

TINJAUAN GEOTEKTONIK SELAT MAKASSAR UTARA, IMPLIKASINYA TERHADAP POTENSI HIDROKARBON LAUT DALAM CEKUNGAN KUTAI KALIMANTAN TIMUR

Oleh:

P. Hadi Wijaya dan D. Kusnida

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan
Jl. Dr. Djundjungan No. 236 Bandung – 40174

Diterima : 10-04-2009; Disetujui : 28-11-2009

SARI

Selat Makassar Utara yang terletak di bagian tenggara tepi paparan Sunda antara pulau Kalimantan dan Sulawesi merupakan wilayah eksplorasi laut-dalam. Wilayah ini berdekatan dengan Cekungan Kutai yang umumnya endapan delta dan paparan. Cekungan Kutai Laut-dalam yang termasuk daerah Kalimantan Timur bagian offshore telah dieksplorasi dengan penemuan beberapa lapangan migas yang signifikan pada sedimen umur Pliosen dan Miosen Akhir. Penemuan lapangan migas tersebut yang tersebar di tiga blok yaitu Makassar Strait PSC, Rapak PSC dan Ganal PSC yang dikontrol oleh tektonik kompresi berarah barat-barat-laut dan timur tenggara.

Setting geotektonik Selat Makassar dimulai dari Eosen yang diakibatkan tarikan pada kerak yang berkembang ke arah baratdaya dari pusat pemekaran di Laut Sulawesi. Setelah awal tarikan pada Selat Makassar, permukaan horst dan graben pada fase awal Eosen tertutupi di atasnya oleh sedimen dari hasil proses penurunan cekungan selama Oligosen sampai Miosen. Pada Plio-Pleistosen di Selat Makassar terjadi perubahan dari tektonik tarikan menjadi kompresi.

Perkembangan antiklin toe-thrust terbentuk pada tingkat perkembangan yang bervariasi selama Miosen – Pliosen menjadikan hidrokarbon play pada laut-dalam purba. Keadaan tersebut berpengaruh terhadap pengendapan batuan reservoir dan batuan induk, sejarah penurunan cekungan dan tentunya tipe pematangan batuan induk, jalur migrasi dan pada puncaknya adalah dihasilkannya banyak perangkap lapangan migas dari struktur toe-thrust.

Kata kunci: geotektonik, Selat Makassar Utara, Cekungan Kutai, laut-dalam, reservoir

ABSTRACT

The North Makassar Straits, located on the south-eastern margin of the Sundaland, between the islands of Kalimantan and Sulawesi, is an under-explored deepwater domain, adjacent to Kutai Basin which primarily coastal deltaic and shelfal deposits. Deepwater Kutei Basin, offshore East Kalimantan, has been explored with several significant hydrocarbon discoveries in Pliocene and Late Miocene sediments. The discoveries scattered in three blocks i.e., North Makassar Strait PSC, Rapak PSC and Ganal PSC controlled by compressional tectonics in W-NW and E-SE directions.

Geotectonical setting of the Makassar Straits commenced during the Eocene in response to a crustal extension that propagated south-westwards from the Celebes Sea spreading centre. After initial opening of the Makassar Straits, early-phase Eocene horst and graben terrains were overlain by basalinal sag sediments during the subsequent Oligocene to Miocene era. During the Plio-Pleistocene, prior extensional settings in the Makassar Straits that became compressional.

The development of these toe-thrust anticlines has influenced the development of this Miocene-Pliocene palaeo-deep-water play in varying degree. This influence ranges from the deposition of reservoir, source, to subsidence history and thereby source rock maturity, migration routes and, ultimately, many of the field traps are generated by these toe-thrust structures.

Key words: geotectonic, North Makassar Strait, Kutai basin, deepwater, reservoir

PENDAHULUAN

Selat Makassar Utara dan laut-dalam Cekungan Kutai merupakan wilayah eksplorasi migas pertama di laut dalam (>1000 m) dan *frontier area* di Indonesia. Selat makassar membentang arah Utara – Selatan sepanjang 600 km dengan lebar antara 100 – 200 km dan kedalaman air laut mencapai lebih dari 2000 m. Secara regional Selat Makassar terletak di batas tenggara *Sundaland*, diantara kepulauan Kalimantan dan Sulawesi yang merupakan daerah eksplorasi di laut dalam, berdekatan dengan wilayah hidrokarbon kelas dunia yaitu Cekungan Kutai yang berupa delta dan paparan (Gambar 1).

Maksud dari tulisan ini pertama, menyampaikan informasi beragam hipotesa geotektonik Selat Makassar bagian Utara. Kedua, menjabarkan stratigrafi sedimentasi dan kompleksitas unit genesa sistem lingkungan laut-dalam Cekungan Kutai. Ketiga, mengetahui pengaruh struktur geologi dan stratigrafi terhadap potensi migas (sistem hidrokarbon dan lokasi *play/lead/prospek*).

METODE PENELITIAN

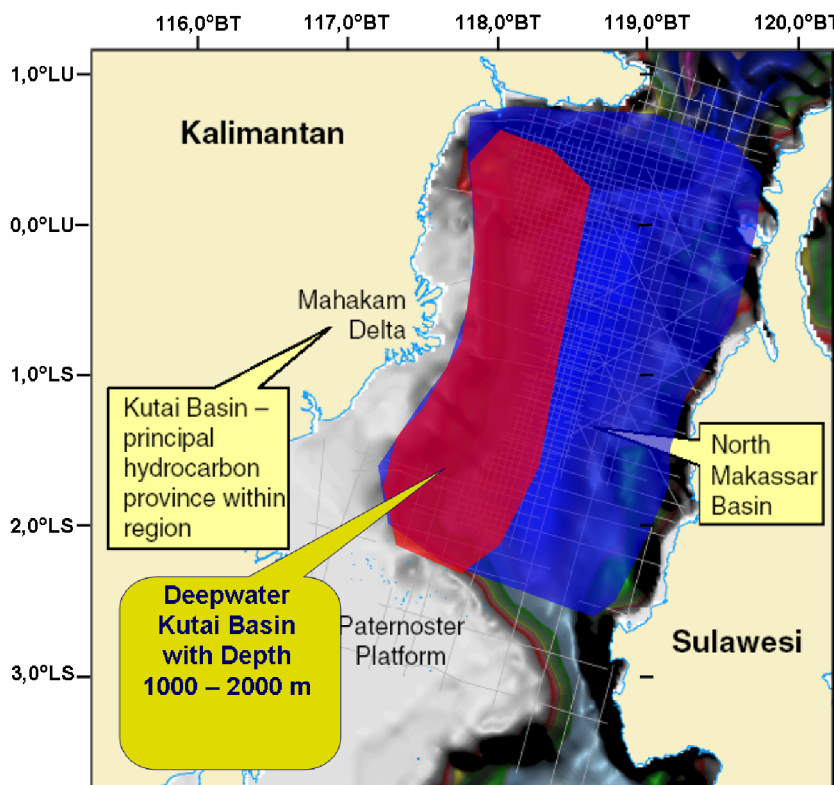
Pada penelitian ini dilakukan kajian pustaka dari penulisan terdahulu yang telah dipublikasikan dengan tahapan studi sebagai berikut: pertama, pengumpulan data geofisika secara regional yaitu data gravitasi dan magnetik

di Selat Makassar Utara dan sekitarnya, kedua, data hasil interpretasi seismik pantul 2-dimensi yang menunjukkan pola struktur geologi, ketiga hasil kajian dari aspek stratigrafi berdasarkan integrasi data seismik dan sumur pemboran.

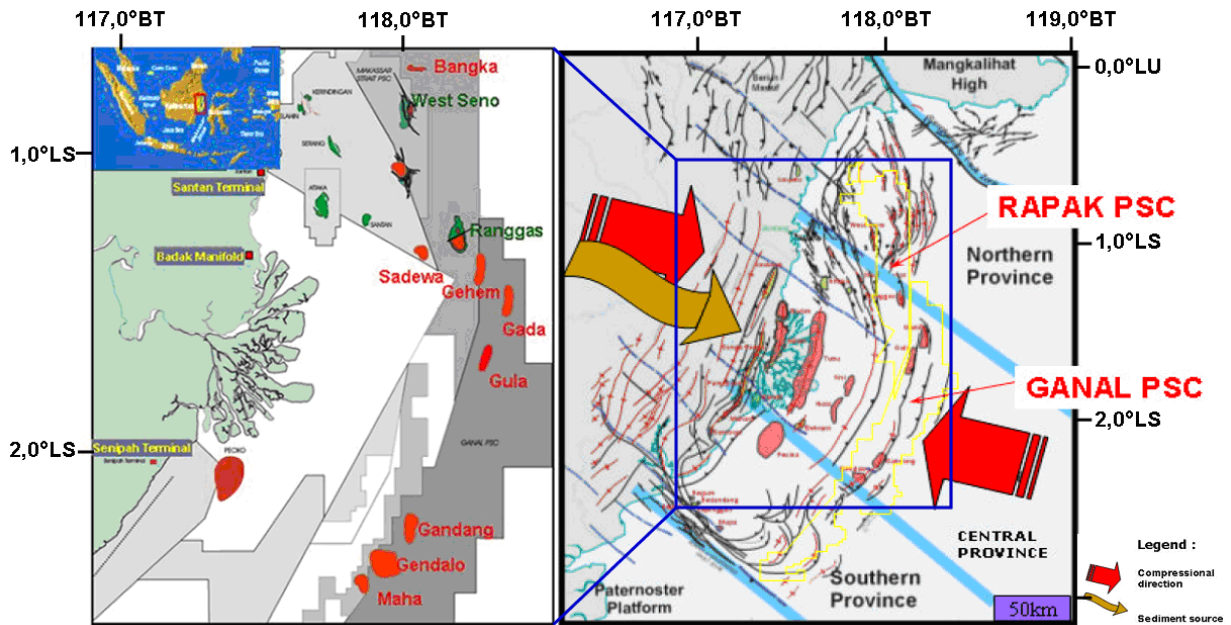
Berdasarkan pada hasil pengumpulan data sekunder, metode berikutnya adalah membuat sintesa tentang implikasi terhadap potensi hidrokarbon khususnya keterdapatan batuan reservoir di laut-dalam Cekungan Kutai.

GEOTEKTONIK SELAT MAKASSAR BAGIAN UTARA

Asal mula kerak bawah permukaan selat makassar telah lama menjadi perdebatan ilmiah. Interpretasi ilmiah yang terdahulu terhadap formasi Selat Makassar telah dilakukan, diantaranya keadaan *rifting* benua dengan benua atau benua



Gambar 1. Lokasi Cekungan Selat Makassar Utara dan daerah laut-dalam Cekungan Kutai. Potensi hidrokarbon berkaitan dengan sistem hidrokarbon pada Cekungan Kutai sekitar delta Mahakam(modifikasi dari Reksalegora, dr., 2007)



Gambar 2. A) Lokasi penelitian di laut-dalam Cekungan Kutei di blok North Makassar Strait, Rapak dan Ganal yang ditemukan beberapa lapangan migas dengan reservoir utama endapan laut dalam berumur Miosen Akhir sampai Pliosen (Reksalegora, drr., 2007) B) Peta tektonik regional di Cekungan Kutei yang menunjukkan pembagian tiga wilayah struktur (Guritno, drr., 2003)

dengan *oceanic*, Tersier Tengah, Miosen ataukah Pliosen yang kemudian menjadi jebakan kerak *oceanic* Kapur yang termasuk pada aktif *foreland basin* Neogen – Kuarter.

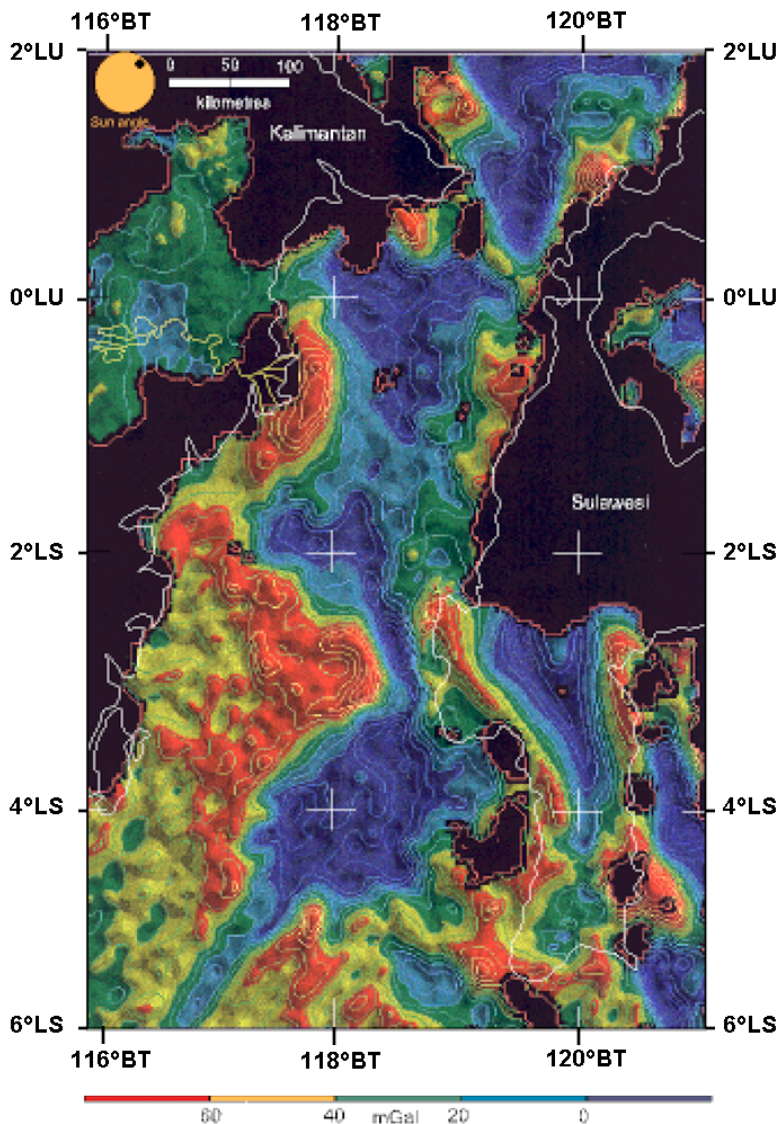
Persoalan yang muncul terhadap adanya interpretasi di atas masih merupakan hal yang diperdebatkan. Benua atau pelemahan kerak benua dan batas kerak *oceanic* telah mendukung adanya tektonik bawah permukaan Selat Makassar. Interpretasi lain menyatakan bahwa kerak benua yang relatif tipis merupakan dasar dari cekungan Selat Makassar.

Bukti adanya kerak *oceanic* bawah permukaan Selat Makassar bagian utara adalah sebagai berikut :

- Pengkerutan secara alamiah yang tampak pada profil horison seismik dan refleksi seismik 3D pada reflektor horison batuan dasar.
- Hilangnya konsistensi *internal* reflektor seismik yang tampak sebagai amplitudo tinggi pada batuan dasar.
- Adanya interpretasi punggungan vulkanik pada puncak batuan dasar Eosen Tengah.
- Adanya peristiwa runtuh *low angle slope* berupa pecahan – pecahan batuan dari

beberapa punggungan sebagai indikasi adanya aliran lava.

- Keseksamaan karakter refleksi seismik dengan batas cekungan Tersier *oceanic* lainnya yang diungkapkan oleh Srivastava dan Artgur (1985) dan Laut Sulawesi.
- Peta anomali gravitasi udara – bebas, pemodelan gravitasi statis dan garitasi *flexure* yang memotong selat makassar (Cloke, drr., 1999) pada Gambar 3.
- Kedalaman air laut, sesuatu yang tidak lazim apabila menentukan bawah Selat Makassar merupakan kerak kontinen (di bawah air laut 2000 m).
- Hasil pemodelan tektonik lempeng dengan regim tarikan yang berada pada laut Filipina bagian barat dan Laut Sulawesi *spreading center* ke arah timur menuju Kalimantan timur atau Sulawesi barat selama Eosen Tengah (Hall, 1998).
- Data magnetik di Laut Sulawesi terlihat adanya *reverse magnetic anomaly* yang ditunjukkan dengan besaran nilai susceptibilitas magnetik arah tenggara semakin membesar, dimulai dari 18T, 19T



Gambar 3. Kontur Anomali gaya berat Bouguer Selat Makassar pada bagian darat Kalimantan Timur dan Sulawesi Barat berdasarkan pada Pengukuran Satelit ERS-1 dengan grid sepanjang 4000m, jarak ekstrapolasi 8000m dan radius 17km (Cloke, dr., 1999)

dan 20T. Data ini menginformasikan pusat spreading berada di utara Laut Sulawesi (Gambar 4).

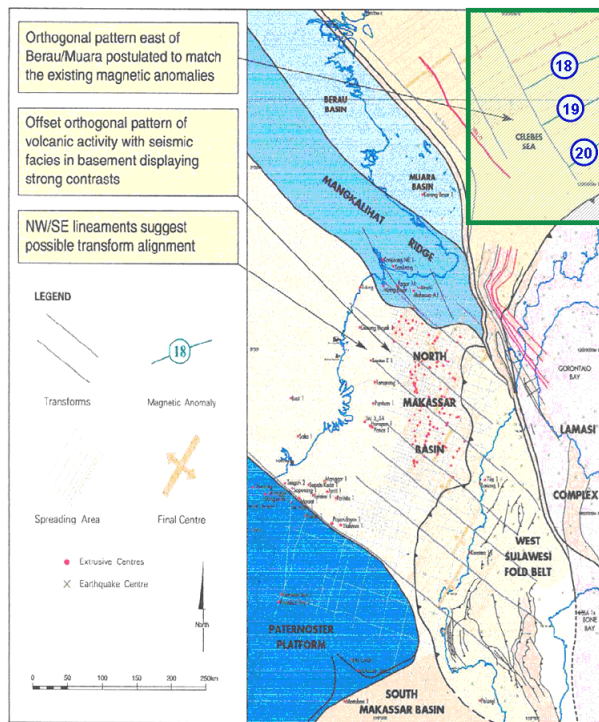
Berdasarkan informasi lain yaitu batuan dasar Mesozoik di daerah Lariang dan Karama di Sulawesi Barat yang terdiri atas batuan metamorfik yang menutupi secara tidak selaras batuan serpih gelap dan batuan vulkanik terdeformasi yang berumur Kapur Atas. Batuan dasar ini menempati areal tinggian di areal ini hingga 3000 m. Berdasarkan penelitian sebelumnya (Hadiwijoyo, dr., 1999; Sukamto,

1973) telah dilakukan perbandingan antara batuan dasar Mesozoik di bagian tengah Sulawesi Barat dengan batuan dasar ekuivalennya yang ada di selatan. Serpih gelap berumur Kapur yang diamati dalam penelitian ini juga diteliti oleh Van Leeuwen (1981) dan diduga hubungannya adalah merupakan hubungan secara lateral. Batuan ini diinterpretasi terendapkan dalam cekungan busur depan yang letaknya ke arah barat dari zona subduksi yang miring ke arah barat (Hasan, 1991).

Batuan Mesozoik di sayap selatan Sulawesi memiliki kemiripan dengan batuan Mesozoik di Kalimantan Timur (Hamilton, 1979; Hasan, 1990; Moss dan Chambers, 1999; Van Leeuwen, 1981). Data paleomagnetik dari kedua areal ini juga sama (Fuller, dr., 1999). Kedua pernyataan ini merupakan bukti bahwa Sulawesi Barat dan Kalimantan Timur pernah berada pada posisi yang saling berdekatan pada Zaman Kenozoik (Calvert & Hall, IPA 2003)

Ragam Hipotesa Kerangka Tektonik Cekungan Kutai dan Jalur Lipatan Mahakam

Kondisi tektonik Selat Makassar Utara dalam konteks tektonik lempeng dan *terrain* Asia tenggara telah didiskusikan secara detail oleh Hamilton (1979), Daly dr. (1991), van de Weerd dan Armin (1992), Hall (1996, 1997, 2002), dan Longley (1997). Interaksi antara lempeng Laut Philipina, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Eurasia sejak Kapur telah menyebabkan pertemuan yang kompleks antara blok *oceanic*-mikro dan blok kontinen-mikro yang dibatasi oleh zona penunjaman, batas tarikan, dan *trans-current faults* utama di Indonesia. Pulau Kalimantan, terutama Cekungan Kutai dan jalur lipatan Mahakam, mempunyai sejarah tektonik yang kompleks dari Paleogen hingga sekarang (Moss dr., 1997; Cloke dr., 1999; Moss dan Chambers, 1999). Batuan dasar Cekungan Kutai berumur Kapur



Gambar 4. Reverse magnetic anomaly. Adanya reverse magnetic anomaly yang ditunjukkan dengan besaran nilai susceptibilitas magnetik arah tenggara semakin membesar, dimulai dari 18T, 19T dan 20T (Fraser, drr., 2003)

Atas yang merupakan kumpulan dari fragmen *microcontinent*, ofiolit, dan sedimen prisma akresi yang terintrusi oleh plutonik Kapus (Moss drr., 1997). Bagian ini muncul disekitar batas pegunungan Kalimantan Tengah pada utara – baratlaut, dan di barat Blok Schwaner.

Rifting antara Eosen Tengah sampai Oligosen Awal menghasilkan sistem *extensional fault* yang menunjam ke arah timur dan membentuk *half graben* yang terisi oleh klastik darat sampai laut (Moss drr., 1997). Pada Oligosen Akhir, terdapat deformasi kontraksi regional yang penting dan *uplift* bagian barat dari Cekungan Kutai (Moss drr., 1997; Chambers dan Daley, 1997).

Secara umum telah diterima bahwa Cekungan Kutai dan Selat Makassar dimulai oleh *rifting* dengan arah timurlaut hingga arah utara-timurlaut dari Eosen Tengah – Akhir diikuti oleh tumbukan selama Kapur Akhir sampai Paleosen Awal dan mengumpunya fragmen *microcontinent*, obduksi ofiolit, dan pembentukan dari pegunungan Kalimantan Tengah (Longley, 1997; Moss drr., 1997).

Rifting pada Eosen Tengah - Akhir mengakibatkan dimulainya klastik *synrift continental* diikuti oleh silisiklastik *delta-marine* Eosen Atas – Oligosen Bawah yang berasal dari *uplift terrain* yang berada di barat (Moss drr., 1997). Model gravitasi terkini diusulkan bahwa Selat Makassar dan Delta Mahakam saat ini didasari oleh kerak samudra Eosen (Cloke drr., 1999). Miosen Awal – Tengah menunjukkan adanya evolusi dan progresif progradasi kearah timur dari Sistem Delta Mahakam.

Sepanjang sejarah pembalikan Cekungan Kutai, dari Miosen Tengah hingga sekarang, arah dominan pemendekan adalah baratlaut sebagai kesimpulan dari pergerakan lempeng relatif, dari arah utama struktur lipatan yang diamati di *onshore* dan *offshore*, juga dari penelitian pada *borehole* di Cekungan Kutai (Ferguson and McClay, 1997).

Deformasi kontraksional dari 14 Ma yang menuju ke baratlaut menghasilkan reaktifasi dan pembalikan patahan ekstensional yang lebih tua dengan penampakan rangkaian lipatan dan kehadiran pengangkatan setelah pengendapan pada 8.2 Ma. Selama pembalikan progradasi delta berlanjut, terjadi pengendapan di bagian timur bersamaan terjadinya pengangkatan dan erosi kuat di bagian barat yang ditunjukkan secara konseptual model 3D untuk sistem progradasi delta dan sistem delta terbalik. Sistem graben puncak delta (*depobelts*), dibatasi oleh patahan tumbuh, terbentuk oleh pembebanan yang disebabkan oleh aliran serpih searah dengan ujung delta, bersamaan dengan pembentukan formasi yang terhubung dan juga jalur lipatan – patahan naik.

Kontraksi pada sistem terjadi ketika progradasi delta berlanjut menghasilkan reaktifasi patahan tumbuh ekstensional untuk menghasilkan *detachment*, antiklin, pengetatan dan amplifikasi jalur lipatan – patahan naik pada ujung delta *detachment* yang sama atau model inversi *thin-skinned* delta kemungkinan juga bisa diaplikasikan di tempat lain di Kalimantan.

Paleo-rekonstruksi tektonik dari Hall (2000) terdapat dua kejadian penting dalam sejarah Tersier di Cekungan Selat Makassar Utara. Pertama, *rifting* dan *sea-floor spreading* pada Paleogen yang menghasilkan *accomodation space* yang memungkinkan pengendapan sedimen klastik dari Kalimantan. Kedua, tektonik kompresi yang dimulai sejak Miosen

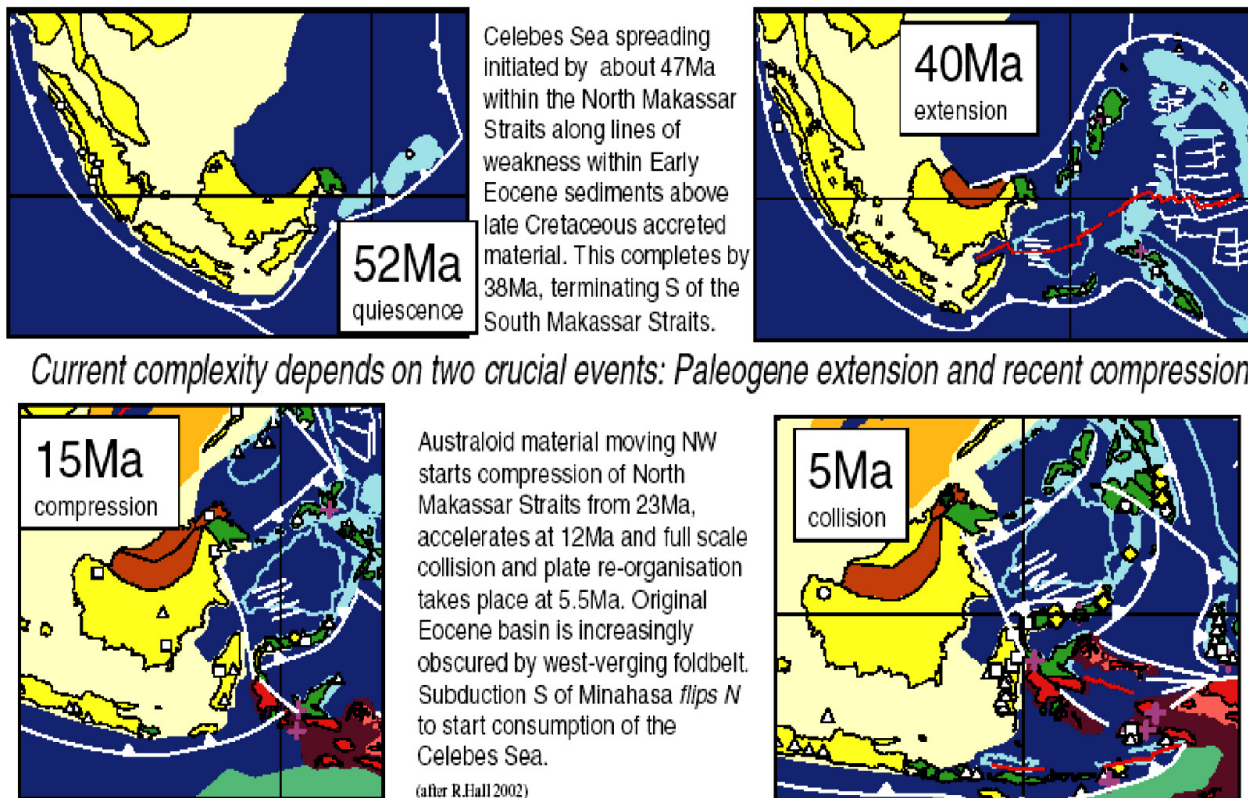
yang menyebabkan terjadi inversi yang awalnya tarikan. Hasil kompresi berkembangnya sabuk lipatan di Sulawesi Barat (*the West Sulawesi Fold Belt*) selama Pliosen awal. Tektonik kompresi masih aktif sampai saat ini yang menyebabkan proses penyempitan Cekungan Selat Makassar Utara (Gambar 5).

Paleo-rekonstruksi tektonik dari modifikasi Soeria-Atmadja dr., (1998) terlihat beberapa perbedaan dengan Hall (2000). Awal bukaan di Cekungan Selat Makassar Utara dimulai dari 45-40 Ma sedangkan Hall (2000) pada 47 Ma. Kejadian bukaan dari *sea-floor spreading* dari Eosen Awal telah berlangsung selain utara Laut Sulawesi dan Selat Makassar Utara juga terjadi di selatan Selat Makassar bahkan tiga proses bukaan juga terjadi di baratdaya dan barat-baratdaya dari Selat Makassar bagian selatan. Sesar *strike-slip* utama di batas antara Cekungan Selat Makassar Utara dan Selatan terjadi di Miosen Awal (20-18 Ma). Sesar *strike-slip* ini oleh Satyana dr., 1999 dikenal sebagai *Adang-Lupar Mega Shear*. Namun dari Hall (2000), tidak direkonstruksi (Gambar 6).

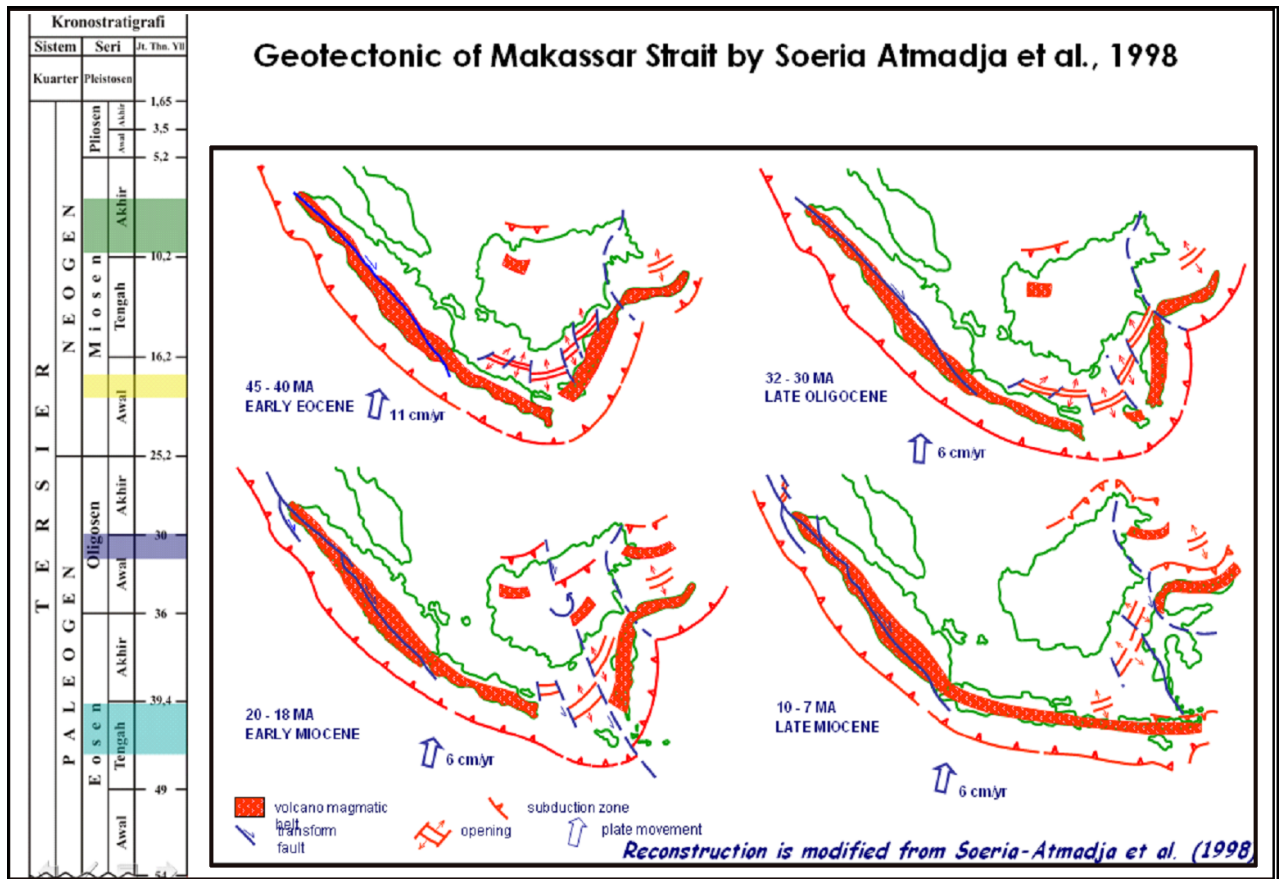
STRUKTUR GEOLOGI LAUT-DALAM CEKUNGAN KUTAI

Secara struktur regional Cekungan Kutei dibatasi Tinggian Mangkalihat di utara (struktur Paleogen) dan Platform Paternoster di selatan sebagai tinggian struktur Mesozoic. Di antara dua tinggian struktur tersebut dijumpai cekungan laut dalam yang dapat dibedakan dalam tiga wilayah struktur yang dikontrol oleh tektonik kompresi dari arah barat-baratlaut dan timur-tenggara bagian utara, tengah dan selatan. (Gambar 7).

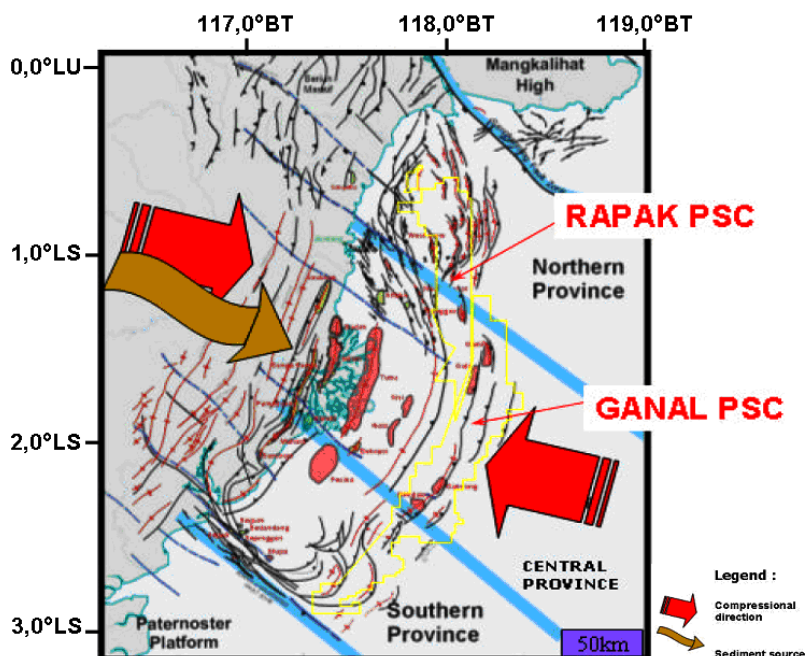
Pada wilayah struktur utara didominasi oleh penipisan lapisan, patahan melengkung karena kontraksi di bagian timur dan lipatan terpatahkan yang dirujuk sebagai '*toe-thrust anticlines*' yang telah berkembang dari Miosen Tengah dan aktif sampai kini (Gambar 8). Wilayah tengah struktur laut-dalam yang berhubungan langsung dengan Delta Mahakam saat ini menunjukkan deformasi struktur yang lebih lemah daripada bagian Utara. Model inversi yang diusulkan (McClay dr., 2000, di Sherwood, dr., 2001) untuk area paparan *inboard*, struktur-struktur geologi pada umumnya antiklin dengan lipatan curam,



Gambar 5. Paleo-rekonstruksi Asia Tenggara termasuk cekungan Selat Makassar Utara dari Eosen Awal (52 Ma) sampai Pliosen Awal (5 Ma) (Fraser dr., 2003 dari Hall, 2000)

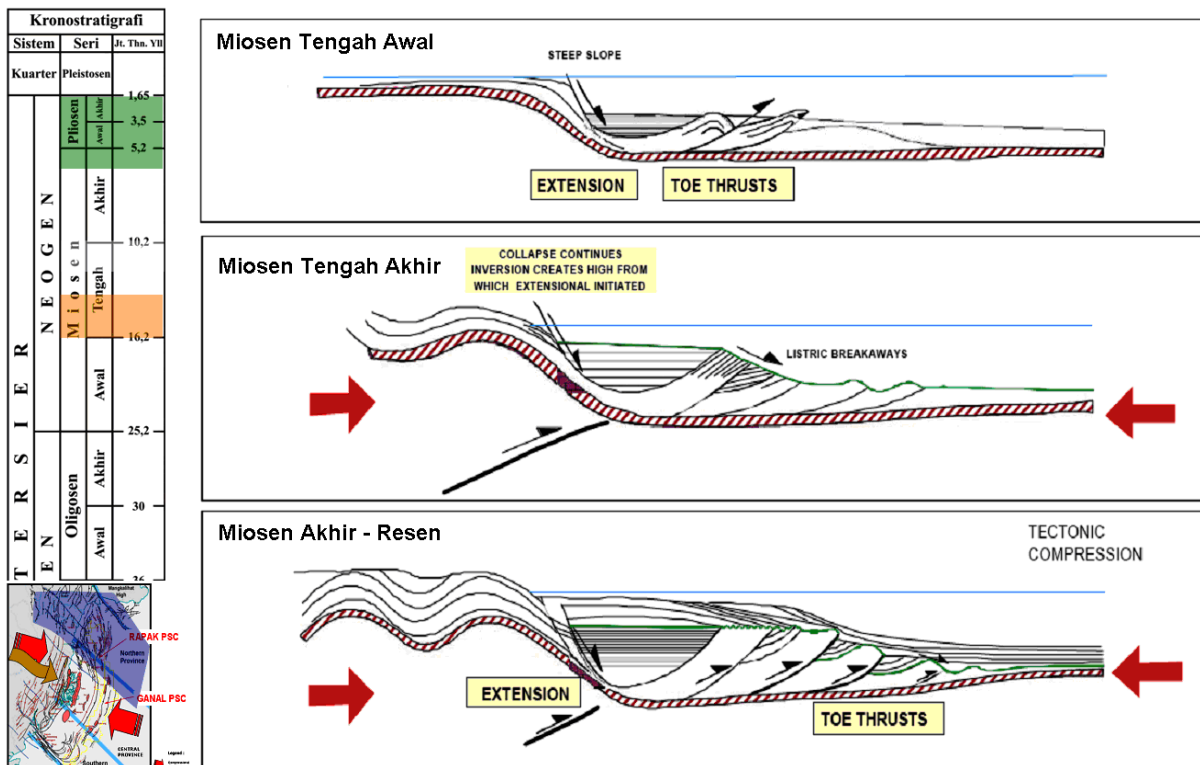


Gambar 6. Paleo-rekonstruksi Asia Tenggara termasuk cekungan Selat Makassar Utara dari Eosen Tengah (45-40 Ma) sampai Miosen Akhir (10-7 Ma) (Soeria-Atmadja dr., 1998)



Gambar 7. Peta struktur geologi regional di Cekungan Kutai yang menunjukkan pembagian tiga wilayah struktur (Guritno, dr., 2003)

diinterpretasikan terbentuk oleh inversi patahan tarikan tumbuh. Di wilayah ini, posisi lereng dan lantai cekungan dari umur Miosen Akhir sampai Resen relatif sama yang dihasilkan dari perkembangan lereng yang didominasi pengendapan agradasi sampai progradasi. Adapun wilayah laut dalam bagian selatan diinterpretasikan terbentuknya antiklin-antiklin *east-vergent toe-thrust* yang berkembang pada Miosen Tengah. Dalam rentang waktu Miosen Akhir sampai Resen dicirikan oleh struktur kompresi yang semakin lemah tidak seperti di utara dan tengah. Pada periode ini dominan dijumpai agradasi sedimen di bagian lereng.



Gambar 8. Evolusi struktur geologi di wilayah Utara dari Miosen Tengah awal, Miosen Tengah akhir dan Miosen Atas sampai resen. Terjadi uplift yang lebih kuat berdampak pada lereng lebih terjal pada tepi paparan. Kombinasi dengan proses kompresi memperluas seri toe thrusting faults di area outboard (Guritno, drr., 2003)

STRATIGRAFI DAN PALEOGEOGRAFI CEKUNGAN KUTAI

Stratigrafi Regional

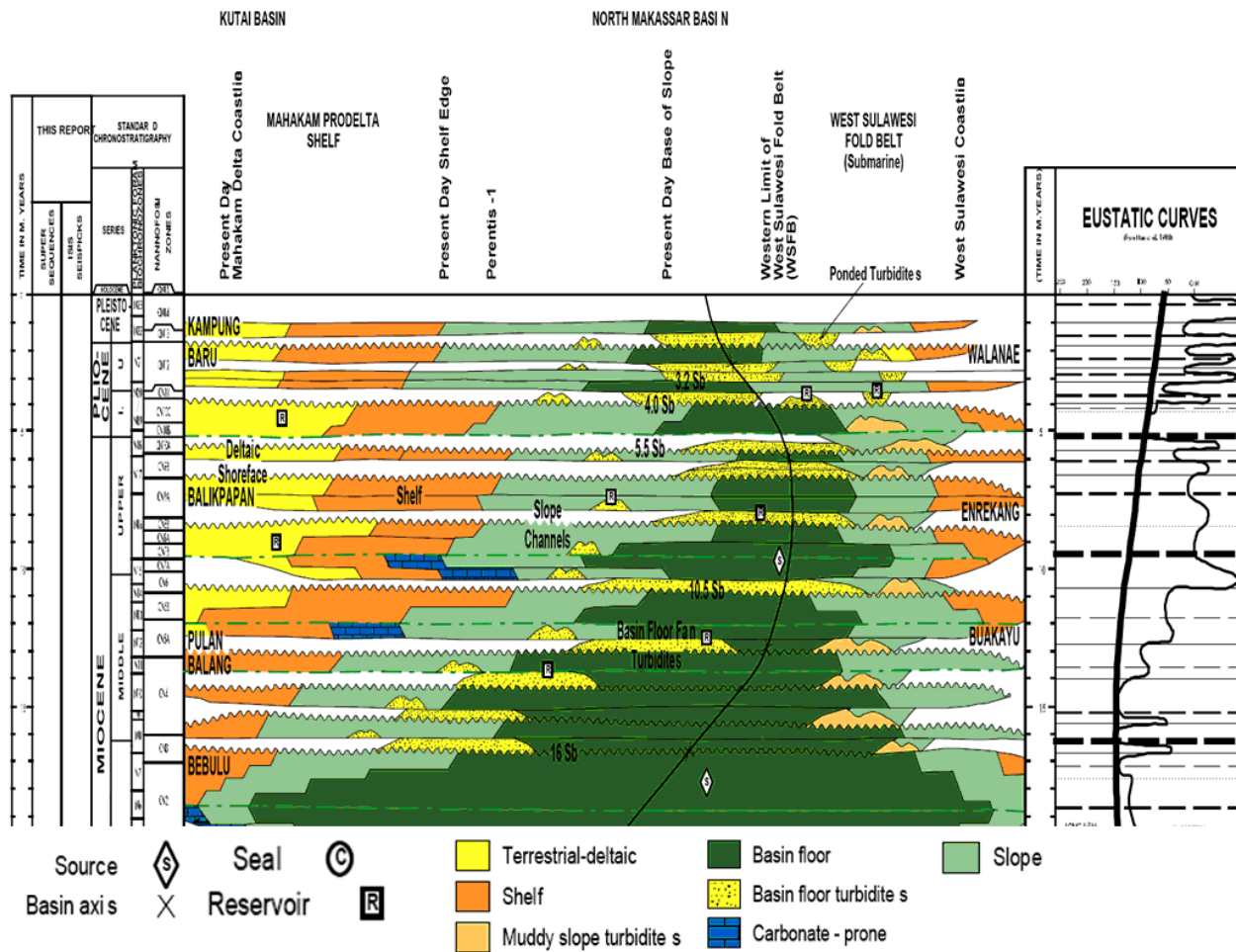
Unsur penting dalam kegiatan eksplorasi yang intensif antara tahun 1999 – 2001 di laut-dalam Cekungan Kutai adalah mengkonstruksi skema stratigrafi sekuen untuk endapan laut dalam (Gambar 3A). Skema stratigrafi ini berdasarkan integrasi data seismik dan data sumur. Zonasi konvensional nannofosil dan foramifera dilakukan untuk mendukung data 3D seismik yang disebabkan tingginya sedimentasi walaupun zonasi ini memberikan batas yang kurang tajam. Mengenai stratigrafi secara umum Cekungan Kutai di tepi paparan relatif hanya bergerak ke arah darat secara perlahan-lahan dari Miosen Akhir sampai Resen.

Berdasarkan stratigrafi sekuen seismik yang diawali dengan penentuan dan kalibrasi data biostratigrafi, episode utama input klastik terjadi di dekat batas sekuen. Batas sekuen yang diidentifikasi pada lereng adalah mengikuti morfologi lereng ke arah cekungan dan mengidentifikasi keselarasan yang berhubungan.

Penentuan batas sekuen (SB) dan maximum flooding surfaces (MFS) membantu dalam penentuan *system tract* pada data sumur yang dikontrol oleh data biostratigrafi khususnya data kuantitatif *assemblages*. Tanpa kontrol ini, *flooding surface* cukup sulit diidentifikasi karena sedimentasi tinggi dan kurang pastinya *system tract*.

Berdasarkan kajian literatur bahwa endapan laut-dalam terutama sistem *sub-marine channel* dan *sub-marine fan* berkaitan sangat erat dengan endapan Delta Mahakam. Untuk itu perlu dijelaskan stratigrafi Cekungan Kutai di daerah transisi dan laut dangkal (sekitar delta Mahakam) (Gambar 9).

Cekungan Kutai secara umum tersusun atas endapan-endapan sedimen berumur Tersier yang memperlihatkan hasil siklus transgresi dan regresi laut. Sistem delta yang berumur Miosen Tengah berkembang secara cepat ke arah timur dan tenggara. Progradasi ke arah timur disertai oleh tumbuhnya delta yang terus-menerus yang diselingi oleh fase genang laut secara lokal. Urutan stratigrafi dari tua ke muda pada Cekungan Kutai secara umum yaitu Formasi



Gambar 9. Penampang stratigrafi Cekungan Kutei dari Delta Mahakam sampai laut-dalam, Cekungan Selat Makassar Utara dan Sulawesi Barat. Batas tengah cekungan bergeser dengan dua pola yaitu mendekat ke Sulawesi (Miosen Awal - Akhir) dan kembali mendekat ke Kalimantan Timur (Miosen Akhir - Pleistosen). Endapan lereng kanal dan turbidit kipas lantai cekungan di laut-dalam Cekungan Kutai berkorelasi dengan endapan di sekitar Delta Mahakam (Reksalegora, drr, 2007)

Pamaluan, Kelompok Bebulu, Kelompok Balikpapan, Kelompok Kampung Baru dan Kelompok Mahakam (Gambar 10).

Paleogeografi Cekungan Selat Makassar Utara

Kondisi tektonik di Cekungan Selat Makassar Utara berimplikasi pada pola paleogeografi dan lingkungan sedimentasi laut dalam. Selama Eosen Akhir terjadi kondisi dimana serpih berkembang di cekungan hasil tektonik tarikan. Pasir dijumpai di sekitar batas lereng dan sedimen turbidit terendapkan di lereng bagian tengah dan dasar.

Pada Miosen Akhir, Delta Mahakam telah berkembang sampai pada progradasi maksimum sehingga volume kipas *basin-floor low-stand* terendapkan di tengah cekungan secara

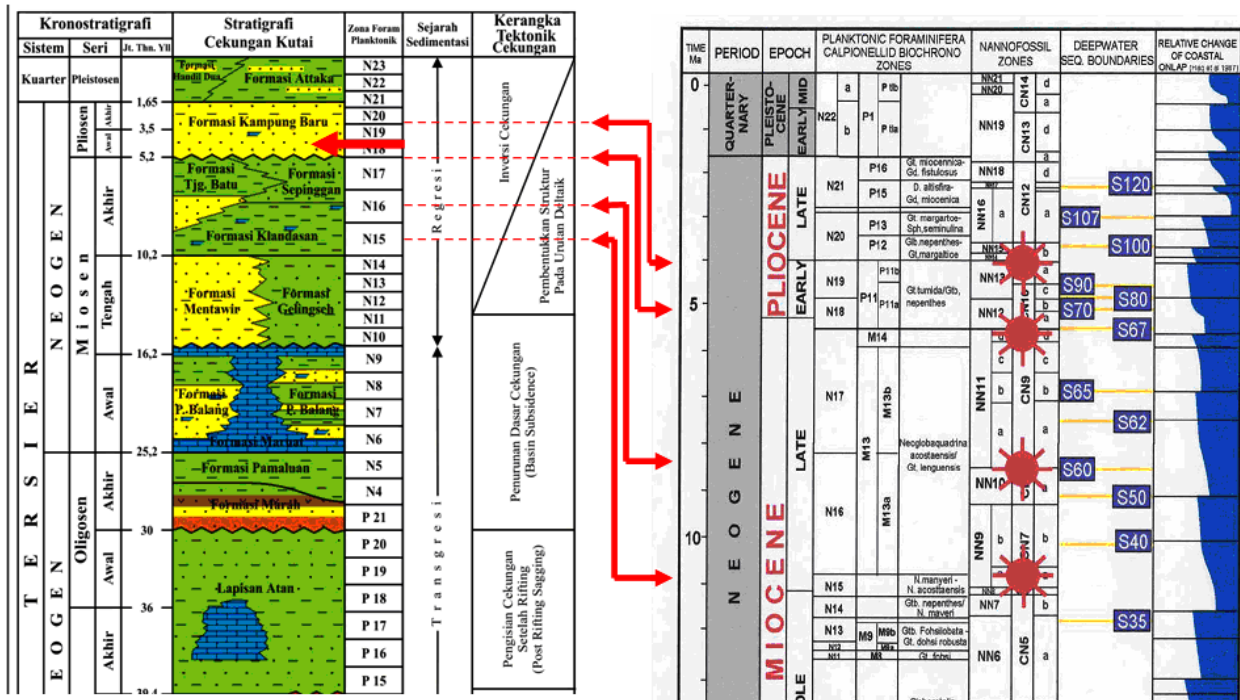
asimetris (dilihat dari kondisi sekarang lebih dekat ke pulau Sulawesi) pada Gambar 11a.

Peta paleografi pada masa awal Pliosen, menggarisbawahi amalgamasi dalam jumlah besar dan kompleks-komplek tanggul kanal sepanjang poros cekungan, yang dapat diamati melalui data seismik. Penempatan Komplek Ofiolit Lamasi di bagian utara Sulawesi terjadi pada Pliosen Awal, berkisar kurang lebih 4 Ma. Bersamaan dengan itu, benua mikro Banggai/Sula berkoalisi dengan batas timur *pre-rift* Cekungan Makassar. Efek dari koalisi ini sangat besar dan terus berlanjut, menghasilkan jalur lipatan Sulawesi Barat, yang menjadi wilayah *onshore* dan *offshore* Sulawesi Barat.

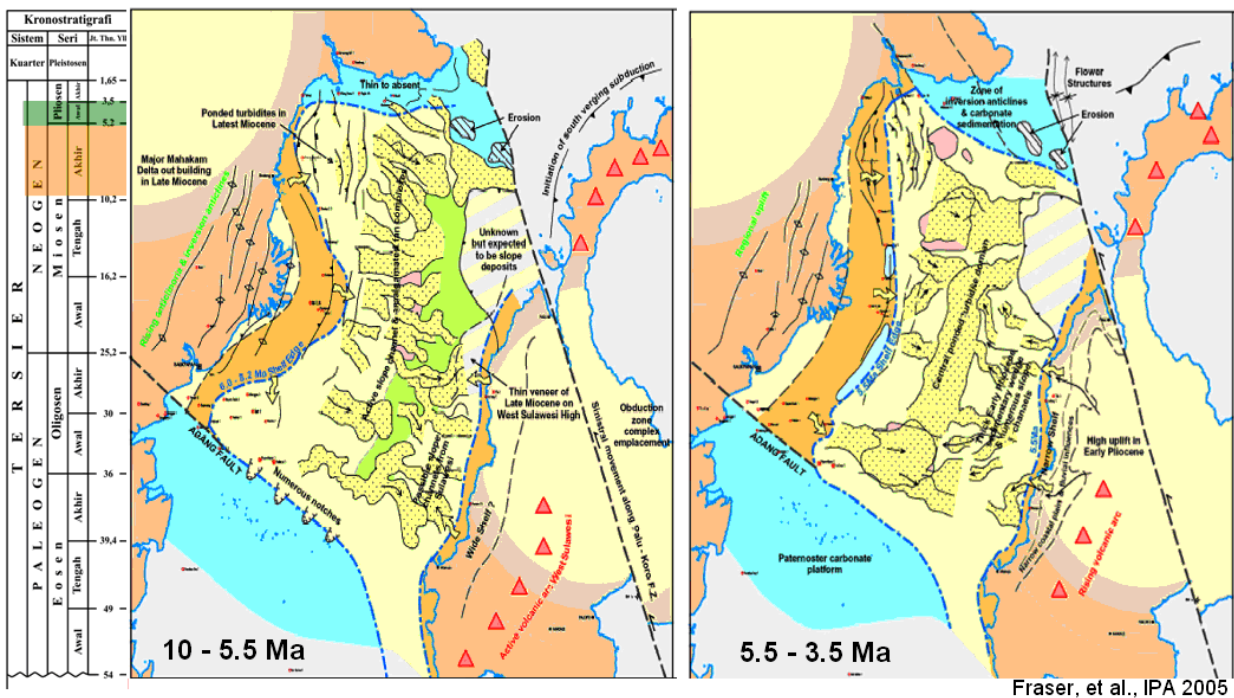
Pada bagian utara dari jalur lipatan *imbricated*, kemungkinan besar berhubungan

STRATIGRAFI ENDAPAN ZONA LAUT DANGKAL

STRATIGRAFI ENDAPAN ZONA LAUT DALAM



Gambar 10. Kolom stratigrafi dan Tatanan Tektonika Cekungan Kutai (Satyana, drr., 1999). Korelasi biostratigrafi menunjukkan reservoir endapan laut dangkal dijumpai kesamaan umur dengan reservoir endapan laut dalam (Guritno, drr., 2003)



Gambar 11. Paleogeografi Miosen Akhir (10 - 5,5 Ma) dan Pliosen Awal (5,5 - 3,5 Ma) (Fraser, drr., 2005)

dengan lapisan tebal, bentukan batuan dasar sebelumnya, berumur Eosen Akhir, lempeng samudera, sementara bagian selatan terdiri dari antiklin-antiklin dalam jumlah besar, terangkum dari lapisan tipis, pelepasan *basalt toe-thrust* di dalam serpih *mobile* yang berumur Eosen-Oligosen. Komplek Granitoid Mamasa yang terdapat di Sulawesi bagian barat daya terjadi pada masa Pliosen Tengah, menghasilkan dominasi dari batupasir, turbidit kanal lereng yang tersebar berbentuk corong (*funneled*) hingga ke Cekungan Makassar utara (Gambar 11b)

KESIMPULAN

Dari data geofisika yaitu data gravitasi dan magnetik, batuan dasar Selat Makassar Utara adalah kerak samudera. Terjadi pembukaan di Selat Makassar utara setelah diawali di Laut Sulawesi. Patahan geser terjadi di Punggungan Mangkalihat dan utara *Paternoster Platform* yang dari data seismik terlihat sebagai *positive flower structure* periode Eosen Awal-Tengah dan Plio-Pleistosen.

Aspek struktur geologi di wilayah laut-dalam Cekungan Kutai karena kompresi dari arah barat-baratlaut dan timur-tenggara dapat dibagi tiga zona: utara, tengah dan selatan. Zona utara merupakan struktur kompleks *fold-thrust belts* paling kuat dan melemah di zona tengah dan selatan.

Stratigrafi laut-dalam Kutai secara umum dikontrol dua kali sejarah sedimentasi utama, periode transgresi (Eosen – akhir Miosen Awal) dan regresi (akhir Miosen Awal – Pleistosen). Model paleogeografi dan sedimentasi umur Miosen – Pliosen wilayah laut-dalam Kutai merupakan sistem kanal lereng dan kipas lantai cekungan yang kompleks

Evolusi tektonik di Cekungan Selat Makassar Utara berimplikasi pada pola paleogeografi dan lingkungan sedimentasi laut dalam. Selama Eosen Akhir, lapisan pasir dijumpai di sekitar batas lereng dan sedimen turbidit terendapkan di lereng bagian tengah dan dasar. Pada Miosen Akhir, kipas *basin-floor low-stand* terendapkan di tengah cekungan yang asimetris. Lingkungan ini berpotensi sebagai reservoir di laut-dalam.

Beberapa tahun mendatang, peluang untuk eksplorasi reservoir endapan laut-dalam di Cekungan Kutei ini semakin terbuka seiring

dengan harga minyak mentah yang berkisar pada harga US\$ 75/barel dan semakin tersedianya data seismik 3D yang mempermudah akurasi interpretasi lokasi dan tipe satuan genesa. Namun sistem hidrokarbon yang tidak sederhana menjadi tantangan tersendiri dalam meningkatkan rasio keberhasilan eksplorasi.

ACUAN

- Allen, G.P dan Chambers, J.L.C., 1998, Deltaic Sediment in The Modern and Miocene Mahakam Delta, *Proceedings of the Indonesian Petroleum Association*, Jakarta
- Bouma, Arnold H., 2000, Coarse-grained and Fine-grained turbidite systems as end member models: applicability and dangers, *Marine and Petroleum Geology Magazine*, Elsevier Science Ltd
- Calvert, S. J., 2000, The Cenozoic geology of the Lariang and Karama regions, Western Sulawesi, Indonesia, *Ph.D. thesis*, University of London (unpublished).
- Chambers, J. C., dan Daley, T. E., 1996, A tectonic model for the onshore Kutai Basin, east Kalimantan. In: Fraser, A. J., Matthews, S. J. and Murphy, R. W. (eds), *Petroleum Geology of Southeast Asia, Geological Society Special Publication 126*, h.375–393.
- Chudanov, Donald A., Terry, A., Partono, Y., Inaray, J., 2004, Fied Overview of West Seno, *Offshore Technology Conference*, Houston Texas US
- Cloke I.R., Milsom, J. & Blundell, D.J.B, 1999, Implications of gravity data from East Kalimantan and the Makassar Straits: a solution to the origin of the Makassar Straits? *Journal of Asian Earth Sciences*, 17, h.61-78
- Cloke, I.R, 1997, Structural controls on the basin evolution of the Kutai Basin and the Makassar Straits, *PhD Thesis*, University of London, p. 374.
- Cloke, I. R., S. J. Moss, and J. C. Craig, 1997, The influence of basement reactivation on the extensional and inversion history of the Kutai Basin, eastern Kalimantan: *Journal of the Geological Society*, London, v. 154, p. 157-161.

- Cloke, I. R., S. J. Moss, and J. C. Craig, 1999, Structural controls on the evolution of the Kutai Basin, east Kalimantan, *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 17, h. 137-141.
- Daly, M.C., Cooper, M.A., Wilson, I., Smith, D.G. dan Hooper, B.G.D, 1991, Cenozoic plate tectonics and basin evolution in Indonesia, *Marine and Petroleum Geology*, 8, h.2-21.
- Darman, Herman., Sidi, F. Hasan., 2000, *an Outline of the Geology of Indonesia*, Published by IAGI
- Fowler, J.N., Guritno, E., Sherwood, P., Smith, M.J., 2001, Depositional architectures of Recent Deep Water Deposits in the Kutei Basin, East Kalimantan., *Proceedings of the Indonesian Petroleum Association*
- Fraser, T.H., Jackson, BA., Barber, PM., Bailie, PW., Myers, K., 2005, The West Sulawesi Fold Belt – a New Exploration Play in the Makassar Straits Indonesia, *Proceedings of the Indonesian Petroleum Association*
- Fraser, T.H., Jackson, BA., Barber, PM., Bailie, P.W., Myers, K., 2003, The West Sulawesi Fold Belt and Other New Plays within the North Makassar Straits – A Prospectivity Review, *Proceedings of the Indonesian Petroleum Association*
- Fuller, M., J.R., Ali, J.R., Moss, S.J., Frost, G.M., Richter, B. dan Mahfi, A., 1999, Palaeomagnetism of Borneo, *Journal of Asian Earth Sciences*, 17, h.3-24.
- Guntoro, A, 1999, The formation of the Makassar Straits and the separation between SE Kalimantan and SW Borneo, *Journal of Asian Earth Sciences*, 17, h.79-98.
- Guritno, E., Hakim, F.B., Salvadori, L., Dunham, J., Syaiful, M., Decker, J., Busono, I., Algar, S., Mortimer, A., 2003, Deep-water Kutei Basin: a New Petroleum Province, *Proceedings of the Indonesian Petroleum Association*
- Hadiwijoyo, S., Sukarna, D. & Sutisna, K., 1993, Geology of the Pasangkayu Quadrangle, Sulawesi. (Quadrangle 2014) Scale 1: 250,000, *Geological Survey of Indonesia, Directorate of Mineral Resources, Geological Research and Development Centre*, Bandung, h.19
- Hall, R., 1996, Reconstructing Cenozoic SE Asia, in R. Hall and D. J. Blundell, eds., *Tectonic evolution of southeast Asia: Geological Society of London*, Special Publication 106, h.153-184.
- Hall, R., 1997, Cenozoic plate tectonic reconstructions of SE Asia, in A. Fraser, S. Matthews, and R. W. Murphy, eds., *Petroleum geology of southeast Asia: Geological Society of London*, Special Publication 126, p. 11-25.
- Hall, R. & Wilson, M.E.J, 2000, Neogene sutures in eastern Indonesia, *Journal of Asian Earth Sciences*, 18, h.781-808.
- Hamilton, W., 1979, Tectonics of the Indonesian region, *U.S. Geological Survey Professional*
- Hasan, K., 1990, The Upper Cretaceous flysch succession of the Balangbaru Formation, Southwest Sulawesi, Indonesia. *Ph.D. Thesis*, University of London, 337 h.
- Longley, I.M., 1997, The Tectonostratigraphic evolution of SE Asia. In: Fraser, A. J., Matthews, S. J. & Murphy, R.W. (eds.), *Petroleum Geology of Southeast Asia*, Geological Society of London Special Publication, 126, h.311-339.
- McClay, K.R., Dooley, T., Ferguson, A. dan Poblet, J., 2000, Tectonic Evolution of the Sanga-Sanga Block, Mahakam Delta, Kalimantan, Indonesia, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 84, h.765-786.
- McKee, Doug., Dunham, John., 2004, Does 2D Seismic Still Have a Role in Frontier Exploration? A Perspective from the Deepwater Kutei Basin, *Proceedings of Deepwater And Frontier Exploration In Asia and Australasia Symposium*
- Malecek, Steven., Lunt, Peter., 1995, Sequence Stratigraphic Interpretation of Middle-Late Miocene Lowstand Sand in The Makassar Strait, Offshore East Kalimantan, Indonesia, *Proceedings of the International Symposium on Sequence Stratigraphy in SE Asia*
- McClay, K., dan T. Dooley, 1995, Structural evolution of the Mahakam fold belt, Kutai

- Basin, Kalimantan, Indonesia, *2nd Report for VICO*, Indonesia, 111 h.
- Moss, S. J., Chambers, J., Cooke, I., Satria, D., Ali, J., Milsom, J. dan Carter, A., 1997, New observations on the sedimentary and tectonic evolution of the Tertiary Kutai Basin, East Kalimantan. In: Fraser, A. J., Matthews, S. J. and Murphy, R. W. (eds), *Petroleum Geology of Southeast Asia. Geological Society Special Publication* v.126, h.395–416.
- Moss, S dan Chambers, J.L.C., 1999, Depositional Modelling and Facies Architecture of Rift and Inversion Episodes in The Kutai Basin, Kalimantan, Indonesia, *Proceedings of the Indonesian Petroleum Association*, Presented at The Twenty Seventh Annual Convention and Exhibition
- Moss, S. J., Clark, W., Baillie, P. W., Hermantoro, A.E. dan Oemar, S., 2000, Tectono-stratigraphic evolution of the North Makassar Basin, Indonesia, *AAPG International Conference and Exhibition*, Bali (abstract), h.A-63
- Moss, Steve J., 2003, Tectono-Stratigraphy Evolution of the North Makassar Basin Indonesia, *Proceedings of the Indonesian Petroleum Association*
- Reksalegora, Sena W., Dharmasamadhi, I.N. Widya., Imouokhome, Aig., Barker, Craig., 2007, Subsurface Uncertainties of a Deepwater Field: an Example From Kutai Basin East Kalimantan, *Proceedings Joint Convention Bali of The 32nd HAGI, The 36th IAGI, and The 29th IATMI Annual Conference and Exhibition*
- Satyana, A.H., Nugroho, D, Surontoko, I, 1999, Tectonic Controls on The Hydrocarbon Habitats of The Barito, Kutai and Tarakan basin, East Kalimantan, Indonesia, *Journal of Asian Earth Sciences Special Issue*, Vol.17, No.1-2, Elsevier Science, Oxford h. 99-120
- Sherwood, P., Fowler, J.N., Algar, S., Francois, J., G. Goffey, G., Smith, M.J., Busono, I., Strong, A., 2001, Comparison of Recent and Mio-Pliocene Deep Water Deposits in the Kutei Basin, East Kalimantan, *28th IPA Proceedings*, Jakarta
- Srivastava, S.P. & Arthur, M.A., 1985, Tectonic evolution of the Labrador Sea and Baffin Bay: Constraints imposed by regional geophysics and drilling results from Leg 105. In: Srivastava, S.P., Arthur, M.A., Clement B., et al 1989, *Proceedings of the Ocean Drilling Program*, Scientific Results, Vol. 105, h.989-1009
- Sukamto, R., 1973, Reconnaissance geologic map of Palu Area, Sulawesi – scale 1:250,000, Geological Survey of Indonesia, Directorate of Mineral Resources, *Geological Research and Development Centre*, Bandung.
- Sukamto, R., 1982, The geology of the Pangkajene and Western part of Watampone, Sulawesi (Quadrangles 2011, 2111) Scale 1:250,000. Geological Survey of Indonesia, Directorate of Mineral Resources, *Geological Research and Development Centre*, Bandung, 20 h.
- van Leeuwen, T.M., 1981, The Geology of Southwest Sulawesi with Special Reference to the Biru Area. In: Barber, A. J. & Wiryosujono, S. (eds.), *The Geology and Tectonics of Eastern Indonesia*, Geological Research and Development Centre, Bandung, Special Publication 2, p. 277-304.
- van de Weerd, A. & Armin, R.A., 1992, Origin and Evolution of the Tertiary Hydrocarbon Bearing Basins in Kalimantan (Borneo), *Indonesia. American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 76, h.1778-1803.

