

KESTABILAN SUMUR BERDASARKAN KARAKTERISTIK GEOMEKANIK BATUAN PADA LADANG GAS ARUN, ACEH

Donny Agasi Hasugian^{1*}, Dicky Muslim¹, Yusi Firmansyah¹, Riza Atmadibrata¹

¹Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran, Bandung

*Korespondensi: donnyagasi@gmail.com

ABSTRAK

Pada Ladang Gas Arun, terdapat zona *overpressure* yang membuat perlu adanya analisis geomekanik lebih lanjut untuk menjaga kestabilan sumur dan mencegah beberapa resiko yang dapat terjadi pada saat proses pemboran seperti *kick*, *blowout*, *washout*, dan *well breakdown*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menjelaskan karakteristik geomekanik, *overpressure*, dan kriteria kestabilan sumur pada daerah penelitian. Metode yang digunakan untuk melakukan prediksi variabel – variabel geomekanik berupa tekanan pori, tekanan rekah, tekanan hidrostatik, dan tekanan vertikal adalah perhitungan empiris menggunakan data log *gamma ray*, log sonik, dan log densitas. Prediksi tekanan pori dan tekanan rekah menggunakan persamaan Eaton, sedangkan untuk prediksi tekanan hidrostatik dan tekanan vertikal menggunakan persamaan Archimedes. Tekanan pori, tekanan hidrostatik, dan tekanan vertikal digunakan untuk mengidentifikasi kedalaman zona *overpressure*. Hasil dari perhitungan sebelumnya di analisis menggunakan kriteria *wellbore failure* menurut Cook, untuk membuat Model *Wellbore Failure* pada sumur daerah penelitian. Dari hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa pada daerah penelitian terdapat *overpressure* yang dimulai pada kedalaman 1558 m, dan kriteria kestabilan sumur dalam pemboran disajikan dalam *Mechanical Earth Model* 1D.

Kata Kunci: Geomekanik, kestabilan sumur, Ladang Gas Arun, *Mechanical Earth Model*, *overpressure*

ABSTRACT

In Arun Gas Field there is an *overpressure* zone that needs further geomechanics analysis to maintain wellbore stability and prevent several risks that may happen in drilling process such as *kick*, *blowout*, *washout*, and *well breakdown*. The purpose of this research is to elaborate the geomechanic characteristic, *overpressure*, and wellbore stability criteria in the research area. The methods used to predict the geomechanic variables such as pore pressure, fracture pressure, hydrostatic pressure, and vertical pressure, is empirical calculation using gamma ray log, sonic log, and density log data. To predict pore pressure and fracture pressure, Eaton equations are used. And to predict hydrostatic pressure and vertical pressure, archimedes equation is used. Pore pressure, hydrostatic pressure, and vertical pressure are used to identify the depth of *overpressure*. The data from previous calculation is analyzed using Cook's wellbore failure criteria to make the Wellbore Failure Model of the research area. From the results of this study, it can be concluded that there is an *overpressure* zone that starts at 1558 m, and the wellbore stability criteria for drilling in the research area is presented as 1D *Mechanical Earth Model*.

Keywords: Arun Gas Field, Geomechanic, *Mechanical Earth Model*, *overpressure*, wellbore stability.

1. PENDAHULUAN

Kestabilan sumur bor adalah faktor yang sangat diperhitungkan untuk meminimalisir resiko-resiko dalam pemboran. Hal utama yang menyebabkan munculnya resiko tersebut adalah kurang

diperhatikannya faktor-faktor bawah permukaan yang dapat menyebabkan kegagalan dalam pengeboran seperti *kick*, *blowout*, *well collapse*, *washout*, dan *well breakdown* (Kosset, 2014).

Dengan melakukan analisis geomekanika batuan, kestabilan lubang sumur dapat dianalisis (Tutuncu dan Kadyrov, 2012). Dalam penelitian ini faktor-faktor geomekanik yang harus diperhatikan untuk kestabilan sumur bor adalah UCS, rasio poisson, tekanan pori, besar tegasan-tegasan utama yang bekerja pada suatu batuan, dan mekanisme *overpressure*.

Studi kasus dilakukan menggunakan data sumur pada Ladang Gas Arun. Ladang gas ini terletak di bagian utara Provinsi Aceh. Hal yang menjadi pertimbangan dalam melakukan analisis kestabilan sumur pada Ladang Gas Arun adalah ditemukannya keberadaan zona tekanan abnormal (*overpressure*) (Atmadibrata, 1988).

2. TINJAUAN PUSTAKA

Data *wireline log* dapat digunakan untuk memprediksi parameter – parameter geomekanik seperti tekanan pori, tekanan *overburden*, serta tegasan horizontal minimum dan maksimum. Prinsip dasar *wireline log* adalah mengukur parameter sifat – sifat fisik dari suatu batuan pada setiap kedalaman secara kontinyu dari sumur pemboran. (Ellis & Singer, 2008)

2.1 Tekanan Hidrostatik

Tekanan hidrostatik (P_h) merupakan tekanan yang dihasilkan oleh kolom fluida statis yang besarnya sama ke segala arah (Zoback, 2007). Ukuran dan geometri merupakan variabel bebas karena kolom fluida ini tidak memiliki pengaruh terhadap besarnya tekanan hidrostatik. Berdasarkan Hukum Archimedes, besarnya tekanan hidrostatik akan sama dengan jumlah dari densitas fluida rata-rata dan tinggi vertikalnya. Rumus dari tekanan hidrostatik adalah sebagai berikut:

$$P_h = \rho gh \quad (1)$$

Dimana,

P_h : tekanan

ρ : densitas rerata

g : akselerasi gravitasi

h : tinggi vertikal kolom fluida (kedalaman)

2.2 Tekanan Overburden

Tekanan yang membebani tekanan pori adalah tekanan vertikal (*total stress / lithostatic stress / overburden stress / σ_v/S_v*). Tekanan vertikal lah yang memberikan pembebanan pada suatu formasi di kedalaman tertentu akibat berat total dari batuan dan fluida yang berada di atas kedalaman tersebut. Tekanan vertikal merupakan kombinasi dari densitas matriks, porositas, dan densitas fluida yang terkandung didalam pori.

Perhitungan nilai Tekanan *Overburden* juga menggunakan Hukum Archimedes, seperti pada persamaan 1. Namun besaran berat jenis yang digunakan dalam perhitungan Tekanan *Overburden* didapatkan dari data log densitas.

2.3 Tekanan Pori

Tekanan pori (P_p) merupakan tekanan hidrolik yang bersifat skalar, yang terbentuk karna adanya pori yang saling berhubungan (*interconnected*) di kedalaman. Pada saat kondisi kompaksi normal (*normal compaction*), tekanan pori didefinisikan sebagai tekanan hidrostatik (*hydrostatic pore pressure / P_p^{hydro}*) yang nilainya meningkat tergantung dari besarnya densitas air seiring dengan bertambahnya kedalaman yaitu sebesar 10 mPa/km atau 0,44 psi/ft (Zoback, 2010).

Prediksi tekanan pori dapat dilakukan dengan menggunakan metode Eaton menggunakan data hasil pengukuran data log sonik melalui persamaan berikut:

$$P_p = S_v - \left[(S_v - P_h) * \left(\frac{dt_{NCT}}{dt_{Ob}} \right)^x \right] \quad (2)$$

Dimana,

P_p : tekanan pori

S_v : tekanan overburden

P_h : tekanan hidrostatik

dt_{Ob} : waktu interval sonik terukur

dt_{NCT} : waktu interval sonik pada saat terjadi kompaksi normal

x : koefisien empiris eaton (3)

2.4 Tekanan Rekah

Tekanan rekah atau *Fracture Propagation Pressure* didefinisikan juga sebagai total dari tekanan yang dapat ditahan oleh formasi sebelum suatu formasi tersebut rusak atau hancur (Tegasan Minimum). Tekanan rekah memiliki nilai yang lebih kecil dari tekanan overburden dan lebih besar dari tekanan pori (Yanto, 2011). Untuk mendapatkan estimasi tekanan rekah, digunakan persamaan Eaton (Zoback, 2007), dengan persamaan berikut:

$$FP = \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right) (S_v - P_p) + P_p \quad (3)$$

Dimana,

FP : tekanan rekah
 ν : rasio poisson
 S_v : tekanan *overburden*
 P_p : tekanan pori
 h : kedalaman

2.5 Kestabilan Lubang Sumur

Kestabilan lubang sumur saat dilakukannya pengeboran sangat dipengaruhi berat lumpur. Besar kecilnya berat lumpur harus disesuaikan dengan karakteristik geologinya.

Dalam melakukan estimasi berat lumpur, digunakan perhitungan dengan parameter tekanan lumpur minimum yang dibatasi oleh tekanan pori, dan tekanan lumpur maksimum yang dibatasi oleh Sh_{min} (FP) (Cook dkk., 2011).

Bila berat lumpur terlalu rendah, yang terjadi adalah lubang sumur yang menjadi tidak stabil dan beresiko kerontokan dinding sumur, *kick*, *blow*, dll. Sedangkan bila berat lumpur terlalu tinggi maka akan menyebabkan *lost circulation* dan *well breakdown*

2.6 Desain Casing

Setelah melakukan pemboran, hal selanjutnya yang harus dilakukan untuk menjaga agar sumur tidak runtuh adalah penanaman *casing*. Berdasarkan dari jenisnya, terdapat 4 jenis *casing*, antara lain:

1. Conductor casing

Conductor casing merupakan *casing* yang pertama kali dipasang pada

skema desain sumur. *Casing* ini dipasang pada kedalaman yang masih cukup dangkal, biasanya sampai kedalaman ± 200 ft.

Casing yang digunakan sebagai conductor casing ini umumnya mempunyai diameter yang cukup besar yaitu sekitar 20'' sampai dengan 30'', dan biasanya digunakan untuk kondisi lunak atau mudah gugur.

2. Surface Casing

Surface casing merupakan casing yang dipasang setelah conductor casing.

Adapun fungsi dari surface casing antara lain :

- Menghindari gugurnya lubang pengaliran lumpur
- Melindungi lapisan air tawar dari pencemaran lumpur pemboran
- Menghindari lapisan bertekanan yang akan dijumpai selama pemboran
- Melengkapi sistem pengaliran lumpur
- Sebagai tempat kedudukan *Blowout Preventer* dan *Well Head*
- Menyangga seluruh berat rangkaian casing berikutnya yang telah dimasukkan kedalam sumur.

3. Intermediate Casing

Casing ini adalah *casing* yang berfungsi untuk menutup formasi yang dapat menimbulkan masalah dalam operasi pemboran, seperti:

- Menutup formasi garam, gypsum dan formasi shale yang mudah runtuh
- Menutup zona yang terdapat tekanan abnormal, zona terjadinya *lost circulation* dan zone yang mengandung fluida yang sangat korosif

4. Production Casing

Penempatan *casing* ini dilakukan setelah ditemukan formasi yang akan diproduksi, dan sumur sudah dimaksud untuk diproduksi ke permukaan. *Casing* ini menghubungkan formasi produktif ke permukaan.

Production casing dipasang sampai diatas lapisan produktif dan ada yang dipasang sampai menembus lapisan produktif, fungsi dari production casing adalah sebagai berikut :

- Menyekat antara lapisan produktif yang satu dengan lapisan produktif yang lainnya agar tidak saling berhubungan.
- Melindungi alat-alat produksi yang terdapat dibawah permukaan seperti pompa dan sebagainya.

Untuk menentukan kedalaman tiap *casing* tersebut, diperlukan analisis dari data-data geologi seperti gradien tekanan pori, gradien tekanan rekah, karakteristik formasi dan strukturnya, serta lokasi kedalaman dari keberadaan tekanan abnormal.

Metode yang digunakan dalam penentuan kedalaman *casing* adalah metode *bottom – up*. Desain ini dimulai dari bagian bawah sumur hingga kepermukaan, dan penentuan kedalaman didesain dengan menggunakan faktor keamanan berdasarkan data gradien tekanan pori dan gradien tekanan rekah (*Fracture Gradient*). Garis yang dibuat dimulai dari batas tekanan paling rendah yaitu tekanan pori. Titik yang didapat nantinya akan menjadi kedalaman dari penempatan tiap *casing*-nya.

3. METODE

Pada tahap awal penelitian, dilakukan studi pustaka mengenai kondisi geologi regional daerah penelitian seperti kondisi stratigrafinya, kondisi Ladang Gas Arun, karakteristik umum Formasi Arun. Serta dilakukan juga penyusunan alur kerja penelitian.

Data yang digunakan berasal dari data 1 sumur yang ada pada Ladang Gas Arun berupa log sonik, log densitas, dan log litologi. Kemudian dilakukan pemilahan dan pemilihan data yang dibutuhkan dan yang tidak dibutuhkan dengan tujuan penelitian. Untuk mendapatkan data yang baik dan hasil interpretasi yang optimum, data yang sudah didapat dilakukan digitasi ulang agar memperoleh data yang lebih jelas dalam bentuk digital. Semua data log di sumur penelitian kemudian diolah dan dianalisis guna mendapatkan parameter – parameter kestabilan sumur pada daerah yang penelitian.

Kestabilan lubang sumur ditentukan dengan mengetahui nilai tekanan pori, nilai tegasan horizontal minimum (FP), dan mengetahui kedalaman terdapatnya zona overpressure. Tekanan pori didapatkan dengan menggunakan persamaan Eaton pada persamaan 2. Untuk melakukan perhitungan dengan persamaan tersebut, dibutuhkan nilai dari tekanan *overburden* dan tekanan hidrostatik yang didapat dengan menggunakan rumus Archimedes pada persamaan 1, dan data interval sonik dari log sonik. Tekanan rekah dihitung dengan menggunakan persamaan 3, dengan menggunakan nilai tekanan pori, tekanan *overburden*, serta data rasio poisson batuan. Dalam menentukan zona *overpressure*, terdapat tiga parameter yang diperlukan yaitu Tekanan *Overburden*, Tekanan Pori, dan Tekanan Hidrostatik.

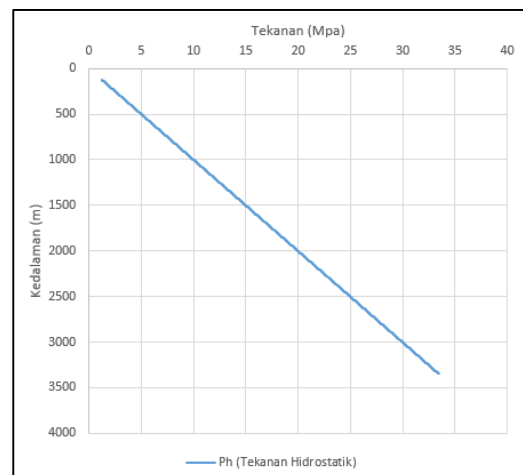
Ketiga parameter kestabilan yang telah didapat kemudian dilakukan analisis agar mendapatkan kriteria kestabilan sumur dalam bentuk *Mechanical Earth Model* (MEM) 1D.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Variabel Geomekanik

1. Tekanan Hidrostatik

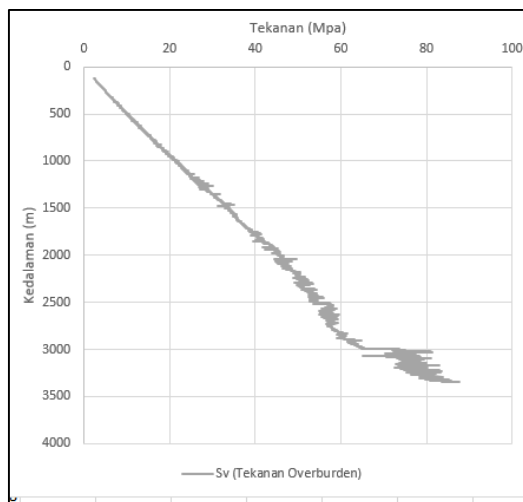
Air formasi pada sumur DN adalah *fresh water* dengan asumsi densitas yang bila dibulatkan adalah bernilai 1000 kg/m³. Dengan menggunakan persamaan 1, maka didapatkan nilai tekanan hidrostatik pada daerah penelitian.



Gambar 4.1 Grafik prediksi tekanan hidrostatik pada daerah penelitian

2. Tekanan Vertikal/Overburden

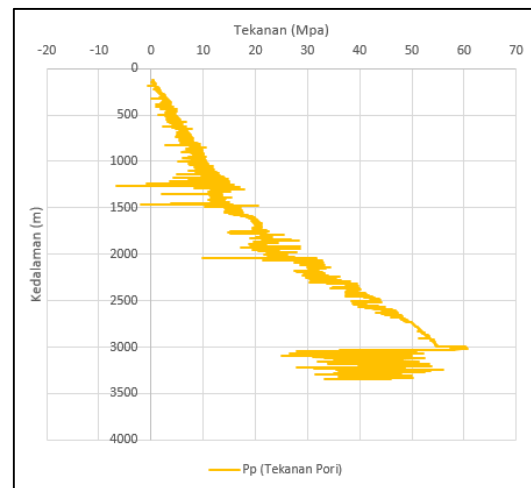
Prinsip tekanan vertikal sangat berhubungan dengan besarnya massa jenis batuan serta percepatan gravitasi bumi yang diasumsikan sebesar $9,8 \text{ m/s}^2$. Tekanan ini merupakan gaya terbesar yang bekerja pada batuan. Dengan diketahuinya massa jenis batuan menggunakan log densitas, nilai tekanan *overburden*-nya dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 1. Pada gambar 4.1 hasil dari perhitungan tekanan *overburden* diplotkan dengan kedalaman sumur (MD) dalam meter.



Gambar 4.2 Grafik prediksi tekanan vertikal pada daerah penelitian

3. Tekanan Pori

Tekanan pori pada sumur DN ditentukan dengan menggunakan data dari log sonik. Nilai waktu interval transit batulempung dari log sonik dihitung dan dilakukan analisis regresi eksponensial, agar didapatkan nilai interval transit batulempung pada saat batuan mengalami kompaksi normal. Dengan didapatkannya nilai tren kompaksi normal maka nilai tekanan porinya dapat ditentukan dengan menggunakan perhitungan rumus Eaton pada persamaan 2 dan akan didapatkan nilai tekanan pori seperti pada gambar dibawah ini.

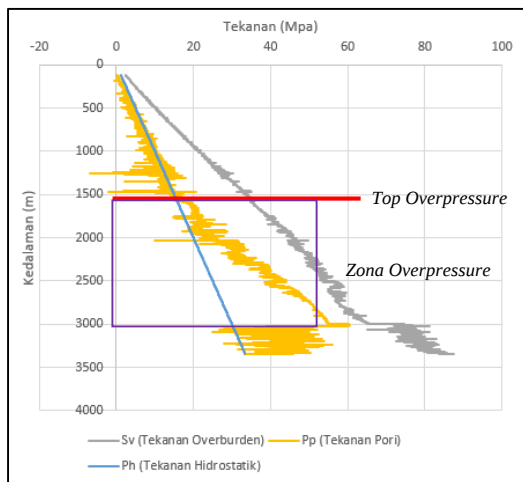


Gambar 4.1 Grafik prediksi tekanan pori pada daerah penelitian

4.3 Zona Overpressure

Dengan menganalisis variabel geomekanik yang digunakan, yaitu besarnya nilai tekanan pori, tekanan hidrostatik, dan tekanan vertikal, maka kedalaman dimana terjadinya *overpressure* dapat di prediksi. Analisis yang dilakukan adalah analisis akan adanya anomali tekanan pori. Analisis tersebut dilakukan dengan asumsi bahwa tekanan pori dalam keadaan normal, akan memiliki tren yang sama dengan tekanan hidrostatik.

Hasil plot grafik tekanan pori, tekanan hidrostatik, dan tekanan vertikal menunjukkan adanya zona tekanan *overpressure* pada kedalaman 1558 m. Tekanan tersebut berada pada formasi Baong, yang menandai terjadinya fase transgresi maksimum.



Gambar 4.4 Penentuan zona *overpressure* menggunakan data tekanan hidrostatik, tekanan vertikal, dan tekanan pori.

4.3 Kestabilan Sumur Bor

Kestabilan sumur pada saat dilakukan pengeboran dapat dianalisis dengan membuat Model *Wellbore Failure* menggunakan parameter-parameter geomekanik yang telah didapat, yaitu Sh_{min} (Tekanan Rekah) dan tekanan pori, untuk mendapatkan zona rentan tekanan lumpur yang aman. Zona tekanan lumpur tersebut kemudian disandingkan dengan zona *overpressure* untuk dilakukan desain pemasangan *casing* pemboran agar menjaga sumur tetap stabil.

1. Model *Wellbore Failure*

Dari model *Wellbore Failure* yang dibuat (Gambar 4.5 A), dapat ditentukan kestabilan sumur yang dideskripsikan sebagai berikut:

- Zona yang beresiko mengalami influks hidrokarbon, atau yang sering disebut dengan istilah *kick*, ditandai dengan zona berwarna merah. Zona tersebut dibatasi oleh *pore pressure*, sehingga semua berat lumpur yang berada dibawah grafik tersebut akan berpotensi mengalami *kick*. Zona ini juga dapat menjadi penanda terjadinya sumur runtuh (*wellbore collapse*). Namun biasanya harus divalidasi dengan data batas kolaps minimum (LC). Pada sumur DN tidak memiliki data yang dapat memprediksi

nilai LC sehingga hanya menggunakan data tekanan pori.

- Zona berwarna putih merupakan *stable mud window*. Zona ini dibatasi oleh LC atau bisa juga dibatasi oleh *pore pressure* dan pada bagian kanan dibatasi oleh Sh_{min} . Berat lumpur yang berada pada zona tersebut menunjukkan sumur akan tetap pada diameter yang benar tanpa adanya *lost circulation* ataupun *wellbore collapse*.
- Zona berwarna biru menunjukkan sumur akan mengalami *lost circulation* bila berat lumpur mencapai daerah tersebut. Daerah ini dibatasi oleh grafik Sh_{min} (tekanan rekah), dan bila berat lumpur melebihi daerah yang dibatasi oleh grafik tersebut, maka sumur akan mengalami *breakdown*.

2. Desain *Casing*

Desain *casing* dilakukan dengan menentukan jumlah serta kedalaman dari *casing string* yang dipakai. Penentuan kedalaman *casing* dilakukan berdasarkan estimasi kedalaman *casing shoe* yang telah dibuat dan disesuaikan dengan fungsinya yang ditampilkan pada gambar 4.5 B. Hasil dari desain *casing* ditampilkan pada gambar 4.5 C.

Tabel 4.1 Penempatan kedalaman dan jenis *casing*

Kedalaman (m)		Jenis <i>casing</i>
Dari	Sampai	
122	1475	<i>Surface Casing</i>
122	2995	<i>Intermediate Casing</i>
2995	3,346.7	<i>Production Casing</i>

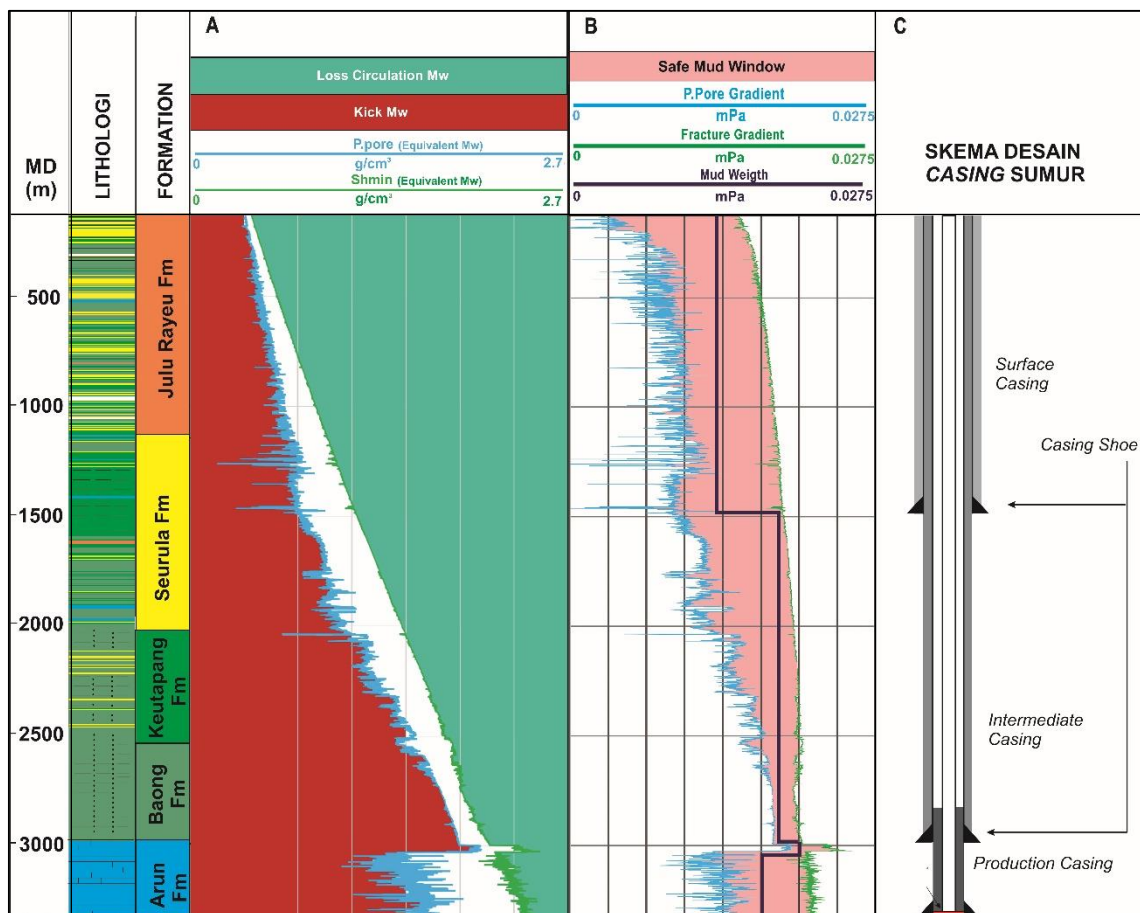
Surface Casing dipasang dari kedalaman 122 m hingga kedalaman 1475 m. *Casing* tersebut berguna untuk mencegah kontaminasi hasil pemboran kedalam sistem air tanah.

Intermediate casing dipasang hingga kedalaman 2998 m. Kedalaman tersebut ditentukan pada kedalaman berat lumpur yang berada diatas Formasi Arun

yang menjadi reservoir pada daerah penelitian. *Casing* ini digunakan karna adanya resiko kesulitan pemboran yang disebabkan oleh adanya zona *overpressure* yang telah diteliti sebelumnya. Dari litologi yang ada pada interval kedalaman tersebut juga terlihat sebagian besar merupakan batulempung dan batuserpih yang dapat

beresiko terjadinya keruntuhan sumur akibat karakteristiknya yang mudah runtuh (*sloughing shale*).

Casing yang terakhir adalah *Production Casing*, yang diletakan di sepanjang reservoir dari daerah penelitian. *Production Casing* ini digunakan untuk memisahkan lapisan yang mengandung gas, minyak, dan air, serta melindungi alat-alat produksi.



Gambar 4.5 Mechanical Earth Model 1D yang menunjukkan kriteria kestabilan sumur. (A) Well Failure Model. (B) Penentuan Kedalaman Casing. (C) Desain Casing.

5. KESIMPULAN

Terdapat zona *overpressure* yang dimulai pada kedalaman 1558 m berdasarkan hasil analisis variabel geomekanik yang digunakan, yaitu tekanan pori, tekanan hidrostatik, dan tekanan pori.

Analisis kestabilan sumur yang dilakukan menghasilkan *Model Wellbore Failure* yang menghasilkan *window berat*

lumpur kick, *safe mud window*, dan *lost circulation* pada daerah penelitian. Jenis dan kedalaman *casing* juga ditentukan dari *safe Mud Window* dari hasil plot gradien tekanan pori dan gradien tekanan rekah (F_p), serta penyesuaian terhadap keterdapatan *overpressure*. *Surface Casing* dipasang pada kedalaman 122 m -1475 m. *Intermediate Casing* dipasang pada kedalaman 122 m –

2995 m. *Production Casing* dipasang pada kedalaman 2995 m – 3346,7 m.

DAFTAR PUSTAKA

- Asquith, G. B. & Gibson, C. R. 1982. *Basic Well Log Analysis for Geologist*. Tulsa: AAPG
- Atmadibrata, R.M.R. 1988. *Top of Abnormal Pressure Zone Prediction in the Arun Field, North Sumatra*. PIT. IAGI XVII, 1988. Jakarta.
- Atmadibrata, R.M.R. 2014. *Kolaborasi Geologi dan Rekayasa Pemboran Menghadapi Zona Tekanan Abnormal di Ladang Gas Arun; Sumatra Utara*. Seminar Nasional Fakultas Teknik Geologi, Bandung 24 Mei 2014.
- Bahesti, Fatrial., Manaf, A. Nanang., Sadirsan, Wuryadi., Subroto, dan Eddy A. 2014. *Integrated Basin Analysis And Geomechanics Study Of Lower Baong Shale For Preliminary Shale Gas Prospectivity In The North Sumatra Basin*. Jakarta: Proceedings of the 37th Indonesian Petroleum Association.
- Barber, A.J., Crow, M. J., dan Milsom, J.S. 2005. *Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution*. London: Geological Society.
- Bérard, Thomas., dan Prioul, Romain. 2016. *Defining: Mechanical Earth Model*. Schlumberger.
- Berhmann, J.H., Flemings, P.B., dan John, C.M.. 2006. *Rapid sedimentation, overpressure, and focused fluid flow, Gulf of Mexico Continental Margin*, Sci. Drill. vol. 3
- Cannan, W.L. 1992. *Increasing Arun Well Deliverability Through Effective Acid Fracturing*. Mobil E&P Services Inc. Indonesia.
- Castagna, J. P. 1985. *Relationships between compressional-wave and shear-wave velocities in elastic silicate rocks*. Dallas: Society of Exploration Geophysicists.
- Cook, J., Growcock, F., Guo, Q., Hodder, M. dan van Oort, E. 2011. *Stabilizing the Wellbore to Prevent Lost Circulation*. Schlumberger Technical Paper 0826.
- Elyasi, Ayub., Kamram, Goshtasbi., Saedi, Omed., dan Torabi, S.R. 2014. *Stress determination and geomechanical stability analysis of an oil well of Iran*. Sadhana Vol. 39, Part 1.
- Hutasoit, L. M., Suseno, W., Siahaan, D., Ramdhan, A. M., Goulty, N. R., Syaiful, M., Bachtiar, A., Iskandar, I., Hendarmawan, Sadirsan., Arifin, M., Bahesti, F., dan Endarmoyo, K. *Overpressure characteristics in Pertamina's Area in the North Sumatera Basin*. Proceedings of the 37th Indonesian Petroleum Association.
- Knoll, Leonard. 2016. *The Process of Building Mechanical Earth Model Using Well Data*. Leoben: Montanuniversität
- Kosset, Talgat. 2014. *Wellbore Integrity Analysis For Wellpath Optimization And Drilling Risks Reduction: The Vaca Muerta Formation In Neuquén Basin*. Colorado: Colorado School of Mines.
- Mouchet, J-P., dan Mitchell, A. 1989. *Abnormal Pressures While Drilling*. Bousens: Societe Nationale Elf Aquitaine.
- Ramdhan, A. M. dan Goulty, N. R. 2010. *Overpressure Generating Mechanisms in th Peciko Fiel, Lower Kutai Basin*. Journal Petroleum Geoscience Vol. 16 hal. 367-376.
- Ramdhan, A. M., Goulty, N. R., Hutasoit, L. M., 2011. *The Challenge of Pore Pressure Prediction in Indonesia's Warm Neogene Basins*. Jakarta: Proceedings Indonesian Petroleum Association, 35th.
- Ramdhan ., A. M. dan Goulty, N. R. 2014. *Overpressure in the Shelfal Area of the Lower Kutai Basin*. Jakarta:

- Proceedings of the 38th Indonesian Petroleum Association.
- Schon, J.H. 2011. *Physical Properties of Rocks: A Workbook. Handbook of Petroleum Exploration and Production*. UK: Elsevier.
- Serra, Oberto. 1984. *Fundamentals of Well-log interpretation*. USA: Elsevier Science Publishing Company inc.
- Serra, Oberto. 2003. *Well-log and Geology*. USA: Elsevier Science Publishing Company inc.
- Soeparjadi, R. A. 1983. *Geology of the Arun Gas Field*. SPE Paper No.10486. *Presented at Offshore South East Asia Conference. Singapore. 21-24 February 1982*.
- Swarbrick, R.E.; Osborne, M.J. 1998. *Mechanisms that generate abnormal pressures: an overview*. American Association of Petroleum Geologists, pp.13-14
- Widarsono, Bambang. 2013. *Cadangan dan Produksi Gas Bumi Nasional: Sebuah Analisis atas Potensi dan Tantangannya*. *Publikasi Minyak dan Gas Bumi* Vol. 47, No. 3, Desember 2013: 115-126.
- Zoback, Mark D. (2010); *Reservoir geomechanics*. Cambridge: Cambridge University Press.