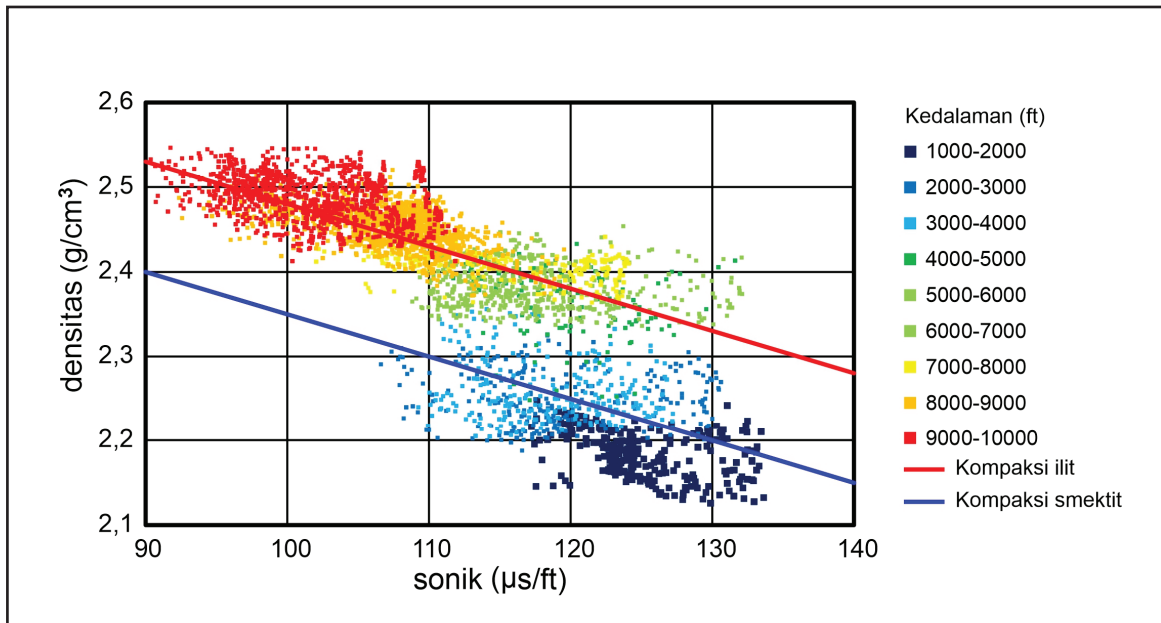
Gambar 6

Profil tekanan/tegangan terhadap kedalaman pada seluruh sumur (nomor 1 hingga 8) di area studi. Data tekanan langsung maupun tidak langsung ditunjukkan oleh simbol lingkaran, kotak, segitiga dan belah ketupat. Tegangan vertikal ditunjukkan oleh garis-garis dengan kode Sv.



Gambar 7

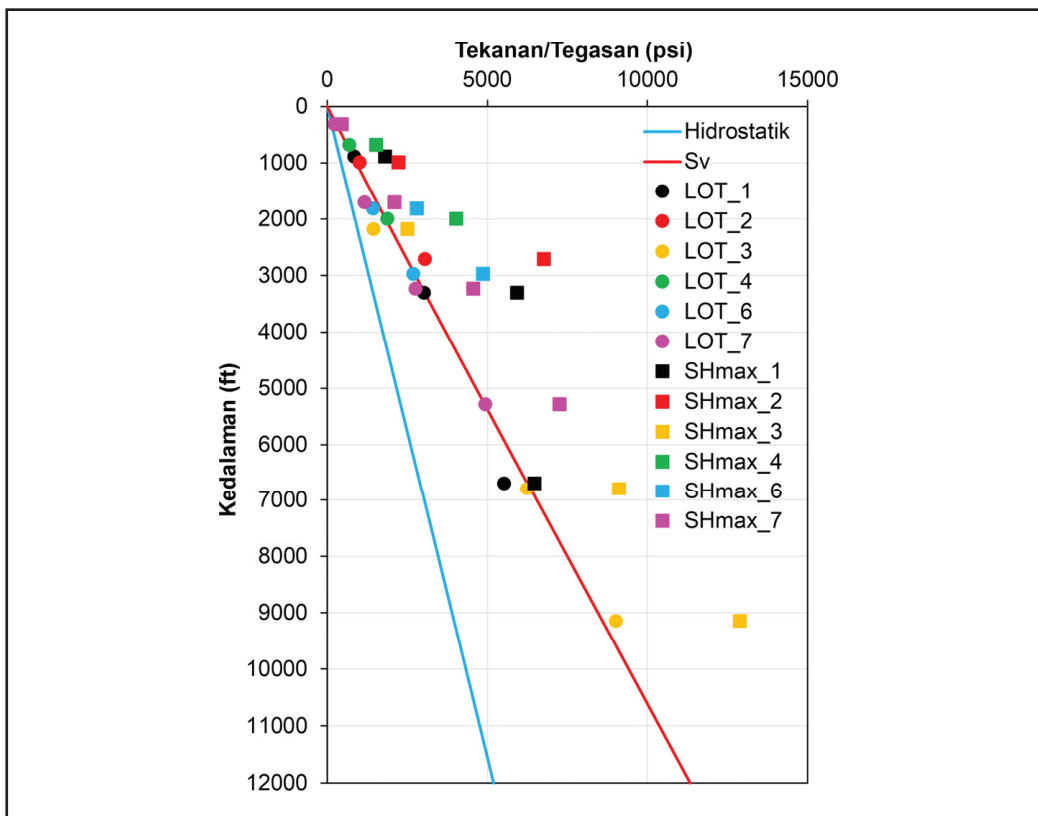
Contoh log densitas dan sonik pada sumur nomor 1.  
Puncak kedalaman *overpressure* ditunjukkan oleh garis putus-putus berwarna merah.



Gambar 8

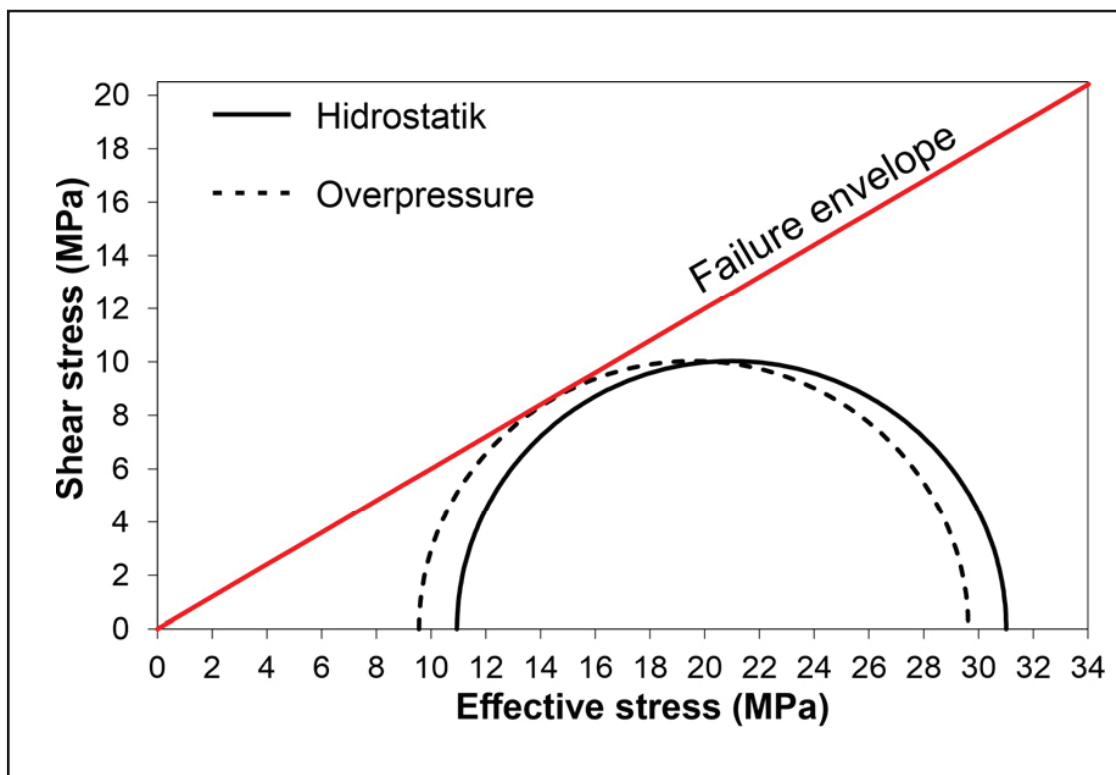
Plot silang antara log sonik dan densitas pada sumur nomor 1 yang mengindikasikan kontribusi mekanisme *unloading* dalam pembentukan *overpressure* di area studi.

Tekanan Luap di Bagian Darat dan Cekungan Jawa Timur Utara dan Implikasinya terhadap Kondisi Tegangan pada Masa Kini (Agus M. Ramdhan)



Gambar 9

ilai LOT atau tegangan horizontal minimum (simbol lingkaran) dan estimasi nilai tegangan horizontal maksimum (SHmax) pada enam sumur di area studi.



Gambar 10

Contoh analisis pengaruh *overpressure* terhadap kondisi tegangan pada masa kini pada sumur nomor 1 untuk kedalaman ~3300 ft.

menunjukkan bahwa tegasan di area studi berada dalam kondisi kritis. Kondisi tegasan pada suatu sumur bor mempengaruhi kestabilan sumur tersebut. Berdasarkan Ashena, dkk. (2020), kondisi tegasan pada sumur bor dapat menyebabkan timbulnya masalah pengeboran akibat ketidakstabilan lubang bor seperti *kick*, *tight hole*, *stuck pipe*, *breakouts*, dan *lost circulation*.

## HASIL DAN DISKUSI

Pada seluruh sumur di area studi ditemukan tekanan fluida yang *overpressure*, kecuali pada sumur nomor 5. Sumur ini terletak pada lokasi dengan nilai anomali gravitasi Bouger tinggi dibandingkan dengan sumur yang lain (Gambar 1). Data litologi pengeboran menunjukkan bahwa sumur ini menembus Formasi Kujung, Formasi Ngimbang, dan batuan dasar. Formasi yang lebih muda seperti Formasi Tuban, Formasi Ledok, dan Formasi Mundu tidak ditemukan pada sumur ini. Hal ini menunjukkan bahwa sumur ini telah mengalami erosi yang sangat signifikan sehingga tidak ditemukan formasi batuan yang lebih muda dari Formasi Kujung. Akibat erosi tersebut, tidak terbentuk *overpressure* dengan mekanisme *loading* seperti yang ditemukan pada sumur lain di area studi. Sebaliknya, tekanan fluida di sumur ini berada dalam kondisi hidrostatik dan bahkan terdapat tekanan fluida yang lebih kecil dari tekanan hidrostatik (*underpressure*). Tekanan fluida yang *underpressure* atau *depleted* pada sumur ini ditemukan pada Formasi Ngimbang yang merupakan salah satu reservoir utama di Cekungan Jawa Timur Utara.

Selain mekanisme *loading*, mekanisme *unloading* berupa transformasi mineral smektit menjadi ilit diperkirakan juga berperan dalam menghasilkan *overpressure* di area studi. Namun, untuk membuktikan hal ini diperlukan analisis lebih lanjut berupa analisis mineralogi lempung dengan XRD dan gradien geotermal di area studi.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil analisis karakteristik tekanan fluida di area studi menunjukkan bahwa terdapat kondisi *overpressure* pada seluruh sumur di area studi, kecuali pada sumur nomor 5 disebabkan terjadi erosi yang sangat signifikan. Data pengukuran tekanan langsung dan tidak langsung serta data log densitas dan sonik mengindikasikan bahwa mekanisme

penyebab *overpressure* di area studi adalah *loading*. Meskipun demikian, plot silang antara log sonik dan densitas mengindikasikan bawah mekanisme *unloading* berupa transformasi mineral smektit menjadi ilit juga berkontribusi terhadap *overpressure* di area studi.

Analisis Mohr-Coulomb pada studi ini menunjukkan bahwa keberadaan *overpressure* mempengaruhi kondisi tegasan pada masa kini di area studi. Ketika tekanan fluida di area studi berada dalam kondisi *overpressure*, maka tegasan pada masa kini akan berada dalam kondisi kritis.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada para penelaah yang telah memberikan masukan yang berharga terhadap makalah ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Sdr. Arifin, M.T. atas kontribusinya dalam mempersiapkan gambar-gambar yang digunakan dalam makalah ini.

## DAFTAR ISTILAH/SINGKATAN

| Simbol                     | Definisi   | Satuan |
|----------------------------|--|--------|
| <i>Overpressure</i>        | tekanan fluida pada suatu kedalaman yang melebihi nilai tekanan hidrostatiknya               |        |
| <i>Kick</i>                | peristiwa masuknya fluida dari formasi ke dalam sumur bor                                    |        |
| <i>Caving</i>              | runtuhan batuan dari dinding sumur bor   |        |
| <i>Stuck pipe</i>          | peristiwa ketika pipa pengeboran pada sumur bor terjepit atau tidak dapat digerakkan         |        |
| <i>Connection gas</i>      | gas yang terdeteksi ketika dilakukan penyambungan pipa pengeboran pada sumur bor             |        |
| <i>Leak-off test</i>       | pengujian yang dilakukan untuk mengetahui batas kekuatan batuan                              |        |
| Tegasan vertikal           | tegasan yang berarah vertikal pada suatu titik yang diakibatkan oleh beban batuan di atasnya |        |
| Tegasan horizontal minimum | tegasan dalam arah horizontal yang bernilai paling kecil                                     |        |

| Simbol                      | Definisi   | Satuan |
|-----------------------------|--|--------|
| Tegasan horizontal maksimum | tegasan dalam arah horizontal yang bernilai paling besar   |        |
| Borehole breakout           | pembesaran lubang bor yang disebabkan oleh tegasan yang bekerja pada sumur bor   |        |
| Underpressure               | tekanan fluida pada suatu kedalaman yang lebih kecil dari nilai tekanan hidrostatiknya                                     |        |
| Tight hole                  | kondisi lubang bor yang menyebabkan pipa pengeboran sulit untuk ditarik keluar dari sumur bor, namun tidak sampai terjepit |        |
| Lost circulation            | kondisi ketika lumpur pengeboran yang digunakan hilang karena masuk ke dalam formasi                                       |        |

## KEPUSTAKAAN

- Ashena, R., Elmgerbi, A., Rasouli, V., Ghalambor, A., Rabiei, M., & Bahrami, A.,** 2020. Severe wellbore instability in a complex lithology formation necessitating casing while drilling and continuous circulation system. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, Volume 10, pp. 1511-1532.
- Binh, N. T. T., Tokunaga, T., Goult, N.R., Son, H.P., & Binh, M.V.,** 2011. Stress state in the Cuu Long and Nam Con Son basins, offshore Vietnam. *Marine and Petroleum Geology*, 28(5), pp. 973-979.
- Davies, R. J., Mathias, S. A., Swarbrick, R. E. & Tingay, M. J.,** 2011. Probabilistic longevity estimate for the LUSI mud volcano, East Java. *Journal of the Geological Society*, Volume 168, pp. 517-523.
- Dutta, N.,** 2002. Deepwater geohazard prediction using prestack inversion of large offset P-wave data and rock model. *The Leading Edge*, Volume 21, pp. 193-198.
- Jaeger, J. & Cook, N.,** 1979. *Fundamentals of Rock Mechanics*. 2nd ed. New York: Chapman and Hall.
- Koesoemadinata, R.,** 2020. *An Introduction into The Geology of Indonesia, Volume I: General Introduction & Part I Western Indonesia*. Bandung: Ikatan Alumni Geologi Institut Teknologi Bandung.
- Mazzini, A., Svensen, H., Akhmanov, G.G., Aloisi, G., Planke, S., Malthé-Sorensen, A., & Istadi, B.,** 2007. Triggering and dynamic evolution of the LUSI mud volcano, Indonesia. *Earth and Planetary Science Letters*, 261(3-4), pp. 375-388.
- Mudjiono, R. & Pireno, G. E.,** 2002. *Exploration of the North Madura Platform, Offshore East Java, Indonesia*. Indonesia, Indonesian Petroleum Association, pp. 707-726.
- Pertamina BPPKA,** 1996. *etroleum Geology of Indonesia Basins: Principles, Methods, and Application*. East Java: Pertamina BPPKA.
- Pringgoprawiro, H.,** 1983. *Revisi Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara dan Paleogeografinya*. Bandung: Bandung Institute of Technology, Unpublished.
- Satyana, A., Erwanto, E. & Prasetyadi, C.,** 2004. *Rembang-Madura-Kangean-Sakala (RMKS) Fault Zone, East Java Basin: The Origin and Nature of a Geologic Border*. Bandung, IPA.
- Smyth, H. R., Hall, R. & Nichols, G. J.,** 2008. Cenozoic volcanic arc history of East Java, Indonesia: The stratigraphic record of eruptions on an active continental margin. In: *Formation and Applications of the Sedimentary Record in Arc Collision Zones*: Geological Society of America, pp. 199-222.
- Swarbrick, R. E. & Osborne, M. J.,** 1998. Mechanisms that generate abnormal pressures: an overview. In: *Abnormal Pressures in Hydrocarbon Environments*. Tulsa: AAPG, pp. 13-34.
- Swarbrick, R. E. & Osborne, M. J.,** 2002. Comparison of overpressure magnitude resulting from the main generating mechanisms.. In: *Pressure Regimes in Sedimentary Basins and their Prediction*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, pp. 1-12.
- Tanikawa, W., Sakaguchi, M., Wibowo, H., Shimamoto, T., & Tadai, O.,** 2010. Fluid transport properties and estimation of overpressure at the Lusi mud volcano, East Java Basin. *Engineering Geology*, 116(1), pp. 73-85.
- Tingay, M.,** 2014. Initial pore pressures under LUSI mud volcano, Indonesia. *Interpretation*, 3(1), pp. SE33-SE49.
- White, A. J., Traugott, M. O. & Swarbrick, R. E.,** 2002. The use of leak of test as mean of predicting minimum in-situ stress. 8(2), pp. 189-193.
- Yassir, N. & Bell, J. S.,** 1994. Relationships between pore pressures, stresses and present-day geodynamics in the Scotian Shelf, Offshore Eastern Canada. *AAPG Bulletin*, Volume 78, pp. 1863-1880.
- Zoback, M.,** 2007. *Reservoir Geomechanics*. Cambridge: Cambridge University Press.,