

BAB II GEOLOGI REGIONAL

2.1 Geologi Regional Cekungan Jawa Timur

Secara geologi Cekungan Jawa Timur terbentuk karena proses pengangkatan dan ketidakselarasan serta proses-proses lain, seperti penurunan muka air laut dan pergerakan lempeng tektonik. Tahap awal pembentukan cekungan tersebut ditandai dengan adanya *half graben* yang dipengaruhi oleh struktur yang terbentuk sebelumnya. Tatanan tektonik yang paling muda dipengaruhi oleh pergerakan Lempeng Australia dan Sunda. Secara regional perbedaan bentuk struktural sejalan dengan perubahan waktu (PHE WMO, 2009).



Gambar 1. Peta daerah Cekungan Jawa Timur (ESDM op.cit, Sirait 2007)

Aktifitas tektonik utama yang berlangsung pada umur Plio Pleistosen, menyebabkan terjadinya pengangkatan daerah regional Cekungan Jawa Timur dan menghasilkan bentuk morfologi seperti sekarang ini. Struktur geologi daerah Cekungan Jawa Timur umumnya berupa sesar naik, sesar turun, sesar geser, dan pelipatan yang mengarah Barat - Timur akibat pengaruh gaya kompresi dari arah Utara – Selatan (Satyana, 2005).

Tatanan geologi Pulau Jawa secara umum dibagi berdasarkan posisi tektoniknya. Secara struktural Blok Tuban dikontrol oleh *half graben* yang berumur Pre–Tersier. Secara geologi Pulau Jawa merupakan suatu kompleks sejarah penurunan cekungan, pensesaran, pelipatan dan vulkanisme di bawah pengaruh *stress regime* yang berbeda-beda dari waktu ke waktu. Secara umum, ada tiga arah pola umum struktur yaitu arah Timur Laut – Barat Daya (NE-SW) yang disebut pola Meratus, arah Utara – Selatan (N-S) atau pola Sunda dan arah Timur – Barat (E-W). Perubahan jalur penunjaman berumur kapur yang berarah Timur Laut - Barat Daya (NE-SW) menjadi relatif Timur - Barat (E-W) sejak Oligosen sampai sekarang telah menghasilkan tatanan geologi Tersier di Pulau Jawa, (Sribudiyani, dkk., 2003).

2.2 Geologi Regional Cekungan Jawa Timur Utara

Cekungan Jawa Timur Utara sebelah barat dibatasi oleh Busur Karimunjawa dimana memisahkannya dengan Cekungan Jawa Barat Utara, di sebelah selatan dibatasi oleh busur vulkanik, sebelah timur dibatasi oleh Cekungan Lombok dan sebelah utara dibatasi oleh Tinggian *Paternoster*, dimana memisahkannya dengan Selat Makasar. Berdasarkan posisinya, Cekungan Jawa Timur Utara dapat

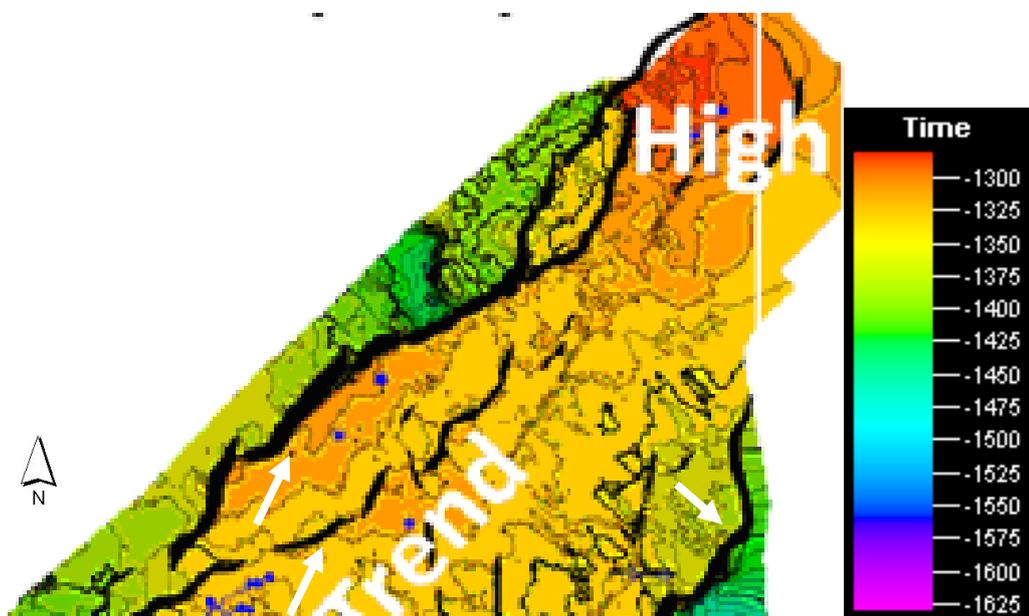
dikelompokkan sebagai cekungan belakang busur dan berada pada batas tenggara dari Lempeng Eurasia (Mudjiono dan Pireno, 2002).

Tren struktur dan sejarah pengendapan dari sedimentasi Tersier di Blok *West Madura Offshore* sebagian besar dikendalikan oleh konfigurasi batuan dasar yang dibentuk oleh peristiwa tektonik pada masa Kapur Akhir sampai dengan Tersier Awal. Fitur utama pada batuan dasar adalah *hinge lines* pada kedua sisi dari cekungan. Bagian tepi cekungan terkesan kasar yang mungkin dihasilkan oleh gaya tensional akibat *wrench fault* dan atau sebagai akibat dari mekanisme patahan jaman Pra-Tersier yang berarah berbeda dari struktur utama yang ada sekarang. Akibatnya, tensional dan *wrench faulting* mengakibatkan terjadinya pembentukan blok *graben* dan *horst* yang mulai membentuk konfigurasi cekungan pada waktu Kapur Akhir dan Tersier Awal.

Tektonik pada jaman Kapur Akhir sampai Tersier Awal mengakibatkan adanya kombinasi dari tensional dan *wrench faulting* yang menghasilkan seri fitur *horst* dan *graben* berarah Timur Laut - Barat Daya yang mengontrol konfigurasi awal pembentukan cekungan. Patahan-patahan awal yang kemudian teraktifkan kembali beberapa kali selama masa Tersier dan sesar normal yang tumbuh, yang merupakan fitur yang menonjol pada bagian utara blok, juga berpengaruh kuat terhadap pola sedimentasi. Bagaimanapun juga, pada bagian selatan dari blok West Madura Offshore, sesar normal yang tumbuh berakhir pada saat Formasi "OK" diendapkan. Pada Formasi "GL-MT" yang lebih muda, sesar anjakan lebih mendominasi, yang mengakibatkan terjadinya proses diapir serpih dan struktur yang berhubungan yang terbentuk selama Pliosen Akhir. Struktur yang jelas dan

berarah Timur Laut - Barat Daya yang terdapat banyak pada bagian utara blok West Madura Offshore berakhir secara tiba-tiba, berdekatan dengan garis pantai utara Pulau Madura. Pada Bagian selatan dari daerah ini, di Cekungan Jawa Timur, bagian-bagian struktural relatif berarah Timur - Barat sejalan dengan respon untuk untuk mengakhiri pengaruh dominan zona subduksi Banda-Jawa.

Blok *West Madura Offshore* dikontrol oleh dua buah sesar *rift margin* besar berarah Timur Laut- Barat Laut dengan penimpaan *wrench faults* sesudahnya. Kehadiran batuan induk yang menghasilkan hidrokarbon dan daerah dapur hidrokarbon yang terletak pada cekungan yang berdekatan pada bagian timur, barat dan selatan dari blok memberikan jarak yang relatif pendek untuk jalur migrasi hidrokarbon ke arah *up-dip* melalui ketidakselarasan batuan dasar yang terangkat miring dan melalui berbagai sesar dan kekar yang ada.



Gambar 2. Sesar yang terjadi di Lapangan “RUSMALA” (PHE WMO, 2009)

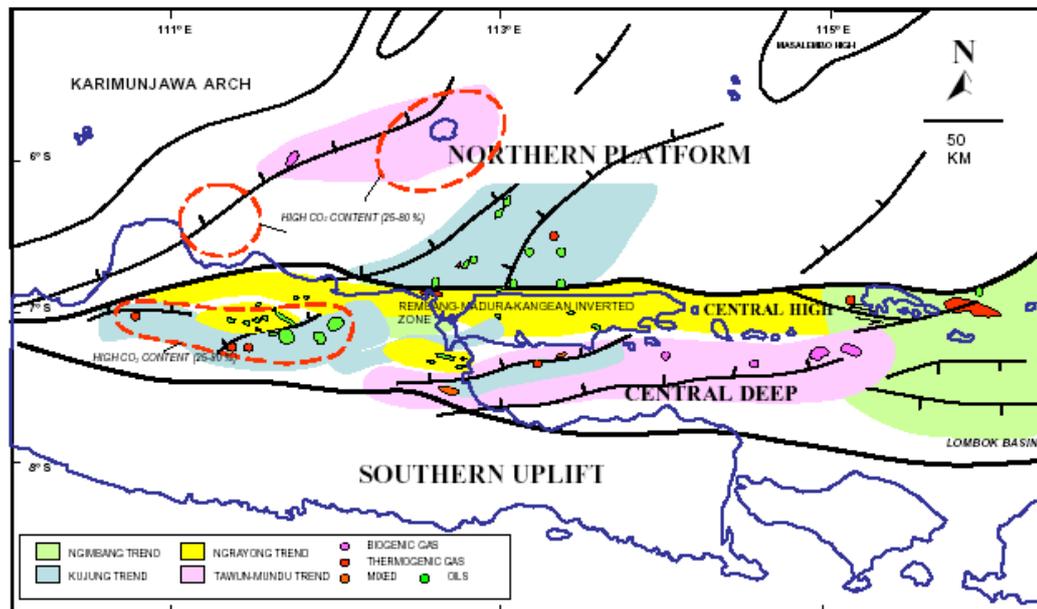
2.3 Kerangka Tektonik Cekungan Jawa Timur

Cekungan Jawa Timur dipisahkan menjadi tiga mandala struktur (*structural provinces*) (Satyana, 2005) dari Utara ke Selatan, yaitu :

1. Paparan Utara yang terdiri dari Busur Bawean, Paparan Madura Utara dan Paparan Kangean Utara.
2. Bagian tengah yaitu Tinggian Sentral yang terdiri dari Jawa Utara Laut (Kujung) – Madura – Kangean – Tinggian Lombok.
3. Bagian Selatan dikenal sebagai Cekungan Selatan yang terdiri dari Zona Rembang – Selat Madura – Sub-Cekungan Lombok.

Konfigurasi *basement* Cekungan Jawa Timur dikontrol oleh dua *trend* struktur utama, yaitu *trend* NE – SW yang umumnya hanya dijumpai di Mandala Paparan Utara dan *trend* W – E yang terdapat di Mandala Tinggian Sentral dan Cekungan Selatan. Akibat tumbukan lempeng selama Tersier Awal, Cekungan Jawa Timur terangkat dan mengalami erosi. Deretan perbukitan berarah NE – SW terbentuk di sepanjang tepi Tenggara Paparan Sunda akibat pemekaran busur belakang. Dari Utara ke Timur, kenampakan struktur utama dalam wilayah tarikan ini adalah Busur Karimunjawa, Palung Muria, Busur Bawean, dan Tinggian Tuban - Madura Utara. Pengangkatan pada waktu Oligosen Awal menghentikan proses - proses pengendapan dan menyebabkan erosi yang luas. Periode selanjutnya adalah periode tektonik tenang dan akumulasi endapan karbonat hingga Miosen Awal. Periode terakhir adalah periode tektonik kompresi mulai dari Miosen Akhir hingga sekarang. Sesar-sesar normal yang membentuk *horst* dan *graben*

teraktifkan kembali, sehingga menghasilkan struktur-struktur terbalik (*inverted relief*) (Hamilton, 1979).



Gambar 3. Tiga struktur utama Cekungan Jawa Timur (Satyana dan Purwaningsih, 2003).

Bagian Utara Cekungan Jawa Timur terdiri dari struktur tinggian dan rendahan dengan *trend* NE – SW, terlihat pada konfigurasi alasnya seperti Busur Karimunjawa, Palung Muria, Busur Bawean, Palung Tuban - Camar, Bukit JS-1, Depresi Masalembo - Doang, dan Paparan Madura Utara. Ke arah Selatan, Paparan Jawa NE, Zona Rembang Madura Kendeng, Zona Madura Selatan, dan Zona Depresi Solo.

Bagian tengah Cekungan Jawa Timur didominasi oleh pola struktur berarah Utara - Timur seperti yang berkembang di Paparan Madura Utara, Tinggian Madura, dan Sub Cekungan Selat Madura. Ke Timur, pola Utara – Timur lebih berkembang, diperlihatkan oleh Sub-Cekungan Sakala, Kangean, Sub-Cekungan Lombok. Umumnya, mandala Paparan Utara, merupakan sisa struktur yang

berkembang pada zaman Kapur (sutera Meratus). Selama Eosen hingga Miosen daerah ini berubah menjadi tempat perkembangan terumbu. Pada zaman Tersier Akhir daerah ini menjadi lingkungan yang baik bagi perkembangan fasies karbonat paparan.

1. Mandala Tinggian Sentral, merupakan daerah terangkat hasil penyesaran ekstensional Eosen – Oligosen Akhir dan pembalikan struktur Miosen -Resen. Tinggian Sentral berbentuk kemenerusan Tinggian Kujung dan Tinggian Madura - Kangean ke arah Timur. Di Utara, Tinggian Sentral dibatasi oleh sesar-sesar Sepanjang dan Sakala, dan di Selatan oleh Tinggian Madura – Kangean - Sepanjang. Mandala, tegasan tensional Eosen Akhir menyebabkan penurunan regional di daerah ini. Bagian tingginya menjadi tempat perkembangan *fasies reefal*.

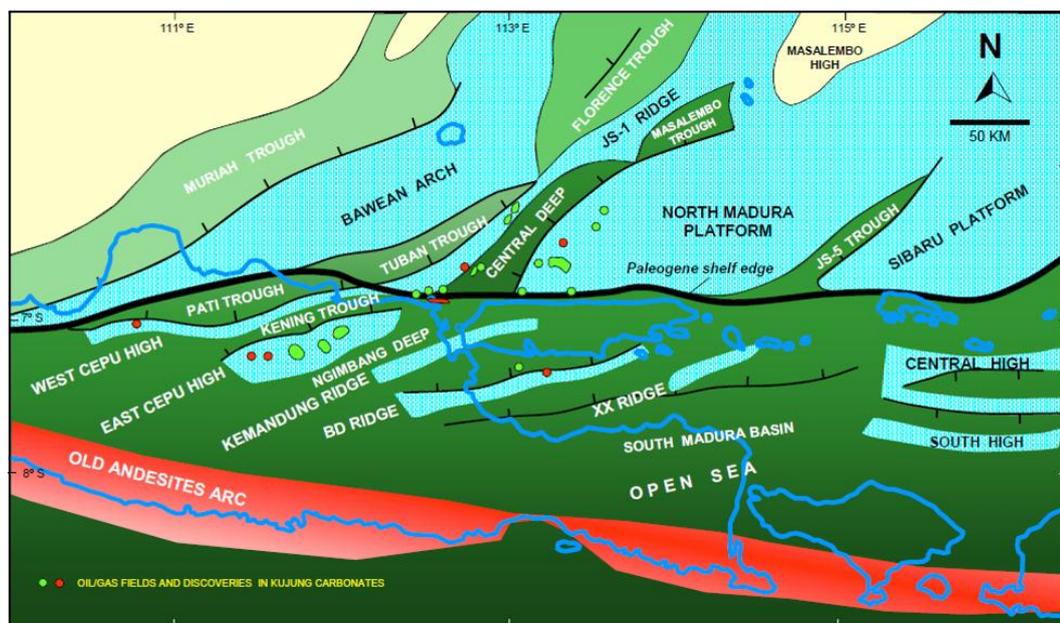
2. Mandala Cekungan Selatan, terbentuk oleh sesar ekstensional Eosen – Oligosen Akhir yang dilanjutkan oleh periode struktur terbalik produk kompresi Miosen Awal – Resen. Zona Rembang yang menerus sampai lepas pantai sebagai sesar mendatar (*wrench fault*) berasosiasi dengan pengangkatan Kujung, Madura, Kangean, dan Sepanjang ke arah Utara. Pembalikan struktur mengangkat bagian Utara, sedangkan bagian Selatan tetap pada lingkungan batial dalam.

2.4 Kerangka Tektonik Cekungan Jawa Timur Utara

Graben, half-graben, dan sesar-sesar hasil dari proses *rifting* telah dihasilkan pada periode ekstensional, yaitu pada Paleogen. Selanjutnya periode kompresi dimulai pada Miosen Awal yang mengakibatkan reaktivasi sesar-sesar yang telah

terbentuk sebelumnya pada periode ekstensional. Reaktivasi tersebut mengakibatkan pengangkatan dari *graben-graben* yang sebelumnya terbentuk menjadi tinggian yang sekarang disebut *Central High* (Ponto, et al., 1995).

Pada saat sekarang, Cekungan Jawa Timur Utara dikelompokkan ke dalam tiga kelompok struktur utama dari arah utara ke selatan, yaitu *North Platform*, *Central High* dan *South Basin*. Perubahan struktur juga terjadi pada konfigurasi *basement* dari arah barat ke timur. Bagian barat pada Platform Utara dapat dikelompokkan menjadi *Muria Trough*, *Bawean Arc*, *JS-1 Ridge*, *Norhteast Java Platform*, *Central-Masalemba Depression*, *North Madura Platform* dan *JS 19-1 Depression*. Sedangkan pada *South Basin*, dari barat ke timur dapat dikelompokkan menjadi *North East Java Madura Sub-Basin*(*Rembang-Madura Strait-Lombok Zone*), *South Madura Shelf* (kelanjutan dari Zona Kendeng) dan *Solo Depression Zone*. Pada *Central High* tidak ada perubahan struktur yang berarti dari arah barat ke timur (Ponto, et al., 1995). Penjelasan diatas dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. *Paleogene Geography of the East Java Basin* (Satyana, 2005)

2.5 Stratigrafi Regional

Wilayah konsesi *West Madura Offshore* PSC terletak di Cekungan Jawa Timur Utara yang didominasi oleh suksesi dari endapan sedimen berumur Tersier dan yang lebih muda. Reservoir utama pada daerah ini ditemukan pada fasies *reefal carbonate buildup* yang berkembang sepanjang *highstands* utama yang berasosiasi dengan dua interval stratigrafi berumur Oligosen Awal (umur Strontium 31 - 34 Ma) dan Miosen Awal (umur Strontium 20 - 21.5 Ma), dimana semua pertumbuhannya dihentikan oleh adanya *sequence boundary* yang dapat dikenali dengan baik dan merepresentasikan suatu keadaan hiatus yang berasosiasi dengan eksposisi karbonat dengan udara yang menyebabkan pembentukan porositas secara signifikan. Sedikit sekali jumlah sumur yang menembus umur Pra-Tersier yang sebagian besar terdiri dari batuan beku dan batuan metamorf. Secara umum stratigrafi dapat disimpulkan sebagai berikut (Gambar 5) :

2.5.1 Batuan dasar secara ekonomi yang berumur Pra-Tersier

Batuan dasar terdiri dari berbagai macam intrusi dan ekstrusi dari batuan beku, termasuk diantaranya gabro, basal andesitik, dan tufa metamorfik dan beberapa sedimen Pra-Tersier yang belum termalihkan. Litologi dari batuan dasar diperkirakan berumur Kapur dan telah dikonfirmasi dengan menggunakan penanggalan usia dengan sampel basal yang menghasilkan usia 64.58 juta tahun yang lalu.

2.5.2 Formasi Ngimbang

Formasi Ngimbang dapat dibagi menjadi 4 (empat) anggota (terurut dari tua ke muda) sebagai berikut :

- Anggota Pra "CD"
- Anggota "CD"
- Anggota Ngimbang *Clastic* / NGC
- Anggota Ngimbang *Limestone* / *Lower Limestone* / LL-NG

2.5.2.1 Anggota Pra "CD"

Anggota Pra "CD" terdiri dari batugamping, serpih, batupasir, batulempung, batulanau, dan konglomerat dengan sedikit lapisan tipis batubara. Ketebalan anggota ini pada umumnya tipis dan menebal ke arah daerah rendahan dan pada umumnya menghilang pada daerah *paleo-high*. Umur dari sedimen Anggota Pra "CD" sedimen diasumsikan berumur Ta-b (Eosen).

2.5.2.2 Anggota "CD"

Anggota "CD" sebagian besar terdiri dari batugamping dengan perselingan serpih dan batupasir dan pada beberapa tempat dengan sedimen tufaan yang teramati dengan baik. Pengendapan dari sedimen Anggota "CD" sebagian besar dikontrol oleh konfigurasi dari topografi batuan dasar. Di bagian utara dari Lapangan "RUSMALA", Anggota "CD" tak ditemukan, sedangkan pada sumur yang telah di bor, anggota ini umumnya terdiri dari sedimen konglomeratik dengan sisipan batubara yang diinterpretasikan telah diendapkan di lingkungan *continental-paludal*. Ketebalan dari Anggota "CD" bervariasi mulai dari 140 kaki hingga lebih dari 3000 kaki.

2.5.2.3 Anggota Ngimbang *Clastic* / NGC

Di beberapa tempat, anggota ini diendapkan secara tidak selaras di atas Anggota "CD" dari Formasi Ngimbang atau di atas batuan dasar. Anggota Pre-Kujung terdiri dari serpih, batugamping, batupasir dan batulempung. Serpih

biasanya terdapat pada bagian *paleo-lows* sedangkan pada bagian *paleo-highs* menjadi tempat sedimentasi dari *platform* karbonat, termasuk di antaranya beberapa tubuh *patch reef*. Secara umum, pengendapan terjadi selama fase regresif. Ketebalan bervariasi dari 270 kaki sampai dengan 995 kaki dan pada umumnya memperlihatkan tren menebal ke arah cekungan.

2.5.2.4 Anggota Ngimbang Limestone/Lower Limestone/LL-NG

Anggota *Lower Limestone* / LL terdiri dari batugamping dan perselingan dengan batuserpih. Secara regional, anggota ini diendapkan sebagai bagian sekuen pengisi cekungan awal transgresi-regresi yang berumur *Oligosen Awal* hingga *Oligosen Tengah* (Tc-d).

2.5.3 Formasi Kujung

Formasi Kujung dapat dibagi menjadi dua unit (terurut dari tua ke muda) sebagai berikut :

- Kujung II
- Kujung I

2.5.3.1 Kujung II

Kujung II secara selaras diendapkan diatas Formasi Ngimbang dan pada umumnya dapat dibedakan dari unit yang lebih muda dan tua berdasarkan fasiesnya yang didominasi oleh serpih. Litologi dan ketebalan dari unit ini bervariasi dari satu tempat ke tempat lainnya, tergantung dari konfigurasi *paleo-basement*. Batugamping dan batuserpih mendominasi unit ini dengan sedikit kehadiran batupasir dan batulanau.

Patch reefs menjadi fitur yang umum terjadi pada waktu pengendapan Kujung II dan disekitar *paleo-highs* diindikasikan dari kehadiran yang lebih besar atas fragmen batugamping yang terdiri dari fragmen koral yang melimpah, alga, dan sedimen longсорan dari bioklastik dekat terumbu yang terdapat di dalam matriks mikritik. Sikuen ini diendapkan pada waktu kondisi transgresi yang besar, pada umumnya menebal ke arah cekungan, dan bervariasi antara 764 kaki hingga 2735 kaki.

2.5.3.2 Kujung I

Sekuen batugamping yang masif dan menerus ini hadir secara selaras diatas unit Kujung II yang lebih tua. Variasi ketebalan sangat dimungkinkan sebagai akibat adanya pembentukan terumbu secara lokal. Pertumbuhan terumbu biasanya berkembang dengan baik pada daerah tinggian *paleo-basement*. Meskipun demikian, karbonat tersebut cenderung berubah secara cepat dan *onlap*-kan oleh fasies yang lebih serpih yang terdiri dari beberapa lapisan tipis batugamping berenergi rendah pada daerah *paleo-low*. Platform karbonat yang terpapar dan kemudian tenggelam menjadikan suatu ketidakselarasan yang tampak dengan jelas dan permukaan *onlap* dan transisi ke bagian yang lebih muda serta lebih didominasi oleh sekuen klastik.

Batugamping pada umumnya berwarna putih sampai agak putih, mengandung banyak fosil, *chalky* di beberapa bagian. Kadangkala dolomitik dan dapat mengandung sisipan rijang di beberapa tempat pada bagian dasar. Unit karbonat yang berumur *Miosen Awal* ini secara lateral melampar secara luas dan dapat dikenali di seluruh kepulauan Indonesia. Di blok *West Madura Offshore PSC*, ketebalannya bervariasi antara 313 kaki hingga 1255 kaki.

Kearah cekungan, Kujung I menjadi menipis di daerah Cekungan Jawa Timur Utara akan tetapi pada bagian selatan dari tepi Pulau Madura, penebalan kearah cekungan lebih umum ditemukan.

2.5.4 Formasi “OK”

Formasi “OK” dapat dibagi menjadi dua anggota (terurut dari tua ke muda) sebagai berikut:

- Anggota *Lower* “OK”
- Anggota *Upper* “OK”

2.5.4.1 Anggota *Lower* “OK”

Anggota *Lower* “OK” dapat dibagi menjadi dua unit yaitu, unit karbonan bagian bawah, Rancak, dan unit klastik bagian atas. Unit Rancak terdiri dari batugamping, serpih, dengan beberapa batupasir, batulanau dan perselingan batulempung. Batugamping pada unit Rancak lebih lanjut dapat dibedakan menjadi 2 fasies utama, yaitu fasies energi tinggi dan fasies energi rendah. Karbonat dengan energi tinggi sepanjang daerah paparan Madura, biasanya didominasi oleh kumpulan fasies reefal. Di sebelah utara, fasies ini digantikan oleh fasies yang lebih lempungan dan lapisan tipis karbonat berenergi yang rendah, yang setara waktu pengendapannya dengan Unit Rancak.

Unit klastik bagian atas terdiri dari batupasir, batulanau, batulempung, dengan sisipan batubara dan sedikit batugamping. Secara keseluruhan, Anggota *Lower* "OK" menebal dan menghalus kearah cekungan, walaupun pada daerah *paleo-high basement*, penipisan sangat mungkin terjadi. Secara regional, anggota ini diendapkan selama fase regresif.

2.5.4.2 Anggota *Upper* “OK”

Anggota *Upper* “OK” dicirikan oleh sekuen batugamping yang tebal dan masif dimana terdapat beberapa sisipan batupasir dan batulempung. Kearah cekungan, terdapat perubahan menjadi perlapisan yang lebih tipis, fasies karbonat berenergi rendah, diselingi dengan sedimen klastik yang halus. Batugamping pada umumnya berpori dan menunjukkan asosiasi fasies terumbu yang kuat. Sebagian besar sumur yang dibor dalam blok ini telah menembus sekuen karbonat ini. Secara regional, anggota ini merepresentasikan pengendapan dalam siklus transgresif-regresif.

2.5.5 Formasi “GL-MT”

Formasi “GL-MT” merupakan formasi yang berumur *Miosen* Akhir - *Pliosen* dan dapat dibagi menjadi dua anggota (terurut dari tua ke muda) sebagai berikut :

- Anggota “GL”
- Anggota “MT”

2.5.5.1 Anggota “GL”

Anggota "GL" terdiri dari batugamping, batulempung, batupasir, dan batulanau, sementara ke arah selatan sekuennya sebagian besar berupa batulempung dengan perselingan kecil dengan batupasir, batulanau dan napal. Batugamping pada umumnya merupakan terumbu yang tumbuh, terutama pada *paleo-high* tetapi berubah fasies menjadi lapisan tipis, fasies karbonat energi yang rendah dan sedimen klastik yang halus pada bagian *paleo-low*.

Batupasir cenderung mudah pecah, berbutir halus - kasar, sortasi buruk - baik dan sedikit karbonatan, dimana plankton foraminifera (diidentifikasi sebagai *Globigerina Sp.*) umum ditemui.

EPOCH	FORMATION	MEMBER	UNIT	BED	LITHOLOGIC SYMBOL	HYDROCARBON OCCURENCES	GENERAL DESCRIPTION	AGE		
								⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	Ma	
RECENT - PLEISTOCENE						WUNUT	Sst, Lst, Gravel sand, Clay generally contain forams and Shell fragment.			
PLIOCENE	"GL - MT"	"MT"				KUTI	Sst, Lst, and Clay. Limestones often reefal and very porous.	0,709080	1,77	
		"GL"				KRUKA	Lst, Clst, Sst, Clay. Limestones often reefal and very porous. Sandstones, clear quartz, poor to good sorted, sli. Calc	0,709012	5,32	
MIOCENE	ORBITOID KALK / "OK"	UPPER "OK"				KANGEAN	Mainly porous Limestone, often reefal and Sandstone lenses with Clay and Claystone intercalation, dolomitic near base.	0,708930	11,2	
		MIDDLE LOWER "OK"	CLASTIC				Channel and bar sand with thin lst & coals interbedded with claystones & shales. Deltaic sequences prograde to south. Rancak limestones good marker through out the area and thicker to south. Reefal and shoal limestones are common in the south	0,708770	16,4	
		EARLY UPPER "OK"	UNIT I				KE.5 FIELD BD-1 & 2 PLENG FIELD	Very distinctive thick homogenous limestone, often reefal and highly porous, rarely dolomitised, chert near base, some shale interbeds, more shales basinward. Oil and gas from reefal reservoirs in Central Depression and adjacent area		
		LATE LOWER "OK"	UNIT II				KE.23 CAMAR-1	Shales and Claystones interbedded with fine grained limestone-occasionally reefal. Gas shows from limestones and sandstones in Central Depression. Shales and claystones with some limestone and sandstone interbeds; -predominantly shales basinwards Gas show from limestones and sandstones in Central Depression.	0,708280	23,8
OLIGOCENE	KUNJUNG						Massive limestones, often reefal, grading laterally into sandstones, silstones and coals. In lower part shales and claystone are common with tuffaceous sediments. Continental and deltaic sediments in the northwestern part of the area. Gas and oil show in Central Depression.	0,708030	28,5	
		EARLY "OK"				KANGEAN		0,707804	33,7	
EOCENE	NGIMBANG					SEPANJANG PAGERUNGAN	Generally, shales and Claystones tuffaceous with Sandstones interbeds and some coal intercalation. Limestone, often reefal at the upper part.	KE.64 - 1	64,5	
PRE - TERTIARY (LATE - CRETACEOUS)	BASEMENT						Metamorphics and Igneous Rock are composed the basement.			

Gambar 5. Stratigrafi regional blok *West Madura Offshore* (PHE WMO, 2009)

2.5.5.2 Anggota The "MT"

Anggota MT" tidak ditemukan pada bagian utara dari blok *West Madura Offshore* dan sangat kontras ditandai dengan kumpulan batu gamping tebal berupa terumbu yang menempati sebagian sub-cekungan Jawa Timur bagian

Timur Laut. Pada bagian selatan dari blok *West Madura Offshore*, anggota ini didominasi oleh sekuen batulempung dengan batupasir yang tipis, batu lanau, dan napal. Diasumsikan bahwa Formasi "GL-MT" diendapkan secara tidak selaras di atas Anggota *Upper "OK"* yang lebih tua.

2.6 Sistem Minyak Bumi Cekungan Jawa Timur Utara

Faktor utama sistem *petroleum* adalah batuan induk, lapisan reservoir pembawa (*carrier beds*), jalur migrasi, dan mekanisme pemerangkapan. Faktor-faktor tersebut harus ada dan bekerja secara sinergis dalam ruang dan waktu untuk mengakumulasi hidrokarbon.

Di Cekungan Jawa Timur terdapat beberapa dalaman dan tinggian yang membentuk suatu sistem *horst – graben*, dan pada tinggian-tinggian tersebut yang akhirnya terumbu Rancak tumbuh setempat membentuk reservoir berumur *Miosen Awal*.

Berdasarkan perbandingan kasus Reservoir Lapangan Mudi di Desa Rahayu, Kecamatan Soko, Tuban yang juga berada di Cekungan Jawa Timur memperlihatkan suatu *Carbonate Bank relief* rendah yang disusun secara dominan oleh *red algae* dan foraminifera yang berumur *Miosen Awal*. Litologi umumnya disusun oleh *clean wackestones* sampai dengan *packstones* dengan sedikit kandungan *rudstones* dan perkembangan *grainstone*. Sedangkan sebagai batuan penyekatnya secara *onlapping* dan *overlying* adalah batuan serpih Formasi Tuban dan Ngrayong. Sebagai *carbonate build-up*, penyebaran porositas reservoir sangat heterogen baik secara lateral maupun vertikal. Porositas sekunder terutama

dibentuk oleh tahap akhir disolusi dari semen dan butiran yang membentuk rongga-rongga (*vugs*) dan beberapa rekahan akibat pelarutan atau *caverns*.

Dua potensi batuan induk yang dikenali di Cekungan Jawa Timur adalah Ngimbang Bawah (*Lower Ngimbang*) dan Serpih Tawun (*Tawun Shales*). Potensi batuan reservoir telah teramati pada beberapa interval seperti antara lain batupasir Ngimbang bagian Bawah, karbonat Ngimbang bagian Atas, karbonat Formasi Kujung, Tawun, Ngrayong, Kawengan dan Lidah. Formasi-formasi tersebut secara umum juga memiliki potensi sebagai batuan penutup (*seal*) karena memiliki interval batulempung atau batuserpih yang cukup tebal. Perangkap (*trap*) stratigrafi umumnya berhubungan dengan tubuh batuan karbonat *reefal* berumur Oligosen sampai Miosen, sedangkan perangkap struktur banyak berhubungan dengan inversi di Akhir Tersier. Generasi hidrokarbon telah terjadi dalam 2 (dua) periode yaitu di Akhir Oligosen untuk batuan induk Ngimbang bagian Bawah dan di Miosen Tengah untuk batuan induk Tawun.

2.7 Batuan Karbonat

Batuan karbonat merupakan salah satu batuan sedimen siliklastik. Menurut Pettijohn (1975), batuan karbonat adalah batuan yang fraksi karbonatnya lebih besar dari fraksi non karbonat atau dengan kata lain fraksi karbonatnya >50%. Apabila fraksi karbonatnya <50%, maka tidak bisa lagi disebut sebagai batuan karbonat.

Batuan karbonat umumnya tersusun oleh mineral aragonit, kalsit, dan juga dolomit, komponen penyusun batuan karbonat dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

1. Butiran Karbonat (*carbonate grain*)

Butiran karbonat berukuran sama atau lebih besar daripada lanau, dibagi menjadi dua macam, yaitu *skeletal grain* dan *non skeletal grain*.

Skeletal grain merupakan salah satu penyusun batuan karbonat yang berasal dari sisa cangkang atau tubuh suatu organisme yang dapat berupa fosil, mikrofosil, dan pecahan – pecahan fosil.

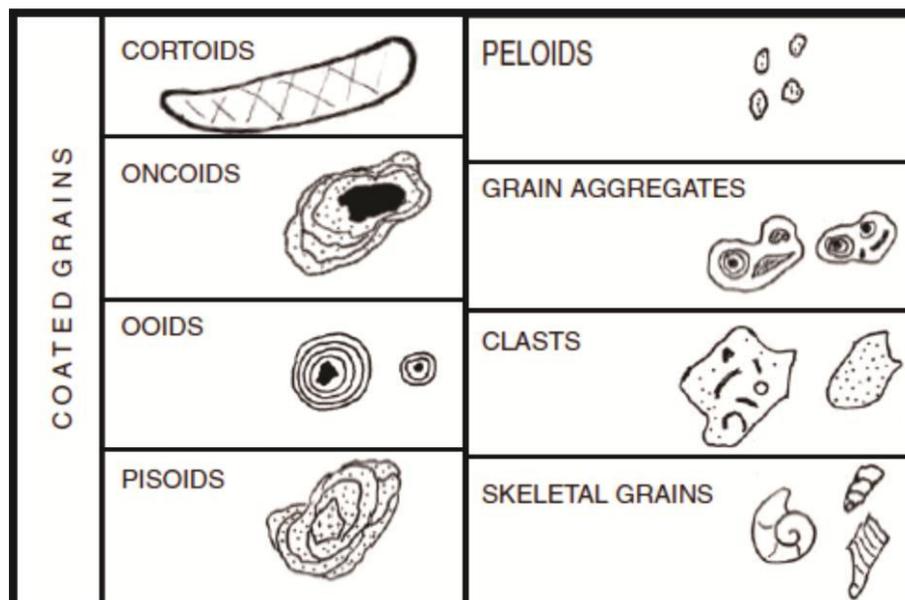
Non skeletal grain merupakan salah satu penyusun batuan karbonat yang umumnya terbentuk akibat proses presipitasi kimiawi seperti dolomitisasi, maupun proses rekristalisasi, *replacement*, dan pengisian rongga batuan oleh material karbonat. Berikut adalah contoh dari *non skeletal grain ooid, pisoid, peloid, pellet, intraklast, dan ekstraklast*.

2. *Microcrystalline calcite (micrite)*

Micrite tersusun oleh kristal-kristal kalsit atau *aragonite* yang sangat halus, dapat berperan sebagai matriks diantara butiran karbonat atau sebagai penyusun utama batuan karbonat berbutir halus, butirnya berukuran <1/256 mm atau ukuran lempung (Tucker, 1982).

3. *Sparry calcite (sparite)* : semen karbonat

Sparite adalah kristal-kristal kalsit yang berbentuk *equant*, berukuran 0,02-0,1 mm dan berkenampakan transparan dan jernih di bawah mikroskop polarisasi (Buggs, 1987). *Sparite* dibedakan dengan *micrite*, karena mempunyai ukuran kristal yang lebih besar dan kenampakannya lebih jernih, sedang perbedaannya dengan butiran atau *allochem* adalah pada bentuk kristalnya dan tidak adanya tekstur eksternal.



Gambar 6. Ilustrasi butiran karbonat (*Carbonate Grain*) (Flugel, 2010)

2.7.1 Klasifikasi Batuan Karbonat

Batuan karbonat adalah batuan dengan komposisi material karbonat lebih dari 50% yang tersusun atas partikel karbonat klastik yang tersemankan atau karbonat kristalin hasil presipitasi. Batuan karbonat adalah batuan yang komponen utamanya berupa mineral karbonat lebih dari 50% sedangkan batugamping merupakan batuan dengan komposisi mineral karbonat hingga 95%.

Klasifikasi batuan karbonat cukup banyak yang telah dipublikasikan, diantaranya adalah klasifikasi Dunham (1962; dalam Flugel, 2010), Klasifikasi Folk (1962 ; dalam Flugel, 2010), dan klasifikasi Embry dan Klovan (1971 ; dalam Flugel, 2010). Ketiga klasifikasi ini membagi batugamping berdasarkan paduan antara parameter deskriptif dan genetik. Parameter deskriptif artinya mengelompokkan batuan karbonat berdasarkan sifat-sifat fisik, seperti tekstur, struktur dan lain sebagainya, sedangkan parameter genetik, yaitu mengelompokkan batugamping berdasarkan asal-usul batuan tersebut. Klasifikasi Embry dan Klovan (1971 ;

dalam Flugel, 2010) merupakan hasil modifikasi dari klasifikasi Dunham (1962 ; dalam Flugel, 2010). Hasil dari modifikasi yang dilakukan oleh Embry dan Klovan menambahkan tekstur deposisi. Penambahan dalam klasifikasi ini, yaitu menambahkan fabrik batuan menjadi empat, yaitu *mud supported*, *grain supported*, *matrix supported*, dan *other component supported*. Dengan pembagian hasil deposisi menjadi dua bagian, yaitu *allochthonous limestone* dan *autochthonous limestones*. *Allochthonous limestone* merupakan batugamping yang komponen asalnya bukan berasal dari aktivitas organisme dan merupakan hasil transportasi selama proses deposisi, sedangkan *autochthonous limestones* merupakan batugamping yang komponen asalnya berasal dari aktivitas organisme selama proses deposisi.

2.7.2 Faktor yang mempengaruhi Sedimen Karbonat

Faktor-faktor yang mempengaruhi sedimen karbonat adalah :

1. Garis lintang dan iklim

Karbonat yang terbentuk pada air hangat neritik (0 – 200 m) terakumulasi pada garis lintang 30⁰ utara dan selatan equator. Biasanya terbentuk dari pecahan organisme seperti koral, dengan pertumbuhan terbaik pada kedalaman kurang dari 30 m. Sedimen planktonik terbentuk pada kedalaman yang lebih dalam dengan garis lintang 40⁰ utara dan selatan. Endapan pada air dingin neritik terletak pada garis lintang 20⁰ – 40⁰, terbentuk dari bryozoa, moluska dan foraminifera. Iklim dapat mengontrol rata-rata evaporasi atau hujan, mempengaruhi komposisi air laut dekat batas kontinental dan *restricted basin*.

2. Penetrasi cahaya

Penetrasi cahaya berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman air, tingginya garis lintang dan berkurangnya kejernihan air. Karbonat tumbuh pada zona shallow neritik, di atas 10 – 20 m dari permukaan laut. Batas terendah penetrasi cahaya berkisar antara 100 – 150 m yang merupakan batas zona euphotic, zona dimana fotosintetik organisme terjadi.

3. Salinitas

Keanekaragaman dan kelimpahan organisme laut terdapat pada salinitas *normal marine* yaitu 30 – 40 ppt (normal air laut sekitar 32 – 36 ppt).

2.7.3 Lingkungan Pengendapan

Lingkungan pengendapan karbonat terdiri dari :

1. Sering merupakan laut yang beragitasi “shoal”, bagian - bagian dangkal dekat pantai (litoral) terutama jika bertekstur *grainstone-packstone* dengan partikel - partikel terabrasi.
2. Bagian teduh dekat suatu *reef, dilagoon, difore reef*; merupakan lembaran - lembaran dari *reef* yang dipecah - pecah gelombang ke bagian air tenang, terutama jika bertekstur *packstone* ataupun *wackstone*, dengan butiran yang terabrasi. Di *fore reef* biasanya merupakan breksi - talus runtuh dari *reef*, terdiri dari pecahan-pecahan cangkang koral.
3. Neritik; misalnya jika terdiri dari organisme *benthos*, tanpa adanya abrasi, misalnya gamping foraminifera besar yang membentuk “bank” atau “biostrome”.

2.7.4 Terumbu Karbonat sebagai Batuan Reservoir

Terumbu (reef) dapat menjadi batuan reservoir yang sangat penting. Pada umumnya terumbu terdiri dari suatu kerangka, coral, ganggang, dan sebagainya yang tumbuh dalam laut yang bersih, berenergi gelombang tinggi, dan mengalami banyak pembersihan sehingga rongga - rongga antaranya khususnya menjadi sangat bersih. Dalam hal ini porositas yang didapatkan terutama dalam kerangka yang berbentuk rongga - rongga bekas binatang hidup yang tersemankan dengan *sparry calcite* sehingga porositasnya diperkecil.

1. Bentuk reservoir terumbu

Pada umumnya dapat dibedakan menjadi 2 macam reservoir terumbu, yaitu terumbu yang bersifat *fringing* atau merupakan suatu bentuk yang memanjang di lepas pantai, terumbu yang bersifat terisolasi di sana - sini, yang sering disebut sebagai suatu *pinnacle* atau *patch reef* atau secara tepat dikatakan sebagai *bioherm*, yang muncul di sana - sini sebagai bentuk kecil secara tidak teratur, dan terumbu yang berbentuk *linier* atau sebagai penghalang (*barrier*) biasanya berbentuk memanjang sering kali cukup besar serta memperlihatkan suatu asimetri dan biasanya terdapat pada pinggiran suatu cekungan.

2. Terumbu tiang

Lapangan yang bersifat terumbu tiang (*pinnacle*) ditemukan di Libya yaitu lapangan Idris dalam cekungan Sirte yang didapatkan dari suatu terumbu berumur paleosen. Contoh yang baik untuk terumbu tiang sebagai reservoir ialah yang didapatkan baru-baru ini di Irian Jaya, yaitu lapangan minyak Kasim dan Jaya. Lapangan Kasim-Jaya merupakan suatu akumulasi dalam kulminasi terumbu yang tumbuh di atas suatu kompleks terumbu yang merupakan suatu

landasan. Bentuk terumbu Kasim-Jaya itu terdiri daripada batuan karbonat berenergi tinggi yang panjangnya 7 km dan lebarnya 2.5-3.5 km dan mempunyai ketinggian atau relief vertikal 760 m di atas landasan tempat terumbu itu tumbuh.

3. Gamping klastik

Gamping klastik sering juga merupakan reservoir yang sangat baik, terutama dalam asosiasinya dengan oolit, dan sering disebut sebagai kalkarenit. Jadi jelas, bahwa batuan reservoir yang terdapat di dalam oolit itu merupakan pengendapan berenergi tinggi dan didapatkan dalam jalur sepanjang pantai dengan arus gelombang kuat. Porositas yang didapatkan biasanya ialah jenis porositas intergranular, yang kadang-kadang diperbesar oleh adanya pelarutan. Batuan reservoir oolit terdapat misalnya di cekungan Illinois (Amerika Serikat), dimana terdapat oolit dalam gamping yang berumur karbonat. Lapisan oolit ini disebut *McClosky sand*. Batuan ini terdiri daripada oolit yang kadang-kadang bersifat dolomit. Contoh yang paling penting adalah di Saudi Arabia yaitu dari Formasi Arab berumur jura muda, terutama dari anggota D.

4. Dolomit

Dolomit merupakan batuan reservoir yang jauh lebih penting dari jenis batuan karbonat lainnya dan bahwa kebanyakan dari batuan karbonat seperti oolit ataupun terumbu sedikit banyak pula telah ikut didolomitisasikan. Cara terjadinya dolomit ini tidak begitu jelas, tetapi pada umumnya dolomit ini bersifat sekunder atau sedikit banyak terbentuk setelah proses sedimentasi. Salah satu teori yang menyebutkan pembentukan porositas pada dolomit yaitu porositas timbul karena dolomitisasi batuan gamping sehingga molekul kalsit

diganti dengan molekul dolomit, dan karena molekul dolomit lebih kecil daripada molekul kalsit maka hasilnya akan merupakan pengecilan volume sehingga tidak timbulah rongga-rongga. Dolomit biasanya mempunyai porositas yang baik berbentuk sukrosit yaitu berbentuk menyerupai gula pasir. Rupa-rupanya dolomit ini terbentuk karena pembentukan kristal dolomit yang bersifat *euhedron* dan tumbuh secara tidak teratur diantara kalsit.

2.7.5 Diagenesis Batuan Karbonat

Secara umum batuan sedimen terendapkan pada laut dangkal namun juga ada beberapa yang terendapkan pada laut dalam sampai pada batas CCD. Faktor yang menentukan karakteristik akhir produk diagenesa antara lain komposisi sedimen mula-mula, sifat alami fluida interstitial dan pergerakannya, dan proses fisika, kimia, maupun biologi yang bekerja selama diagenesa. Namun secara umum batuan sedimen karbonat lebih banyak terbentuk akibat proses kimia dan proses biologi atau biasa disebut dengan proses geokimia dan biogenetik. Proses-proses diagenesis yang dialami oleh batuan karbonat meliputi Pelarutan (*Dissolution*), Sementasi (*Cementation*), Dolomitisasi (*Dolomitization*), Aktivitas Mikroba (*Microbial Activity*), Kompaksi Mekanik (*Mechanical Compaction*), dan Kompaksi Kimia (*Chemical Compaction*).