

GEOLOGI DAN STUDI SIKUEN STRATIGRAFI FORMASI BALIKPAPAN, LAPANGAN “MINGGIRAN” CEKUNGAN KUTAI, KALIMANTAN TIMUR

Satwika Abhimantra, Sugeng Widada, Salatun Said
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 Minggiran merupakan salah satu lapangan minyak dan gas bumi milik PT. Vico Indonesia yang berada ± 5,8 km sebelah timur laut kota Samarinda, Kalimantan Timur, Indonesia. Formasi yang menjadi fokus telitian pada Lapangan Minggiran yaitu Formasi Balikpapan, yang termasuk ke dalam Cekungan Kutai. Keseluruhan data penelitian ini dimiliki oleh PT. Vico Indonesia. Penelitian dengan pendekatan sikuen stratigrafi ini merupakan pengintegrasian data *wireline log*, inti batuan (*core*), dan data Biostratigrafi sebagai data utama serta data dip meter log sebagai pendukung.

Dari data biostratigrafi menunjukkan Formasi Balikpapan berumur Miosen Tengah, dengan lingkungan pengendapan berupa, *Marginal Marine (Lower Delta Plain-Delta Front)*, *Marginal Marine Inner Shelf (Delta Front)*, dan *Middle Shelf (Prodelta)*. Dari hasil analisa data inti batuan (*core*) didapatkan litologi penyusunnya berupa batupasir; warna abu-abu cerah, abu-abu gelap kehitaman, pasir sangat halus (1/16-1/8) – pasir sangat kasar (1-2); semen silika, batulempung (<1/256); abu-abu gelap, semen silika, batulanau (1/256-1/16); abu-abu gelap, semen silika, dan batubara, hitam, kilap minyak. Dari hasil analisa data inti batuan (*core*), juga terdapat beberapa struktur sedimen yang berkembang, yaitu *parallel lamination*, *cross lamination*, *wavy lamination*, *flaser*, *lenticular*, *mud drapes*, *coal clast*, dan *bioturbation*. Adapun fasies pengendapan yang berkembang berupa *tidal channel*, *levee*, *interdistributary bay*, *flood plain*, *crevasse splay* dan *swamp* pada *lower delta plain*. Pada data *wireline log*, diintegrasikan dengan data inti batuan (*core*), didapatkan fasies pengendapan berupa *tidal channel*, *levee*, *interdistributary bay*, *flood plain*, *crevasse splay* dan *swamp* pada *lower delta plain*. *Distributary mouth bar* pada *delta front*, dan *prodelta* yang keseluruhannya termasuk ke dalam sistem pengendapan delta.

Berdasarkan hasil analisis sikuen stratigrafi didapatkan empat paket sikuen pengendapan penyusun Formasi Balikpapan, yakni Sikuen 1, Sikuen 2, Sikuen 3, dan Sikuen 4 yang masing-masing sikuen tersebut dibatasi oleh *Sequence Boundary* (SB-1, SB-2, SB-3 dan SB-4) dan tersusun atas beberapa unit *systems tract* yakni LST, TST dan HST.

Kata-kata kunci : Lapangan Minggiran, Formasi Balikpapan, Sikuen Stratigrafi.

PENDAHULUAN

Cekungan Kutai merupakan 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). Cekungan ini memiliki luas area sekitar 60.000 km² dan kedalaman mencapai sekitar 15000 m (Rose & Hartanto, 1978 dalam Moss dkk., 1998). Cekungan Kutai telah menjadi target studi geologi selama bertahun-tahun. Cadangan yang telah terbukti mencapai 11 miliar barrel (oil equivalent) menjadikan Cekungan Kutai sebagai lokasi signifikan keterdapatan hidrokarbon di dunia serta merupakan daerah dengan petroleum system terbesar keempat pada wilayah Asia Tenggara-Australia (Howes, 1997 dalam 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 Balikpapan yang menjadi objek telitian termasuk kedalam Cekungan Kutai yang merupakan salah satu produk dari siklus tersebut yang mengendapkan lapisan reservoir hidrokarbon. Lapangan Minggiran merupakan salah satu lapangan penghasil minyak dan gas bumi pada Cekungan Kutai, yang merupakan milik dari PT. Vico Indonesia. Untuk meningkatkan jumlah dan kualitas produksi, maka perlu diadakan lagi sejumlah penelitian untuk mewujudkan harapan tersebut. Untuk itu perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut dan mendalam tentang aspek geologi dan keteknisan lainnya, sehingga jumlah produksi kian meningkat dan jumlah cadangan yang dimiliki bisa dimanfaatkan dengan maksimal dan efektif.

Maksud dari penelitian ini ialah untuk mengetahui kondisi geologi dan konfigurasi stratigrafi bawah permukaan pada daerah telitian, dengan menggunakan konsep sikuen stratigrafi sebagai metode, yang bertempat di Lapangan Minggiran, Cekungan Kutai, Kalimantan Timur. Sementara tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah :

1. Menentukan variasi sikuen dan fasies pengendapan
2. Menentukan *systems tract* dan *keys surface* yang berkembang
3. Menentukan penyebaran unit dari komponen sikuen stratigrafi
4. Mengetahui dinamika perubahan air laut yang menghasilkan *systems tract*
5. Mengetahui sejarah sedimentasi yang pernah terjadi
6. Mengetahui distribusi dan kualitas reservoir baik secara vertikal maupun lateral

Lokasi daerah penelitian berada di Lapangan Minggiran, yang terletak + 5,8 km disebelah barat laut kota Samarinda. Lapangan Minggiran merupakan lapangan minyak dan gas bumi milik PT. Vico Indonesia di Cekungan Kutai, Provinsi Kalimantan Timur, Indonesia.

Geologi Cekungan Kutai

Cekungan Kutai merupakan salah satu cekungan di Indonesia yang menutupi daerah seluas + 60.000 km² dan mengandung endapan berumur Tersier dengan ketebalan mencapai 14 km (Rose dan Hartono, 1971 dalam Mora dkk., 2001). Cekungan kutai terletak di tepi bagian timur dari Paparan Sunda, yang dihasilkan sebagai akibat dari gaya ekstensi di bagian selatan Lempeng Eurasia (Howes, 1977 dalam Allen & Chambers, 1998). Cekungan dibatasi pada bagian utara oleh suatu daerah tinggian batuan dasar yang terjadi pada Oligosen (Chambers and Moss, 2000), yaitu Tinggian Mangkalihat dan Sesar Sangkulirang yang memisahkannya dengan Cekungan Tarakan. Di bagian timur daerah cekungan ini, terdapat Delta Mahakam yang terbuka ke Selat Makasar. Di bagian barat, cekungan dibatasi oleh daerah Tinggian Kuching (*Central Kalimantan Ranges*) yang berumur Kapur (Chambers and Moss, 2000). Di bagian tenggara cekungan ini, terdapat Paparan Paternoster yang dipisahkan oleh gugusan Pegunungan Meratus. Di bagian selatan cekungan ini, dijumpai Cekungan Barito yang dipisahkan oleh Sesar Adang.

Stratigrafi Cekungan Kutai

Menurut Allen dan Chambers (1998), Cekungan Kutai tersusun atas endapan-endapan sedimen berumur Tersier yang memperlihatkan endapan fase transgresi dan regresi laut, yaitu :

1. Fase Transgresi Paleogen

Fase sedimentasi paleogen dimulai ketika fasa tektonik ekstensional dan pengisian rift pada kala Eosen. Pada masa ini, Cekungan Barito, Kutai, dan Tarakan merupakan zona *subsidence* yang saling berhubungan (Chambers & Moss, 2000).

2. Fase Regresi Neogen

Fasa ini dimulai pada Miosen Awal hingga sekarang, yang menghasilkan progradasi delta (*deltaic progradation*) yang masih berlanjut hingga sekarang. Sedimen regresi ini terdiri dari lapisan-lapisan sedimen klastik delta hingga laut dangkal dengan progradasi dari barat ke arah timur dan banyak dijumpai lapisan batubara (*lignit*).

Satyana dkk, (1999) telah menyusun stratigrafi Cekungan Kutai yang telah dikaitkan dengan kerangka tektonik cekungan.

- a. Formasi Kampung Baru: Batulempung pasir, batupasir kuarsa, batulanau sisipan batubara, napal, batugamping dan lignit. Ketebalannya 700-800 m, berumur Miosen Akhir hingga Pliosen dan diendapkan dalam lingkungan delta dan laut dangkal. Formasi ini terletak tidak selaras di atas Fm. Balikpapan.
- b. Formasi Balikpapan: Peselingan batupasir kuarsa, batulempung lanauan dan serpih dengan sisipan napal, batugamping dan batubara. Tebal formasi ± 800 m – 1500 m, berumur Miosen Tengah Atas dan diendapkan dalam lingkungan litoral-laut dangkal. Formasi menindih selaras di atas Formasi Pulaubalang.
- c. Formasi Pulaubalang: Peselingan Batupasir Greywacke dan batupasir kuarsa sisipan batugamping, dan batulempung dengan sisipan batubara. Batugamping berwarna coklat muda kekuningan, mengandung foraminifera besar. Tebal formasi ± 900 m, berumur Miosen Tengah dan diendapkan dalam lingkungan sublitoral dangkal.
- d. Formasi Bebuluh: Batugamping Terumbu dengan sisipan Batugamping Pasiran dan Serpih. Setempat batugamping menghablur, terkekar tak beraturan. Tebal formasi ± 300 m, berumur Miosen dan diendapkan pada lingkungan laut dangkal. Formasi ini diendapkan selaras dibawah Formasi Pulau Balang.
- e. Formasi Pamaluan: Batupasir kuarsa dengan sisipan batulempung, serpih, batugamping dan batulanau, berlapis sangat baik. Tebal formasi ± 2000 m, berumur Oligosen – Miosen Tengah dan diendapkan pada lingkungan neritik luar.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Secara regional Formasi Balikpapan berumur Miosen Tengah, pada hasil analisa yang dilakukan pada daerah telitian didapatkan sample fosil foram plankton berupa *Orbulina suturalis.*, dan *Orbulina universa.*, zona foraminifera planktonik menunjukkan N9-N12, dengan umur Miosen Tengah. Berdasarkan pengamatan pada data log sumur, inti batuan (*core*), dan biostratigrafi, Formasi Balikpapan diendapkan pada lingkungan pengendapan berupa *lower delta plain-delta front*, dengan fasies pengendapan yang berkembang yaitu *tidal channel, levee, crevasse splays, flood plain, swamp, interdistributary bay*, dan *distributary mouth bar*. Secara umum formasi ini disusun oleh litologi berupa batupasir sangat kasar sampai dengan batupasir sangat halus, Batulanau, Batulempung, Batubara, struktur sedimen yang berkembang antara lain *cross lamination, wavy lamination, parallel lamination, lenticular, flaser, mud drapes, coal clast*, dan *bioturbation*.

Interpretasi Fasies Pengendapan

Data yang digunakan dan dianalisis dalam penelitian tugas akhir ini adalah data inti batuan (*core*), data log sumur (*Well Log*), dan data biostratigrafi. Semua data penunjang ini telah disediakan oleh PT. Vico Indonesia.

Untuk mengetahui penyebaran fasies pengendapan baik secara lateral maupun vertikal perlu dilakukan langkah-langkah pengolahan analisis data. Pekerjaan yang dilakukan antara lain yaitu penentuan fasies pengendapan, korelasi sikuen stratigrafi dan penentuan model paleogeografi daerah telitian. Interpretasi fasies pengendapan diperoleh dari hasil deskripsi data inti batuan dan pendekatan pola elektrofasis dari log sumur di daerah penelitian. Kerangka stratigrafi daerah telitian diperoleh berdasarkan korelasi dengan konsep sikuen stratigrafi. Setiap fasies pengendapan memiliki karakteristik yang berbeda antara fasies pengendapan satu dengan lainnya. Karakteristik tersebut akan menentukan sifat fisik, geometri, pola sedimentasi, dan penyebaran tubuh batuan yang menyusun suatu tipe endapan.

Hasil dari interpretasi data inti batuan dipadukan dengan data log untuk memperkuat hasil interpretasi fasies pengendapan berdasarkan data log sumur. Perpaduan antara hasil analisis inti batuan dan analisis data log, akan dijadikan acuan dasar bagi sumur-sumur lain yang tidak memiliki data inti batuan. Berdasarkan hasil identifikasi fasies pada daerah telitian, maka didapatkan fasies – fasies pengendapan sebagai berikut :

Delta Plain

Delta plain merupakan bagian daratan dari delta dan terdiri atas endapan sungai yang lebih dominan daripada endapan laut dan membentuk suatu daratan rawa-rawa yang didominasi oleh material sedimen berbutir halus, seperti serpih organik dan batubara. Sublingkungan *delta plain* dibagi menjadi :

a. Upper Delta Plain

Merupakan bagian dari delta yg tidak terkena oleh marine proses, maupun proses pasang surut, proses fluvial lebih mendominasi pada *upper delta plain*. Pada bagian endapannya secara umum terdiri dari *meander channel*, *point bar*, *oxbow lake* (Allen and Chambers 1998). Pada daerah telitian penulis tidak menjumpai adanya bagian dari *upper delta plain*.

b. Lower Delta Plain

Lower delta plain terletak pada daerah dimana terjadi interaksi antara sungai dengan laut (Allen and Chambers 1998).. Pada lingkungan ini endapannya meliputi *distributary channel*, *levee*, *interdistributary bay*, *flood plain*, rawa (*swamp*) dan *crevasse splay*.

- ***Distributary Channel***

Distributary channel membentuk jaringan percabangan yang mengarah ke laut sepanjang *delta plain* dan mentransport sedimen fluvial ke pesisir. Endapan *distributary channel* ditandai dengan adanya bidang erosi pada bagian dasar urutan fasies dan menunjukkan kecenderungan menghalus ke atas (Walker,1992). *Distributary* ini memiliki kedalaman berkisar dari 10 hingga 20 meter dan mengerosi endapan distal *delta front*. Umumnya mengakumulasi pasir sebagai reservoir yang sangat baik. Geometri dari endapan pasir pada *distributary* ini bervariasi dan tergantung dari jenis sistem fluvial yang ada. Menurut Allen & Chambers (1998) dengan menganalogikan Delta Mahakan Modern berpendapat bahwa terdapat dua tipe channel yang terbentuk di bagian delta plain, yaitu *fluvial distributary channel* dan *tidal channel*. Pada hasil telitian didapatkan pada umumnya endapan *tidal channel* berupa batupasir dengan ukuran butir pasir halus (1/8 mm-1/4 mm) – pasir kasar (1/2 mm-1 mm). Batupasir yang didapat memiliki tebal berkisar antara 1 meter – 8 meter. Struktur sedimen yang umumnya dijumpai adalah *cross lamination*, *ripple cross stratification*, *wavy lamination*, *paralel lamination*, *scour and fill*, flaser, dan lensa-lensa lempung (*lenticular*). Fasies pengendapan *Tidal Channel* dapat ditemui pada sumur AB 31 pada interval 9214 ft – 9245 ft, sumur AB 32 pada interval 6188 ft – 6196 ft, sumur AB 35 pada interval 4193 ft – 4210 ft, sumur AB 36 pada interval 8892 ft – 8912 ft, 8914 ft – 8922 ft, 8925 ft – 8942 ft. Sumur AB 41 pada interval 9185 ft – 9191 ft, sumur AB 42 pada interval 8323 ft – 8348 ft, sumur AB 44 pada interval 7995 ft – 8032 ft.

- ***Levee***

Pada hasil telitian didapatkan pada fasies pengendapan *levee* umumnya berupa batupasir dengan ukuran butir pasir sangat halus (1/16 mm – 1/8 mm). Batupasir yang didapat memiliki tebal berkisar antara 0,5 meter – 2,5 meter. Struktur sedimen yang umumnya dijumpai pada fasies pengendapan ini adalah *cross lamination*, *wavy lamination*. Endapan *Levee* berasosiasi dengan *distributary channel* sebagai tanggul alam yang memisahkan dengan *interdistributary*. Sedimen pada bagian ini berupa pasir halus dan rombakan material organik serta lempung yang terbentuk sebagai hasil luapan material selama terjadi banjir. Pada hasil interpretasi, fasies pengendapan *levee* dapat ditemui pada sumur AB 36 pada interval 8892 ft – 8900 ft, 8925 ft – 8930 ft, Sumur AB 41 pada interval 9185 ft – 9188 ft, sumur AB 42 pada interval 8320 ft – 8323 ft, sumur AB 44 pada interval 7983 ft – 7989 ft.

- ***Interdistributary Bay***

Endapan *interdistributary area* merupakan endapan yang terdapat diantara *distributary channel*. Lingkungan ini mempunyai kecepatan arus paling kecil, dangkal, tidak berelief dan proses akumulasi sedimen lambat. Sedimen pada *interdistributary area* umumnya tersusun oleh lanau berbutir halus, *mud*, dan lempung karbonan (*carbonaceous*). Pada hasil telitian yang didapatkan pada fasies pengendapan *interdistributary bay* umumnya berupa batulempung ukuran butir <1/256 mm, dan batulanau ukuran butir 1/256 mm – 1/16 mm, dengan struktur sedimen yang dijumpai adalah *wavy lamination*, *lenticular*. Batulempung yang didapat memiliki tebal antara + 1 meter, sedangkan pada batulanau memiliki tebal antara 0,5 meter – 2,5 meter. Pada hasil interpretasi,

fasies pengendapan *interdistributary bay* dapat ditemui pada sumur AB 32 pada interval 6152 ft – 6158 ft, 6174 ft – 6188 ft, Sumur AB 35 pada interval 4246 ft – 4250 ft, sumur AB 36 pada interval 8883 ft – 8892 ft, 8912 ft – 8914 ft, 8922 ft – 8925 ft, sumur AB 41 pada interval 9183 ft – 9185 ft.

- *Flood Plain*

Pada hasil telitian yang didapatkan pada fasies pengendapan *flood plain* umumnya berupa batulempung ukuran butir <1/256 mm, berwarna abu-abu gelap, dengan kilap minyak. Batulempung yang didapat memiliki ketebalan 4,87 meter. Lingkungan ini mempunyai kecepatan arus paling kecil, dangkal, dan proses akumulasi sedimen lambat. Pada *flood plain* sebagian besar diendapkan pada arus suspensi selama air sungai melimpah (banjir). Pada hasil interpretasi, fasies pengendapan *interdistributary bay* dapat ditemui pada sumur AB 32 pada interval 6158 ft – 6174 ft – 6188 ft.

- *Crevasse Splay*

Pada hasil telitian yang didapatkan pada fasies pengendapan *crevasse splay* umumnya berupa batulanau ukuran butir 1/256 mm – 1/16 mm, sampai dengan batupasir sedang ukuran butir ¼ mm - ½ mm. dengan struktur sedimen yang dijumpai adalah *cross lamination*, *wavy lamination*, flaser. Batulanau yang didapat memiliki tebal antara + 2 meter, sedangkan pada batupasir memiliki tebal antara 0,5 meter – 2,5 meter. Endapan *crevasse splay* membentuk pola kipas sama seperti pada delta dan kipas aluvium, *crevasse splay* ini terbentuk karena jebolnya tanggul alam (*levee*), menghasilkan pola sedimentasi yang mengkasar keatas, dengan endapan berukuran lanau hingga pasir sedang, dengan struktur sedimen berupa *cross stratification*. Pada hasil interpretasi, fasies pengendapan *crevasse splay* dapat ditemui pada Sumur AB 35 pada interval 4210 ft – 4246 ft, sumur AB 41 pada interval 9160 ft – 9177 ft, sumur AB 42 pada interval 8311 ft – 8320 ft, sumur AB 44 pada interval 7973 ft - 7983 ft.

- *Swamp*

Endapan rawa-rawa (*swamp*) umumnya dicirikan dengan hadirnya batubara berwarna hitam dengan kilap minyak. Batubara yang didapat memiliki tebal antara + 2 meter. Pada hasil interpretasi, fasies pengendapan *swamp* dapat ditemui pada Sumur AB 31 pada interval 9212 ft – 9214 ft, sumur AB 41 pada interval 91 9177 ft – 9183 ft.

Analisis Data Core

Dari hasil analisa data inti batuan (*core*) yang dilakukan penulis melakukan integrasi dengan log sumur yang membantu dalam menganalisa fasies pengendapannya dan menentukan asosiasi fasies nya. integrasi ini sangat berguna untuk menentukan fasies ke sumur lainnya.

Berdasarkan hasil interpretasi data inti batuan (*core*) diatas didapatkan fasies pengendapan berupa *crevasse splay*, *flood plain*, *tidal channel*, *levee*, *interdistributary bay*, *swamp*. Ditemukan juga struktur sedimen seperti perlapisan lentikular, laminasi sejajar, laminasi silang siur, laminasi bergelombang, *flaser*, *coal clast*, *mud clast*, *mud drapes* dan *masif*. Dan juga ditemukan adanya, bioturbasi berupa *Ophiomorpha*. Sehingga penulis menyimpulkan bahwa lingkungan pengendapan pada daerah telitian adalah *Fluvial – Tide Dominated Delta* (Allen and Chambers, 1998).

Analisis Kualitas Reservoir

Berdasarkan hasil analisa dari data inti batuan (*core*) didapatkan fasies pengendapan berupa *crevasse splay*, *flood plain*, *tidal channel*, *levee*, *interdistributary bay*, *swamp*. Untuk mengetahui kualitas dari tiap fasies pengendapan maka diambil sample *core plug* pada data Inti batuan (*core*) untuk dianalisa kualitas porositas dan permeabilitasnya. Adapun hasil dari hasil analisa tersebut menghasilkan perbedaan kualitas porositas dan permeabilitas yang terdapat pada gambar sebagai berikut :

Maka dapat dilihat dari perbandingan porositas dan permeabilitasnya bahwa pada fasies pengendapan *Tidal Channel* memiliki kualitas reservoir yang lebih bagus dibandingkan dengan fasies pengendapan yang lainnya.

Analisis Data Log Sumur

Berdasarkan data wireline log dan data inti batuan (*core*) dari sumur pemboran, secara umum penyusun litologi Lapangan Minggiran tersusun atas batupasir, batulempung, batulanau, dan batubara yang menunjukkan sebuah pola perulangan. Interpretasi litologi ini dilakukan berdasarkan data *wireline log* yakni dengan membedakan antara zona *permeable* dan *impermeable* dengan menggunakan nilai *cut-off* yang ditunjukkan dari *log gamma ray*. Secara umum identifikasi zona *permeable* dan *impermeable* menggunakan nilai dari *log GR*, sebagai *zona shale* dengan *Vsh 100%* (> 90 API) dan *GR* terendah (minimum) sebagai *zona sand* dengan *Vsh 0%* (< 90 Api). Interpretasi ini kemudian diintegrasikan dengan hasil deskripsi dari *core* untuk melihat kesesuaian litologi tersebut. Adapun ciri litologi penyusun secara umum berdasarkan data *wireline log* tersebut adalah :

- Batupasir : dicirikan dengan nilai GR yang rendah yakni < 90 API, nilai resistivity cenderung tinggi pada zona yang mengandung fluida hidrokarbon yakni berkisar dari 6-30 ohm m, sementara pada zona yang mengandung fluida air menunjukkan nilai < 6 ohm m, nilai *density* dan neutron relatif rendah dan membentuk sparasi positif (*cross over*).

- Batulempung : dicirikan dengan nilai GR yang tinggi yakni > 90 API, nilai *resistivity* yang rendah, nilai *density* dan neutron yang tinggi (lebih besar dari batupasir) dan tidak menunjukkan sparasi positif (*cross over*) antara kedua kurva tersebut.
- Batubara : dicirikan dengan nilai GR yang rendah yakni < 90 API, nilai *resistivity* cenderung tinggi, nilai *density* nya rendah dan neutron nya tinggi, dan tidak menunjukkan separasi positif (*cross over*) antara kedua kurva tersebut.

PENENTUAN ELEKTROFASIES

Elektrofases memuat hasil interpretasi fasies yang kemudian dihubungkan atau diikatkan dengan data log dengan tujuan agar diperoleh pengelompokan batuan berdasarkan *log signature* yang dibentuk fasies pengendapannya. Pembuatan elektrofases ini pertama kali dimulai dengan interpretasi fasies yang kemudian di tempelkan dengan respon *log gamma ray* sumur tersebut.

1. *Blocky / Cylindrical*

Pola elektrofases *blocky* mencerminkan energi pengendapan yang relatif tinggi dan konstan selama proses pengendapan. Pola log ini mempunyai ukuran butir dari pasir kerikilan hingga pasir sedang pada daerah telitian. Log seperti ini tersebar merata di bagian bawah daerah telitian. Pola log ini diinterpretasi sebagai fasies *tidal channel*.

2. *Funnel Shaped*

Pola elektrofases *funnel shape* ini menandakan bahwa ukuran butir yang terdapat pada lapisan ini bergradasi dari bagian bawah yang relatif halus dan semakin berukuran sedang ke atasnya. Dapat diinterpretasikan mekanisme pengendapan yang mempengaruhi endapan dengan pola elektrofases seperti ini diendapkan pada energi yang semakin keatas energi semakin tinggi. Pola log seperti ini diinterpretasikan sebagai fasies *crevasse splay* dan *distributary mouth bar*.

3. *Bell shaped*

Pola elektrofases *bell shape* mencerminkan energi pengendapan semakin berkurang kearah atas. Pola log ini mempunyai ukuran butir pasir sedang hingga pasir kasar dengan pola menghalus keatas.

Integrasi Data Log Sumur Dan Inti Batuan

Interpretasi fasies dilakukan menggunakan data core dan berdasarkan pola log (elektrofases). Pada sikuen 1, fasies yang dominan adalah *distributary mouth bar* pada lingkungan pengendapan *delta front*, dicirikan dengan *sand* yang relatif tebal dengan pola elektrofases berupa *funnel shaped*. Pada sikuen 1 juga berkembang lingkungan pengendapan berupa *lower delta plain* pada fase LST (*lowstand system tract*), dengan fasies pengendapan berupa *tidal channel*, dicirikan dengan *sand* yang tebal dengan pola elektrofases berupa *blocky – bell Shaped*. Pada fasies pengendapan *crevasse splay* dicirikan dengan *sand* yang tidak terlalu tebal, dengan pola log berupa *funnel shaped*, dan pada *core* terdapat struktur sedimen berupa laminasi silang siur.

Sikuen 2, lingkungan pengendapan *lower delta plain* lebih dominan dengan fasies pengendapan berupa *tidal channel* yang dicirikan dengan *sand* yang tebal dengan pola log berupa *bell shaped* dan berasosiasi dengan *levee*. Fasies pengendapan *levee* dicirikan dengan *sand* yang tidak terlalu tebal dengan pola log berupa *bell shaped*, dan berasosiasi dengan *interdistributary bay*. *Interdistributary bay* dicirikan oleh litologi berupa lempung dengan pola log *bell shaped* dan berasosiasi dengan *crevasse splay*. Pada fasies pengendapan *crevasse splay* dicirikan dengan *sand* yang tidak terlalu tebal, dengan pola log berupa *funnel shaped*, dan pada *core* terdapat struktur sedimen berupa laminasi silang siur. Pada lingkungan pengendapan *delta front*, dicirikan dengan *sand* yang relatif tebal dengan pola elektrofases berupa *funnel shaped*, pada bagian bawah terdapat lempung kemudian di atasnya diendapkan berupa *sand*.

Sikuen 3, terdapat lingkungan pengendapan berupa *lower delta plain* dengan fasies pengendapan berupa *tidal channel* yang dicirikan dengan *sand* yang tebal dengan pola log berupa *bell shaped* dan berasosiasi dengan *levee*. Fasies pengendapan *levee* dicirikan dengan *sand* yang tidak terlalu tebal dengan pola log berupa *bell shaped*, dan berasosiasi dengan *interdistributary bay*. *Interdistributary bay* dicirikan oleh litologi berupa lempung dengan pola log *bell shaped* dan berasosiasi dengan *crevasse splay*. Pada fasies pengendapan *crevasse splay* dicirikan dengan *sand* yang tidak terlalu tebal, dengan pola log berupa *funnel shaped*, dan pada *core* terdapat struktur sedimen berupa laminasi silang siur. Pada lingkungan pengendapan *delta front*, dicirikan dengan *sand* yang relatif tebal dengan pola elektrofases berupa *funnel shaped*, pada bagian bawah terdapat lempung kemudian di atasnya diendapkan berupa *sand*, dan berasosiasi dengan prodelta. Pada lingkungan pengendapan *prodelta*, dicirikan dengan pola elektrofases berupa *bell shaped*, dengan litologi lempung yang dominan, namun terdapat juga *sand* tipis yg merupakan bagian distal dari *distributary mouth bar*.

Sikuen 4, terdapat lingkungan pengendapan berupa *lower delta plain* dengan fasies pengendapan berupa *tidal channel* yang dicirikan dengan *sand* yang tebal dengan pola log berupa *bell shaped*. *Interdistributary bay* dicirikan oleh litologi berupa lempung dengan pola log *bell shaped*. Pada lingkungan pengendapan *delta front*, dicirikan dengan *sand* yang relatif tebal dengan pola elektrofases berupa *funnel shaped*, pada bagian bawah terdapat lempung kemudian di atasnya diendapkan berupa *sand*.

Berdasarkan hasil interpretasi fasies pengendapan melalui analisa data Inti Batuan (*core*), dan data Log Sumur, maka didapatkan fasies pengendapan berupa *tidal channel*, *levee*, *crevasse splay*, *interdistributary bay*, *flood plain*, dan *swamp* pada lingkungan pengendapan *lower delta plain*. Pada lingkungan pengendapan *delta front* didapatkan fasies pengendapannya adalah *distributary mouth bar*, sedangkan pada lingkungan pengendapan *pro delta* didapatkan

lingkungan pengendapan berupa *tributary mouth bar* pada bagian *distal*. Maka dari data-data yang sudah didapatkan penulis dapat menyimpulkan bahwa daerah telitian pada Lapangan Minggiran lingkungan pengendapannya adalah *Fluvial – Tide Dominated Delta* (Allen and Chambers, 1998).

Sikuen Stratigrafi

Pada penelitian ini, sumur AB 39, dijadikan sebagai *key well* karena memiliki data yang lengkap dibandingkan sumur yang lain, salah satunya yaitu berupa data biostratigrafi pada sumur AB 39. Dari data biostratigrafi tersebut dapat ditentukan SB 1 (*Sequence Boundary*) terdapat pada kedalaman 10700 feet, didukung juga oleh pola log yang menunjukkan perubahan secara tiba-tiba dari *shale* ke *sand*. Sedangkan MFS 3 (*Maximum Flooding Surface*) didapatkan pada kedalaman 8640 feet, hal ini dikarenakan pada kedalaman tersebut merupakan kenaikan muka air laut yang paling tinggi pada daerah telitian, pada MFS 3 terlihat perubahan yang ditunjukkan adanya perubahan lingkungan pengendapan dari *Marginal Marine Inner Shelf (delta front)* ke *Middle Shelf (Pro Delta)*.

Penulis juga melakukan interpretasi dengan melihat pola log dan tidak menggunakan data biostratigrafi sehingga didapatkan TS 1 (*Transgressive Surface*) yang terdapat pada kedalaman 10360 feet dikarenakan titik awal terjadinya perubahan pola log dari *coarsening upward (Lowstand System Tract)* ke *fining upward (Transgressive System Tract)* atau perubahan awal dari *sand* menuju *shale*. MFS 1 (*Maximum Flooding Surface*) yang terdapat pada kedalaman 9980 feet dikarenakan pola log menunjukkan *fining upward* dan didukung oleh nilai log *gamma ray* yang sangat besar. SB 2 (*Sequence Boundary*) yang terdapat pada kedalaman 9850 feet dikarenakan litologi pada log menunjukkan perubahan yang drastis dari *shale* ke *blocky sand* atau *fining upward* menuju *coarsening upward*. TS 2 (*Transgressive Surface*) yang terdapat pada kedalaman 9830 feet dikarenakan merupakan titik awal perubahan pola log dari *coarsening upward* menjadi *fining upward*. MFS 2 (*Maximum Flooding Surface*) yang terdapat pada kedalaman 9635 feet dikarenakan pola log menunjukkan *fining upward* dan didukung oleh nilai log *gamma ray* yang sangat besar. SB 3 (*Sequence Boundary*) yang terdapat pada kedalaman 9290 feet dikarenakan litologi pada log menunjukkan perubahan yang drastis dari *shale* ke *blocky sand* atau *fining upward* menuju *coarsening upward*. TS 3 (*Transgressive Surface*) yang terdapat pada kedalaman 9200 feet yang dikarenakan perubahan awal dari litologi *sand* menuju *shale* atau titik awal perubahan *coarsening upward* menuju *fining upward*. SB 4 (*Sequence Boundary*) yang terdapat pada kedalaman 8510 feet dikarenakan litologi pada log menunjukkan perubahan yang drastis dari *shale* ke *blocky sand* atau *fining upward* menuju *coarsening upward*. TS 4 (*Transgressive Surface*) yang terdapat pada kedalaman 8490 feet yang dikarenakan perubahan awal dari litologi *sand* menuju *shale* atau titik awal perubahan *coarsening upward* menuju *fining upward*. MFS 4 (*Maximum Flooding Surface*) yang terdapat pada kedalaman 8430 feet dikarenakan pola log menunjukkan *fining upward* dan didukung oleh nilai log *gamma ray* yang sangat besar. Berdasarkan hasil interpretasi tersebut maka didapatkan 4 sikuen, namun pada sikuen 4 hanya terdiri dari LST 4 dan TST 4. Marker-marker yang telah ditentukan akan dikorelasikan ke sumur lain untuk mengetahui penyebaran pada tiap system tract. Berdasarkan umur yang terdapat pada data biostratigrafi, maka orde penelitian berada pada orde 3 yang dipengaruhi oleh *eustasy* (perubahan muka air laut) dan data pendukung berupa seismik dan log (Vail et al, 1991).

Korelasi Searah Dip Pengendapan

Korelasi searah dip pengendapan menunjukkan perubahan lingkungan pengendapan yang semakin menjorok ke arah laut/ke arah cekungan. Pada lapangan Minggiran korelasi searah dip pengendapan berarah Timur laut – Barat daya antara lain sumur AB 1 – AB 4 – AB 35 – AB 37 – AB 32 – AB 44 – AB 41 – AB 42 – AB 36 – AB 39. (Gambar 6.29). Didapatkan 4 sikuen pengendapan pada Lapangan Minggiran. Berdasarkan data biostratigrafi bahwa sikuen 1 berada pada lingkungan *marginal marine (lower delta plain – delta front)*, sikuen 2 berada pada lingkungan *marginal marine (lower delta plain – delta front)*, sikuen 3 pada lingkungan *marginal marine (lower delta plain – delta front) – middle shelf (prodelta)* dan sikuen 4 pada lingkungan *marginal marine inner shelf (delta front)*.

Korelasi Searah Strike Pengendapan

Korelasi searah strike pengendapan menunjukkan kemenerusan lingkungan pengendapan. Pada Lapangan Minggiran korelasi searah strike pengendapan berarah Tenggara – Barat Laut sumur AB 23 – AB 37 (gambar 6.30) dan AB 20 – AB 40 – AB 10 – AB 42 (gambar 6.31). Didapatkan 4 sikuen pengendapan pada Lapangan Minggiran. Berdasarkan hasil interpretasi bahwa sikuen 1 berada pada lingkungan *lower delta plain – delta front*, sikuen 2 berada pada lingkungan *lower delta plain – delta front*, sikuen 3 pada lingkungan *lower delta plain – delta front – prodelta* dan sikuen 4 pada lingkungan *delta front*.

KESIMPULAN

1. Secara umum litologi Lapangan Minggiran pada Formasi Balikpapan yang berumur Miosen Tengah yang diendapkan pada lingkungan *lower delta plain* dan terdiri dari batupasir halus hingga kasar, batulempung, batulanau, dan batubara, bersifat silikaan, dengan struktur sedimen berupa *cross lamination, wavy lamination, parallel lamination, flaser, lenticular, coal clast, mud drapes*, dan bioturbation.
2. Lingkungan pengendapan pada daerah telitian adalah *Fluvial – Tide Dominated Delta*, dengan fasies pengendapan berupa *tidal channel, levee, crevasse splay, interdistributary bay, flood plain*, dan *swamp* pada lingkungan

pengendapan *lower delta plain*. Pada lingkungan pengendapan *delta front* didapatkan fasies pengendapannya adalah *tributary mouth bar*, sedangkan pada lingkungan pengendapan *pro delta* didapatkan lingkungan pengendapan berupa *tributary mouth bar* bagian *distal*.

3. Dari hasil analisa data porositas dan permeabilitas pada data inti batuan (*core*) menunjukkan bahwa fasies pengendapan *tidal channel* mempunyai porositas dan permeabilitas yang baik sehingga pada fasies pengendapan *tidal channel* memiliki kualitas reservoir yang baik dibandingkan dengan fasies pengendapan yang lain.
4. Dari hasil analisa data biostratigrafi pada sumur AB 39 didapatkan lingkungan yang berkembang pada Formasi Balikpapan antara lain *Marginal Marine (Lower Delta Plain-Delta Front)*, *Marginal Marine-Inner Shelf (Delta Front)*, dan *Middle Shelf (Pro Delta)*.
5. Dari hasil analisa sikuen stratigrafi, dan korelasi stratigrafi dapat dilihat bahwa pada kala Miosen Tengah, Delta Mahakam menunjukkan pola penumpukkan yang relatif *Prograding*.
6. Dari hasil analisis sikuen stratigrafi, proses pengendapan yang terjadi pada Lapangan Minggiran membentuk 4 (empat) paket sikuen yaitu, Sikuen 1 (LST 1, TST 1, HST 1), Sikuen 2 (LST 2, TST 2, HST 2), Sikuen 3 (LST 3, TST 3, HST 3), dan Sikuen 4 (LST 4, TST 4).

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, G.P., 1987. *Deltaic Sediment in The Modern and Miocene Mahakam Delta*, Total Exploration Laboratory, Pessac, Perancis
- Allen, G.P., 1996. *Sedimentary facies and reservoir geometry in a mixed fluvial and tidal delta system- the Mahakam Delta*, Indonesia. Petrol. Expl. Soc. Australia J. 24, p. 140-155.
- Allen, G.P., 1994. *Concept and application of sequence stratigraphy to siliciclastic fluvial and shelf deposits*. Total Scientific and Technical Centre, Saint-Remy les Chevreuse, Paris., p:4;32-33.
- Anonymous., 1995. *Kutei Basin Study*, Vol 1., Vico Internal Report., Unpublished
- 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.
- Catuneanu, O., 2006. *Principles of Sequence Stratigraphy*, Elsevier, Alberta; Canada., p:84;112;135;143;171
- Cibaj, I., Syarifuddin, N., Ashari, U., Wiweko, A., Maryunani, K.A.. 2007. *Stratigraphic Interpretation of Middle Miocene Mahakam Delta Deposits : Implications for Reservoir Distribution and Quality*. Proceedings of the 31th Indonesian Petroleum Association, Jakarta., p:2
- Emery, D., Myers, K.J., 1996. *Sequence Stratigraphy*, Blackwell Science, London., p:3;16;20-26;29-30;39-40
- Hamilton, W., 1979. *Tectonics of The Indonesia Region* : U.S. Geological Survey Professional Paper 1078, 345 pp.
- Harsono, A., 1997. *Evaluasi Formasi dan Aplikasi Log*, Schlumberger Oilfield Services, Jakarta, p:25-30;115-116;133-134.
- Jervey, M.T., 1988. *Quantitative geological modeling of siliciclastic rock sequences and their seismic expression*. In: *Sea-level Changes: An Integrated Approach* (Eds Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.St.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A. & Van Wagoner, J.C.) Spec. Publ. Soc. Econ. Paleontol. Mineral. 42, 47-69.
- Koesoemadinata R.P., 1982. *Prinsip Sedimentologi*, Jurusan Teknik Geologi ITB., Bandung.
- Miall, A.D., 2010. *The geology of stratigraphic sequence* 2nd edition, Springer, Toronto., p:1;49.
- Moss, S.J., Chambers, J.L.C., 1999. *Depositional Modelling and Facies Architecture of Rift and Inversion Episode in Kutei Basin, Kalimantan, Indonesia*., Proceedings of the 27th Indonesian Petroleum Association, Jakarta, p:1-6; 11
- Moss, SJ, Chambers JLC. 2000. *Depositional Modeling and Facies Architecture of Rift and Inversion Episodes in the Kutei Basin, Kalimantan, Indonesia*. proceedings of the annual convention-indonesian petroleum association. 1:467-486.
- Mora, S., Garcia, N., dan Gardini, M., 2001. *Lower Kutei Basin Synthesis*, TOTAL internal report, TOTAL E&P Indonesia: Unpublished.
- Ott, H.L., 1987. *The Kutei Basin - A Unique Structural History*, Proceedings 16th Annual Convention, Indonesian Petroleum Association, Jakarta, 307 - 316
- Posamentier, H.W., Allen, G.P., 1999. *Siliciclastic sequence stratigraphy: concepts and applications*. SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology no. 7, 210 p.
- Raider, M., 1996. *The Geological Interpretation of Well Logs 2nd edition*. Rider- French Consulting Ltd., Sutherland; Scotland., p:151-158;240-247
- Satyana, A.H., Nugroho, D., Surantoko, I., 1999. *Tectonic controls on the hydrocarbon habitats of the Barito, Kutei, and Tarakan Basins, Eastern Kalimantan, Indonesia* : major dissimilarities in adjoining basins. Journal of Asian Earth Sciences 17. p;111-121
- Selley, R.C., 1985. *Ancient Sedimentary Environment and Their Subsurface Diagnosis 3rd edition*, Cornell University Press, Ithaca; New York., p:
- Suess, E., 1906. *The Face of the Earth*, (Translated by H. B. C. and W. J. Sollas) Vol. 2, Oxford : Clarendon. 759 pp.
- Supriatna, S., A. Sudradjat & H.Z. Abidin., 1995. *Geology of the Muara Tewe sheet area*, Kalimantan., Quadrangle 1715, 1:250,000. Geol. Res. Dev. Centre, Bandung.

- Van Wagoner, J.C., Posamentier, H.W., Mitchum, R.M., Vail, P.R., Sarg, J.F., Loutit, T.S., Hardenbol, J., 1988. *An overview of sequence stratigraphy and key definitions*. In: Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.St.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A., Van Wagoner, J.C. (Eds.), *Sea Level Changes—An Integrated Approach*, vol. 42. SEPM Special Publication, pp. 39–45.
- Van Wagoner, J.C., Mitchum Jr., R.M., Campion, K.M., Rahmanian, V.D., 1990. *Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, core, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies*. American Association of Petroleum Geologists Methods in Exploration Series 7, 55 pp.
- Van Wagoner J.C., Mitchum, R.M., Campion, K.M., dan Rahmanian, v.D., 1991. *Siliciclastics sequence Stratigraphy in Well Logs, Core and Outcrops: Concepts for High-Resolution Correlation of Time and Facies*, AAPG Methods in Series, No. 7, Tulsa USA, p. 1-55.
- Walker, R.G., James, N.P., 1992. *Facies Models: Response to Sea Level Change*, Geological Association of Canada, Canada, p:6;33;157-159