



Perkembangan Fasies Sedimen Formasi Mamberamo Berumur Miosen Akhir-Pliosen di Cekungan Papua Utara

Sedimentary Facies Development Of The Upper Miocene-Pliocene Mamberamo Formation In The North Papua Basin

David Victor Mamengko^{1,2}, Yoga B Sandjadja², Budi Mulyana², Hermes Panggabean³, Iyan Haryanto², Eko Budi Lelono³, Juwita Trivianty Musu⁴, dan Panuju⁴.

¹Fakultas Teknik Pertambangan dan Teknik Perminyakan, Universitas Papua .Jln. Gunung Salju, Amban, Manokwari, Papua Barat, 98314

²Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran. Jln. Raya Bandung – Sumedang Km. 21 Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat

³Pusat Survei Geologi. Jln. Diponegoro No.57 Bandung, Jawa Barat

⁴Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi “Lemigas”.Jln. Cileduk Raya Kav. 10, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan, Jakarta, 12230.

email: mamengko@gmail.com

Naskah diterima : 16 Mei 2018, Revisi terakhir : 24 Februari 2019 Disetujui : 24 Februari 2019, Online : 25 Februari 2019

DOI: 10.33332/jgsm.2019.v.20.1.37-47

Abstrak- Cekungan Papua Utara merupakan cekungan depan busur (*forearc basin*) terletak di pesisir utara Pulau Papua. Cekungan ini diisi oleh sedimen turbidit berumur Miosen Tengah - Akhir dan di atasnya oleh sedimen klastik Miosen Atas – Kuarter. Sedimen klastik Miosen Atas hingga Plio-Plistosen (Formasi Mamberamo) terdiri dari perselingan konglomerat, batupasir dan serpih sebagai endapan molasse. Penelitian stratigrafi rinci dilakukan guna mengidentifikasi fasies dan asosiasi fasies batuan Formasi Mamberamo berumur Neogen untuk memberi pandangan baru mengenai karakteristik dan perkembangan suksesi fasies Formasi Mamberamo bagian bawah di Cekungan Papua Utara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fasies molasse Formasi Mamberamo bagian bawah terdiri dari 3 (tiga) fasies, yaitu: A) fasies batupasir perlapisan silang-siur (subtidal), B) fasies serpih lanauan heterolitik (intertidal), dan C) fasies serpih karbonan (supratidal) yang diendapkan pada Miosen Akhir hingga Plio-Plistosen saat pembentukan pegunungan tengah (*syn-orogen*) sebagai endapan molasse.

Katakunci : Cekungan depan busur, cekungan Papua utara, Formasi Mamberamo, endapan molasse.

Abstract- North Papua Basin is a fore arc basin located in northern coastal of Papua Island. This basin filled by Middle-Upper Miocene turbidite sediment and overlid by Upper Miocene – Quaternary clastic sediment. Upper Miocene – Quaternary clastic sediments (Mamberamo Formation) composed by interbedding conglomerate, sandstone and shale as molasses deposit. A detailed stratigraphic study was performed to identify facies and its association of the Mamberamo Formation to that give a new perspective on the characteristics and development of facies succession of Lower Mamberamo Formation. Result shows that the Lower Mamberamo Formation consists of three facies: A) cross bedding sandstone (subtidal), B) heterolithic silty shale (intra-tidal), C) carbonaceous shale (supra-tidal) deposited on Late Miocen to Plio-Pleistocene during centra range orogeny (*syn-orogeny*) as molasses deposits.

Keywords: Fore arc basin, North Papua Basin, Mamberamo Formation, molasse deposits.

PENDAHULUAN

Perubahan fasies batuan sedimen, baik berupa lithofasies ataupun biofasies merupakan faktor penting dalam merekonstruksi perubahan baik secara temporal dan spasial perkembangan lingkungan pengendapan (Miall, 2013, 2010; Posamentier and Walker, 2006). Rekonstruksi lingkungan pengendapan bersama metode pendekatan geologi lainnya berperan sangat penting dalam analisis pembentukan suatu cekungan. Beberapa dasar pendekatan analisis fasies telah dibahas dan dilakukan untuk lingkungan darat (Miall, 1985; Weissmann dkk, 2010), laut dangkal (Gowland, 1996), dan laut dalam (Mukti dkk, 2009; Posamentier and Kolla, 2003). Analisis fasies dari endapan molasse yang sistem perkembangannya sangat erat dengan pertumbuhan pegunungan dan pengakatan telah banyak dilakukan di tempat lain (Schlunegger dkk, 1997; Sun dkk, 2004). Akan tetapi, penelitian mengenai fasies sedimen molasse di daerah *frontier* seperti Papua utara, masih belum banyak dilakukan.

Cekungan Papua Utara merupakan cekungan busur depan terletak di pesisir utara Pulau Papua sebagai cekungan *frontier* dengan aktifitas eksplorasi yang masih terbatas (Mcadoo & Haebig, 1999; Hill & Hall, 2003; Badan Geologi, 2009; Mamengko dkk, 2012; Mamengko dkk, 2014). (Gambar 1). Cekungan ini diisi oleh sedimen turbidit berumur Miosen Tengah-Akhir dan di atasnya oleh sedimen klastik Miosen Atas – Kuartar dengan ketebalan sekitar 10 km (Visser and Hermes, 1962; Hamilton, 1979; Williams & Amiruddin, 1984; Mcadoo & Haebig, 1999; van Ufford & Cloos, 2005; Badan Geologi, 2009; Davies, 2012; Mamengko et al., 2012). Sedimen turbidit Miosen Tengah-Atas (Formasi Makats) disusun oleh perselingan serpih dan batupasir sebagai endapan *flysch* dan sedimen klastik Miosen Atas hingga Plio-Plistosen (Formasi Mamberamo) terdiri dari perselingan konglomerat, batupasir dan serpih sebagai endapan Molasse. Karakteristik dan perkembangan fasies pada setiap formasi di Cekungan Papua Utara masih sangat kurang dijelaskan dikarenakan sedikitnya singkapan yang teramati. Beberapa peneliti terdahulu (Waschsmuth & Kunst, 1986; Mcadoo & Haebig, 1999; Hill & Hall, 2003; Baldwin dkk, 2004; van Ufford & Cloos, 2005; Mamengko dkk, 2012; Mamengko dkk, 2014a) lebih membahas tentang geologi regional, tektonik, sistem hidrokarbon dan prospektif hidrokarbon di Cekungan Papua Utara.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi karakteristik dan perkembangan suksesi fasies molasse Formasi Mamberamo dan implikasi terhadap

keberadaan hidrokarbon di Cekungan Papua Utara.

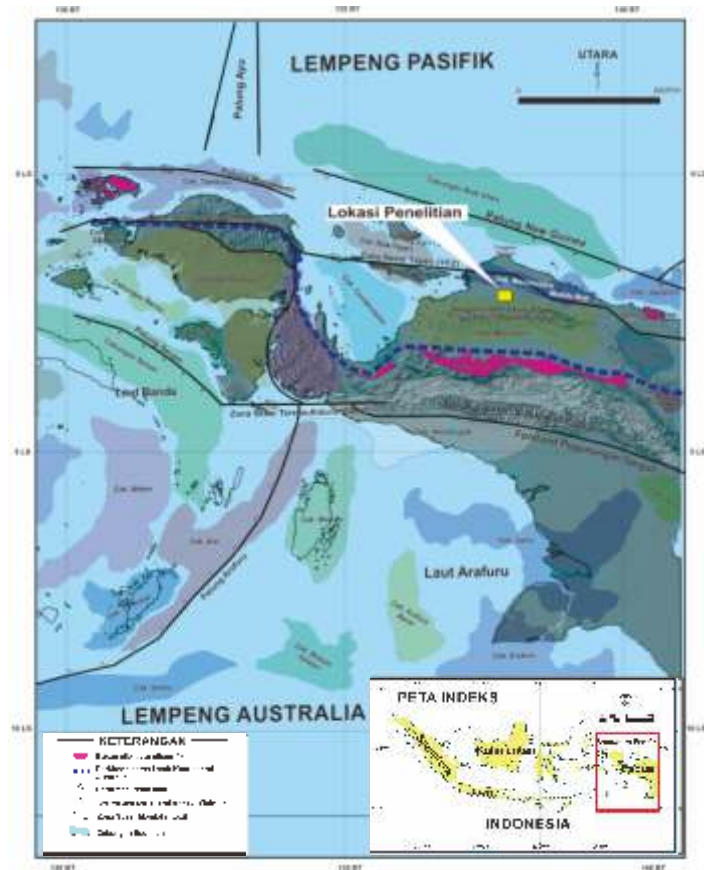
Lokasi penelitian terletak di Daerah Kasonaweja, Kabupaten Mamberamo Raya, Provinsi Papua. Berdasarkan peta geologi regional (Gafoer & Budhistrisna, 1995; Hakim dkk, 1995), daerah penelitian didominasi oleh Formasi Mamberamo (Gambar 2).

METODE PENELITIAN

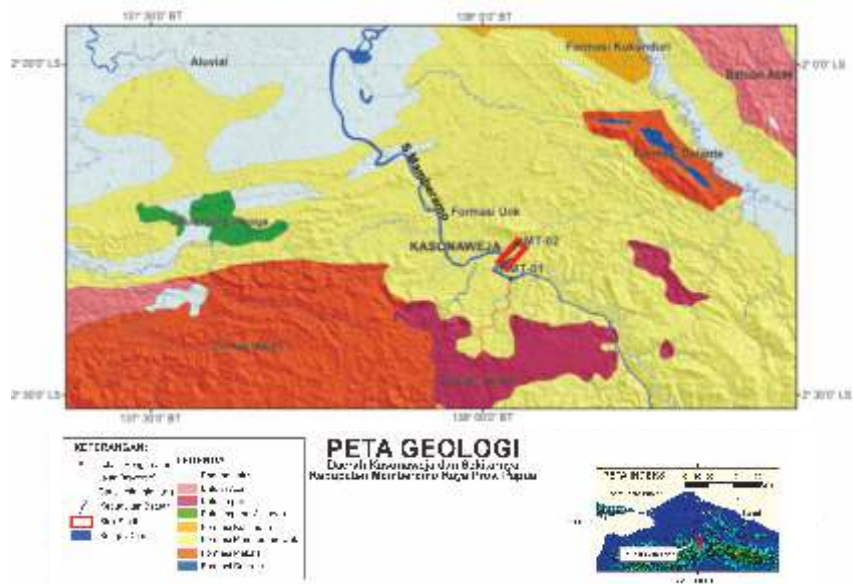
Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu: kajian pustaka/literatur, survei geologi lapangan, analisis laboratorium dan interpretasi. Survei geologi dan pengukuran stratigrafi terukur meliputi identifikasi karakteristik tiap lapisan batuan, berupa litologi, struktur sedimen, hubungan antara lapisan batuan, kandungan mineral/fragmen batuan, kandungan fosil dan geometri (tegak dan datar), pengambilan sampel batuan dan analisis laboratorium. Analisis laboratorium yang dilakukan adalah analisis petrografi dan analisis paleontologi guna mengidentifikasi karakteristik tiap jenis batuan, umur dan lingkungan pengendapan yang selanjutnya digunakan untuk analisis fasies, asosiasi fasies dan lingkungan pengendapan serta perkembangan pengendapan sedimen Neogen di Cekungan Papua Utara. Interpretasi dan rekonstruksi perkembangan cekungan dilakukan dengan menggunakan data terambil dan dibantu dengan hasil penelitian terdahulu seperti geologi regional, biostratigrafi, penampang seismik dan pemodelan.

GEOLOGI REGIONAL

Cekungan Papua Utara merupakan suatu depresi struktural yang dalam dan terisi oleh sekuen pengendapan Neogen dan Kuartar yang tebal dan secara tektonik merupakan cekungan busur depan hasil interaksi konvergen Lempeng Benua Australia dan Lempeng Samudera Pasifik atau Lempeng Mikro Carolina (Gambar 1). Cekungan ini juga dikenal sebagai *hybrid basin* yang awalnya adalah cekungan busur depan (*forearc basin*) dan kemudian dengan berhentinya penunjaman pada Miosen Awal akibat pergerakan translasi antara Lempeng Pasifik-Carolina dengan Lempeng Indo-Australia menyebabkan terjadinya rotasi konvegen menjadi oblik dan *sinistral strike-slip displacement* antara *trench* dan kompleks penunjaman (Mcadoo & Haebig, 1999; Hill & Hall, 2003). Sebagian kompleks penunjaman terangkat selama waktu itu dan membentuk *Northern Divide Ranges*.



Gambar 1. Peta Tektonik Papua dan cekungan sedimen (modifikasi van Ufford & Cloos, 2005; Badan Geologi, 2009 dan Mamengko, 2018). North Coastal (Cekungan Papua Utara) merupakan cekungan busur depan dan sebagai *mobile belt* dikontrol oleh sistem sesar mendatar sinistral Yapen dan Sorong (Yapen Fault Zone/YFZ dan Sorong Fault Zone/SFZ). Poligon kuning menunjukkan lokasi penelitian.



Gambar 2. Peta geologi daerah Mamberamo dan sekitarnya, yang memperlihatkan sebaran Formasi Mamberamo (Modifikasi Gafoer & Budhitrisna, 1995; dan Hakim dkk, 1995;). Poligon merah menunjukkan lokasi penelitian.

Bagian yang lain yang sama dengan kompleks penunjaman atau yang disebut sebagai *Nienggo basement platform* menjadi pengganti dari *Northern Divide Ranges* oleh Sesar Yapen. Sisa pembebanan di bawah permukaan pada bagian ujung utara cekungan (*successor basin*) yang terbuka di belakang kompleks penunjaman dan membentuk Teluk Waropen serta menempati kompleks Delta Mamberamo seperti pada saat ini. Stratigrafi regional daerah Papua Utara masih sangat kurang dijelaskan dan hubungan fasies secara lateral sangat kurang diketahui dikarenakan sedikitnya sinkapan yang dapat diamati (Waschsmuth & Kunst, 1986; Mcadoo & Haebig, 1999; Hill & Hall, 2003; Baldwin dkk, 2004; van Ufford & Cloos, 2005; Mamengko dkk, 2012; Mamengko dkk, 2014b).

Stratigrafi Cekungan Papua Utara tersusun atas formasi dari tua ke muda (Shell, 1985; Kunst, 1986; Lemigas, 2005; Gambar 3), yaitu: 1) Batuan dasar, terdiri dari batuan beku ultramafik dan batuan metamorf serpentin yang merupakan batuan ofiolitik dari Lempeng Samudera Pasifik atau Lempeng Mikro Carolina-Halmahera-Filipina (Shell, 1985; Kunst, 1986; Lemigas, 2005). 2) Formasi Auwewa tersusun oleh batugamping berselingan dengan batuan vulkanik dan batuan dasar yang telah terdeformasi serta diendapkan pada Oligosen Bawah-Miosen Tengah dengan ketebalan sekitar 3.150 meter. 3) Formasi Darante yang tersusun oleh batuan karbonat diendapkan pada fase setelah tumbukan awal Oligosen Akhir sampai Miosen Tengah dan ketebalan formasi ini lebih dari 850 meter. 4) Formasi Makats merupakan endapan turbidit, terdiri dari perselingan batupasir, batulanau dan serpih terendapkan di lingkungan laut dalam pada Miosen Awal-Tengah. 5) Formasi Mamberamo terendapkan secara tidak selaras di atas Formasi Makat pada Plio-Plistosen. Formasi Mamberamo terdiri dari beberapa anggota yang diendapkan pada lingkungan fluvial-deltaik (Shell, 1985; Kunst, 1986; Lemigas, 2005).

HASIL PENELITIAN

Fasies dan Asosiasi Fasies

Satuan batuan di daerah penelitian didominasi oleh perselingan batupasir dan serpih (Formasi Mamberamo bagian bawah) dan berdasarkan karakteristik batuan berupa litologi, struktur sedimen, bidang erosi, kandungan mineral/fragmen batuan, kandungan fosil dan geometri maka fasies Formasi Mamberamo bagian bawah di daerah penelitian dapat dibagi menjadi 3 (tiga) fasies, yaitu : A). Batupasir perlapisan silang siur, B). Serpih lanauan heterolithik, C). Serpih karbonan.

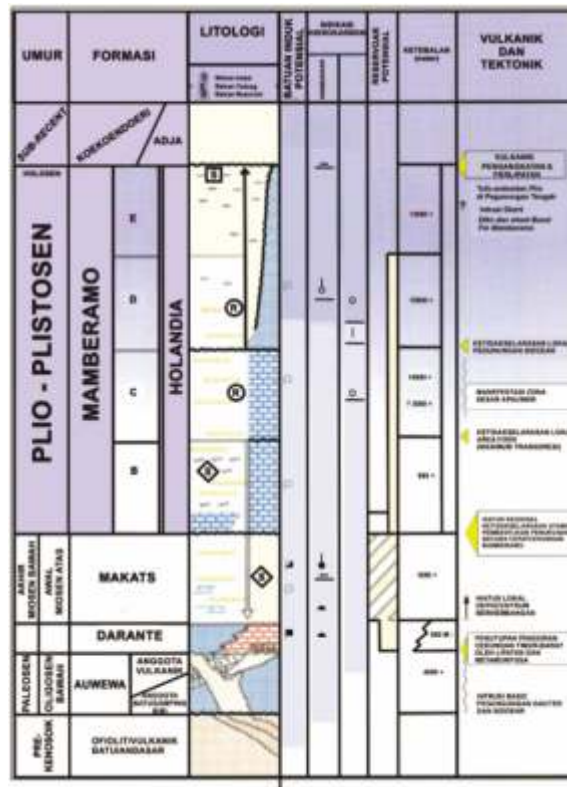
A. Fasies batupasir pelapisan silang-siur (Fasies A)

Fasies ini terdiri dari batupasir dan batupasir konglomeratan pada sinkapan MT-01 interval 0,5-0,7 meter (m); 3-3,6 m; 5,8-6,0 m; 6,5->7,5 m dan MT-02 interval 0-0,5 m; 2,3-2,6 m; 5,6-6,25 m; 9,9-10,1 m; 12,0-12,5 m; dan 14,3->15,5 m (Gambar 4).

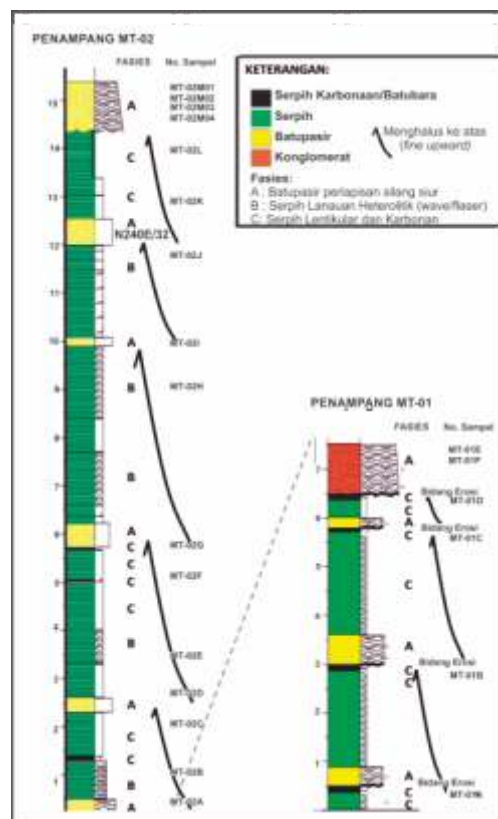
Batupasir, berwarna coklat dan abu-abu, ukuran butir pasir halus-sedang, membundar tanggung-menyudut tanggung, kemas tertutup. Struktur sedimen berupa perlapisan silang siur, dengan *mud clast*, *mud drape*, fragmen kuarsit, nodul-nodul lempung dan oksida besi (*siderit*), batubara/karbon dan di bagian bawah terdapat bidang erosi (*scouring* Gambar 5). Hasil sayatan tipis menunjukkan berukuran pasir sangat halus (0.09 mm) dengan ukuran butir berkisar 0,03-0,92 mm, menyudut tanggung-membundar tanggung, kontak butir diidentifikasi sebagai jenis kontak titik (*point*) dan diikuti kontak memanjang (*long*), komposisi didominasi oleh kuarsa (23%), feldspar (1.25%), fragmen batuan beku (1%), Fragmen batuan metamorf (polikristalin) (2%), batuan sedimen batulempung (2%) dan batulanau (1%), material karbon (3%), Mika (8%). Berdasarkan klasifikasi batuan sedimen (Folk, 1980) maka batuan ini tergolong batupasir *sublitharenite*.

Hasil XRD analisis menunjukkan batuan terdiri dari smektit (40%), cholrit (18%), ilit (8%), quartz (26%), plagioklas (5%), dan kalsit (3%).

Batupasir konglomeratan, warna coklat, ukuran butir pasir halus-krikil, kemas terbuka dengan fragment berupa siderit, batupasir, batubara, batulempung, kuarsit dan fragmen batuan (Gambar 5 A, B). Struktur sedimen berupa perlapisan silang-siur, *mud clast*, *mud drape* dan bidang erosi (*scouring*) dan hadir konglomerat alas yang membentuk geometri channel fill (Gambar 5 A, B dan C). Selain itu, struktur perlapisan silang-siur yang terbentuk oleh lapisan tipis karbon (*lignite streak*) dan *mud drape* sebagai struktur perlapisan silang-siur (*tidal bundled*; Gambar 5 A). Di bagian atas, struktur sedimen yang berkembang adalah laminasi sejajar dengan lapisan tipis karbon (*lignite streak*). Batupasir berwarna abu-abu hingga abu-abu kehijauan, berukuran butir pasir sedang-pasir kasar, pemilahan sedang, bentuk butir membulat-membulat tanggung, terdapat fosil kayu, fosil daun, pecahan cangkang moluska. Struktur sedimen perlapisan silang-siur berkembang dan diikuti oleh laminasi sejajar pada bagian atas. Hasil analisis petrografi menunjukkan bahwa fasies ini disusun oleh batupasir litharenite konglomeratan (Folk, 1980).



Gambar 3. Stratigrafi Cekungan Papua Utara (Shell, 1985; Waschsmuth & Kunst, 1986; Mcadoo & Haebig, 1999; Lemigas, 2005).



Gambar 4. Penampang stratigrafi terukur pada singkapan MT-01 dan MT-02 di daerah Kasonaweja dan sekitarnya menunjukkan suksesi vertikal fasies tidal flat dengan pola menghalus ke atas (*fining upward*) agradisional sebagai ekspresi penurunan cekungan secara cepat bersamaan dengan pengisian sedimen yang cepat pula.



Gambar 5. Fasies batupasir konglomeratan menunjukkan A) struktur perlapisan silang-siur, *mud drape*, adanya fragmen lempung (*mud fragment*), lensa/nodul siderit, konglomerat alas (*lag deposits*). B) nodul siderit dan konglomerat alas pada bagian bawah perlapisan. C) geometri *channel* yang ditunjukkan adanya bidang erosi (*scouring*).

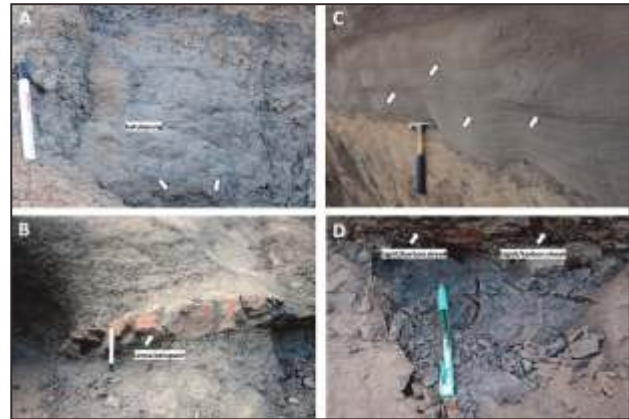
Interpretasi

Struktur sedimen silang-siur menunjukkan kecepatan maksimum arus membentuk tumpukan pasir dan tererosi oleh arus balik sebagai *reactivation surface*. Lapisan tipis serpih (*mud drape*) dan karbon tipis sebagai variasi struktur pasang-surut (Murtaza *et al*, 2017) dan bagian utama *ebb channel subtidal* selama periode *slack-water* pada *low tide* (Buatois dkk, 2012; Dalrymple dkk, 2012). Selain itu, kenampakan perlapisan silang siur (*tidal bundled*; Gambar 5) mengindikasikan adanya arus pasang-surut dalam proses pengendapan fasies ini. Adanya bentukan *scouring* pada dasar fasies ini mendukung dugaan adanya rezim energi tinggi sebagai penciri endapan saluran. Selain itu, Keberadaan mineral siderit pada analisis petrografi memberi dugaan kuat adanya pengaruh air laut dan lingkungan reduktif dalam pembentukan fasies ini. Hal lain yang menguatkan bahwa fasies ini merupakan lingkungan *subtidal* dan diendapkan oleh pengaruh pasang-surut yaitu dengan adanya struktur perlapisan silang siur *bundled (bundled cross bedding)*. Dengan mengacu pada karakteristik yang terdapat pada fasies ini seperti bidang erosi (*scouring*), pola pengendapan menghalus ke atas (*fining upward*), perlapisan silang siur dengan adanya *mud drape*, nodul-nodul siderit, fragmen batubara/carbon maka fasies ini diinterpretasi sebagai *tidal dominated channel fills* (Murtaza dkk, 2017)

B. Fasies serpih lanauan heterolitik (Fasies B)

Fasies ini tersusun oleh serpih lanauan dan sisipan tipis lanau-pasir halus (MT-01 interval 0-0,4 m; 0,9-2,9 m;

3,6-5,7 m; 6-6,4 m dan MT-02 interval 0,5-1,3 m; 1,4-2,3 m; 2,6-5 m; 5,1-5,6 m; 6,25-9,9 m; 10,1-12 m; 12,5-14,3 m (Gambar 4). Serpih lanauan, berwarna abu-abu kehijauan, ukuran butir lempung-lanau, lapisan tipis lanau-pasir halus yang relatif menerus dan setempat melensa. Secara umum, struktur sedimen yang berkembang pada fasies ini adalah struktur *wavy* dan lentikuler sebagai perselingan antara serpih dan batupasir halus yang dikelompokkan menjadi perlapisan heterolitik (Davis & Dalrymple, 2012; Gambar 6).



Gambar 6. Fasies Serpih Lanauan heterolitik menunjukkan A) Struktur lenticular dimana layer tidak menerus ataupun lensa lanau-pasir halus pada massa dasar serpih. B) Lensa batupasir halus pada massa dasar serpih C) Perselingan antara pasir dan lempung membentuk struktur sedimen *wavy*. D) Serpih pada bagian atasnya berkembang struktur sedimen laminasi oleh sisipan tipis karbon/batubara (*carbon streak*).

Interpretasi

Kenampakan lapangan dengan struktur sedimen *wavy* dimana proporsi serpih lanauan dan batupasir halus yang relatif sama yang dikenal sebagai struktur sedimen *wavy*. Struktur sedimen ini merupakan ekspresi dari variasi aktivitas arus atau gelombang ataupun pasokan sedimen yang terjadi karena adanya perubahan tingkat energi arus atau gelombang. Hal ini mencerminkan adanya perubahan energi secara reguler pada bagian yang berbeda dari siklus pasang-surut (Nichols, 2009) dan menurut (Davis & Dalrymple, 2012), struktur sedimen *wavy* tersebut berkembang ketika kondisi energi rendah (*low-energy*) yang mengikuti terbentuknya *ripple* dimana lumpur akan terakumulasi sebagai endapan suspensi dalam lembah-lembah *ripple* tersebut. Kehadiran struktur sedimen perlapisan *lenticular, wavy, and ?aser* dimana lapisan lumpur maupun pasir terbentuk pada saat *slack tides* pasang tinggi (*flood*) dan pasang rendah (*ebb*) dan menjadi salah satu ciri dan karakteristik dari lingkungan pengendapan pasang-surut. Keberadaan mineral siderit menguatkan dugaan bahwa fasies ini terbentuk sebagai

pengaruh arus pasang-surut dan berhubungan langsung dengan lingkungan transisi. Berdasarkan diskripsi di atas maka dapat disimpulkan bahwa fasies ini terbentuk sebagai hasil perubahan periodik kondisi energi tinggi dan tenang (*quiescent conditions*) pada oleh lingkungan pasang-surut (*tide-dominated environment*), yaitu lingkungan intertidal.

C. Fasies serpih karbonan (Fasies C)

Fasies ini terdiri dari serpih karbonan dan batubara pada MT-01 (interval 0,4-0,5 m; 2,9-3 m; 5,7-5,8 m; 6,4-6,5 m), MT-02 (interval 1,3-1,4 m; 5,1 m) dan MT-03 (Gambar 4 dan 7). Serpih karbonan, abu-abu gelap hingga hitam, terdiri dari fragmen fosil batang, akar pohon, karbon berlembar, menyerpil dan bergelombang cukup melimpah (Gambar 7). Batubara, warna hitam, kilap terang dengan ketebalan beragam dari centimeter dan lebih kurang 1 (satu) meter (Gambar 7). Hasil analisis palinologi menunjukkan kelimpahan spesies polen (*fresh water*) seperti *Proxapertites operculatus* *Myrtaceidites* spp. dan *Stenochlaenidites Papuanus* (Mamengko, 2018).



Gambar 7. Fasies serpih karbonan menunjukkan singkapan batubara (A, B) dan serpih karbonan (C, D) sebagai fasies *swamp* (supratidal) yang didominasi tanaman tingkat tinggi berupa fosil batang kayu, akar pohon serta polen *Proxapertites operculatus* *Myrtaceidites* spp dan *Stenochlaenidites Papuanus*.

Interpretasi

Serpih karbonan dengan kandungan material organik yang melimpah mengindikasikan sebuah lingkungan dengan proses pengawetan material organik sangat baik dengan sirkulasi terbatas. Detritus organik berupa serpihan karbonan merupakan indikasi akumulasi arus suspensi selama pasang-surut tertinggi (*high spring tides*) dengan kondisi energi tenang (Davis & Dalrymple, 2012). Adanya serpih atau batuan halus dan fosil batang kayu, akar pohon dan kelimpahan spesies polen *Proxapertites operculatus* *Myrtaceidites* spp. dan

Stenochlaenidites Papuanus menunjukkan bahwa material organik fasies ini berasal dari tumbuhan tingkat tinggi dari hutan gambut atau mangrove air tawar (*marsh*). Keberadaan material organik yang melimpah dalam massa dasar yang halus berwarna hitam (*black shale* atau serpih karbonan) maka fasies ini diinterpretasi sebagai endapan lingkungan rawa hingga pasang-surut atas (*swamp-supratidal*) dengan pengaruh arus pasang-surut (*tide influence*).

Sejarah Perkembangan Formasi Mamberamo

Secara keseluruhan perkembangan fasies dan lingkungan pengendapan di daerah penelitian adalah lingkungan *tidal flat*. Lingkungan *tidal flat* terdiri dari fasies A, B, dan C sebagai Formasi Mamberamo bagian bawah. Pola suksesi tegak fasies (A, B, dan C) di daerah penelitian ditunjukkan pola pengendapan atau suksesi menghalus ke atas (*fining upward succession*) yang dimulai dengan *tidal channel* (*subtidal setting*) yang diikuti dengan *mixed tidal flat-intertidal* dan *mud flat-intertidal* serta rawa (*swamp-supratidal*). Namun demikian, secara keseluruhan pola suksesi tersebut membentuk suatu irama perulangan fasies A, B dan C yang tebal. Pola suksesi seperti ini merupakan pola suksesi aggradasional yang dikontrol oleh kecepatan penurunan cekungan (*rapid subsidence*) diikuti dengan pengendapan (*sediment supply*) yang besar bersamaan dengan pembentukan pengunungan (orogenesis) di selatan daerah penelitian.

DISKUSI

Menurut Williams & Amiruddin (1984) dan Davies (2012), sedimen klastik Miosen Atas -Kuartar Formasi Mamberamo merupakan hasil dari proses pengendapan yang cepat ditunjukkan oleh adanya endapan diapir secara luas. Proses diapirisme berupa *mud volcano* masih dijumpai sampai pada saat ini. Selain itu, karakteristik sedimen Formasi Mamberamo di daerah penelitian yang menunjukkan adanya pola suksesi tegak cukup tebal dan membentuk suatu irama perulangan fasies yang diendapkan di lingkungan transisi atau *tidal flat* (Bachri dkk, 1997; Mamengko, 2010; Mamengko dkk, 2012; Mamengko dkk, 2014b). Pola suksesi tersebut merupakan pola suksesi aggradasional yang dikontrol oleh kecepatan pengakatan (*uplift*) dan penurunan cekungan (*rapid subsidence*) diikuti proses *exhumation* dan proses pengisian cekungan. Proses pengakatan ini menyebabkan perubahan lingkungan pengendapan secara mencolok. Hal ini juga ditunjukkan oleh suksesi tegak dimana Formasi Makats yang diendapkan di lingkungan laut dalam (*flysch*) secara tidak selaras di

atasnya Formasi Mamberamo yang diendapkan di lingkungan transisi (Mamengko, 2014). Perubahan suksesi pengendapan Formasi Makats dari endapan laut dalam (endapan *flysch*) menjadi endapan transisi (endapan molasse) Formasi Mamberamo sangat dipengaruhi oleh kejadian tektonik berupa pengangkatan dan *exhumation* serta penurunan cekungan secara cepat.

Prediksi transisi dari fase pengisian cekungan dengan endapan *flysch* (Formasi Makats) ke endapan molasse (Formasi Mamberamo) terjadi pada Miosen Akhir dimana *konvergen New Guinea* menghasilkan pengangkatan dan *thrust-faulting* (Sistem Sesar Yapen Mamberamo) di utara *ranges* (Hill & Hall, 2003; Davies, 2012) menyebabkan terjadinya pengangkatan (*uplift*) dan *exhumation* secara cepat formasi-formasi yang tua seperti Formasi Makats dan mengisi cekungan terjadi secara cepat di Cekungan Papua Utara sebagai endapan molasse (Formasi Mamberamo) pada saat pengangkatan dan terbentuknya *Central Range* di selatan daerah penelitian. Sejarah pengisian cekungan dan perkembangan sedimentasi Miosen Atas hingga Pliosen Formasi Mamberamo diilustrasikan berdasarkan referensi peneliti terdahulu (geologi regional, biostratigrafi) dan interpretasi penampang seismik (Mamengko, 2010; Mamengko dkk, 2012), sebagai berikut:

• Episode Miosen Akhir (5,3 Ma atau Juta tahun lalu atau Jtl)

Pada Miosen Akhir, intensitas pergerakan Sesar Yapen semakin intensif menyebabkan terjadinya deformasi, pengangkatan dan denudasional di bagian selatan daerah penelitian. Deformasi, pengangkatan dan denudasional tersebut sebagai tanda adanya kompresi dari intensitas Sesar Yapen sebagai hasil perubahan interaksi pergerakan Lempeng Carolina-Halmahera-Filipina yang bergerak oblik relatif ke barat dan berlangsung terus hingga pada saat ini. Fase pengendapan ini diidentifikasi sebagai Formasi Makats dimana potensial batuan induk berada pada material sedimen klastik halus dengan kandungan material organik yang berasal dari hasil rombakan orogen di daerah pengangkatan (*uplifting area*).

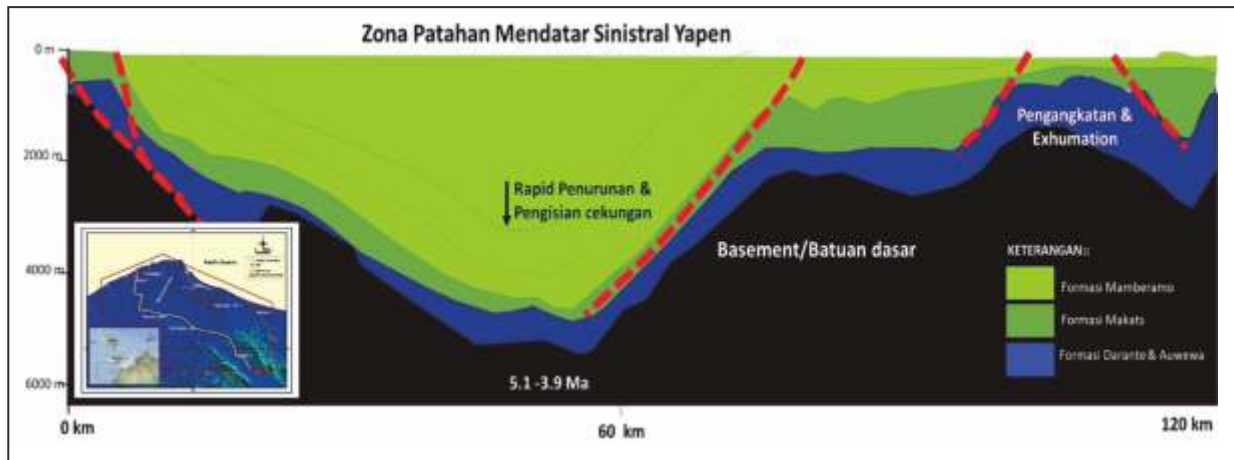
Hasil analisis petrografi menunjukkan bahwa sampel MT-02A diidentifikasi sebagai batupasir sublitharenite, (Folk, 1980) dengan komposisi yang mendominasi adalah monokristal kuarsa diikuti oleh feldspar,

fragmen batuan beku, fragmen batuan metamorf (polikristal) dan fragmen batuan sedimen (batulempung dan batulanau). Aksesori mineral meliputi mika, material karbonan, dan mineral berat. Hadir pula foraminifera planktonik dan bioklas tak teridentifikasi pada batuan ini dalam jumlah sedikit. Menurut (Mamengko, 2010), persentase kuarsa, feldspar dan fragmen batuan Formasi Mamberamo diklasifikasikan sebagai sublitharenite, (Folk, 1980). Diagram ternary (Dickinson, 1983) menunjukkan bahwa batupasir Formasi Mamberamo sebagai *recycled orogenic* yang sumber utama material sedimennya berasal dari material Formasi Auwewa dan Formasi Makats Ologosen-Miosen Tengah hasil pengangkatan (*uplift*), terdenudasi (*exhumation*) erasional (*exhumation*) masa batuan di selatan cekungan pada Miosen Akhir (5,1 Jtl Visser & Hermes, 1962; van Ufford & Cloos, 2005; Mamengko, 2010; Davies, 2012; Mamengko dkk, 2012) sebagai endapan molasse.

• Episode Plio-Plistosen (5.1 – 3.35 Jtl)

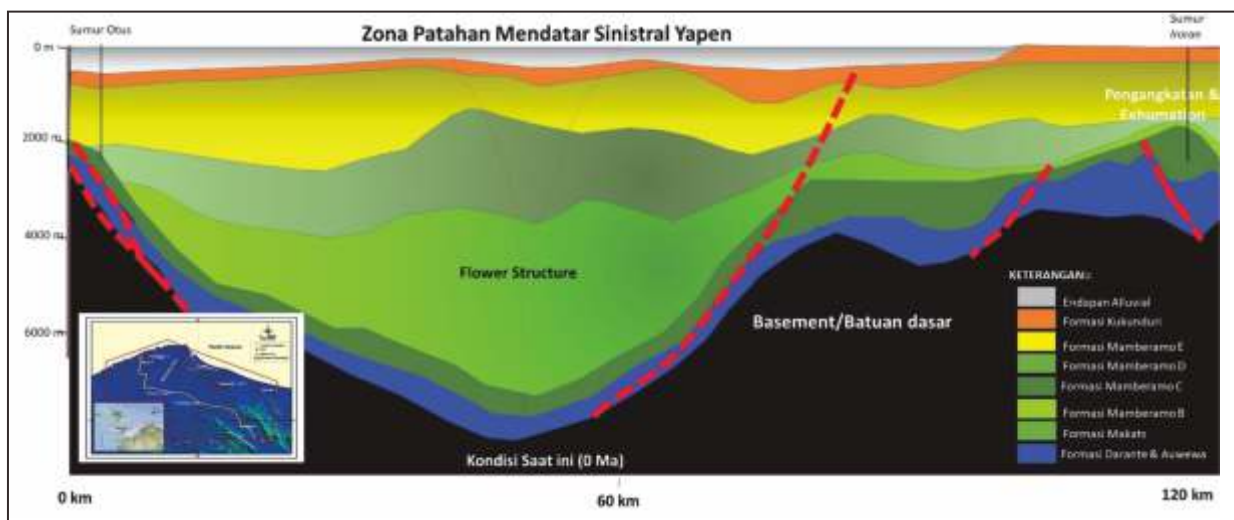
Episode ini diikuti dengan aktivitas Sesar Yapen yang terus berlangsung diikuti oleh penurunan dan pengisian cekungan oleh material-material klastik halus hasil rombakan material orogenesis (Gambar 11). Keberlanjutan kecepatan pengangkatan dan denudasional relatif cepat diikuti dengan penurunan dan pengisian cekungan sejak Miosen Akhir (5,1 Jtl) maka semakin tebal pula endapan yang dihasilkan sebagai suksesi pengendapan agradasional. Material yang mengisi cekungan terdiri dari material halus-kasar sebagai endapan lingkungan *tidal flat-deltaic* diindikasikan sebagai material penyusun Formasi Mamberamo dan dikenal sebagai fasies mollase yang diendapkan secara tidak selaras di atas Formasi Makats setelah Orogenesa Plio-Plistosen (Gambar 11).

Pada Pliosen hingga sekarang, intensitas kompresi tidak berhenti menyebabkan terjadinya aktivasi patahan dan perlipatan yang cukup intensif sebagai fase inversi (Gambar 12). Pengangkatan, deformasi dan denudasional serta penurunan cekungan di bagian tengah cekungan menyebabkan terjadi pengisian cekungan dengan sedimen yang tebal dan peningkatan pembebanan, tingkat kematangan termal. Namun pada beberapa daerah di selatan dan utara cekungan mengalami pengangkatan.



Sumber : modifikasi Mamengko (2018)

Gambar 11. Penampang hasil analisis seismik dan pemodelan 2D menunjukkan rekonstruksi perkembangan pengendapan Formasi Mamberamo yang dimulai pada periode Miosen Akhir (5,1 Jtl) – Pliosen (3,9 Jtl). Penurunan cekungan terjadi bersamaan dengan proses pengangkatan Pegunungan Tengah (*Central Range*) dan selanjutnya terjadi proses denudasional, erosional (*exumation*) dimana hasil rombakan tersebut menjadi sumber pengisian cekungan hingga 3,9 Jtl yang dikenal sebagai endapan molasse Formasi Mamberamo.



Gambar 12. Penampang hasil analisis seismik dan pemodelan 2D menunjukkan rekonstruksi pengendapan pada periode Plistosen – Resent, pada episode ini intensitas pergerakan Zona Sesar Yapen menyebabkan terjadinya kompresi, *faulting*, *folding* dan *uplift* sebagai fase inversi.

KESIMPULAN

Fasies Formasi Mamberamo di daerah penelitian diidentifikasi menjadi 3 (tiga) fasies, yaitu: A. Fasies batupasir perlapisan silang siur B. Fasies serpih heterolitik dan C. Fasies Serpih Karbonan yang terbentuk dalam lingkungan sub-tidal hingga supratidal. Pola suksesi pengendapan menghalus ke atas (*finning upward*) agradisional menunjukkan bahwa proses pengendapan dan penurunan cekungan terjadi

secara cepat. Penurunan dan pengisian cekungan terjadi bersamaan dengan pembentukan Pegunungan Tengah (orogenesis) di selatan daerah penelitian. Pada Miosen Akhir – Pliosen (5,1–3,9 Jtl) merupakan fase transisi pengisian cekungan dari endapan *flysch* (Formasi Makats) berubah menjadi endapan molasse (Formasi Mamberamo) bersamaan dengan terjadinya konvergen New Guinea yang diikuti oleh pengangkatan dan *thrust-faulting* (Sistem Sesar Yapen Mamberamo) hingga Plio-Plistosen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi “Lemigas” (Prof Bambang Widarsono) atas segala bantuan dan izin keterlibatan penulis dalam pengambilan data dan analisis laboratorium. Selain itu, Penulis berterima kasih kepada Budianto Toha,

D. Hendra Amijaya, Imam B Sosrowidjojo dan Tim Survei Intensifikasi Eksplorasi Migas Kawasan Timur Indonesia (KTI)-Lemigas 2014 (Jonathan Setyoko H, Iskandar Firdaus, Ario Budi Wicaksono, Ijang Samsori, Abdul Kholiq, Mohammad Taufiq, Imam Prayitno, Isnawati, Alm. Sampurno Wiryosudjono, R.K Aris) serta Prof. Adjat Sudradjat atas saran dan diskusinya.

ACUAN

- Bachri, S., Suroni, and Bawono S. S., 1997. A Pliocene Deltaic - Tidal Flat Succession of Kurudu Formation in Irian Jaya - Eastern Indonesia: *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, v. VII, p. 11–20
- B a d a n G e o l o g i , 2 0 0 9 , C e k u n g a n S e d i m e n I n d o n e s i a : <http://psg.bgl.esdm.go.id/pameran/index.php?kategori=cekungan-sedimen&halaman=cekungan&title=Cekungan Sedimen> (accessed April 3, 2018).
- Baldwin, S. L., Monteleone B. B. , Webb L. E. , Fitzgerald P. G., Grove M., and Hill E. J. , 2004. *Pliocene eclogite exhumation at plate tectonic rates in eastern Papua New Guinea: Nature*, v. 431, no. 7006, p. 263–267, doi:10.1038/nature02846.
- Buatois, L. A., Santiago N. , Herrera M. , Plink-Björklund P. , Steel R. , Espin M., and Parra K., 2012. *Sedimentological and ichnological signatures of changes in wave, river and tidal influence along a Neogene tropical deltaic shoreline: Sedimentology*, v. 59, no. 5, p. 1568–1612, doi:10.1111/j.1365-3091.2011.01317.x.
- Dalrymple, R.W., Mackay, D.A., Ichaso, A.A., and K. S. C., 2012, *Processes, Morphodynamics, and Facies of Tide-Dominated Estuaries. Principles of Tidal Sedimentology*, p. 1–621, doi:10.1007/978-94-007-0123-6.
- Davies, H. L., 2012, The Geology of New Guinea - The Cordilleran Margin of the Australian Continent. *Episodes*, v. 35, no. 1, p. 87–102.
- Davis, R. A. and Dalrymple, R. W., 2012. *Principles of tidal sedimentology: Springer Science+Business Media B.V.* 2012, doi:10.1007/978-94-007-0123-6.
- Dickinson, W. R., 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic settings. *Geological Society of America Bulletin*, doi:10.1130/0016-7606(1983)94<222:PONAPS>2.0.CO;2.
- Folk, R. L. 1980. *Petrology of Sedimentary rock*, Pearson Prentice Hall, London .
- Gafoer, S., and Budhitrisna T., 1995. Peta Geologi Sarimi-Bufareh Skala 1:250.000: Bandung, Indonesia, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Gowland, S., 1996. Facies characteristics and depositional models of highly bioturbated shallow marine siliciclastic strata: an example from the Fulmar Formation (Late Jurassic), UK Central Graben. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* 114, 185–214.
- Hakim, A. S., Baharuddin, and Susanto E., 1995. *Peta Geologi Gunung Doom Skala 1:250.000.*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Hamilton, W., 1979. Tectonics of the Indonesian Region. *Geological Society of Malaysia, Bulletin*, v. 6, p. 3–10, doi:10.1016/0003-6870(73)90259-7.
- Hill, K. C., and Hall R., 2003. Mesozoic-Cenozoic evolution of Australia's New Guinea margin in a west Pacific context, in Special Paper 372: *Evolution and Dynamics of the Australian Plate*: p. 265–290, doi:10.1130/0-8137-2372-8.265.
- Lemigas, 2005, *Petroleum Geology of Indonesia's Sedimentary Basin*. Jakarta, Indonesia, 393p. p.
- Miall, A.D., 2013. *Principles of sedimentary basin analysis*. Springer Science & Business Media.

- Miall, A.D., 2010. *The geology of stratigraphic sequences*. Springer Science & Business Media.
- Miall, A.D., 1985. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth-Science Rev.* 22, 261–308.
- Mamengko, D. V., 2010. Geologi dan Potensi Batuan Induk di Cekungan Papua Utara. Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. (Tidak dipublikasikan).
- Mamengko, D. V., 2018. Evolusi Cekungan Papua Utara pada Umur Neogen: Implikasinya terhadap Sumberdaya Hidrokarbon. Universitas Padjadjaran, Bandung. (Tidak dipublikasikan).
- Mamengko, D. V., Muldjana B., and Sandjaja Y. A., 2014a. Analisis Fasies dan Lingkungan Pengendapan Formasi Mamberamo “B” di Cekungan Papua Utara Sebagai Kandidat Source Rock: p. 374–387.
- Mamengko, D. V., Musu J. T., Sutanto H., and Yusriani A., 2014b. Potensi Hidrokarbon Cekungan Papua Utara Berdasarkan Karakteristik Rembesan Minyak Sungai Teer –ISPG. *Proceeding PITIAGI 2014*.
- Mamengko, D. V., Sosrowidjojo I. B., Toha B., Amijaya D. H., Sasrowidjojo I. B., and Amij, 2012, Geokimia Batuan Induk Formasi Mamberamo dan Makats Di Cekungan Papua Utara. *The 41st IAGI Annual Convention and Exhibition*. p. 5.
- Mcadoo, R. L., and J. C. Haebig, 1999, *Tectonic Elements of the North Irian Basin: Proceedings, Indonesian Petroleum Association, 27th Annual Convention & Exhibition*, October 1999.
- Mukti, M.M., Ito, M., Armandita, C., 2009. Architectural elements of a longitudinal turbidite system: The Upper Miocene Halang Formation submarine-fan system in the Bogor Trough, West Java. Proceedings Indonesian Petroleum Association, Thirty-Third Annual Convention and Exhibition, May 2009. *Indonesian Petroleum Association, Jakarta*, pp. IPA09-G-168.
- Murtaza, M., Rahman A. H. A., Sum C. W., and Konjing Z., 2018. Facies associations, depositional environments and stratigraphic framework of the Early Miocene-Pleistocene successions of the Mukah-Balingian Area, Sarawak, Malaysia: *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 152, p. 23–38, doi:10.1016/j.jseaes.2017.11.033.
- Nichols, G., 2009. *Sedimentology and stratigraphy*: 419 p., doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
- Posamentier, H.W., Kolla, V., 2003. Seismic Geomorphology and Stratigraphy of Depositional Elements in Deep-Water Settings. *J. Sediment. Res.* 73, 367–388. doi:10.1306/111302730367.
- Schlunegger, F., Leu, W., Matter, A., 1997. Sedimentary sequences, seismic facies, subsidence analysis, and evolution of the Burdigalian Upper Marine Molasse Group, central Switzerland. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 81, 1185–1207.
- Shell, Mamberamo B.V., 1985. *Final Well Report Iroran-1*: Jakarta, Indonesia, 37 p.
- Sun, J., Zhu, R., Bowler, J., 2004. Timing of the Tianshan Mountains uplift constrained by magnetostratigraphic analysis of molasse deposits. *Earth Planet. Sci. Lett.* 219, 239–253.
- Ufford, A. Q. van, and Cloos M., 2005. Cenozoic tectonics of New Guinea: *AAPG Bulletin*, v. 89, no. 1, p. 119–140, doi:10.1306/08300403073.
- Visser, W. A., and Hermes J. J., 1962. *Geological Result of The Exploration for Oil in Netherlands New Guinea*. Staatsdrukkerij - En Uigeverijbedrijf, 265 p.
- Waschsmuth, W., and Kunst F., 1986. Wrench Fault Tectonics in Northern Irian Jaya, in *Proceeding Indonesia Petroleum Association Fifteenth Annual Convention: Indonesian Petroleum Association*.
- Weissmann, G.S., Hartley, A.J., Nichols, G.J., Scuderi, L.A., Olson, M., Buehler, H., Banteah, R., 2010. Fluvial form in modern continental sedimentary basins: distributive fluvial systems. *Geology* 38, 39–42.
- Williams, P. R., and Amiruddin, 1984. Diapirism and deformation East of the Mamberamo River, Northern Irian Jaya. *Bulletin Geological Research and Development Centre, Bandung*, v. 10, no. June 1983, p. 10–20