

GEOLOGI DAN STUDI SIKUEN STRATIGRAFI FORMASI YAKIN BAWAH LAPANGAN WAN CEKUNGAN KUTAI, PROVINSI KALIMANTAN TIMUR

Hery Gunawan^{*)}, Sugeng Widada^{*)}, Premonowati^{*)}
^{*)} Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral
 Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
 Jl. SWK 104, Condong Catur 55283, Yogyakarta, Indonesia
 Fax/Phone : 0274-487816;0274-486403

SARI - Lapangan Wan merupakan salah satu lapangan minyak dan gas bumi milik PT. Chevron Indonesia Company yang berada ± 5 km lepas pantai (*offshore*), Selatan Kota Balikpapan, Kalimantan Timur, Indonesia. Formasi yang menjadi fokus telitian pada Lapangan Wan yaitu Formasi Yakin Bawah, yang termasuk ke dalam Cekungan Kutai. Keseluruhan data penelitian ini dimiliki oleh PT. Chevron Indonesia Company. Penelitian dengan pendekatan sikuen stratigrafi ini merupakan pengintergrasian data *wireline log* dan *mud log* sebagai data utama serta data seismik dan tekanan formasi sebagai pendukung, sehingga diharapkan dapat memberikan informasi lebih rinci untuk pengembangan sebuah lapangan migas. Terdapat dua jenis sesar yang berkembang pada Lapangan Wan yaitu Sesar Sepinggang yang merupakan sesar mendatar berarah relatif Baratlaut-Tenggara dan Sesar Normal (F-301, F-201, F-101 dan F-Wan) yang berarah relatif hampir Utara-Selatan. Pergerakan kedua sesar tersebut menjadi penting dalam perkembangan sistem perangkap hidrokarbon pada area telitian. Hasil penelitian menunjukkan Formasi Yakin Bawah terdiri dari Satuan Batupasir berumur Miosen Tengah dengan litologi penyusunnya berupa batupasir, batulempung, batulanau, serpih dan batugamping sebagai endapan sisipan yang sangat tipis. Adapun fasies pengendapan yang berkembang berupa *distributary channel*, *distributary mouth bar*, *interdistributary area*, *tidal channel* dan *prodelta* yang keseluruhannya termasuk ke dalam sistem pengendapan delta. Berdasarkan hasil analisis sikuen stratigrafi didapatkan tiga paket sikuen pengendapan penyusun Formasi Yakin Bawah, yakni Sikuen 1, Sikuen 2 dan Sikuen 3 yang masing-masing sikuen tersebut dibatasi oleh sebuah bidang ketidakselarasan yang berupa *subaerial unconformity* (SB-1, SB-2, SB-3 dan SB-4) dan tersusun atas beberapa unit *systems tract* yakni LST, TST dan HST. Sebagai pengembangan dalam penelitian ini, dilakukanlah pemetaan unit reservoir prospek. Unit reservoir prospek berada pada paket HST-4 khususnya pada unit reservoir FS-1 dan FS-2. Penentuan kedua unit ini didasarkan dari pengamatan data log sumur dan *mud log*, yang memperlihatkan adanya indikasi hidrokarbon berupa terdapatnya jejak minyak bumi dan nilai resistivitas pada log sumur bernilai cukup tinggi. Unit reservoir membentuk geometri berupa *mouth bar* yang terbentuk di sub-lingkungan *delta front* dengan ketebalan relatif ke arah Baratlaut-Tenggara.

Kata Kunci : Lapangan Wan, Formasi Yakin Bawah, Sikuen Stratigrafi, Reservoir

LATAR BELAKANG

Cekungan Kutai merupakan salah satu cekungan yang banyak menghasilkan minyak dan gas bumi di Indonesia. Hidrokarbon yang dihasilkan tersebut didominasi oleh endapan delta dan *marginal marine* berumur Miosen Tengah hingga Miosen Akhir (Cibaj dkk, 2007). Cadangan yang telah terbukti mencapai 11 miliar barel (*oil equivalent*) menjadikan Cekungan Kutai sebagai lokasi signifikan keterdapatannya hidrokarbon di dunia serta merupakan daerah dengan *petroleum system* terbesar keempat pada wilayah Asia Tenggara-Australia (Howes, 1997 didalam Allen & Chambers, 1998). Endapan-endapan sedimen yang tebal di dalam Cekungan Kutai merupakan hasil dari proses siklus transgresi dan regresi yang

menghasilkan endapan delta. Formasi Yakin Bawah yang menjadi objek telitian termasuk kedalam Cekungan Kutai yang merupakan salah satu produk dari siklus tersebut yang mengendapkan lapisan reservoir hidrokarbon.

Lapangan Wan adalah salah satu lapangan penghasil minyak dan gas bumi di Cekungan Kutai milik PT. Chevron Indonesia Company, berada ± 5 km lepas pantai Selatan Balikpapan (Gambar 1). Lapangan tersebut telah memproduksi 11 MMBO yang tercatat pada tahun 2001. Puncak produksi ialah pada tahun 2002-2003 mencapai 10000 BOPD. Sejak tahun 2009 jumlah produksi berangsur menurun hingga mencapai 900 BOPD (Mirzal dkk, 2013). Untuk itu perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut dan mendalam tentang aspek

geologi dan keteknisannya lainnya, sehingga jumlah produksi kian meningkat dan jumlah cadangan yang dimiliki bisa dimanfaatkan dengan maksimal dan efektif.

Sikuen stratigrafi merupakan salah satu konsep yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah aspek geologi tersebut yang menyangkut stratigrafi dari suatu daerah atau lapangan guna mengetahui paket-paket unit genetik sedimen tertentu dan proses-proses pengendapan serta faktor yang mempengaruhi, sehingga dapat memberikan informasi tentang kejadian, geometri fasies sedimenter dan penyebaran reservoir baik secara vertikal maupun horizontal.

METODELOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif kualitatif dengan pendekatan konsep sikuen stratigrafi dengan pengintegrasian data *wireline log* dan *mud log* sebagai data pendukung utama. Hasil analisis keseluruhan data kemudian dipadukan guna memberikan interpretasi mengenai keadaan geologi dan stratigrafi Formasi Yakin Bawah di Lapangan Wan. Sebagai pengembangannya kemudian dilakukan pemetaan unit reservoir pada zona yang dianggap prospek.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis sikuen stratigrafi diawali dengan dengan melakukan analisis terhadap data sumuran yang menyangkut dengan interpretasi litologi, interpretasi fasies dan lingkungan pengendapan sebagai penyusun paket –paket unit genetik atau *system tract*.

Interpretasi Litologi

Interpretasi litologi dilakukan dengan pengintegrasian data *wireline log* dan *mud log*. Interpretasi litologi berdasarkan data *wireline log* dilakukan dengan membedakan zona *permeable* dan *impermeable* dengan menggunakan nilai *cut-off* yang ditunjukkan dari log *gamma ray*.

Secara umum identifikasi zona *permeable* dan *impermeable* menggunakan *Vsh cut-off* sebesar 40 %, dengan asumsi bahwa GR tertinggi (*maximum*) sebagai zona *shale* dengan *Vsh* 100% (> 60 API) dan GR terendah (*minimum*) sebagai zona *sand* dengan *Vsh* 0% (< 60 Api). Kemudian untuk mengetahui sifat fisik dari litologi tersebut maka dilakukanlah pengamatan terhadap data *mud log*. Berikut ini merupakan contoh interpretasi litologi penyusun Formasi Yakin Bawah yang diambil dari sumur kunci HR-2 (Gambar 5), yaitu :

- Batupasir berdasarkan pola kurva log GR pada sumur ini menunjukkan kurva yang menjauhi *shale baseline*, dengan nilai GR rendah (< 60 API), *resistivity* cenderung tinggi dengan nilai berkisar 4 - 40 ohm.m. Nilai *density* berkisar 2,05 - 2,3 g/cm³ dan nilai *neutron* berkisar 0,12

- 0,24 ft³/ft³. Kombinasi antara kurva *density* dan *neutron* menunjukkan adanya sparasi positif (*cross over*). Berdasarkan data *mud log*, batupasir pada sumur ini secara umum memiliki ciri warna abu-abu terang, cokelat kegelapan, berukuran halus hingga kasar, bentuk butir menyudut tanggung hingga membundar tanggung, pemilahan sedang, bersifat *calcareous* dan *carbonaceous* serta memiliki porositas yang baik.

- Serpih berdasarkan pola kurva log GR pada sumur ini menunjukkan kurva yang mendekati *shale baseline*, dengan nilai GR > 60 API, *resistivity* relatif rendah dengan nilai 3 - 5 ohm.m. Nilai *density* relatif tinggi dengan nilai 2,35 - 2,5 g/cm³ dan *neutron* 0,18 - 0,33 ft³/ft³. Kombinasi antara log *density* dan *neutron* tidak memperlihatkan sparasi positif (*cross over*). Berdasarkan data *mud log*, serpih pada sumur ini secara umum memiliki ciri berwarna abu-abu gelap, kecokelatan dan bersifat *carbonaceous*.

Interpretasi Fasies Dan Sub-Lingkungan Pengendapan

Interpretasi fasies yang dilakukan dalam penelitian ini dengan menggunakan data *wireline log*, yaitu dengan menganalisis elektrofases dan mengintegrasikannya dengan data *mud log*. Analisis ini dilakukan dengan melihat pola kurva log *gamma ray* yang dibentuk, karena perubahan pola dari log *gamma ray* mencerminkan suatu energi pengendapan yang bekerja, kemudian diintegrasikan dengan hasil analisis *mud log*, yakni dengan melihat variasi litologi dan ciri dari litologi tersebut

Berdasarkan hasil interpretasi lingkungan pengendapan pada Formasi Yakin Bawah disimpulkan bahwa sedimen pada Formasi Yakin Bawah terendapkan pada lingkungan *Lower Delta plain – Prodelta/Outer Shelf*, hasil ini berdasarkan dari kehadiran fasies berupa *tributary channel*, *tributary mouth bar*, *interdistributary area*, *tidal channel* dan *prodelta* dengan mengacu model Allen & Chambers, 1998 (Gambar 5).

Analisis Sikuen Stratigrafi Formasi Yakin Bawah

Menurut Heitman H. dkk (1996), Formasi Yakin Bawah tersusun atas batupasir yang pengendapannya memperlihatkan sebuah pola pengendapan *coarsening upward* yang terbentuk secara agradasi dan progradasi (regresi) di lingkungan *delta front / outer shelf*. Formasi ini berada diatas Formasi Maruat yang berumur Miosen Awal dan tersusun oleh batugamping (transgresi). Untuk penentuan umur formasi ini penulis mengacu pada peneliti terdahulu yaitu L. Tardjamah (1984) dan Heitman (1997) yaitu

Miosen Tengah. Keduanya melakukan analisis terhadap fosil foraminifera planktonik dan nanoplankton. Fosil yang didapatkan dari analisis tersebut yaitu :

- *Globigerinoides sicanus* berumur Miosen Bawah-Tengah (N8-N9),
- *Globigerinoides diminutus* berumur Miosen Bawah - Tengah (N6-N9)
- *Helicopontoshaera Ampliaperta* berumur *Basal Middle Miocene to latest Early Miocene* (CN-3)

Berdasarkan pengamatan dari data sumur HR-2 (Gambar 3) yang merupakan sumur kunci diketahui bahwa Formasi Yakin Bawah tersusun oleh dominasi batupasir yang terendapkan *lower delta plain* hingga *delta front / prodelta* (sistem delta), sehingga penulis mengelompokkannya menjadi Satuan Batupasir. Dalam hal ini jika dibandingkan dengan stratigrafi regional menurut Satyana dkk. 1999 (Gambar 2) maka formasi ini ekuivalen dengan Formasi Mentawir yang termasuk ke dalam Kelompok Balikpapan (Gambar 4).

Adapun ciri litologi penyusun formasi ini yaitu

- batupasir berwarna abu-abu terang, berukuran sangat halus – kasar, menyudut tanggung – membundar tanggung, sortasi menengah – bagus, bersifat karbonatan dan karbonan, porositas buruk-baik;
- batulempung berwarna abu – abu gelap, cokelat gelap bersifat karbonan; batulanau berwarna abu – abu gelap, bersifat karbonan dan karbonan, kadang bergradasi menjadi batupasir sangat halus;
- serpih berwarna abu – abu gelap dan bersifat karbonan.

Dari hasil analisis yang diamati pada tiap-tiap sumur, Formasi Yakin Bawah terbentuk dalam 3 (tiga) paket sikuen pengendapan yaitu Sikuen 1 yang pada bagian bawahnya dibatasi oleh SB-1 dan bagian atasnya SB-2, Sikuen 2 yang dibagian bawahnya dibatasi oleh SB-2 dan pada bagian atasnya oleh SB-3, Sikuen 3 yang memperlihatkan bagian bawah dibatasi oleh SB-3 dan pada bagian atasnya dibatasi oleh SB-4 (Tabel 1). Pada ketiga sikuen tersebut masing-masing tersusun oleh *systems tract* (LST, TST dan HST) yang dibatasi bidang pembatas sikuen (SB, TS, MFS dan FS) (Gambar 6).

Interpretasi *Bounding Surface*

- **Sequence Boundary (SB)** : merupakan bidang yang menandakan telah terjadinya penurunan muka air laut dengan kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan penurunan cekungan sehingga menyebabkan terjadi pengurangan ruang akomodasi dan penurunan

muka air laut ini disertai dengan terjadinya erosi yang menghilangkan jejak-jejak pengendapan.

Terdapat 4 bidang *sequence boundary* pada Formasi Yakin Bawah yakni SB-1, SB-2, SB-3 dan SB-4. Penentuan bidang SB didasarkan pada kurva log GR yang memperlihatkan adanya perubahan secara tiba-tiba (*abrupt break*) nilai kurva log GR yang tinggi (litologi serpih) menjadi nilai kurva log GR yang rendah (litologi batupasir). Kontak tegas ini diinterpretasikan sebagai kontak erosi yang terbentuk pada *distributary channel* dan kemudian mengerosi endapan fasies *prodelta*.

- **Transgressive Surface (TS)** : merupakan bidang *flooding surface* yang pertama terbentuk setelah kondisi LST berakhir yang menandakan telah terjadi penambahan ruang akomodasi pada saat terjadi kenaikan muka air laut / penambahan kedalaman. Terdapat 4 bidang *transgressive surface* pada Formasi Yakin Bawah yaitu TS-1, TS-2, TS-3 dan TS-4.

Penentuan bidang TS didasarkan pada kurva log GR yang dicirikan dengan perubahan asosiasi fasies dari endapan dengan kondisi pengendapan energi yang besar (LST) yang diwakili oleh fasies *distributary channel* ke arah endapan yang menuju kondisi pengendapan yang relatif tenang dengan penciri hadirnya endapan-endapan berbutir halus yang diwakili oleh fasies *tidal channel* (TST).

- **Maximum Flooding Surface (MFS)** : merupakan bidang yang terbentuk ketika muka air laut relatif berada pada waktu transgresi maksimum. Pada kondisi transgresi, laju kenaikan muka air laut relatif akan melebihi laju suplai sedimen ke dalam cekungan yang memungkinkan terciptanya ruang akomodasi sedimen yang besar sehingga dapat memuat suplai sedimen yang lebih banyak di dalamnya. Terdapat 4 bidang MFS pada Formasi Yakin Bawah, yaitu MFS-1, MFS-2, MFS-3 dan MFS-4 dengan litologi dominan serpih *prodelta*.

Penentuan bidang MFS didasarkan pada corak kurva log GR yang memperlihatkan ciri berupa perubahan pada *retogradasi / backsteeping (finning upward)* menjadi *progradasi (coarsening upward)* di dalam paket sedimentasi. Perubahan ini terjadi karena adanya kenaikan muka air laut relatif. Ketika muka air laut naik hingga batas maximum, sedimen halus lingkungan *marine* yang kaya material organik ikut tertransportasi dan terendapkan.

- **Flooding Surface (FS)** : *Flooding surface* merupakan suatu bidang permukaan yang memisahkan lapisan yang muda terhadap

lapisan yang lebih tua yang terekam dari dalam suatu peningkatan kedalaman air laut.

Interpretasi *Systems Tract*

- **Lowstand Systems Tract (LST)** : merupakan unit yang terdiri dari semua sedimen yang terendapkan selama penurunan muka air laut relatif, *stillstand* dan periode muka air laut perlahan naik. Unit ini membentuk pola penumpukan agradasional, dimana kecepatan suplai sedimen sama dengan perubahan akomodasi, sehingga terjadi suatu kesetimbangan. Terdapat 4 (empat) unit LST yang ada pada Formasi Yakin Bawah yang dicirikan oleh bentuk kurva log GR berupa *blocky/cylindrical* dan *bell*. *Low stand systems tract* tersusun atas litologi batupasir fasies *tributary channel*. Pada Gambar 6 memperlihatkan bahwa setelah terjadinya pengendapan unit sedimen secara progradasi (diwakili oleh *delta front – prodelta*) maka dilanjutkan dengan penurunan muka air laut relatif sehingga menyebabkan terjadinya pengerosian terhadap endapan sebelumnya oleh fasies *tributary channel* dan mengendapkan unit sedimen LST.
- **Transgressive Systems Tract (TST)** : merupakan unit yang terdiri dari sedimen yang terakumulasi ketika kenaikan muka air laut lebih cepat dari laju suplai sedimen. Pada dasarnya TST terdiri dari parasikuen retrogradasional dengan dengan suplai sedimen lebih kecil dibandingkan dengan perubahan akomodasi sehingga menciptakan pola penipisan dan penghalusan ke atas. terdapat 4 (empat) unit TST yang ada pada Formasi Yakin Bawah yang dicirikan oleh bentuk elektrosikuen pada kurva log GR berupa *bell* dan *irregular* dengan litologi penyusun batupasir yang bergradasi menjadi serpih. Pada Gambar 6 memperlihatkan bahwa setelah terbentuknya unit sedimen LST secara agradasi kemudian dilanjutkan dengan kenaikan muka air laut relatif, sehingga menyebabkan arah sedimentasi berpindah ke darat (*backsteeping*) tanpa adanya suplai sedimen yang besar. Ketika ini lah TST terbentuk yang diwakili oleh fasies *tidal channel*.
- **Highstand Systems Tract (HST)** : merupakan unit yang terbentuk pada saat laju kenaikan muka air laut mulai menurun, setelah melalui masa puncak, pada saat dimana laju pembentukan akomodasi lebih kecil dibanding laju suplai sedimen. Penurunan laju kenaikan muka air laut pada mulanya menyebabkan terbentuknya geometri aggradasi, namun sedikit demi sedikit kemudian berubah menjadi geometri progradasi. terdapat 4 (empat) unit HST yang ada pada Formasi Yakin Bawah yang dicirikan oleh bentuk elektrosikuen pada

kurva log GR berupa *funnel*. Pada Gambar 6 memperlihatkan unit sedimen HST diwakili litologi serpih yang bergradasi menjadi batupasir. Setelah unit sedimen *transgressive systems tract* terbentuk, ruang akomodasi pun semakin besar sehingga memungkinkan sedimen berikutnya berprogradasi. Ketika suplai sedimen besar dibandingkan dengan kenaikan muka air laut maka progradasi fasies *prodelta – delta front* terbentuk.

SEJARAH SEDIMENTASI FORMASI YAKIN BAWAH

Sedimentasi yang berlangsung pada daerah telitian khususnya pada interval Formasi Yakin Bawah dipengaruhi oleh penurunan cekungan, naik-turun muka air laut dan laju sedimentasi ke dalam cekungan. Perkembangan kedua struktur geologi tidak terlalu mempengaruhi terhadap paket-paket sedimen yang terbentuk. Hal ini dikarenakan struktur tersebut terbentuk sebelum sedimentasi / *pre-sedimentation* (sesar mendatar) dan sesudah sedimentasi / *post-sedimentation* (sesar normal).

Formasi Yakin Bawah pada Lapangan Wan terbentuk dalam tiga paket sikuen pengendapan yakni Sikuen 1, Sikuen 2 dan Sikuen 3. Dalam setiap sikuen tersebut tersusun oleh fasies-fasies berupa *tributary channel*, *tributary mouth bar*, *intertributary area*, *tidal channel* dan *prodelta*.

Arah sedimentasi relatif yang mengontrol pola pengendapan di dalam Formasi Yakin Bawah berasal dari Baratlaut – Tenggara, dengan konfigurasi cekungan yang meluas ke arah Timur. Sikuen 1 merupakan sikuen pengendapan yang pertama terbentuk pada Formasi Yakin Bawah. Sedimentasi yang terjadi dimulai dengan terbentuknya SB-1 yang merupakan batas bawah formasi. SB-1 terbentuk ketika terjadinya penurunan muka air laut sehingga menyebabkan tersingkapnya batuan dan terjadinya pengerosian bersamaan dengan berkembangnya fasies *tributary channel* di sub-lingkungan *tidal delta plain*. Peristiwa pengerosian yang terus terjadi telah mengakibatkan terbentuknya bidang *subaerial unconformity*. Kondisi penurunan muka air laut ini menyebabkan terendapkannya batuan-batuan unit LST-1 dengan pola sedimentasi yang berupa agradasi, yang menandakan bahwa penurunan cekungan, pembentukan ruang akomodasi dan suplai sedimen relatif seimbang. Unit LST-1 dicirikan oleh bentuk kurva log GR *blocky/cylindrical* dan *bell* dengan litologi penyusunnya berupa batupasir. Batuan yang tersusun oleh paket LST-1 tersebut cenderung memiliki ketebalan yang besar.

Proses selanjutnya yang terjadi ialah kenaikan muka air laut relatif yang menandakan dimulainya peristiwa transgresi. Peralihan antara fase penurunan muka air laut dan kenaikan muka air laut ini menyebabkan terbentuk bidang pembatas (*bounding surface*) yang berupa *transgressive surface*. Pada kondisi kenaikan muka air laut relatif, sedimentasi berkembang ke arah daratan (*landward*). Fasies yang berkembang pada kondisi ini adalah *prodelta* hingga *interdistributary area (tidal flat)* dengan pengendapan batuan unit TST-1. Unit ini dicirikan kurva log GR berupa *bell* dan *irregular* dengan litologi penyusun didominasi oleh sedimen-sedimen halus seperti serpih, batulempung dan batulanau terkadang hadir juga batupasir yang menunjukkan sebuah pola penghalusan ke atas (*finning upward*). Hal ini dikarenakan sedimen-sedimen tersebut terakumulasi ketika terjadinya kenaikan muka air laut yang lebih cepat tanpa diimbangi dengan laju suplai sedimen yang cepat pula kedalam cekungan, sehingga pola sedimentasi yang dihasilkan berupa retrogradasi. Ketika pengendapan unit TST-1 ini, muka air laut relatif terus mengalami kenaikan hingga mencapai batas maksimal dan menciptakan ruang akomodasi yang baru. Kenaikan tersebut mengakibatkan terbentuknya bidang *maximum flooding surface* yang merata diseluruh permukaan cekungan dan menandakan fase transgresif telah berakhir.

Laju kenaikan muka air laut terus mempengaruhi proses sedimentasi dan pengendapan sedimen selanjutnya, dimana muka air laut relatif kembali mengalami penurunan. Pada kondisi ini laju pembentukan akomodasi (penurunan cekungan) jauh lebih kecil dibanding laju suplai sedimen, sehingga sedimen yang dihasilkan lebih didominasi oleh sedimen-sedimen yang lebih kasar ke atas (*coarsening upward*) dengan membentuk pola sedimentasi berupa progradasi. Fasies yang berkembang pada kondisi ini ialah fasies *distributary mouth bar* di sub-lingkungan *delta front* yang mengendapkan sedimen-sedimen unit HST-1. Ciri utama dari sedimen unit ini ialah litologi dominan batupasir dengan bentuk kurva log berupa *funnel*. Pengendapan sikuen 1 diakhiri dengan pembentukan SB-2 yang merupakan bidang *subaerial unconformity*.

Sikuen 2 merupakan sikuen pengendapan yang terbentuk setelah Sikuen 1 berakhir, begitu juga dengan Sikuen 3 yang terbentuk setelah Sikuen 2 berakhir. Adapun proses sedimentasi yang berlangsung hampir sama dengan yang terjadi pada Sikuen 1 dan merupakan sebuah perulangan yang pernah terjadi sebelumnya. Pengendapan Sikuen 2 dan Sikuen 3 diawali dengan berkembangnya fasies *distributary channel* ketika terjadinya penurunan muka air relatif, sehingga mengakibatkan sedimen yang lebih tua yakni sedimen-sedimen dari fasies *distributary mouth bar* mengalami pengerosian.

Pengendapan kedua paket ini diakhiri dengan terbentuknya sebuah bidang ketidakselarasan yang berupa *subaerial unconformity*.

Pola sedimentasi yang terbentuk secara keseluruhan dan jika dilihat dalam skala lebih besar bahwa Formasi Yakin Bawah didominasi oleh pola sedimentasi yang membentuk sebuah perulangan progradasi. Sedimentasi yang berlangsung semakin berkembang ke arah daratan (mengalami pendangkalan), hal ini sangat jelas terlihat pada kurva Haq *et al.* Formasi Maruat yang merupakan batas bawah dari Formasi Yakin Bawah lebih didominasi oleh transgresi dengan kedalaman yang sangat signifikan, kemudian pada Formasi Yakin Bawah kembali terjadi pendangkalan dengan sedimentasi lebih didominasi oleh sistem regresi. Menurut Heitman (1996) *sifting* ini diinterpretasikan sebagai sebuah bidang ketidakselarasan regional (Gambar 7).

STRUKTUR GEOLOGI LAPANGAN WAN

Struktur geologi yang berkembang di Lapangan Wan berupa sesar mendatar yang berarah relatif Baratlaut - Tenggara dan sesar-sesar normal yang membentuk graben berarah hampir Utara – Selatan (Gambar 8). Menurut Agus dkk (2012) sesar mendatar yang mengontrol Lapangan Wan tersebut ialah Sesar Sepinggan, yang merupakan jenis *right-lateral strike-slip fault*. Sesar ini merupakan bagian dari *splays* Sesar Adang yang memanjang lebih dari 70 km dari lepas pantai Balikpapan ke bagian daratan Penajam. Sesar Sepinggan terbentuk bersamaan dengan dua sesar lainnya, yaitu Sesar Bungur dan Sesar Tengah. Ketiga Sesar ini merupakan *splays* yang terbentuk karena perkembangan Sesar Adang pada periode ekstensional *rifting* Eosen. Selama kompresi yang berlangsung pada Miosen, Sesar Sepinggan tereaktivasi sebagai *strike slip fault* yang mengakomodasikan tegangan miring pada area tersebut. Sesar Normal dengan arah orientasi hampir Utara – Selatan ini terbentuk pada awal dari Miosen Akhir, sesar ini memotong sedimen yang berumur Miosen Tengah.

Sesar ini diinterpretasikan sebagai penciri dari *gravity loading* karena *growth* segment tanpa pergerakan *basement*. Pergerakan Sesar Sepinggan dan sesar-sesar normal ini menjadi penting dalam perkembangan sistem perangkap hidrokarbon pada area telitian. Pada penampang seismik yang melintas di daerah telitian memperlihatkan pergeseran / *offset* yang dibentuk oleh sesar mendatar dan sesar normal tersebut. Pada Gambar 8. menunjukkan peran dari kedua sesar, dimana rata-rata lapangan migas di bagian Selatan Delta Mahakam terbentuk disepanjang Sesar Sepinggan, Sesar Tengah dan Sesar Bungur yang menjadi pengontrol utama, karena pengaruh zona deformasi

melalui mekanisme transtensional dan transpresional.

PEMETAAN UNIT RESERVOAR

Terdapat dua jenis peta yang dibuat dalam pemetaan unit reservoir prospek, yakni peta batupasir kotor (*gross sand isopach*) dan batupasir bersih (*net sand isopach*) pada interval FS-1 dan FS-2 unit HST-4. Kedua unit reservoir ini dianggap penting untuk pengembangan karena berdasarkan pengamatan pada sumur kunci HR-2 unit reservoir berada pada interval kedalaman 4571 – 4687 kaki (Gambar.9). Dari pengamatan data *wireline log* diketahui bahwa pada zona *pearmeable*/batupasir (GR <60 API) memiliki resistivitas yang cukup tinggi, yakni berkisar 10 – 30 ohm, neutron 0,24 – 0,39 ft³/ft³, *density* 2,3 – 2,5 g/cm³ dan kurva neutron *density* membentuk sparasi positif yang besar. Sedangkan hasil pengamatan data *mud log* pada kedalaman 4483.5 didapatkan litologi penyusun reservoir berupa batupasir, warna abu-abu terang, ukuran butir sangat halus-halus, menyudut tanggung – membundar tanggung, sortasi menengah - bagus, bersifat karbonatan dan karbonan, porositas jelek-bagus dan terdapat jejak-jejak minyak pada kedalaman 5655 – 5730 kaki (dalam MD). Hal terpenting yang didapat dari pengintergrasian kedua data tersebut ialah kehadiran jejak-jejak minyak sehingga menambah keyakinan dan alasan utama untuk pengembangan sebuah unit reservoir HST-4 (Gambar.9).

Dari dua peta batupasir kotor (Gambar 10 dan Gambar 11) memperlihatkan pengendapan sedimen yang menebal ke arah tenggara, yakni mengikuti pengendapan kearah cekungan. Hal serupa juga terlihat dari peta batupasir bersih (Gambar 12 dan Gambar 13) yang memperlihatkan penebalan kearah tenggara, ini sangat terlihat pada sumur HR-2 dan HR-7PH.

DISKUSI DAN KESIMPULAN

Struktur geologi yang utama berkembang pada Lapangan Wan berupa Sesar Sepinggian yang merupakan sesar mendatar kanan berarah relatif Baratlaut – Tenggara, terbentuk karena ekstensional *rifting* Eosen dan sesar-sesar normal berarah relatif hampir Utara – Selatan yang merupakan *gravity loading* karena *growth segment* tanpa pergerakan *basement*.

Dari hasil analisis sikuen stratigrafi Formasi Yakin Bawah, diketahui terdapat tiga paket sikuen pengendapan yaitu Sikuen 1, Sikuen 2 dan Sikuen 3. Masing-masing dari sikuen tersebut dibatasi oleh bidang pembatas sikuen atau bidang *subaerial unconformity* (SB-1, SB-2, SB-3 dan SB-4) dan di dalam sikuen tersebut tersusun atas *systems tract* LST, TST dan HST.

Pembentukan *systems tract* di Lapangan Wan dikontrol oleh perubahan muka air laut. Pada fase LST fasies yang berkembang berupa *distributary channel*. Fase ini terjadi ketika penurunan muka air laut, yang diimbangi dengan kecepatan suplai sedimen sama dengan perubahan ruang akomodasi sehingga terjadi suatu kesetimbangan. Pada fase TST suplai sedimen kedalam cekungan sangat terbatas sedangkan ketersediaan ruang akomodasi cenderung besar, mengakibatkan fasies yang berkembang umumnya berupa *interdistributary (tidal flat)* dan *tidal channel* yang mengendapkan endapan-endapan halus. Berbeda halnya dengan fase HST, kondisi ini terjadi ketika laju suplai sedimen yang masuk kedalam cekungan lebih besar dibandingkan dengan perubahan ruang akomodasi, sehingga terkadang membentuk progradasi. Fasies yang berkembang pada fase ini berupa *prodelta-mouth bar (delta front)* dan menjadi fasies yang membentuk reservoir prospek pada Lapangan Wan.

Reservoir yang menjadi target untuk dipetakan berada pada unit HST-4, khususnya pada FS-1 dan FS-2. Geometri dari kedua reservoir yang dipetakan menjadi peta ketebalan batupasir bersih diperkirakan mengikuti pola dari *mouth bar* yang terendapkan di sub-lingkungan *delta front*. Bagian yang relatif tipis cenderung berada pada bagian Baratlaut relatif lebih tipis dan semakin ke arah tenggara mengalami penebalan, ini terlihat dari sumur HR-2 dan HR-7. Penebalan ini mengikuti arah relatif dari pengendapannya dan bagian tebal tersebut diinterpretasikan sebagai puncak / *crest* dari *mouth bar* tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

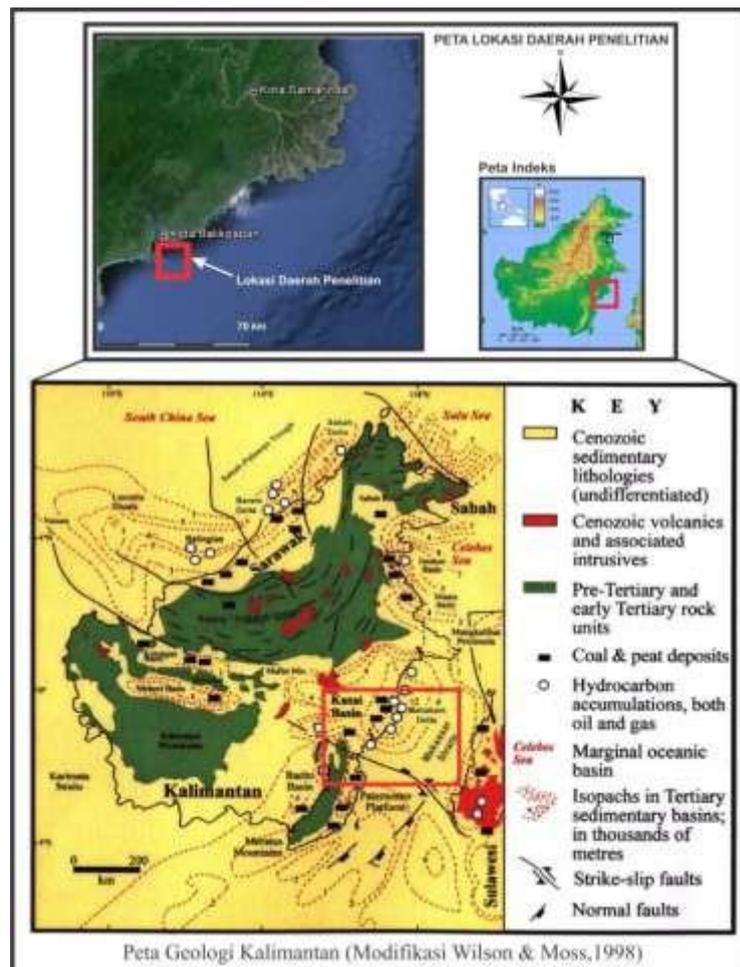
- Allen, G.P., Chambers, J.L.C., 1998. *Sedimentation in the Modern and Miocene Mahakam Delta*, Indonesian Petroleum Association, Jakarta., p:7-8;42;51-59;91-103;135-136;159
- Allen, G.P., 1994. *Concept and application of sequence stratigraphy to siliclastic fluvial and shelf deposits*. Total Scientific and Technical Centre, Saint-Remy les Chevreuse, Paris., p:4;32-33
- Ardhie, M.N., Do, C.V., Purwanto, Sulisty, Imran, A., 2013. *Challenge and Opportunity of Developing Brown Field. Integration Approached of Using Multiple Subsurface Data and Information. A Lesson Learned from Mahoni Field, South Asset KLO-Chevron Indonesia Company*, Proceedings of the 37th Indonesian Petroleum Association, Jakarta, p:1
- Heitman H., Ahmad A.N., 1996. *Regional Petroleum System Evaluation Through*

Sequence Stratigraphic Studies Facies Trends and Structural Analysis in The Vicinity of The Balikpapan Block Southern Kutei Basin East Kalimantan Indonesia, Balikpapan Area Regional Study, Volume I, Unocal Indonesia Company., p:51

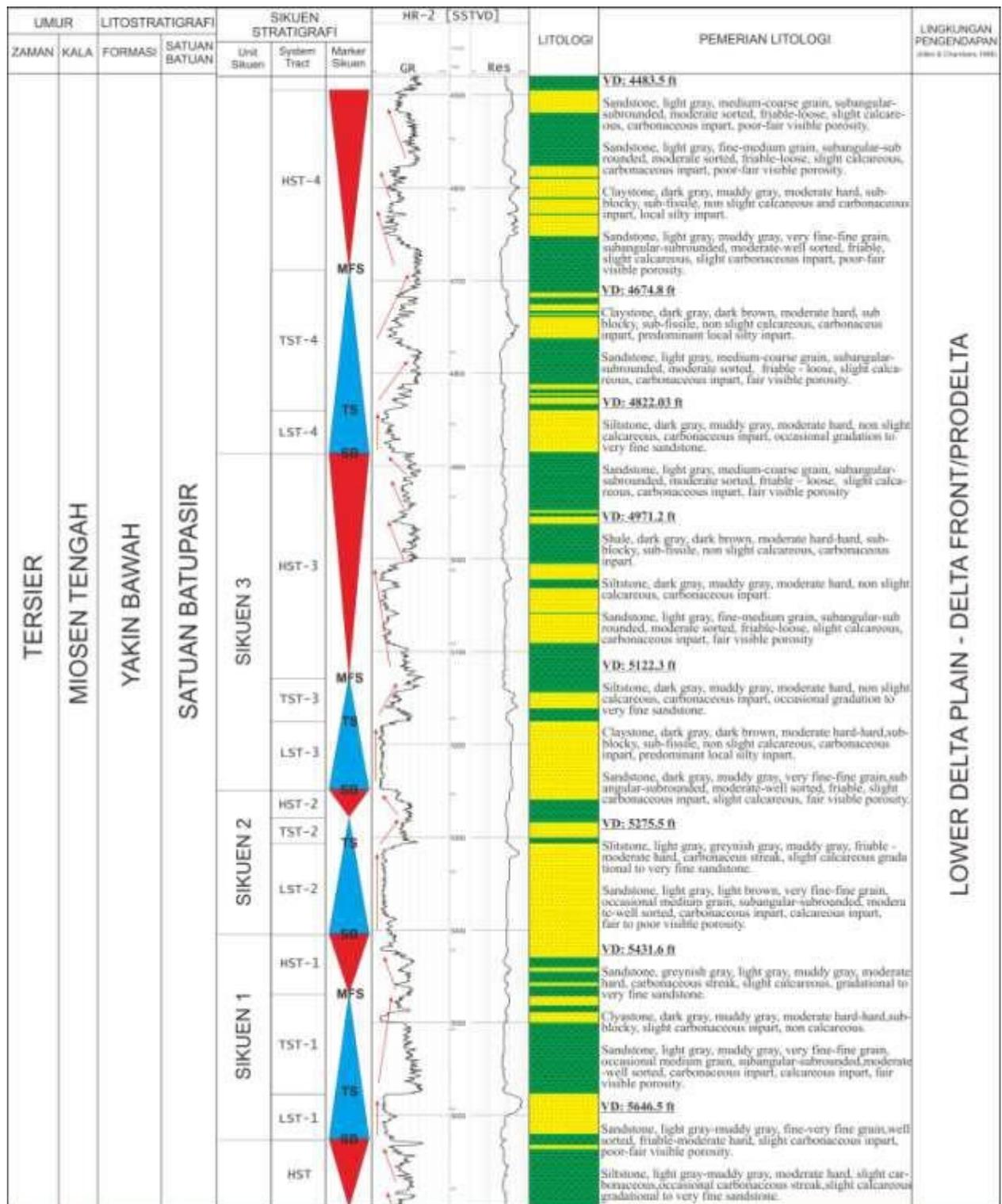
Stuart, C.J., Armin, R.A., Abdoerrias, R., Heitman., H.L., dkk. 2006. *Sequence Stratigraphic Studies in The Lower Kutei Basin, East Kalimantan, Indonesia*. Proceedings of Indonesian Petroleum Association, Jakarta., p:364-365

Susianto, A., Esomar, E.R., Rahadi, R., Ardhie, M.N., *The Characteristics of The Sepinggan Strike Slip Fault Zone and Its Role in Forming Structural Traps The Southeast Kutei Basin*, Proceedings of the 36th Indonesian Petroleum Association, Jakarta., p:2-3

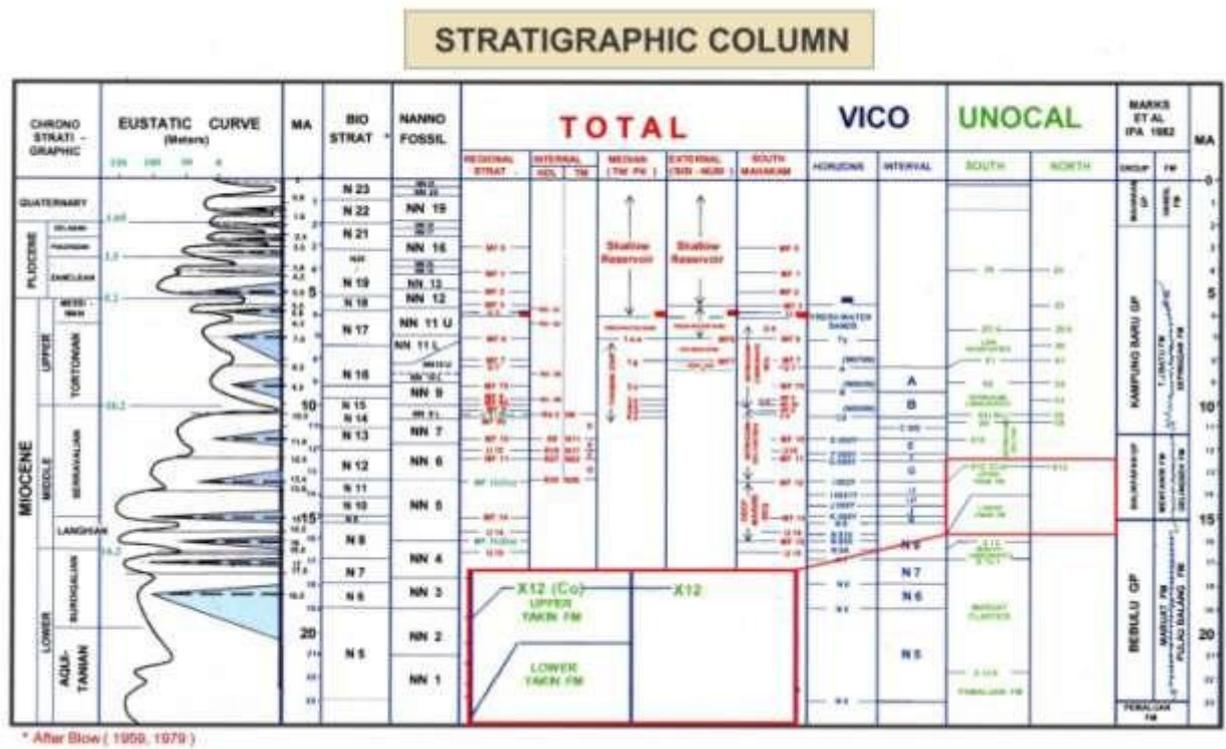
Van Wagoner, J.C., Mitchum, R.M., Campion, K.M., Rahmanian, V.D., 1990, *Siliclastic Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores, and Outcrops: Concept for High-Resolution of Time and Facies*, AAPG Method in Exploration Series, No 7, The American Association of Petroleum Geologist, Tulsa; Oklahoma., p: 5-8;17-19;22-26



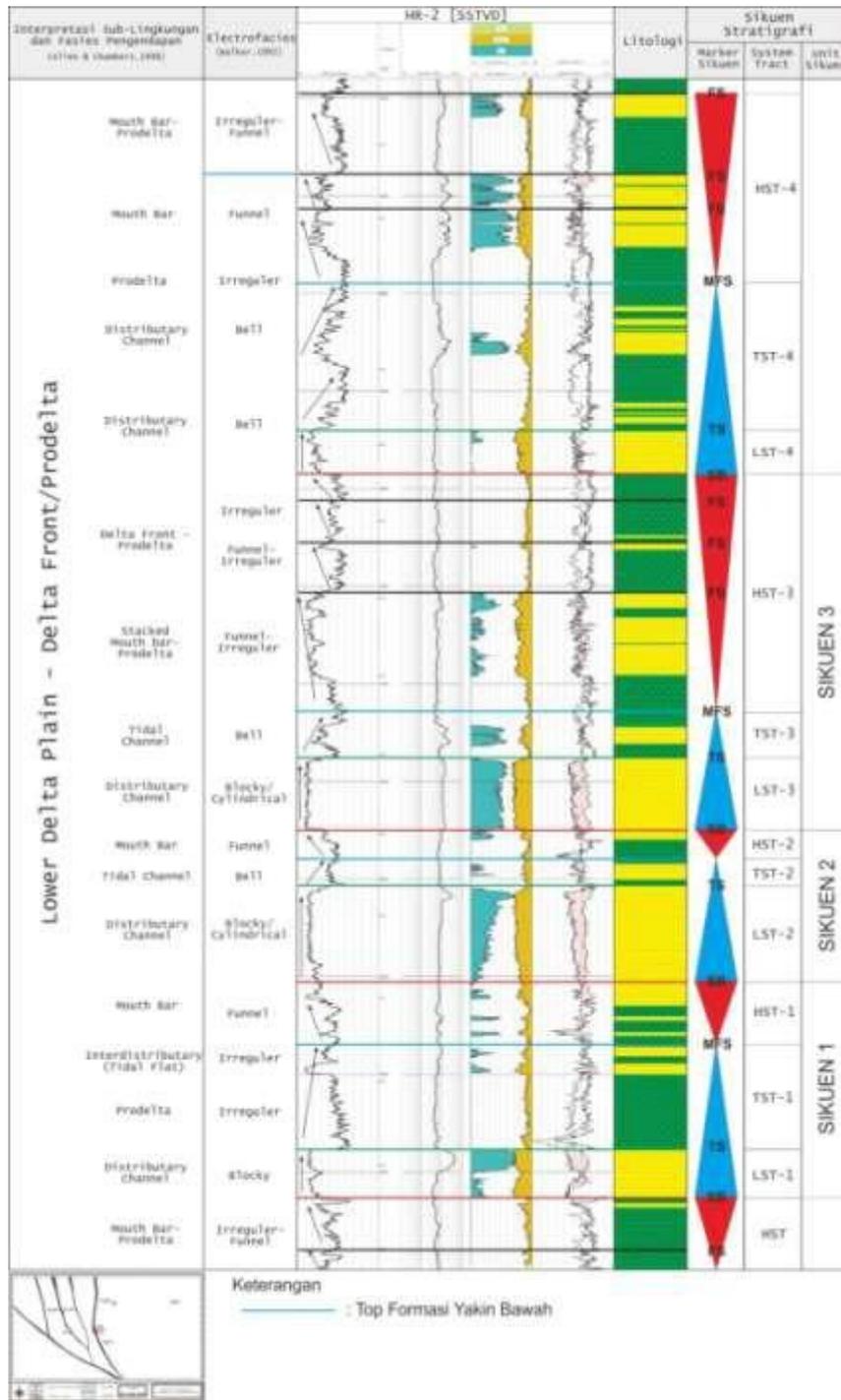
Gambar 1. Lokasi daerah penelitian



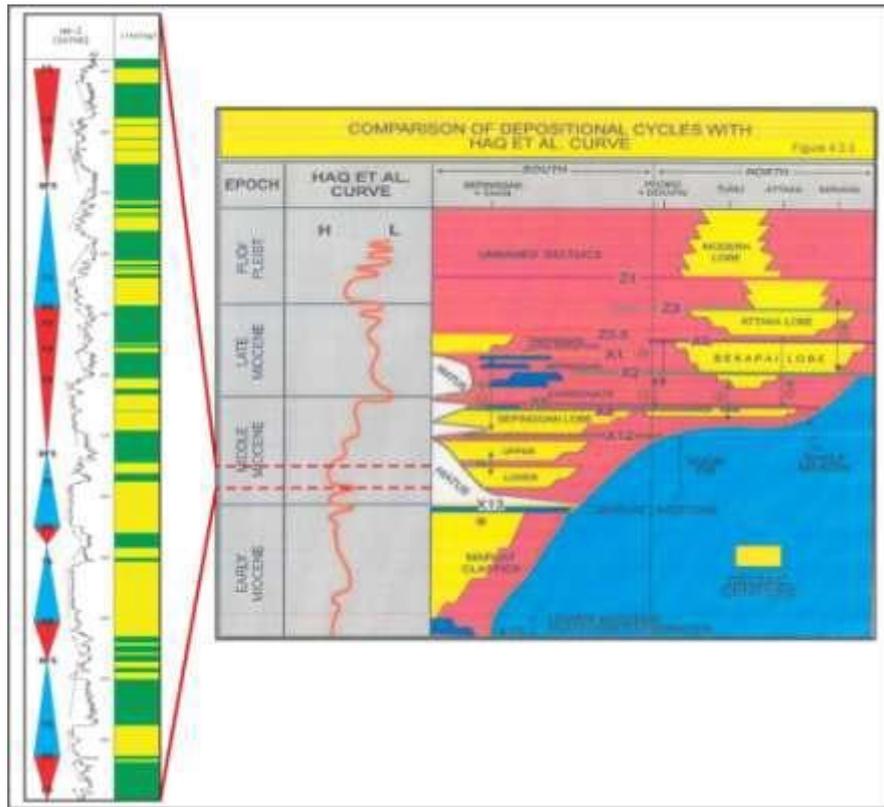
Gambar 3. Kolom stratigrafi lokal Lapangan Wan, Penulis (2014)



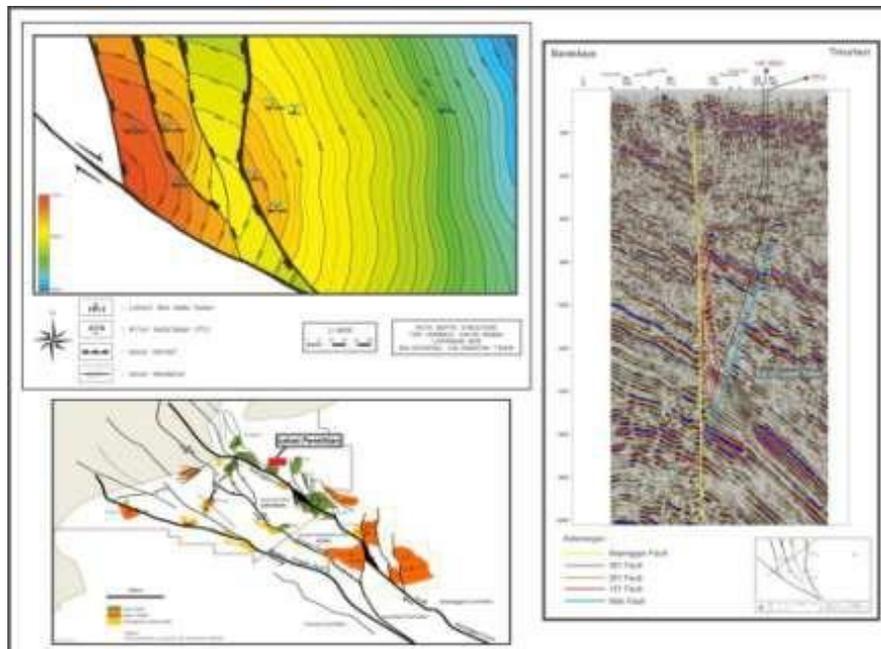
Gambar 4. Kolom stratigrafi Cekungan Kutai dari beberapa sumber peneliti terdahulu (Total, 2010)



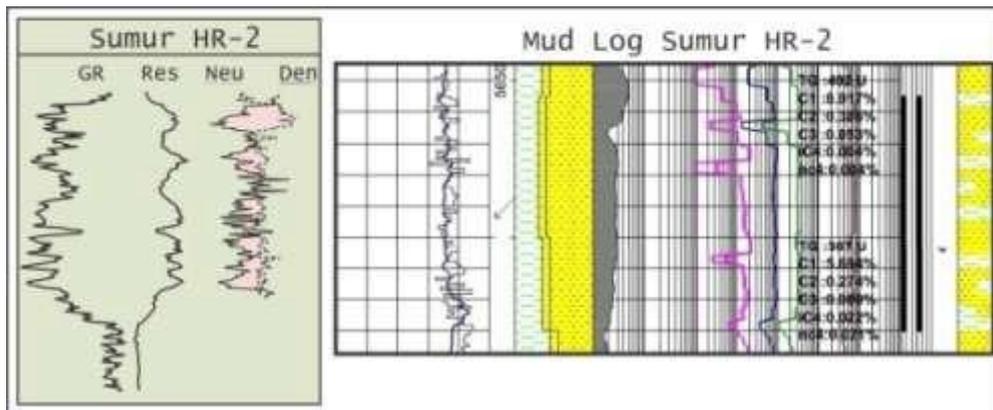
Gambar 6. Interpretasi fasies, lingkungan pengendapan dan sikuen stratigrafi pada sumur kunci HR-2



Gambar 7. Suksesi pengendapan sedimen pada Formasi Yakin Bawah yang dibandingkan dengan kurva Haq *et al*



Gambar 8. Peta struktur kedalaman Top Formasi Yakin Atas dan Fitur struktural yang berasosiasi dengan pergerakan lateral dari Sesar Sepinggan yang menciptakan akumulasi utama hidrokarbon di beberapa lapangan migas bagian Selatan Cekungan Kutai



Gambar 9. Unit reservoir berdasarkan pengamatan pada wireline log dan mud log sumur HR-2

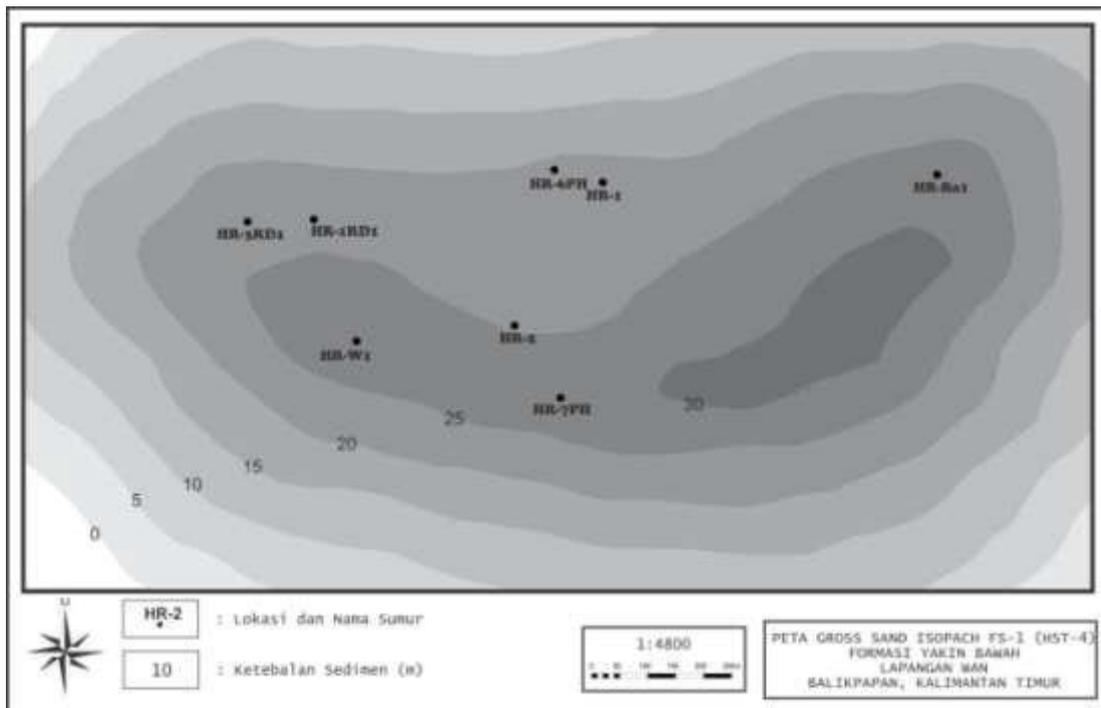
Tabel 1. Kedalaman bidang pembatas sikuen pada Formasi Yakin Bawah

| Formasi | Sikuen | Sumur Bounding Surface | Kedalaman TVDSS (kaki) | | | | | | | |
|---------------------|-----------|---------------------------|------------------------|------|--------|--------|-------|---------|--------|---------|
| | | | HR-2 | HR-1 | HR-7PH | HR-Bal | HR-W1 | HR-1RD1 | HR-6PH | HR-3RD1 |
| FORMASI YAKIN BAWAH | SIKUIEN 4 | FS | 4488 | 4789 | 4532 | 5582 | 4267 | 4326 | 4711 | 4094 |
| | | FS | 4571 | 4878 | 4622 | 5692 | 4351 | 4410 | 4796 | 4178 |
| | | FS | 4610 | 4919 | 4660 | 5740 | 4396 | 4452 | 4835 | 4220 |
| | | MFS-4 | 4687 | 4993 | 4747 | 5838 | 4490 | 4515 | 4910 | 4302 |
| | | TS-4 | 4833 | 5044 | 4788 | 5900 | 4549 | 4525 | 4954 | 4351 |
| | | SB-4 | 4879 | 5102 | 4830 | 5963 | 4613 | 4542 | 5012 | 4393 |
| | SIKUIEN 3 | FS | 4907 | 5132 | 4876 | 5990 | 4650 | 4558 | | |
| | | FS | 4950 | 5181 | 4925 | 6060 | 4712 | 4584 | | |
| | | FS | 5000 | 5238 | 4978 | 6121 | 4780 | 4649 | | |
| | | MFS-3 | 5121 | 5370 | 5112 | 6260 | 4850 | 4795 | | |
| | | TS-3 | 5170 | 5420 | 5169 | 6325 | 4858 | 4836 | | |
| | | SB-3 | 5243 | 5529 | 5287 | 6447 | 4951 | 4954 | | |
| | SIKUIEN 2 | MFS-2 | 5270 | 5787 | 5345 | 6513 | 5001 | 5062 | | |
| | | TS-2 | 5302 | 5628 | 5378 | 6562 | 5011 | | | |
| | | SB-2 | 5403 | 5745 | 5490 | 6635 | 5090 | | | |
| | | MFS-1 | 5460 | 5819 | 5565 | 6828 | 5119 | | | |
| | SIKUIEN 1 | TS-1 | 5570 | 5949 | 5699 | 7081 | 5195 | | | |
| | | SB-1 | 5622 | 5991 | 5750 | 7193 | 5230 | | | |

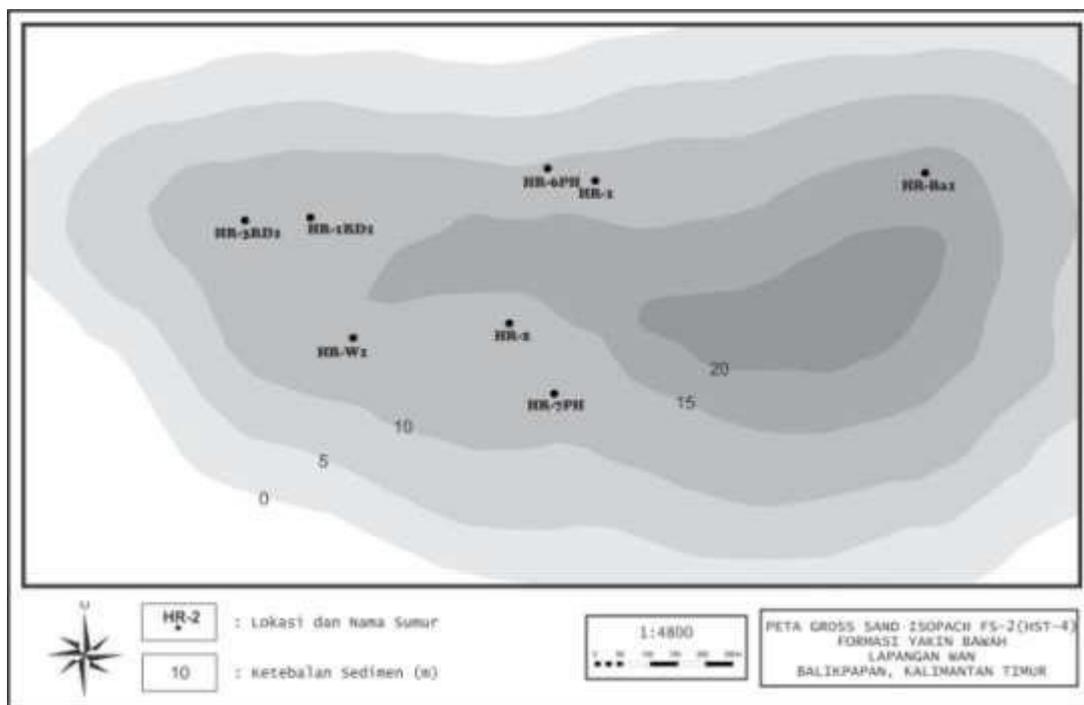
Ket.: Sumur Kunci

Tabel 2. Tabulasi data kedalaman top Formasi Yakin Bawah, ketebalan gross dan net sand unit reservoir

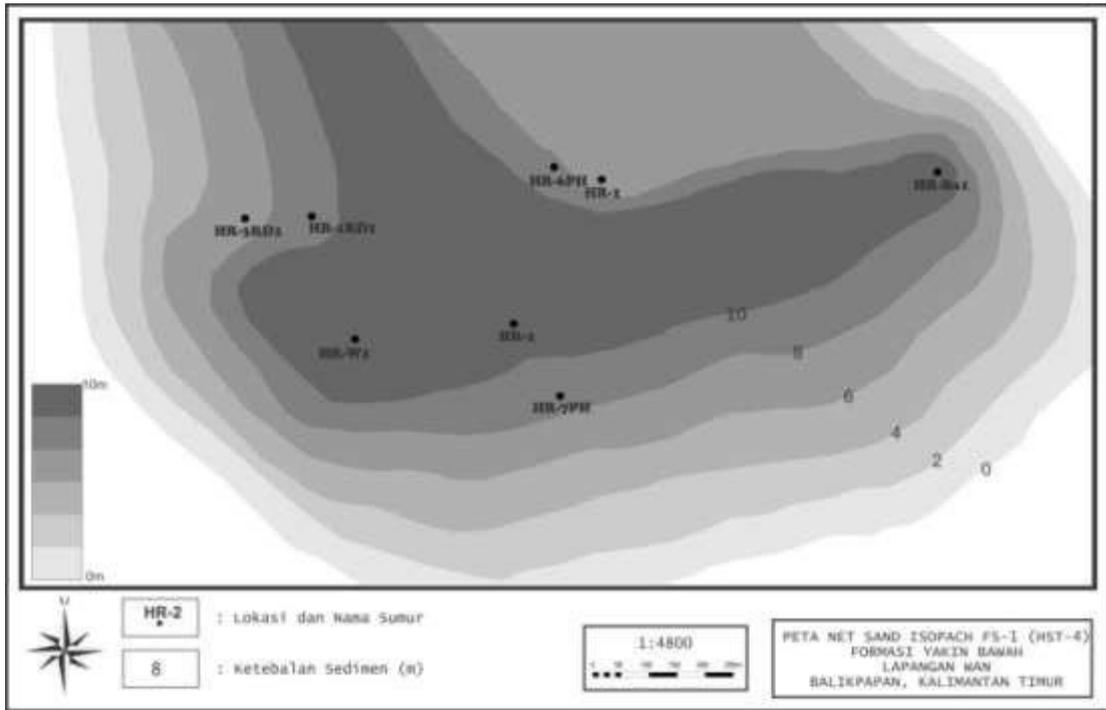
| No | Well Name | Top Formasi (FS-2 /HST-4) kaki | Ketebalan Batupasir Kotor (m) | | Ketebalan Batupasir Bersih (m) | |
|----|-----------|--------------------------------|-------------------------------|-------|--------------------------------|------|
| | | | FS-1 | FS-2 | FS-1 | FS-2 |
| 1 | HR-3RD1 | 4176 | 24.3 | 12.8 | 6.7 | 7.91 |
| 2 | HR-1RD1 | 4410 | 22.2 | 12.19 | 9.13 | 7 |
| 3 | HR W-1 | 4351 | 28.3 | 13.7 | 10.27 | 5.78 |
| 4 | HR-7PH | 4622 | 25.2 | 12.19 | 9.14 | 7.3 |
| 5 | HR-6PH | 4793 | 22.8 | 14.3 | 9.13 | 5.78 |
| 6 | HR-2 | 4577 | 22.4 | 11.58 | 10.05 | 7.31 |
| 7 | HR-1 | 4874 | 22.2 | 13.7 | 6.7 | 6.39 |
| 8 | HR-Bal | 5690 | 29.8 | 15.24 | 10.05 | 8.52 |



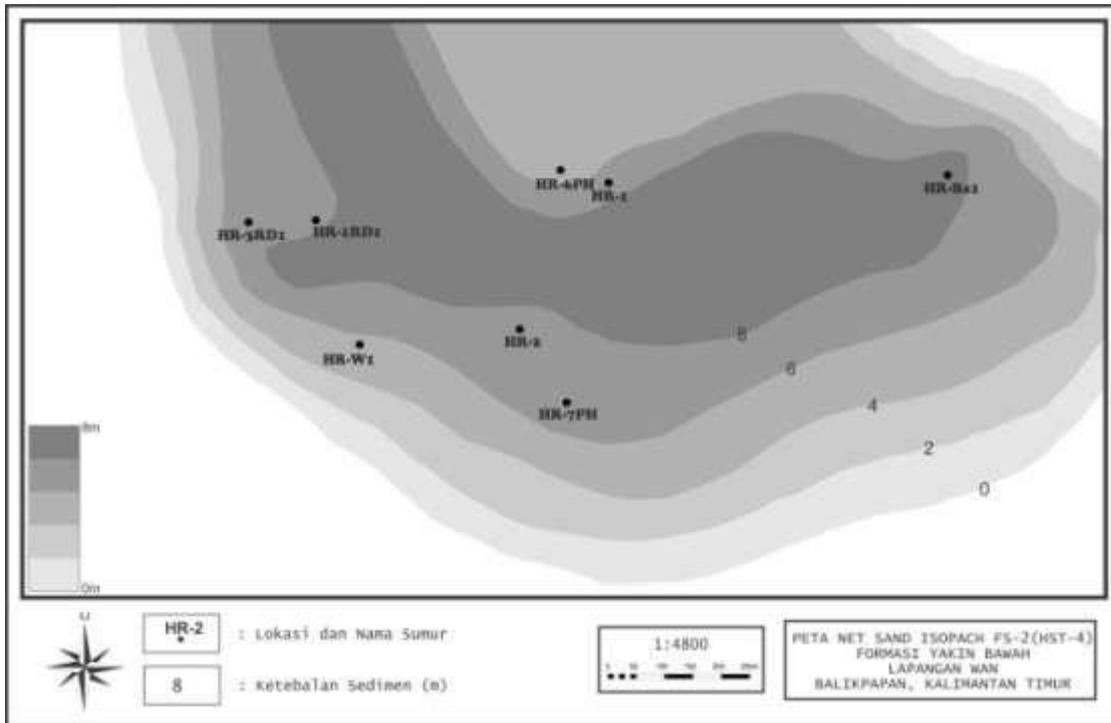
Gambar 10. Peta ketebalan batupasir kotor unit reservoir FS-1 (HST-4) Lapangan Wan



Gambar 11. Peta ketebalan batupasir kotor unit reservoir FS-1 (HST-4) Lapangan Wan



Gambar 12. Peta ketebalan batupasir bersih unit reservoir FS-1 (HST-4) Lapangan Wan



Gambar 13. Peta ketebalan batupasir bersih unit reservoir FS-2 (HST-4) Lapangan Wan