PREDIKSI TEKANAN PORI MENGGUNAKAN METODE YAN DAN HAN BERDASARKAN KECEPATAN SEISMIK PADA LAPANGAN "V" CEKUNGAN KUTAI

(Skripsi)

Oleh

KHODIJAH HANUN

KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2017

ABSTRAK

PREDIKSI TEKANAN PORI MENGGUNAKAN METODE YAN DAN HAN BERDASARKAN KECEPATAN SEISMIK PADA LAPANGAN "V" CEKUNGAN KUTAI

Oleh

KHODIJAH HANUN

Overpressure merupakan tekanan abnormal dimana tekanan pori melebihi tekanan normal. *Overpressure* dapat menyebabkan *blow out*. Lapangan "V" yang terdapat di Cekungan Kutai diindikasikan adanya potensi keberadaan zona *overpressure* dari beberapa penelitian dan hasil pengeboran. Sehingga, prediksi tekanan pori pada lapangan ini perlu dilakukan penentuan berat lumpur agar tidak terjadi *blow out*. Pada penelitian ini prediksi tekanan pori dilakukan untuk *drilling hazard* yaitu penentuan berat lumpur agar tidak terjadi *blow out*. Prediksi tekanan pori dilakukan menggunakan metode Yan dan Han dengan data utama seismik 3D PSDM dan data log. Dan prediksi tekanan pori diperoleh dari hasil kedua data yaitu kecepatan seismik inisial model dan inversi seismik. Kecepatan seismik yang didapat digunakan untuk transformasi kecepatan menjadi tekanan efektif menggunakan persamaan Yan dan Han. Persamaan Yan dan Han memiliki *parameter fitting* yang nilainya sangat dipengaruhi oleh kecepatan. Kemudian prediksi tekanan pori didapatkan dari persamaan Terzaghi yaitu tekanan overburden dikurang tekanan efektif dan didapatkan nilai prediksi pori yang mendekati nilai tekanan hasil pengukuran MDT. Tekanan pori hasil kecepatan inisial model *p wave* dan inversi seismik lebih akurat dibanding kecepatan hasil inversi seismik. Berat lumpur yang digunakan pada kedalaman 860 m adalah 9-19 ppg.

Kata Kunci: Tekanan Pori, *Overpressure,* kecepatan inisial model p wave, kecepatan hasil inversi seismik, persamaan Yan dan Han

ABSTRACT

PORE PRESSURE PREDICTION USING YAN AND HAN METHOD BASED ON SEISMIC VELOCITY AT "V" FIELD KUTAI BASIN

By

KHODIJAH HANUN

Overpressure was an abnormal pressure in which the pore pressure exceeds the normal pressure. Overpressure can cause blow out. The "V" field located in Kutai Basin was indicated as the potential existence of overpressure zones by several studies and drilling results. Thus, the prediction of pore pressure in this field is necessary to determine the mud weight in order to avoid blow out. In this study pore pressure prediction was done for drilling hazard by determining the mud weight to avoid blow out. Pore pressure prediction was done using the Yan and Han method with seismic 3D PSDM data and log data. And pore pressure prediction was obtained from the results of both data, that was the seismic velocity from initial model and seismic inversion. The obtained seismic velocity was used for velocity transformation into effective pressure using the Yan and Han equation. The Yan and Han equations have fitting parameters whose values were heavily influenced by the velocity. Then the pore pressure prediction was obtained from the Terzaghi equation by the overburden pressure with the effective pressure, and we obtained pore prediction value near the value of MDT measurement pressure. The pore pressure resulting from the p wave initial model velocity wass more accurate than the velocity derived from seismic inversion. The mud weight used at a depth of 860 m was 9-19 ppg.

Keywords: Pore pressure, overpressure, velocity of p wave initial model, velocity derived from seismic inversion, Yan and Han equation

PREDIKSI TEKANAN PORI MENGGUNAKAN METODE YAN DAN HAN BERDASARKAN KECEPATAN SEISMIK PADA LAPANGAN "V" CEKUNGAN KUTAI

Skripsi

Oleh

KHODIJAH HANUN

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung

KEMENTRIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2017

Judul Skripsi	: **PREDIKSI TEKANAN PORI MENGGUNAKAN METODE YAN DAN HAN BERDASARKAN KECEPATAN SEISMIK PADA LAPANGAN "V" CEKUNGAN KUTAI**
Nama Mahasiswa	: Khodijah Hanun
Nomor Pokok Mahasiswa	: 1315051028
Jurusan	: Teknik Geofisika
Fakultas	: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I	Pembimbing II
Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.	**Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.**
NIP 19661222 199603 1 001	NIP 19700120 200003 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.
NIP 19720923 199903 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.** .....

Sekretaris : **Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.** .....

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.** .....

2. Dekan Fakultas Teknik

Prof. Dr. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **20 Juli 2017**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis bukan merupakan karya dari orang lain melainkan berdasarkan pemikiran saya sendiri, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana. Adapun kutipan tertentu dalam penulisan skripsi ini terdapat karya atau pendapat orang lain yang ditulis menurut sumbernya sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Juli 2017

Yang Membuat Pernyataan,

Khodijah Hanun

NPM. 1315051028

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 18 Desember 1995, dan merupakan anak kelima dari tujuh bersaudara. Pasangan Bapak Wahyudin Munawir dan Ibu Wafa Syuhada. Penulis pernah menempuh pendidikan sekolah dasar di SDIT Iqro' Bekasi diselesaikan pada tahun 2007. Penulis melanjutkan sekolah menengah pertama di SMPIT Asy-Syifa Subang, yang diselesaikan pada tahun 2010**,** penulis melanjutkan Sekolah Menengah Atas yang ditempuh di SMA Al-Mubarak Tangerang yang diselesaikan pada tahun 2013. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik, jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN pada tahun 2013.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana di Biro Kesekretariatan (KRT) periode 2014/2015, dan Bidang Sains dan Teknologi 2015/2016. Anggota Society of Exploration Geophysicist (SEG) Chapter Universitas Lampung 2016/2017, dan Wakil Kepala Bidang Multimedia dan Informasi Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia (HMGI) 2016/2017.

Penulis menyelesaikan Kerja Praktik di PPPTMGB Lemigas, Kebayoran Lama, Jakarta pada 25 Juli 2016 dengan judul "Analisis Petrofisika Lapisan Batupasir Roabiba Pada Lapangan V-5 dan V-6 Cekungan Papua", kemudian penulis melanjutkan Tugas Akhir tentang Tekanan Pori dengan data seismik dan data sumur (data *drilling* dan data *logging)* di Pertamina UTC Fungsi Geofisika beralamat Gedung Kwartir Nasional, Lt 13 Jalan Merdeka, Jakarta Pusat periode Maret sampai April 2017. Hingga akhirnya penulis berhasil menyelesaikan pendidikan sarjananya pada tanggal 20 Juli 2017 dengan skripsi yang berjudul **"Prediksi Tekanan Pori Menggunakan Metode Yan dan Han Berdasarkan Kecepatan Seismik Pada Lapangan "V" Cekungan Kutai"**.

PERSEMBAHAN

Bismilllahirrohmanirrohim

Atas Ridho Allah SWT dan dengan segala kerendahan hati kupersembahkan skripsiku ini kepada:

내가 너무 사랑한 남자, 우리 아빠 **Wahyudin Munawir** 그리고 내가 너무 사랑한여자, 우리 엄마 **Wafa Syuhada.**
Terimakasih untuk setiap pengorbanan, peluh keringat, kesabaran, kasih dan sayang, serta doa yang tiada henti diberikan sehingga aku mampu mempersembahkan keberhasilan ini untuk mu Bapak dan Mama.

우리 언니들 **Nisa Karima dan Braze, Hamasah Azmi dan Bang Gibran, Siera Rozaanah,** 우리 오빠 **Muhammad Mubaro,** 우리 동생들 **Ibrahim Banna dan Umar Bassam, serta ponakan-ponakanku Adhwa Fakhira Husna, Samhanah Himmah Hilmiyah, Maryam Afiifah Amaturrahman, Zahidah dan Zahid Sabiq yang selalu mendoakan dan memotivasi baik yang tersirat maupun tersurat dan menanti keberhasilanku.**

Seluruh Keluarga Besar ku yang selalu mendoakan dan mendukung serta menantikan keberhasilanku.

Almamaterku tercinta Universitas Lampung
Tempatku memperoleh ilmu dan merancang mimpi yang menjadi sebagian jejak langkahku menuju kesuksesan.

MOTTO

“Dan apabila hamba-hamba-Ku bertanya kepadamu (Muhammad) tentang Aku, maka sesungguhnya Aku dekat” (QS. 2:186)

”Karena sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan” (QS. 94:5)

“Sifat orang yang berilmu tinggi adalah merendahkan hati kepada manusia dan takut kepada Tuhan” (Rasulullah SAW)

“Kalau hidup hanya sekedar hidup, kera di rimba juga hidup. Kalau bekerja hanya sekedar bekerja, kebau di sawah juga bekerja” (Buya Hamka)

“Bila kamu tak tahan lelahnya belajar, maka kamu akan menanggung perihnya kebodohan” (Imam Syafi’i)

“Jangan kejar mati-matian yang nggak dibawa mati” (Hamba Allah)

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan ridho-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Skripsi ini mengangkat judul "Prediksi Tekanan Pori Menggunakan Metode Yan dan Han Berdasarkan Kecepatan Seismik Pada Lapangan "V" Cekungan Kutai". Skripsi ini merupakan hasil dari Tugas Akhir yang penulis laksanakan di Pertamina UTC Fungsi Geofisika beralamat di Gedung Kwartir Nasional, Lt 13 Jalan Merdeka Timur, Jakarta Pusat.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan bermanfaat guna pembaruan ilmu di masa yang akan datang. Penulis sadar pada skripsi ini masih banyak kesalahan dan jauh dari kata sempurna, untuk itu jika ditemukan kesalahan pada penulisan skripsi ini, kiranya dapat memberikan saran maupun kritik pada penulis. Demikianlah kata pengantar yang dapat penulis sampaikan, apabila ada salah kata saya mohon maaf.

Penulis

Khodijah Hanun

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan ridho-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan yang berjudul **"Prediksi Tekanan Pori Menggunakan Metode Yan dan Han Berdasarkan Kecepatan Seismik Pada Lapangan "V" Cekungan Kutai**". Penulis berharap, karya yang merupakan wujud kerja dan pemikiran maksimal serta didukung dengan bantuan dan keterlibatan berbagai pihak ini akan dapat bermanfaat di kemudian hari.

Banyak pihak yang terlibat dalam dan memberikan kontribusi ilmiah, spiritual, dan informasi baik secara langsung maupun tidak langsung hingga terbentuk skrispsi ini. Pada kesempatan kali ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada:

1. Allah SWT dengan segala ridho-Nya.
2. Bapakku **Wahyudin Munawir** dan Ibuku **Wafa Syuhada** yang selalu mendoakan dan selalu memberikan yang terbaik. Serta kakak-kakakku **Nisa Karima dan suami, Hamasah Azmi dan suami, Siera Rozaana,** serta abangku **Muhammad Mubaro,** adik- adikku **Ibrahim Banna** dan **Umar Bassam** yang selalu memotivasi, mendukung dan mendoakan. Dan ponakan-ponakanku **Adhwa, Himmah, Maryam, Zahidah**, dan **Zahid** yang memberikan motivasi dan mengisi hari.
3. Bapak **Agung Adi Susanto** selaku pembimbing di Pertamina UTC Fungsi Geofisika yang telah memberikan ilmu disela kesibukannya.

4. Bapak **Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.** selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika yang telah memberikan motivasi selama masa perkuliahan dan penguji dalam proses skripsi penulis.
5. Bapak **Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.** sebagai Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan selama penulis menjalani proses perkuliahan.
6. Bapak **Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.** sebagai Pembimbing 1 yang telah banyak memberikan masukan-masukan agar skripsi ini lebih baik lagi.
7. Bapak **Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.** sebagai Pembimbing 2 yang juga telah banyak memberikan kritik dan saran, sehingga penulisan skripsi ini menjadi lebih baik lagi.
8. Bapak-bapak dosen Jurusan Teknik Geofisika atas didikan, bimbingan, serta ilmu pengetahuan yang telah diberikan.
9. **Atika Azzahra, Ravide Lubis, Zahratul Aina (Ana), Adib Banuboro, Ka Ayu, Clarissa Crysta C (Caca), Faisal R Yathesta, Muhammad Rafi K, Saiq,** dan **Teuku Ikmal** teman seperjuangan Tugas Akhir di Peratmina UTC yang selalu menemani, menyemangati dan membantu dalam segala hal selama Tugas Akhir.
10. **Muhammad Reza (***who requested his name to be here as a special thanks to*) dan **Yeni Yunita** teman seperjuangan tugas akhir tekanan pori di jurusan. Terima kasih atas ilham dan *sharing*-annya.
11. **Alicya Inmas Mauladika**, **Febrina Bunga T, Dian Pratiwi, Herlin Lisiana Putri**, **Ulfa Wahyuningsih,** dan **Yasrifa Fitri Aufia** yang selalu

menyemangati selama perkuliahan, menemani, dan memberi solusi atas segala keteledoran dan kejenuhan saya selama menulis skripsi ini.

12. **Feni Priyanka** dan **Egi Ramdhani** yang telah membantu dalam pengolahan inversi seismik.
13. **Friencilia Dewinata, Wuri Andari,** dan **Nur Sya'bana** yang juga telah membantu dan menemani pada hari-hari penyusunan skripsi
14. Teman-teman Teknik Geofisika 2013 (**Abdi, Aji, Alicya, Aristo, Nafis, Dian, Dodi, Edi, Egi, Endah, Farkhan, Haris, Helton, Herlin, Agung, Ujep, Fajri, Reza, Noris, Pipit, Priesta, Putu, Vide, Ririn, Shiska, Udin, Aloy, Atikah, Bana, Bunga, Cahaya, Deswita, Dwi, Eci, Feni, Imbron, Kurnia, Niko, Suryadi, Wuri, Ulfa, Winda, Yase, Jujun, Sule, Kholil**, dan **Widya**) yang telah memberikan motivasi, doa, mengisi hari-hari selama kuliah dan menyempatkan hadir pada seminar Usul, Seminar Hasil dan Kompre.
15. **Besty Afrah Hasyati** teman SMA yang sudah menemani, memotivasi, memberi semangat, dan merelakan apartemennya jadi tempat pulang selama Tugas Akhir.
16. Teman-teman Asy-Syifa **Audy Ramadhani, Aufa Sabila, Aisyah, Dinti Lidinillah, Annisa Maghfirani, Shofaa Karimah, Fadwa Imaraturrahimah, Syifa Gufrani**, dan **Balqis Afiifah** yang telah mendoakan, memotivasi, menghilangkan kejenuhan dan memberi semangat dalam penyelesaian skrispsi.

17. **Mutiara Ayu Annisa, Husna Abdul Hasib, Haziyah, Halimah, Afida Maulia Sabarini, Nabil Hafizah**, dan **Bilqis Khairul U** yang telah menyemangati dan menemani menghilangkan penat sehabis tugas akhir.
18. **Uli** dan **keluarga** atas bantuan dan pengertian selama menyelesaikan tugas akhir
19. Kakak tingkat Teknik Geofisika Angkatan 2012, 2011 dan 2009 yang telah berbagi ilmu dan pengalaman dalam proses menuju kompre.
20. Keluarga besar Teknik Geofisika Universitas Lampung serta almamater tercinta, Terimakasih banyak atas semuanya.

Dan Terima kasih banyak pihak lain yang berperan dalam membantu penulis menyelesaikan skripsi ini, Terimakasih Banyak.

Bandar Lampung, 20 Juli 2017

Mengetahui
Penulis

Khodijah Hanun
NPM. 1315051028

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRAK i

ABSTRACT ii

COVER DALAM iii

HALAMAN PERSETUJUAN iv

HALAMAN PENGESAHAN v

PERNYATAAN vi

RIWAYAT HIDUP vii

HALAMAN PERSEMBAHAN ix

MOTTO x

KATA PENGANTAR xi

SANWACANA xii

DAFTAR ISI xvi

DAFTAR GAMBAR xix

DAFTAR TABEL xxiii

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang 1
B. Tujuan Penelitian 2
C. Batasan Masalah 3

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Letak dan Lokasi Penelitian 4
B. Geologi Regional 5
   1. Fisiografi Regional 5
   2. Tektonik Regional 6
   3. Stratigrafi Regional 6
      a. Formasi Pamaluan 7
      b. Formasi Bebuluh 7
      c. Formasi Pulau Balang 7
      d. Formasi Balikpapan 7

e. Formasi Kampung Baru 8
f. Aluvium 8
C. *Petroleum System* 10
1. Batuan Induk 10
2. Batuan Reservoar 11
3. Perangkap 12
4. Batuan Penyekat 12
5. Migrasi 13
D. Penelitian Sebelumnya 13

III. TEORI DASAR

A. Definisi dan Konsep Tekanan 16
1. Tekanan Hidrostatik 17
2. Tekanan Pori 18
3. Tekanan Abnormal 18
4. Tekanan *Overburden* 18
5. Tekanan *Frecture* 19
6. Tekanan Efektif 20
B. Mekanisme Terbentuknya *Overpressure* 20
1. *Undercompaction/Compaction Disequilibrium* 20
2. *Fluid Expansion* 21
3. *Lateral Transfer* 21
4. *Tectonic Loading* 22
C. Deteksi *Overpressure* 22
1. MDT 22
2. Log Sonik 23
D. Kecepatan Bawah Permukaan 24
1. Log Sonik 24
2. *Checkshot* 25
3. Kecepatan Seismik 25
E. Metode Yan dan Han 27

IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat 29
B. Alat dan Bahan 30
C. Data Penelitian 30
1. Data Seismik 30
2. Data Sumur 30
3. Data *Picking* Horizon 31
D. Pengolahan dan Analisis Data 31
1. Pemodelan Kecepatan 32
2. Transformasi Kecepatan Ke Tekanan Efektif 32
3. Perhitungan Tekanan Pori 32
4. Penentuan Berat Lumpur 33
5. Analisis data 33
E. Diagram Alir 33

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Keberadaan *Overpressure* di Lapangan “V” 35
B. Pemodelan Kecepatan 52
C. Prediksi Tekanan Pori 58
    1. Perhitungan Tekanan *Overburden* 58
    2. Perhitungan Tekanan Efektif 59
    3. Perhitungan Tekanan Pori 60
D. Berat Lumpur 83

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan 86
B. Saran 87

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

1. Lokasi Cekungan Kutai 4

2. Fisografi Regional Cekungan Kutai 5

3. Kolom stratigrafi regional cekungan kutai 9

4. Model kecepatan seismik 14

5. Validasi perhitungan Metode Yan dan Han terhadap Metode Eaton, Bower dan MDT tekanan sumur 15

6. Profil tekanan pori terhadap kedalaman pada sedimen klastik 16

7. Ilustrasi hubungan rumus Terzaghi 19

8. Indikasi Zona *Overpressure* dari data wireline log sonik 24

9. Hasil uji laboratorium model Yan dan Han 27

10. Diagram Alir. 34

11. Grafik Tekanan Terhadap Kedalaman Hasil Pengukuran MDT Sumur 1 36

12. Grafik Tekanan Terhadap Kedalaman Hasil Pengukuran MDT Sumur 2 38

13. Grafik Tekanan Terhadap Kedalaman Hasil Pengukuran MDT Sumur 3 40

14. Grafik Tekanan Terhadap Kedalaman Hasil Pengukuran MDT Sumur 6 42

15. Grafik Log Sonik Vs. Kedalaman Sumur 1 44

16. Grafik Log Sonik Vs. Kedalaman Sumur 2 45

17. Grafik Log Sonik Vs. Kedalaman Sumur 3 46

18. Grafik Log Sonik Vs. Kedalaman Sumur 4 47

19. Grafik Log Sonik Vs. Kedalaman Sumur 5 48

20. Grafik Log Sonik Vs. Kedalaman Sumur 6 49

21. *Crossplot* Kecepatan Vs. Densitas Sumur 1 51

22. Respon *Crossplot* Kecapatan Vs. Densitas pada *Overpressure* 51

23. *Well seismic tie* Sumur 1 53

24. *Well seismic tie* Sumur 2 53

25. *Well seismic tie* Sumur 3 54

26. *Well seismic tie* Sumur 6 54

27. Input Inisial Model 55

28. Kecepatan Hasil Model *P Wave* 56

29. Kecepatan Hasil Inversi Seismik 56

30. Slice Kedalaman Kecepatan Inisial Model *P wave* 57

31. Slice Kedalaman Kecepatan Hasil Inversi Seismik 57

32. Tekanan *Overburden* 59

33. Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Model *P wave* Sumur 1 62

34. Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Hasil Inversi Sumur 1 63

35. Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Model *P wave* Sumur 2 64

36. Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Hasil Inversi Sumur 2 65

37. Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Model *P wave* Sumur 3 66

38. Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Hasil Inversi Sumur 3 67

39. Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Model *P wave* Sumur 4 68

40. Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Hasil Inversi Sumur 4 69

41. Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Model *P wave* Sumur 5 70

42. Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Hasil Inversi Sumur 5 71

43. Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Model *P wave* Sumur 6 72

44. Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Hasil Inversi Sumur 6 73
45. Korelasi Tekanan Pengukuran MDT dan Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Model *P wave* Sumur 1 75
46. Korelasi Tekanan Pengukuran MDT dan Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Hasil Inversi Sumur 1 75
47. Korelasi Tekanan Pengukuran MDT dan Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Model *P wave* Sumur 2 76
48. Korelasi Tekanan Pengukuran MDT dan Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Hasil Inversi Sumur 2 76
49. Korelasi Tekanan Pengukuran MDT dan Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Model *P Wave* Sumur 3 77
50. Korelasi Tekanan Pengukuran MDT dan Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Hasil Inversi Sumur 3 77
51. Korelasi Tekanan Pengukuran MDT dan Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Model *P Wave* Sumur 6 78
52. Korelasi Tekanan Pengukuran MDT dan Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Hasil Inversi Sumur 6 78
53. Penampang Nilai Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Model *P Wave*.....80
54. Penampang Nilai Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Hasil Inversi Seismik.....80
55. Sebaran Nilai Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Model *P Wave* 81
56. Sebaran Nilai Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Hasil Inversi Seismik...81
57. Sebaran Nilai Kecepatan Model *P wave* (A) dan Prediksi Tekanan Pori (B) pada Kedalaman 860 m 83

58. Sebaran Nilai Kecepatan Hasil Inversi Seismik (A) dan Prediksi Tekanan Pori (B) pada Kedalaman 860 m.....83
59. Persebaran Nilai Berat Lumpur dalam ppg pada Kedalaman 860 m dari Tekanan Pori Kecapatan Model *P wave* 84
60. Persebaran Nilai Berat Lumpur dalam ppg pada Kedalaman 860 m dari Tekanan Pori Kecapatan Hasil Inversi Seismik.....84

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

1. Tabel parameter fitting metode Yan dan Han Cekungan Kutai 14

2. Pelaksanaan Kegiatan Penelitian 29

3. Ketersediaan data sumur 31

4. Hasil Pengukuran MDT Sumur 1 35

5. Hasil Pengukuran MDT Sumur 2 37

6. Hasil Pengukuran MDT Sumur 3 39

7. Hasil Pengukuran MDT Sumur 6 41

8. *Parameter fitting* Yan dan Han pada Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Model *P Wave* 61

9. *Parameter fitting* Yan dan Han pada Prediksi Tekanan Pori dari Kecepatan Hasil Inversi Seismik.....61

10. Nilai Korelasi Tekanan Pengukuran MDT Vs. Prediksi Tekanan Pori Kecepatan Model *P wave* dan Kecepatan Hasil Inversi 79

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Overpressure merupakan tekanan abnormal dimana tekanan pori melebihi tekanan normal. *Overpressure* dapat menyebabkan *blow out*. Kondisi dimana fluida dalam batuan menyembur ke permukaan akibat peristiwa *kick* yaitu tekanan fluida atau tekanan pori mendorong lumpur dikarenakan tekanan lumpur yang menahan tekanan pori terlalu kecil. Sehingga, prediksi tekanan pori perlu dilakukan untuk penentuan berat tekanan lumpur agar tidak terjadi *blow out*.

Lapangan "V" merupakan lapangan tua minyak dan gas bumi yang terletak di Cekungan Kutai Kalimantan Timur, Indonesia dan aktif sejak 1897 sampai sekarang. Sebagian besar minyak dan gas bumi diproduksi di reservoar lapisan dangkal (kurang dari 600 m) dengan tipe lapisan reservoar batu pasir *fluvial deltaic* dari group Formasi Balikpapan (McClay, dkk., 2000). Hasil pengeboran dan studi daerah ini menunjukkan adanya zona *overpressure* pada interval batuan reservoar (Ramdhan, 2010). Sehingga, prediksi tekanan pori pada lapangan ini perlu dilakukan.

Pada tahun 2016, Susanto melakukan prediksi tekanan pori pada lapangan "V" menggunakan metode Yan dan Han (2012) dengan data utama seismik 3D, sehingga prediksi tekanan pori diperoleh dari kecepatan seismik. Susanto memperoleh kecepatan dari hasil *dense velocity analysis*, log *sonic*, penggabungan

kecepatan hasil *dense velocity analysis* dan log *sonic* menggunakan *polynomial fitting*, dan inversi seismik. Dan diketahui tiap input jenis kecepatan dapat memberikan prediksi tekanan pori yang akurat. Kemudian Susanto juga membandingkan metode prediksi tekanan pori Yan dan Han dengan metode Eaton (1975) dan Bower (1995) untuk melihat keakuratan metode Yan dan Han, sedangkan data MDT (*Modular formation dynamic tester*) tekanan sumur sebagai validasi perhitungan prediksi tekanan pori. Dan didapati bahwasannya metode Yan dan Han memiliki nilai prediksi tekanan pori yang valid dan lebih akurat dibanding metode Eaton dan Bower. Dalam industri minyak dan gas, prediksi tekanan pori yang akurat telah terbukti sangat penting baik untuk mengurangi bahaya pengeboran (*drilling hazard*) maupun untuk mengetahui kondisi geologi pada suatu area prospek.

Pada penelitian ini prediksi tekanan pori dilakukan untuk *drilling hazard* yaitu penentuan berat lumpur agar tidak terjadi *blow out*. Prediksi tekanan pori dilakukan menggunakan metode Yan dan Han dengan data utama seismik 3D PSDM dan data log. Dan prediksi tekanan pori diperoleh dari hasil kedua data yaitu kecepatan seismik inisial model dan inversi seismik.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan kecepatan seismik untuk prediksi tekanan pori
2. Menentukan tekanan efektif menggunakan Persamaan Yan dan Han
3. Menentukan prediksi tekanan pori
4. Menentukan sebaran tekanan pori pada daerah penelitian lapangan “V”

5. Menetukan berat lumpur (*mud weight*) yang akan digunakan

C. Batasan Masalah Penelitian

Adapun cakupan ruang lingkup Tugas Akhir ini dibatasi sampai mendapatkan sebaran nilai prediksi tekanan pori daerah penelitian secara 2D dan menghitung *mud weight* yang akan digunakan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Letak dan Lokasi Penelitian

Gambar 1. Lokasi Cekungan Kutai (*Google Earth*)

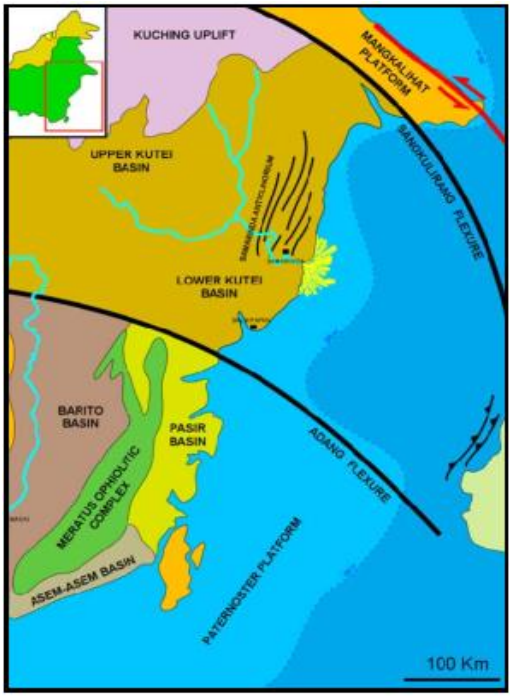
Lokasi penelitian merupakan Lapangan "V" pada Cekungan Kutai. Secara geografis, cekungan Kutai terletak di bagian timur Pulau Kalimantan pada koordinat 103^{o} LU-2^{o} LS, dan 113^{o}-118^{o} BT. Secara administratif berada di Kabupaten Kutai Kartanegara dan Kotamadya Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur. Sedangkan secara sosio-morfologis lokasi penelitian merupakan area: bukit terjal, hutan, rawa, sungai (Sungai Sanga-Sanga, anak Sungai Mahakam), area pemukiman serta area pertambangan batubara.

B. Geologi Regional

Kondisi geologi pada daerah penelitian berdasarkan fisiografi regional, tektonik regional, dan stratigrafi regional adalah sebagai berikut di bawah ini.

1. Fisiografi Regonal

Cekungan Kutai memiliki luas ±60.000 km^2 di daerah provinsi Kalimantan Timur, merupakan cekungan terdalam di Indonesia dan terdiri atas sedimen tersier yang berkembang hingga mencapai 14 km. Cekungan Kutai berbatasan dengan Tinggian Mangkalihat, Zona Sesar Bengalon, dan Sangkulirang di sebelah utara. Di sebelah selatan berbatasan dengan Zona Sesar Adang, di sebelah barat berbatasan dengan Central Kalimantan Range yang dikenal sebagai Kompleks Orogenesa Kuching yang merupakan metasedimen kapur yang telah terangkat dan telah terdeformasi, dan berbatasan dengan Selat Makassar di bagian timur (Sjahbunan, 2008).



Gambar 2. Fisiografi Regional Cekungan Kutai (Peterson, dkk., 1997 dalam Sjahbunan, 2008**).**

2. Tektonik Regional

Struktur tektonik Cekungan Kutai berarah timur laut-barat daya (NE-SW) yang dibentuk oleh Antiklinorium Samarinda..

Terdapat beberapa teori yang dikemukaan oleh para ahli mengenai terbentuknya struktur pada Cekungan Kutai. Seperti *Vertical diaprism, gravitational gliding* oleh Rose dan Hartono, 1978; *Inversion trough regional wrenching* oleh Biantoro dkk., 1992; *Micro-continental collision, detachment folding above overpressured sediments* oleh Chambers dan Daley, 1992; *differential loading on deltaic sedimen and inverted delta growth fault system* oleh Ferguson dan McClay, 1997.

Pada Eosen Akhir, sejumlah *half graben* terbentuk sebagai respon dari terjadinya fasa ekstensi regional. Fasa ini terlihat juga di tempat lain, yaitu berupa pembentukan laut dan Selat Makassar. *Half graben* ini terisi dengan cepat oleh endapan *syn-rift* pada Eosen Tengah-Eosen Akhir dengan variasi dari beberapa fasies litologi.

Tektonik inversi terjadi pada Miosen Awal, menyebabkan pengangkatan pada pusat cekungan yang terbentuk selama Eosen dan Oligosen, sehingga cekungan mengalami pendangkalan. Inversi berlanjut dan mempengaruhi cekungan selama Miosen Tengah dan Pliosen. Inversi tersebut mempengaruhi daerah yang terletak di bagian timur Cekungan Kutai, sehingga mempercepat proses progadasi delta (Sjahbunan, 2008).

3. Stratigrafi Regional

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Samarinda (Supriatna dkk., 1995), stratigrafi Cekungan Kutai dibagi menjadi (dari tua ke muda): Formasi

Pamaluan, Formasi Bebuluh, Formasi Pulau Balang, Formasi Balikpapan, Formasi Kampung Baru (**Gambar 3**).

a. Formasi Pamaluan

Batupasir kuarsa dengan sisipan Batulempung, Serpih, Batugamping dan Batulanau, berlapis sangat baik. Batupasir Kuarsa merupakan batuan utama, kelabu kehitaman-kecoklatan, berbutir halus-sedang, terpilah baik, butiran membulat-membulat tanggung, padat, karbonan dan gampingan. Tebal Formasi kurang lebih 2000 m.

b. Formasi Bebuluh

Batugamping terumbu dengan Sisipan Batugamping Pasiran dan Serpih. Batugamping berwarna kelabu, padat, mengandung foraminifera besar, bebutir sedang. Setempat batugamping menghablur, terkekar tak beraturan. Serpih, kelabu kecoklatan berselingan dengan batupasir halus kelabu tua kehitaman. Tebal formasi sekitar 300 m diendapkan selaras di bawah Formasi Pulau Balang.

c. Formasi Pulau Balang

Perselingan Batupasir *Greywacke* dan Batupasir Kuarsa Sisipan Batugamping, Batulempung, Batubara dan Tuf Dasit.

d. Formasi Balikpapan

Perselingan Batupasir dan Batulempung Sisipan Batulanau Serpih, Batugamping dan Batubara. Batulempung, kelabu kehitaman, setempat mengandung sisa tumbuhan, oksida besi yang mengisi rekahanrekahan, setempat mengandung lensa batupasir gampingan. Batulanau Gampingan, berlapis tipis, serpih kecoklatan, berlapis tipis. Batugamping Pasiran,

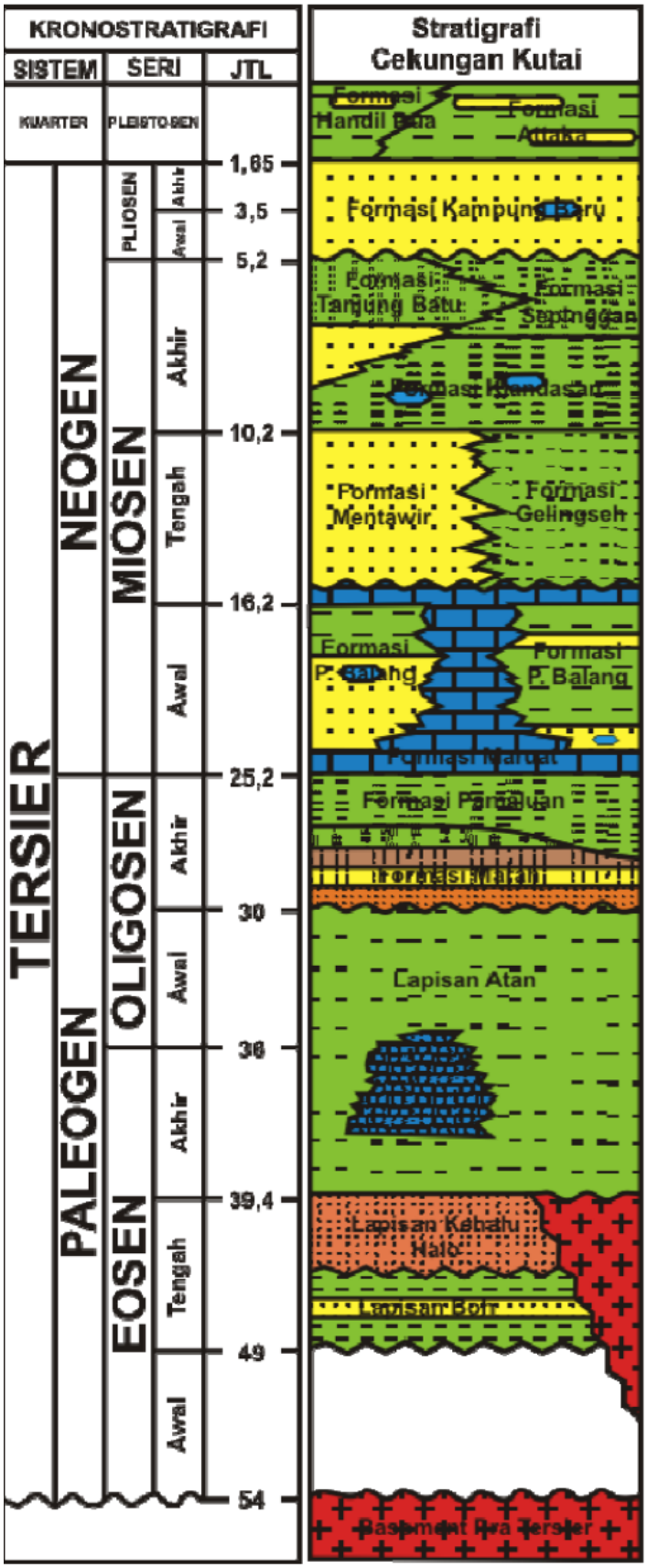
mengandung foraminifera besar, moluska, menunjukkan umur Miosen Akhir bagian bawah-Miosen Tengah bagian atas, tebal formasi 1000-1500 m.

e. Formasi Kampung Baru

Batupasir Kuarsa dengan Sisipan Batulempung, Serpih, Batulanau dan Lignit, pada umumnya lunak, mudah hancur. Batupasir kuarsa, putih setempat kemerahan atau kekuningan, tidak berlapis, mudah hancur, setempat mengandung lapisan tipis uksida besi atau kongkresi, tufan atau lanauan, dan sisipan batupasir konglomeratan atau konglomerat dengan komponen kuarsa, kalsedon, serpih merah dan lempung, diameter 0,5-1 cm, mudah lepas. Batulempung, kelabu kehitaman mengandung sisa tumbuhan, kepingan batubara, koral. Batulanau, kelabu tua, menyerpih, laminasi. Lignit, tebal 1-2 m. diduga berumur Miosen Akhir-Plioplistosen, lingkungan pengendapan delta-laut dangkal, tebal lebih dari 500 m. formasi ini menindih selaras dan setempat tidak selaras terhadap Formasi Balikpapan.

f. Aluvium

Kerikil, pasir dan lumpur diendapkan pada lingukan sungai, rawa, delta, dan pantai (Sjahbunan, 2008).



Gambar 3. Kolom Stratigrafi Regional Cekungan Kutai (Satyana, dkk., 1995).

C. *Petroleum System*

Sistem Petroleum di Cekungan Kutai ini didokumentasikan dengan baik oleh Duval, dkk (1992). Dalam publikasinya, batuan induk di Cekungan Kutai merupakan batubara yang telah matang dan batu serpih yang kaya akan bahan organik di daerah *kitchen*, yang dibatasi oleh nilai Ro 0,6% di bagian atas dan zona bertekanan tinggi (*overpressured zone*) di bagian bawahnya.

1. Batuan Induk

Analisis batuan induk yang dilakukan oleh Oudin dan Picard (1982) serta Burus dkk (1992) di daerah Mahakam menyimpulkan bahwa batuan induk yang membentuk hidrokarbon di daerah itu berjenis ”*humic*”. Serpih yang berasosiasi dengan Batubara yang terendapkan diantara endapan paparan pantai yang merupakan anggota dari formasi Balikpapan dan Kampung Baru, kaya akan kandungan bahan organik. Analisis hidrokarbon di Cekungan Kutai menunjukan bahwa minyak yang berasal dari batuan induk ini mencapai tingkat kematangan sedang-akhir.

Kandungan TOC pada batuan induk ini bervariasi dan dipengaruhi oleh struktur dan elemen sikuen (Burrus, dkk.,1992). Di bagian dasar dari sikuen dengan jenis endapan laut dan pro delta, Nilai TOC rata-rata nya adalah 1%. Batupasir endapan delta anggota batuan induk tidak memiliki kerogen, dan serpih yang berseling dengan batupasir ini memiliki TOC 2,5-8%. Pada bagian atas dari sikuen ini lapisan batubara dengan ketebalan 0,1-5 meter memiliki TOC diatas 80%.

2. Batuan Reservoar

Batuan reservoar utama yang berumur Miosen Akhir-Pliosen pada umunya merupakan batupasir yang berasal dari endapan paparan delta, *delta front*, *prodelta/marine*, dan fasies *prograding lowstand.*

Pada arah struktur Badak-Nilam-Handil, objektif reservoarnya merupakan endapan *bar* dan endapan sungai yang berumur Miosen Tengah-Akhir. Reservoar ini merupakan anggota dari Grup Balikpapan dan juga Formasi Kampung Baru (Miosen Akhir-Pliosen). Pada formasi Kampung Baru, batupasirnya merupakan endapan *delta front* dengan porositas rata-rata 25-30% dan permeabilitas rata-rata 2-300 md.

Pada tren struktur Attaka-Tunu-Bakapai, reservoar utamanya berumur Miosen Akhir-Pliosen dari formasi Kampung Baru. Fasies batupasir dari reservoar ini bervariasi, dari endapan *upper tidal delta* hingga *marine delta front*. Pada bagian bawah dari lapisan reservoar ini, fasies *pro delta* hadir dengan kualitas batupasir yang buruk.

Pada tren struktur Sisi-Nubi-Dian, fasies *prograding lowstand* dari perlapisan batupasir yang berumur Miosen Akhir-Pliosen dari Formasi Kampung Baru dan batuan karbonat berumur Pliosen menjadi reservoar yang paling potensial. Batuan reservoar utama penghasil hidrokarbon berupa batupasir endapan delta yang berumur Miosen Awal–Miosen Tengah dari Formasi Pamaluan, Pulau Balang, dan Balikpapan dengan porositas berkisar 15%-30%.

Di daerah Tanjung, batuan sedimen dari Formasi Tanjung bagian bawah menjadi batuan reservoar dengan kualitas baik-sangat baik. Di daerah

Mamahak, batuan reservoar merupakan batupasir dan konglomerat dari Formasi Kehamhaloq. Di daerah Teweh, batuan reservoarnya merupakan batuan karbonat Oligosen yang terisolasi.

3. Perangkap

Perangkap yang paling berperan dalam akumulasi hidrokarbon di Cekungan Kutai merupakan perangkap struktural dengan tipe *closure* empat arah, seperti yang ditemukan di Lapangan Badak, Handil, Bekapai, dan Attaka. Selain itu, perangkap stratigrafi pula menjadi perangkap yang paling penting pada saat ini, namun lebih sulit diidentifikasi keberadaannya bila dibandingkan dengan perangkap struktur. Kombinasi dari perangkap struktur dan stratigrafi lebih umum ditemukan pada lapangan-lapangan di Cekungan Kutai. Perangkap hidrodinamik juga berperan dalam akumulasi hidrokarbon di Cekungan Kutai.

Perangkap hidrokarbon yang berkembang berupa perangkap struktur berupa perangkap lipatan dan perangkap sesar inversi, maupun kombinasi antara lipatan dan sesar naik, disamping itu beberapa perangkap stratigrafi umum dijumpai pada kawasan ini berupa pembajian dari lensa-lensa batupasir.

4. Batuan Penyekat

Batuan tudung yang berkembang di kawasan Cekungan Kutai berasal dari serpih. Grup Balikpapan dan Formasi Kampung Baru memiliki serpih yang sangat potensial sebagai batuan tudung. Serpih ini berinterkalasi dengan batupasir yang membentuk cebakan hidrokarbon. Patahan juga berperan

sebagai tudung yang sangat efektif pada lapangan minyak dan gas di Cekungan Kutai.

5. Migrasi

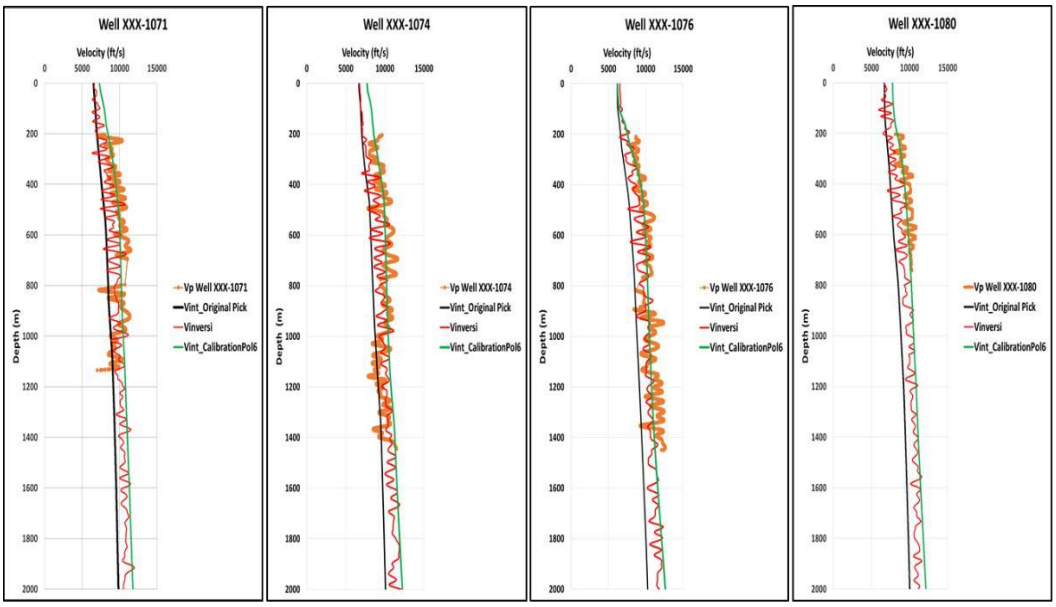
Migrasi primer yang merupakan ekspulsi dari hidrokarbon dari batuan induk yang telah matang dapat diperhitungkan dari beberapa metoda pendekatan, seperti indeks plot silang kematangan–produksi dan pemodelan kinetik. Dengan menggunakan plot silang Ro-OPI, secara semu dapat terlihat bahwa hidrokarbon terekspulsi pada Ro=0.7%. Pada Ro 1.2%, semua cairan dari hidrokarbon akan terkonversi menjadi gas dan memicu migrasi sekunder.

Migrasi sekunder dari batuan induk menuju reservoar kebanyakan dipengaruhi oleh strukturisasi yang intensif pada area tersebut. Mekanisme yang dominan yakni migrasi vertikal sepanjang sistem patahan. Pada beberapa area, ditemukan migrasi lateral. Rembesan minyak dan gas ditemukan sepanjang Zona Patahan Saka Kanan-Loa Haur-Separi.

D. Penelitian Sebelumnya

Penelitian prediksi tekanan pori menggunakan metode Yan dan Han di Indonesia telah dilakukan oleh Susanto (2016) di Cekungan Kutai. Susanto melakukan prediksi tekanan pori yang diperoleh dari kecepatan seismik. Karena adanya perbedaan antara kecenderungan nilai kecepatan seismik dengan nilai kecepatan data sumur, dilakukan kalibrasi data kecepatan seismik ke data kecepatan sumur. Kalibrasi yang dilakukan dengan menggunakan *polinomial fitting* dan inversi seismik untuk mendapatkan data kecepatan berfrekuensi tinggi.

Sehingga, kecepatan yang digunakan adalah kecepatan hasil hasil *dense velocity analysis* (analisis kecepatan seismik rapat), kalibrasi log sonik dan *dense velocity analysis*, dan kecepatan dari seismik inversi (**Gambar 4**).



Gambar 4. Model kecepatan seismik (Susanto, 2016).

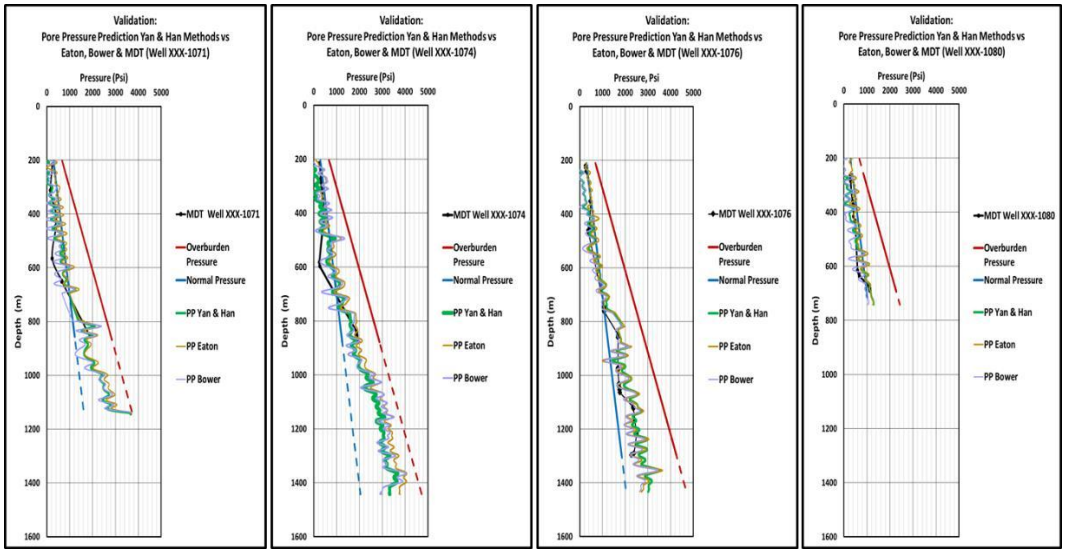
Pada metode Yan dan Han terdapat beberapa parameter *fitting*. Tabel 1 merupakan parameter *fitting* metode Yan dan Han yang didapat dari penelitian Susanto (2016).

Tabel 1. Tabel parameter fitting metode Yan dan Han Cekungan Kutai (Susanto, 2016).

Parameter *Fitting* Metode Yan & Han	**Sumur**					
	XXX-1071	**XXX-1074**	**XXX-1076**	**XXX-1080**	**XXX-1082**	**Rata2**
Vpa	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
B	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75
C	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85

Nilai yang konsisten Vpa, b, dan c pada tiap sumur sangat erat kaitannya dengan keadaan geologi di area penelitian yang berada di lingkungan pengendapan *fluvial-deltaic* yang berasosiasi dengan rendahnya aktifitas tektonik cekungan Kutai Kalimantan Timur.

Kemudian hasil prediksi tekanan pori menggunakan Yan dan Han dibandingkan dengan metode Eaton dan metode Bower dengan data MDT (*Modular formation dynamic tester*) tekanan sumur digunakan sebagai data validasi perhitungan prediksi tekanan pori.



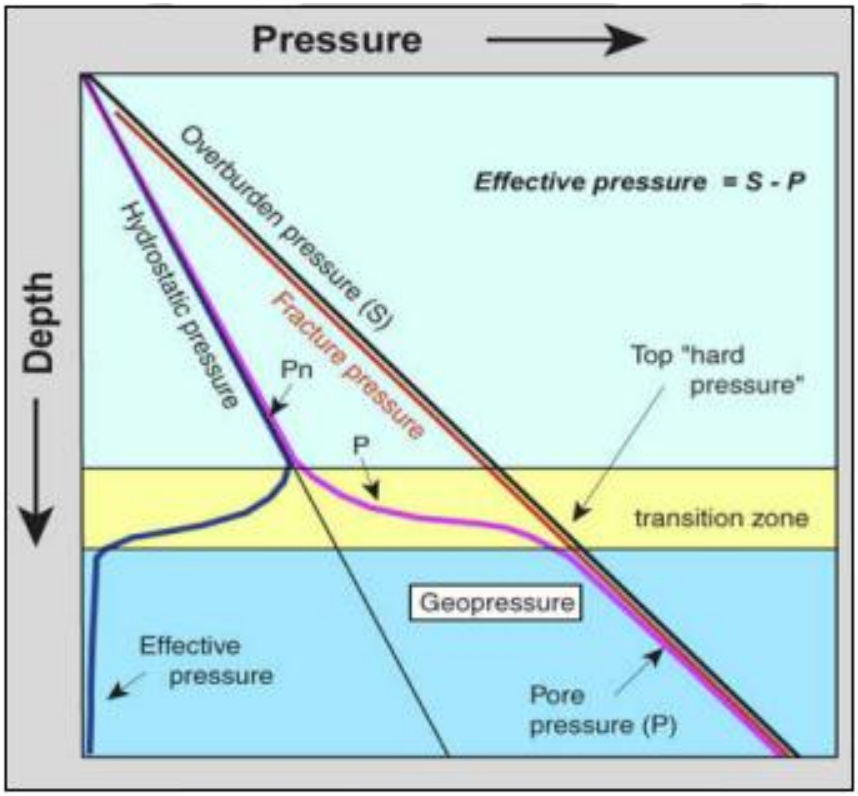
Gambar 5. Validasi perhitungan Metode Yan dan Han terhadap Metode Eaton, Bower dan MDT tekanan sumur (Susanto, 2016).

Pada **Gambar 5** terlihat bahwasannya metode Yan dan Han memberikan prediksi tekanan pori yang akurat.

III. TEORI DASAR

A. Definisi dan Konsep Tekanan Bawah Permukaan

Terdapat beberapa tekanan bawah permukaan yang sangat penting untuk diketahui sebelum melakukan kegiatan yang berkaitan dengan tekanan pori. Dutta (2002) menjelaskan beberapa tekanan yang saling berkaitan pada area *subsurface* (**Gambar 6**). Tekanan-tekanan tersebut adalah tekanan pori atau *pore pressure*, tekanan normal atau tekanan hidrostatik, tekanan *overburden*, tekanan *fracture*, tekanan efektif, dan tekanan abnormal.



Gambar 6. Profil Tekanan Pori Terhadap Kedalaman pada Sedimen Klastik (Dutta, 2002).

Pada tekanan, satuan yang digunakan pada sistem SI (Sistem Internasional) merupakan Pascal (Pa), dan dalam sistem Inggris, *pounds per square inch* (Psi) dimana 1 Pa = 1,45 x 10^{-4} Psi. Dalam pengeboran, satuan yang digunakan adalah *pound per gallon* (ppg) dimana satuan ini dapat diturunkan dari Psi dengan menggunakan persamaan berikut:

Psi = ppg x 0,052 x kedalaman (dalam ft) (1)

1. Tekanan Hidrostatik

Tekanan hidrostatik (Ph) adalah tekanan yang diakibatkan oleh berat dari kolom fluida. Tekanan hidrostatik dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P = g\,\rho_f\,z \quad (2)$$

Dimana z adalah kedalaman kolom fluida, ρ_f adalah densitas fluida, dan g adalah percepatan gravitasi. Densitas fluida sangat bergantung pada jenis fluidanya tidak bergantung pada bentuk dan ukuran fluidanya (Adi dan Direzza, 2010). Pada umumnya, densitas fluida yang digunakan untuk tekanan hidrostatik adalah densitas *fresh water* yaitu 1.000 kg/m^3.

Secara umum tekanan akan bertambah dengan bertambahnya kedalam kolom suatu fluida, namun gradien tekanan hidrostatik tidak akan dipengaruhi oleh kedalaman selama tidak ada perubahan densitas di suatu kedalaman (Yanto, 2011). Gradien tekanan fomasi biasanya ditulis dalam Psi/ft. Dimana gradien tekanan hidrostatik *fresh water* bernilai 0,433 Psi/ft dan gradien air asin 0,45 Psi/ft sampai 0,465 Psi/ft (Ramdhan, 2010).

2. Tekanan Pori

Tekanan pori (p) merupakan tekanan fluida dalam ruang pori batuan. Tekanan pori di dalam fluida diberikan oleh tekanan hidrostatik. Sedimen dengan tekanan pori yang sama dengan tekanan hidrostatik disebut dalam keadaan tekanan normal atau *normal pressure* (Berry dan Utama, 2009).

Tekanan pori memiliki hubungan dengan tekanan efektif dan tekanan *overburden*. Dimana tekanan pori merupakan tekanan *overburden* dikurang tekanan efektif (Terzaghi, 1943). Ditulisakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$p = \mathrm{S} - \sigma \qquad (3)$$

p = tekanan pori, S = tekanan *overburden*, σ = tekanan efektif.

3. Tekanan *Abnormal*

Tekanan formasi *abnormal* didefinisikan sebagai tekanan pori yang menyimpang dari gradien tekanan normal. Tekanan pori yang melampaui tekanan hidrostatik disebut dengan *overpressure.* Sedangkan tekanan pori yang memiliki nilai lebih rendah dari tekanan hidrostatik disebut dengan *underpressure*. Pada umumnya *underpressure* tidak banyak menimbulkan masalah pengeboran jika dibandingkan dengan *overpressure* (Yanto, 2011).

4. Tekanan *Overburden*

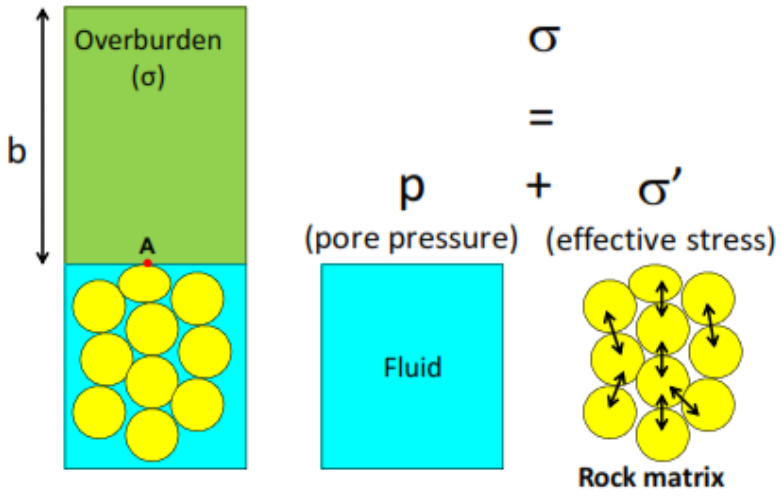
Tekanan *overburden* (S) merupakan tekanan pada setiap titik kedalaman dihasilkan dari berat matrix batuan dan cairan dalam ruang pori. Sehingga, tekanan overburden dan tekanan pori memiliki hubungan (Terzaghi) seperti yang terlihat pada **Gambar 7.** Tekanan *overburden* ini tergantung pada

kedalaman dan meningkat pada penambahan kedalaman. Pada beberapa literatur, tekanan *overburden* juga sering disebut sebagai tekanan geostatik atau tekanan litostatik. Tekanan *overburden* dirumuskan sebagai berikut:

$$S = g \int_0^z \rho_b(z)dz \qquad (4)$$

Dimana ρ_b adalah densitas batuan sebagai fungsi kedalaman.

Menurut Dutta (2002), terdapat beberapa metode perhitungan tekanan overburden. Namun pada umumnya, densitas yang digunakan adalah densitas rata-rata batuan sedimen yaitu 2.300 kg/m3 dengan gradien tekanan *overburden* bernilai 1 Psi/ft (Ramdhan, 2010).



Gambar 7. Ilustrasi Hubungan Rumus Terzaghi (Ramdhan, 2010).

Tekanan pori tidak mencapai tekanan *overburden*. Jika tekanan pori mendekati tekanan *overburden*, rekahan *fracture* dalam batuan akan terbuka dan melepaskan fluida dan tekanan (Adi dan Direzza, 2010).

5. Tekanan *Fracture*

Tekanan *fracture* (tekanan rekah) atau *fracture pressure* merupakan total dari tekanan yang dapat ditahan oleh formasi sebelum suatu formasi tersebut rusak atau hancur. *Fracture pressure* memiliki nilai lebih kecil dari

tekanan *overburden* dan lebih besar dari tekanan pori (Yanto, 2011). Tekanan rekah ditentukan dengan LOT (*Leak Off Test*).

6. Tekanan Efektif

Tekanan efektif atau *differential pressure* atau *effective stress* (σ) merupakan tekanan yang bekerja pada batuan formasi yang menurut Terzaghi (1943) didefinisikan sebagai tekanan *overburden* dikurang tekanan pori batuan (Persamaan 3). Tekanan ini merupakan tekanan yang berperan dalam mengontrol proses pemadatan batuan sedimen. Secara fisik, tekanan efektif ini dihasilkan akibat kontak antar butir seperti yang terlihat pada ilustrasi **Gambar 7**. Ketika tekanan pori normal, tekanan efektif meningkat dengan kedalaman (Ramdhan, 2010).

B. Mekanisme Terbentuknya *Overpressure*

Penyebab terjadinya *overpressure* dapat dibagi menjadi empat kategori, yaitu *Undercompaction/Compaction Disequilibrium*, *Fluid Expansion*, *Lateral Transfer*, dan *Tectonic Loading* (Bowers, 2002).

Undercompaction tidak dapat menghasilkan *overpressure* yang tinggi atau ekstrim, berbeda dengan ketiga kategori yang lain. Kondisi yang menyebabkan terjadinya tekanan normal/hidrostatik dan keempat tipe *overpressure* tersebut dijelaskan sebagai berikut di bawah ini.

1. *Undercompaction/Compaction Disequilibrium*

Overpressure umumnya terjadi ketika permeabilitas yang rendah menghalangi fluida pada pori batuan untuk terlepas pada saat kompaksi batuan

berlangsung. Akibatnya, timbul tekanan berlebih pada pori batuan dan fluida terperangkap di dalam pori tersebut. Proses inilah yang disebut *undercompaction* atau *compaction disequilibrium*. Timbulnya *undercompaction* umum terjadi pada zona transisi dari lingkungan yang dominan batupasir ke lingkungan dominan *shale.*

2. *Fluid Expansion*

Overpressure dapat terbentuk di dalam pori batuan akibat mekanisme ekspansi fluida, seperti: pemanasan, pembentukan hidrokarbon dan ekspansi air akibat diagenesis lempung (misalnya, diagenesis dari *Smectite* menjadi *Illite*)(Bowers, 1995).

Overpressure yang terbentuk ini disebabkan oleh adanya penambahan volume fluida pada volume pori batuan yang sama. Pada batuan dengan permeabilitas kecil, misalnya *shale*, proses ekspansi fluida ini dapat menyebabkan terjadinnya *overpressure* yang tinggi, terlebih bila berlansung juga proses *undercompaction*. Selain itu, ekspansi fluida juga dapat menyebabkan tekanan efektif berkurang (*unloading*) ketika pengendapan terus berlangsung. Sebagian praktisi menghubungkan terjadinya fenomena *unloading* akibat proses erosi.

3. *Lateral Transfer*

Proses ini terjadi karena adanya komunikasi dari zona *overpressure* ke zona *non-overpressure*. Komunikasi tersebut dapat terjadi karena adanya sesar atau adanya komunikasi zona batupasir ke *shale*.

4. *Tectonic Loading*

Pori batuan yang terperangkap oleh tektonik aktif dapat menyebabkan timbulnya *overpressure* seperti pada proses *undercompaction*. Tetapi, proses ini dapat menyebabkan *overpressure* yang ekstrim, tidak seperti *undercompaction*. Hal ini berarti *tectonic loading* dapat menyebabkan tekanan efektif berkurang, tetapi pada area tektonik aktif, kompaksi tidak hanya disebabkan oleh tekanan efektif vertikal saja, tetapi dapat dari berbagai arah tergantung proses tektonik yang berlangsung (Ramadian, 2010).

C. Pendeteksian *Overpressure*

Pendeteksian tekanan data terbagi menjadi 2, yaitu pendeteksian tekanan secara langsung maupun tidak langsung. Pengukuran secara langsung diantaranya *wireline fomation tester* seperti data RFT (*Repeat Formation Tester*) atau MDT (*The Modular Dynamic Tester*). Sedangkan pengukuran tekanan secara tidak langsung dimaksudkan untuk melengkapi pengukuran tekanan secara langsung mengingat pengukuran secara langsung hanya di kedalaman tertentu saja. Sehingga, untuk menunjang penentuan tekanan pori, perlu dilakukan pengukuran secara tidak langsung dengan memanfaatkan data-data seperti *Measurement While Drilling* (log GR, Resistivitas, dll), *Gas While Drilling* (GWD), serta penerapan teori lainnya yang berhubungan dengan tekanan khususnya tekanan pori.

1. MDT

Wireline formation tester merupakan salah satu pengukuran tekanan secara langsung yaitu tekanan terhadap kedalaman. Terdapat beberapa jenis pengukuran *wireline formation tester*, Yaitu MDT dan RFT (Swarbick pada

Ramdhan, 2010). Data MDT merupakan data pengukuran secara langsung tekanan di lokasi sumur, sehingga akurat jika digunakan sebagai validasi dalam perhitungan prediksi tekanan pori.

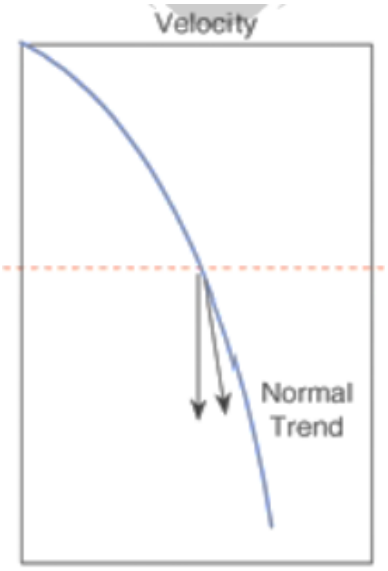
MDT menyajikan pengukuran tekanan yang cepat dan akurat dan sampling fluida dengan kualitas yang sangat baik. Dalam satu kali pengukuran, MDT dapat mengukur semua data yang dibutuhkan untuk membuat keputusan sementara yang akurat (Sclumberger, 1958).

Tekanan yang terukur pada MDT merupakan tekanan pada reservoar. Sehingga, dapat diketahui gradien fluida pada reservoar, kontak fluida (OWC, OGC, dan GOC), dan sebagainya (Wood, 2012).

2. Log Sonik

Selama proses penimbunan pada kondisi tekanan normal, tekanan efektif juga akan meningkat terhadap kedalaman. Kondisi ini jika diplot terhadap kedalaman, maka akan terbentuk suatu *trend* yang disebut *trend* normal. Deteksi *overpressure* dapat diketahui dari plot tersebut. Jika terjadi penyimpangan dari kurva *trend* normal tersebut, maka bisa diindikasi sebagai pengaruh *overpressure.*

Trend normal tersebut juga ditunjukkan oleh data-data *wireline log* seperti log sonik. Awal dari zona *overpressure* umumnya terjadi ketika ketika log tersebut mulai menyimpang dari trend normalnya, yang berbanding lurus terhadap kompaksi batuan seperti pada **Gambar 8** (Ramadian, 2010).



Gambar 8. Indikasi Zona *Overpressure* dari data *wireline* log sonik (Ramadian, 2010).

E. Kecepatan Bawah Permukaan

1. Log Sonik

Log sonik merupakan *wireline log* yang menggambarkan waktu kecepatan suara yang dikirimkan/dipancarkan ke dalam formasi, sehingga pantulan suara yang kembali diterima oleh *receiver*. Waktu yang diperlukan gelombang suara untuk sampai ke *receiver* disebut "*interval transit time*" atau Δt yang merupakan waktu yang dibutuhkan oleh gelombang suara untuk merambat didalam batuan formasi sejauh satu *feet*. Besar atau kecilnya Δt yang melalui suatu formasi tergantung dari jenis batuan, sifat elastisitas batuan, kandungan fluida, porositas dan tekanan formasi. Secara kuantitatif, log *sonik* dapat digunakan untuk mengevaluasi porositas dalam lubang yang terisi fluida, dalam interpretasi seismik dapat digunakan untuk menentukan *interval velocities* dan *velocity profile* selain itu juga dapat dikalibrasi dengan penampang seismik. Secara kualitatif dapat digunakan untuk mendeterminasi

variasi tekstur dari lapisan *sand-shale*. Log ini juga dapat digunakan untuk identifikasi litologi, mungkin juga dalam penentuan batuan induk, kompaksi nornal, *overpressure*, dan dalam beberapa kasus dapat digunakan untuk identifikasi rekahan (*fractures*) (Rider, 1996).

2. Checkshot

Checkshot adalah *shot* (tembakan) yang bertujuan untuk mengoreksi dan mengontrol hasil survei kecepatan *continue (well velocity survei)* atau log *sonik* dalam menentukan waktu refrensi atau koreksi waktu tiba. Metode ini menentukan kecepatan rata-rata sebagai fungsi kedalaman dengan menempatkan *geophone* ke dalam lubang sumur, sedangkan sumber seismiknya diletakkan di permukaan dekat mulut sumur. Hal ini akan memberikan waktu rambat yang terbaik untuk kontrol waktu di dalam pembuatan seismogram sintetik. Semakin dalam batas lapisan, maka waktu tempuhnya akan semakin lama.

3. Kecepatan Seismik

Penentuan tekanan pori dapat menggunakan kecepatan yang diperoleh dari seismik (Chopra dkk., 2006). Pada penelitian ini kecepatan seismik yang digunakan didapat dari inisial model dan inversi seismik.

Inisial model merupakan model awal yang dijadikan sebagai dasar untuk pembuatan inversi. Model inisial dibuat dari data log dan data seismik. Data log yang digunakan adalah data log impedansi akustik. Log impedansi akustik didapat dari perkalian log p *wave* dengan log densitas. Atau ditulisakan sebagai berikut:

$$IA = \rho\, v \quad (5)$$

Dengan IA adalah impedansi akustik, ρ adalah densitas, dan v adalah kecepatan. Kemudian nilai log impedansi sumur akan diekstrapolasi secara lateral ke volume seismik (Wahyuni, 2017). Impedansi akustik adalah sifat batuan yang dipengaruhi oleh jenis litologi, porositas, kandungan fluida, kedalaman, tekanan dan temperatur (Sanjaya, dkk., 2014).

Inisial model sangat diperlukan untuk membuat suatu inversi karena merupakan pengontrol suatu hasil inversi (Simanjuntak, dkk., 2014). Output yang digunakan dari data inisial model ini adalah kecepatan dari model *p wave*.

Seismik inversi merupakan suatu metode untuk membuat model bawah permukaan dengan menggunakan data seismik sebagai data masukan dan data log sebagai data kontrol. Metode inversi dapat dianggap sebagai kebalikan dari metode pemodelan ke depan dimana dihasilkan penampang seismik sintetik berdasarkan model bumi (Danusaputro, 2010).

Prinsip metode inversi *model based* adalah membuat model geologi dan membandingkannya dengan data rill seismik. Metode inversi berbasis model dapat mengembalikan frekuensi rendah dan tinggi yang hilang dengan cara mengkorelasikan data seismik dengan respon seismik dari model geologi (Simanjuntak, dkk., 2014).

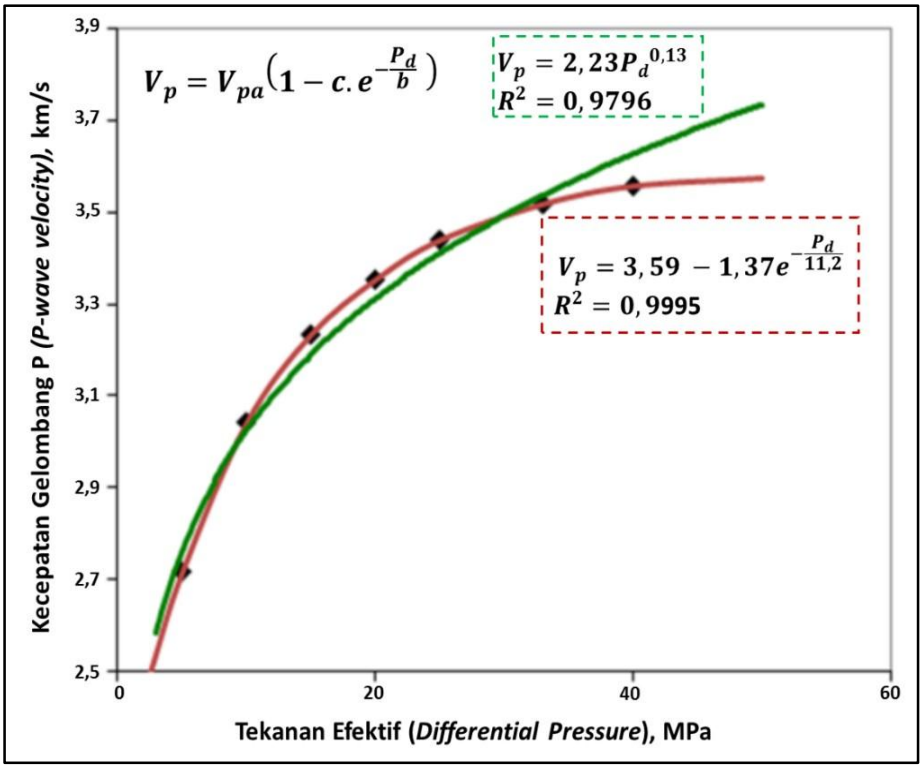
Seismik inversi juga sering diartikan sebagai transformasi data *post-stack* atau *pre-stack* ke impedansi akustik. Untuk prediksi tekanan pori, inversi dapat diterapkan untuk menyaring kecepatan di atas analisis kecepatan residual (Chopra dkk., 2006). Dimana kecepatan residual merupakan

kecepatan dalam frekuensi rendah sedangkan kecepatan dari inversi seismik menghasilkan kecepatan dengan frekuensi tinggi (Susanto, 2016).

F. Metode Yan dan Han

Metode Yan dan Han merupakan metode transformasi kecepatan menjadi tekanan efektif. Model baru yang dibuat oleh Yan dan Han pada tahun 2012 ini berdasarkan pengukuran di laboratorium.

Dalam memprediksi tekanan pori, model baru tersebut menggunakan persamaan eksponensial (*exponential equation*), sehingga menurut Yan dan Han model baru tersebut memiliki potensi menghasilkan prediksi tekanan pori yang lebih baik dari persamaan pangkat (*power equation)* seperti halnya persamaan pangkat dari metode Eaton.



Gambar 9. Hasil Uji Laboratorium Model Yan dan Han (2012).

Dari grafik (**Gambar 9**) terlihat model persamaan Yan dan Han (grafik berwarna merah lebih akurat memprediksi data dengan nilai korelasi R^2 = 0.9995 jika dibandingkan dengan persamaan pangkat (seperti halnya persamaan Eaton, kurva berwarna hijau) yang memiliki nilai R^2 = 0.9796.

Perumusan model Yan dan Han adalah sebagai berikut:

$$V_p = V_{pa}(1 - c.e^{-\frac{Pd}{b}}) \quad (6)$$

dengan:

Vp = kecepatan gelombang P

Pd = *differential pressure* (tekanan efektif)

Vpa, b, c = parameter fitting metode Yan dan Han (pada penelitian Yan dan Han (2012), nilai Vpa = 3,59; b = 11,2; c = 0,38)

Metode Yan dan Han dapat diterapkan secara tepat tergantung berdasarkan jenis batuan dan penyebab tekanan abnormal. Metode ini juga tidak seperti metode Eaton yang akan kesulitan menemukan nilai NCT (*Normal Compaction Trend*) yang tepat pada area dengan perubahaan nilai kecepatan yang terlalu tinggi (Susanto, 2016).

IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian ini dilakukan pada Maret-April 2017 di Pertamina UTC Gedung Kwarnas Lantai 13 Jakarta Pusat menggunakan data sekunder pengukuran seismik dan log.

Tabel 2. Pelaksanaan Kegiatan Penelitian

No	**Kegiatan**	**Maret**				**April**				**Mei**				**Juni**				**Juli**			
1.	Studi literatur																				
2.	Pengolahan Data																				
3.	Penulisan laporan awal																				
4	Seminar usul penelitian																				
4.	Pengolahan data lanjutan																				
5.	Interpretasi																				
6.	Penulisan laporan akhir																				
7.	Seminar hasil penelitian																				
8.	Sidang Komprehensif																				

B. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. PC (*personal computer*)
2. Data seismik dan *checkshot*
3. Data sumur (log dan MDT)
4. *Software Hampson Russell (HRS)*
5. *Microsoft Office*

C. Data Penelitian

Data utama yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut di bawah ini.

1. Data Seismik

Data seismik yang digunakan adalah data seismik 3D PSDM dengan luas area seismik sekitar 70 km^2.

Jenis data seismik 3D Lapangan "V" yang digunakan dalam penelitian ini adalah data *CMP gather* setelah dilakukan proses koreksi residual statik.

2. Data Sumur

Data sumur pada penelitian ini berupa data .las dan data MDT. Data .las sumur terdiri dari log GR, Caliper, NPHI, RHOB, P *wave*, dan checkshot. Pada penelitian ini terdapat 6 sumur.

Data sumur digunakan saat *seismic well tie* untuk seismik inversi. Sedangkan data MDT tekanan sumur dijadikan sebagai data pembanding validasi dari perhitungan prediksi tekanan pori. Data MDT merupakan data

tekanan sumur akurat. Sehingga, dapat digunakan untuk validasi dalam perhitungan prediksi tekanan pori.

Tabel 3 merupakan tabel ketersediaan data sumur pada penelitian ini.

Tabel 3. Ketersediaan data sumur

Sumur	.las						MDT
	GR	Caliper	NPHI	RHOB	P *wave*	Checkshot	
1	V	V	V	V	V	V	V
2	-	V	V	V	V	-	V
3	V	V	V	V	V	V	V
4	V	V	V	V	V	-	-
5	V	V	V	V	V	-	-
6	V	V	V	V	V	-	V

3. Data *Picking* Horizon

Data *picking* horizon pada penelitian ini terdapat 1 buah yang digunakan sebagai top horizon.

D. Pengolahan dan Analisis Data

Pada tahap ini, data yang diperoleh kemudian diolah dan dianalisis dengan menggunakan *software* Humpson-Russell dan Ms. Excel. Secara garis besar, tahapan yang dilakukan dalam memprediksi tekanan pori dengan kecepatan seismik adalah melakukan pemodelan kecepatan yang pada penelitian ini didapat dari pemodelan kecepatan seismik inisial model dan inversi seismik. Kemudian model kecepatan tersebut ditransformasi atau diubah menjadi tekanan efektif menggunakan persamaan metode Yan dan Han (Persamaan 6). Kemudian dengan menggunakan Persamaan 4 (Terzaghi) didapatkan nilai prediksi tekanan pori dengan nilai tekanan *overburden*. Setelah itu dilakukan analisis data dengan memodelkan kecepatan serta tekanan yang didapat.

Di bawah ini adalah uraian tahap pengolahan yang dilakukan.

1. Pemodelan Kecepatan

Pemodelan kecepatan pada penelitian ini dilakukan didapat dari insial model dan inversi seismik. Dimana pada inisial model kecepatan didapat dari inisial model *P wave* sedangkan pada inversi seismik kecepatan didapat dari nilai kecepatan hasil inversi. Pada tahap ini pengolahan data dilakukan menggunakan *software* HRS. Kemudian output nilai kecepatan keduanya diolah menggunakan Ms. Excel.

2. Transformasi Kecepatan ke Tekanan Efektif

Tahap ini mengubah kecepatan yang didapat menjadi tekanan efektif menggunakan Persamaan 6 (Yan dan Han). Perhitungan dilakukan pada Ms. Excel. Nilai yang dicari merupakan nilai Pd atau tekanan efektif. Sehingga, didapatkan rumus tekanan efektif dari Persamaan 6 sebagai berikut:

$$P_d = b \log_e\left(\frac{V_{pa} \cdot c}{V_{pa} - V_p}\right) \quad (7)$$

Dengan V_p merupakan nilai kecepatan model seismik dan V_{pa}, b, dan c merupakan parameter fitting Yan dan Han. Nilai parameter ini mengacu pada nilai referensi. Pada penelitian ini mengacu pada Yan dan Han (2012) dan Susanto (2016).

3. Perhitungan Tekanan Pori

Tekanan pori dapat diketahui nilainya dengan melakukan pengurangan nilai *overburden* dengan tekanan efektif (Persamaan 3). Sehingga, nilai tekanan *overburden* perlu diketahui. Tekanan *overburden* pada penelitian ini

didapat dari gradien *overburden* 1 Psi/ft. Sehingga, nilai *overburden* didapat dengan mengkalikan kedalaman (dalam *foot*) dengan nilai 1. Perhitungan tekanan pori dilakukan dengan menggunakan Ms. Excel.

Kemudian nilai tekanan pori dikalibrasi dengan data MDT untuk memvalidasi prediksi tekanan pori yang dilakukan. Pada tahap ini, dilakukan fitting parameter Yan dan Han agar prediksi tekanan pori mendekati tekanan MDT.

4. Penentuan Berat Lumpur

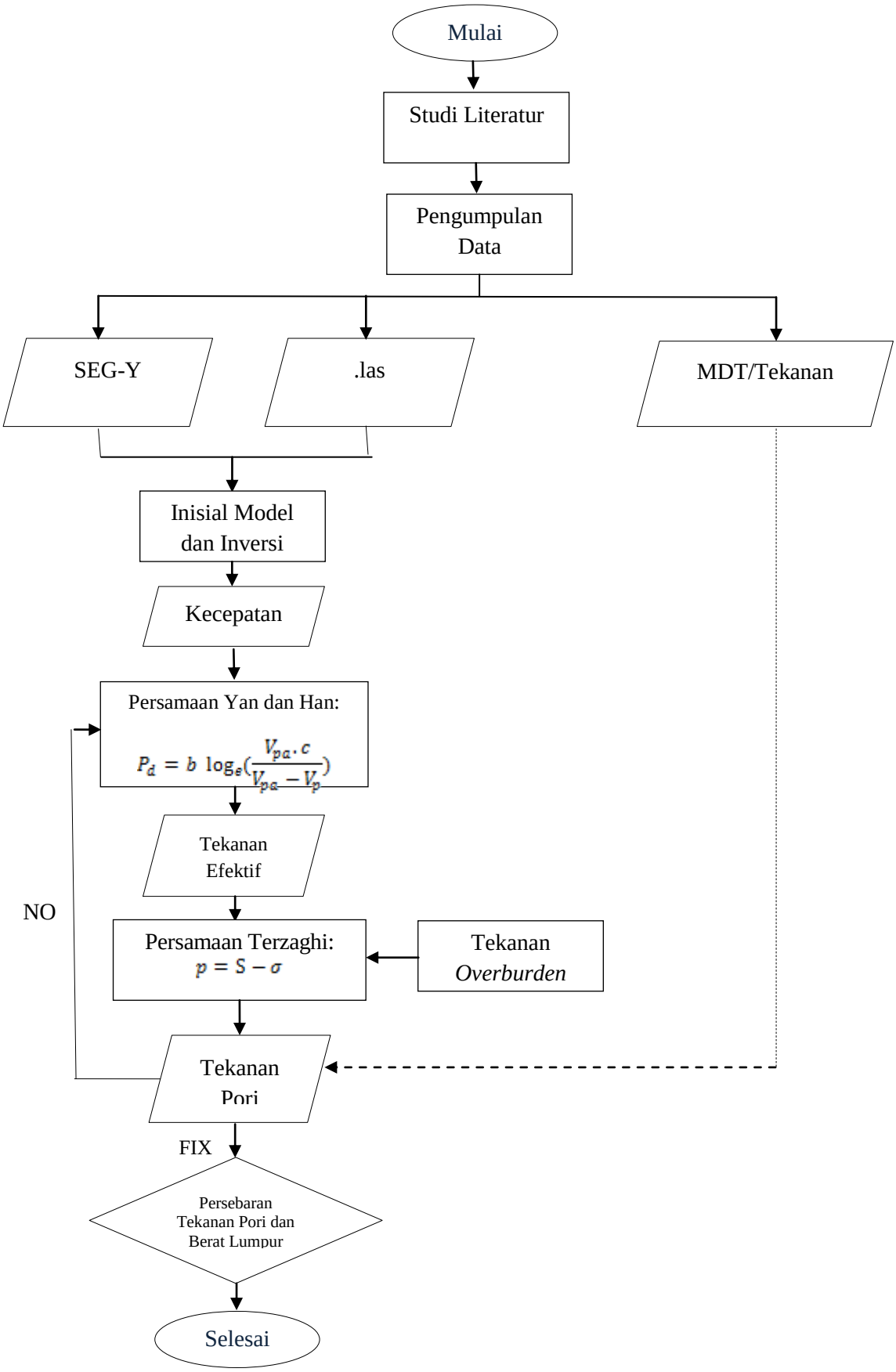
Tahap ini merupakan tahap penentuan besar berat lumpur yang yang digunakan agar tidak terjadi *kick* dan *blow out*. Penentuan besar berat lumpur menggunakan Persamaan 1.

5. Analisis Data

Pada tahap ini dilakukan pemodelan dari kecepatan dan tekanan yang didapat agar bisa dilakukan analisis data. Pemodelan secara 2D dilakukan di HRS. model-model yang ditampilkan yaitu model kecepatan, tekanan efektif, tekanan *overburden*, tekanan pori, dan berat lumpur. Kemudian analisis data dilakukan dengan melihat persebaran nilai.

E. Diagram Alir

Adapun diagram alir penelitian seperti pada **Gambar 9.**



Gambar 10. Diagram Alir Penelitian

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian adalah:

1. Kecepatan seismik yang didapat untuk prediksi tekanan pori adalah kecepatan model *p wave* dari inisial model dan hasil inversi seismik.
2. *Parameter fitting* Yan dan Han sangat dipengaruhi oleh kecepatan karena nilai *parameter fitting* Yan dan Han dengan input tiap kecepatan memiliki nilai yang berbeda-beda. Kecepatan seismik dari model *p wave* bernilai 4,08 untuk Vpa, 11,45 untuk b, dan 0,45 untuk c. Sedangkan, kecepatan seismik dari kecepatan hasil inversi seismik bernilai 3,95 untuk Vpa, 12,85 untuk b, dan 0,4 untuk c. Nilai *parameter fitting* yang sama pada tiap sumur menandakan lingkungan pengendapan daerah penelitian berupa *fluvial deltaic.*
3. Prediksi tekanan pori menggunakan persamaan Terzaghi dengan tekanan overburden bergradien 1 Psi/ft dan tekanan efektif hasil transformasi kecepatan seismik memberikan nilai prediksi pori yang mendekati nilai tekanan hasil pengukuran MDT.
4. Prediksi tekanan pori dari kecepatan seismik model *p wave* memiliki nilai dengan frekuensi rendah sedangkan prediksi tekanan pori dari kecepatan hasil inversi seismik memiliki nilai dengan frekuensi tinggi.

5. Prediksi tekanan pori dari kecepatan seismik model *p wave* lebih akurat daripada prediksi tekanan pori dari kecepatan hasil inversi seismik, dilihat dari nilai korelasi dengan tekanan MDT yang lebih baik dan tren prediksi tekanan pori yang sudah mendekati tekanan MDT.
6. Berat lumpur yang digunakan pada kedalaman 860 m berkisar dari 9-19 ppg.

B. Saran

Saran dalam penelitian ini, sebaiknya melakukan perhitungan tekanan *overburden* dengan perhitungan densitas batuan asli formasi. Dan sebaiknya data memiliki marker agar dapat melakukan analisis prediksi tekanan pori per formasi yaitu dengan melakukan penentuan *parameter fitting* per formasi. Sehingga, setiap formasi akan mendapatkan prediksi yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

Adi, P. C., dan Direzza, A., 2010, *Prediksi Tekanan Pori (Pore Pressure) Menggunakan Model Kecepatan Interval Data Seismik Hasil Coherency Inversion Studi Kasus : Blok Matindok-Sulawesi Tengah*.

Berry, A., dan Utama, W., 2009, Estimasi Tekanan Formasi Menggunakan Metode Tekanan Efektif dan Tekanan Minimum dengan Kalibrasi Data Log (DST, RFT, FIT dan LOT): Studi Kasus Lapangan NN#, *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol. 5 No. 1 Januari 2009.

Bowers, G.L., 2002, *Detecting High Overpressure*, The Leading Edge, p. 174-177.

Burrus, J., Brosse, E., Choppin de janvry,G., Grosjean, Y., Oudin, J.L., 1992, Basin Modelling In The Mahakam Delta Based On the Integrated 2D Model Temispack, *Indonesian Pet. Assoc.,21st Annual Convention Proceeding*.

Chopra, S., Huffman, A. R., 2006, *Velocity Determination for Pore-Pressure Prediction*, The Leading Edge December 2006.

Danusaputro, T. F. R. H., 2010, Inversi Model Based Untuk Gambaran Litologi Bawah Permukaan, *Jurnal Sains dan Matematika*, Vol. 18 No. 3 Juli 2010.

Dutta, Nader, Mukerji, T., Prasad, M., dan Dvorkin, J., 2002, *Seismic Estimation and Detection of Overpressure Part II: Field Application*, CSEG Recorder.

Duval, B.C., G.C. de Janvry, and B.Loiret, 1992, Detailed Geoscience Re-Interpretation of Indonesia's Mahakam Delta Score, *Oil and Gas Journal*, 10 Agustus 1992.

McClay, K., Dooley, T., Ferguson, A., dan Poblet, J., 2000, *Tectonic Evolution of the Sanga Sanga Block, Mahakam Delta, Kalimantan, Indonesia*, AAPG Buletin, p. 765-786.

Oudin, J.L., dan P.F. Picard, 1982, Genesis of Hydrocarbons in the Mahakam Delta and the Relationship Between their distribution and the

overpressured zones., *Indonesian Pet. Assoc.,11th Annual Convention Proceeding*.

Ramadian, R., 2010, *Prediksi Tekanan Pori Dengan Menggunakan Data Seismik 3D dan Data Sumur Untuk Mengoptimalkan Program Pengeboran di Area K, Cekungan Sumatera Tengah*, Tesis Program Studi Geofisika Reservoar FMIPA, Universitas Indonesia.

Ramdhan, A. M., 2010, *Overpressure And Compaction In The Lower Kutai Basin, Indonesia* , Durham theses, Durham University.

Rider, M. 1996. *The Geological Interpertation of Well Logs*. Caithness, Scotland.

Sanjaya, D. N., Warnana, D. D., dan Sentosa, B. J., 2014, Analisis Sifat Fisis Reservoar Menggunakan Metode Seismik Inversi Acoustic Impedance (AI) dan Multiatribut (Studi Kasus Lapangan F3), *Jurnal Sains dan Seni Pom ITS Vol. 3, No. 2*, pp. 96-100.

Satyana, A.H., Nugroho, D., Surantoko, I, 1999, Tectonic Controls on The Hydrocarbon Habitats of The Barito, Kutai and Tarakan Basin, Eastern Kalimantan, Indonesia; Major Dissimilarities, *Journal of Asian Earth Sciences Special Issue Vol. 17, No. 1-2*, Elsevier Science, Oxford, pp. 99-120.

Schlumberger, 1958, *Introduction to Well Logging*, Schlumberger *Well Services*.

Simanjuntak, A. S., Mulyatno, B. S., dan Sarkowi, M., 2014, Karakterisasi Reservoar Hidrokarbon Pada Lapangan "TAB" dengan Menggunakan Pemodelan Inversi Impedansi Akustik, *Jurnal Geofisika Eksplorasi Vol. 2, No. 01*, pp. 2-13.

Sjahbunan, P. M., 2008, *Analisis Fasies Pengendapan dan Sekuen Stratigrafi Singkapan 'B' Loa Janan, Samarinda Seberang, dan Sumur Lapangan Hinata Kalimantan Timur*, Skripsi S1 ITB.

Supriatna, S., Sukardi, Rustandi., 1995, Peta Geologi Lembar Banjarmasin, Kalimantan Skala 1 : 250.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Susanto, A.A., 2016, *Prediksi tekanan pori dengan menggunakan data kecepatan seismik: studi kasus Lapangan LN Cekungan Kutai*, Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.

Terzaghi, Karl, and Peck, R. B., 1943, *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley dan Sons, Inc., New York.

Wood, J. J., 2012, MDT/RFT/DST, *https://jhonwood.wordpress.com/2012/10/30/mdt-rft-dst/*, diakses pada 1 Mei 2017 pkl 20.05.

Wahyuni, S., 2017, *Penerapan Metode Inversi Impedansi Akustik Untuk Karakterisasi Reservoar Minyak dan Gas Bumi di Selat Madura*, Skripsi IPB.

Yanto, H., 2011, *Prediksi Tekanan Pori dengan Menggunakan Data Kecepatan Seismik: Studi Kasus, Lapangan X Laut Dalam Selat Makassar*, Tesis Program Studi Geofisika Reservoar FMIPA, Universitas Indonesia.