

## **BAB II**

### **GEOLOGI REGIONAL CEKUNGAN TARAKAN DAN GEOLOGI LAPANGAN SSDK**

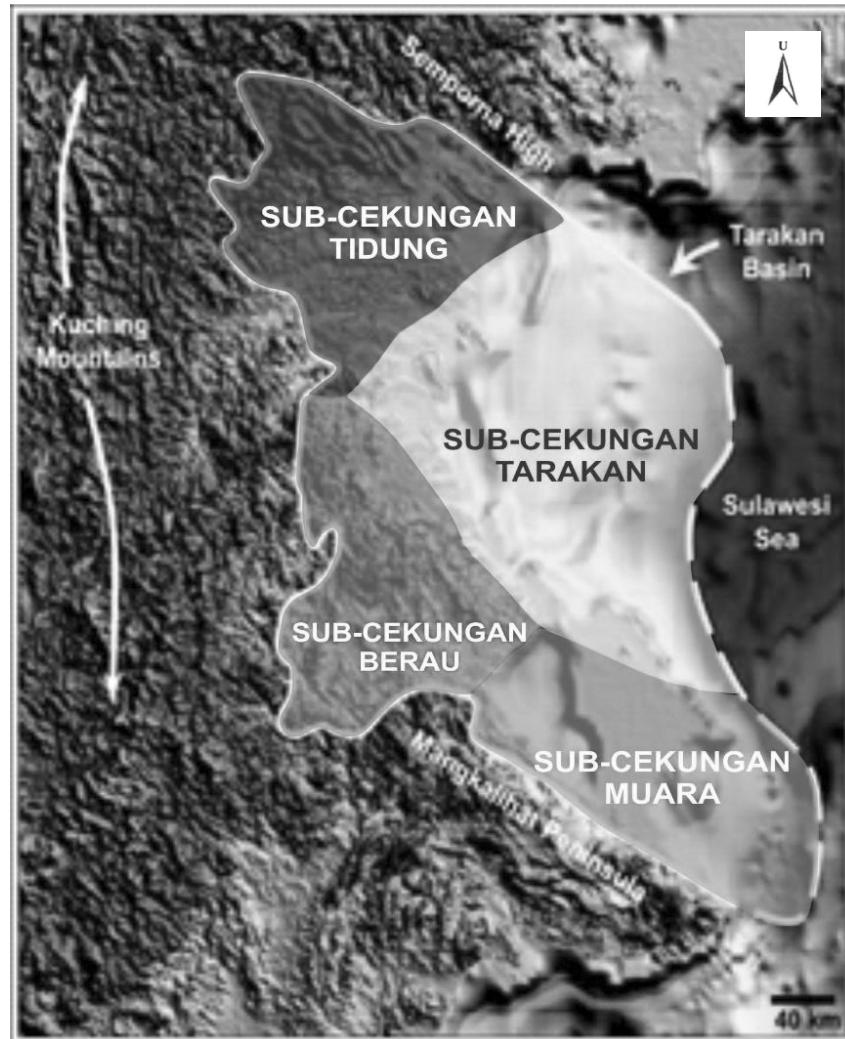
#### **II.1 GEOLOGI REGIONAL CEKUNGAN TARAKAN**

Cekungan Tarakan merupakan salah satu cekungan yang berada di Kalimantan Utara. Cekungan Tarakan terletak di sebelah utara dari Cekungan Kutai dan Cekungan Barito. Menurut Pertamina BPPKA (1996), cekungan ini terisi oleh endapan Tersier yang memiliki beberapa siklus pengendapan serta mengalami beberapa peristiwa tektonik. Potensi migas sudah terbukti ada di Cekungan Tarakan. Kegiatan eksplorasi sudah dilakukan sejak tahun 1899 ketika minyak pertama di temukan di Pulau Tarakan. Kemudian di tahun 1967 Pertamina menyepakati kontrak dengan Japex untuk melakukan eksplorasi yang lebih lanjut di area lepas pantai Tarakan. Kondisi geologi dari cekungan perlu dikaji terlebih dahulu melalui studi literatur yang sudah ada sebelumnya.

##### **II.1.1 Fisiografi Cekungan Tarakan**

Cekungan Tarakan terletak di Provinsi Kalimantan Utara, secara lebih spesifik terletak di bagian timur laut dari Kalimantan Utara yang mencakup daerah daratan (*onshore*) dan lepas pantai (*offshore*). Cekungan ini dibatasi pada bagian utara oleh Tinggian Samporna, bagian selatan oleh Tanjung Mangkalihat, bagian barat oleh Tinggian Kuching, bagian timur oleh Laut Sulawesi. Cekungan ini memiliki cakupan area sekitar 40.000 km<sup>2</sup>.

Cekungan Tarakan merupakan cekungan belakang busur yang terbentuk pada awal tersier karena adanya subduksi dari Laut Cina Selatan. Kondisi cekungan saat ini secara umum merupakan daerah delta *passive margin* yang dikontrol oleh tektonik kompresif dengan fitur sesar geser. Cekungan ini terdiri dari empat sub-cekungan yaitu Sub-cekungan Tidung, Tarakan, Berau, dan Muara yang dapat dilihat pada **Gambar II.1** (Achmad dan Samuel, 1984).



**Gambar II. 1** Fisiografi Cekungan Tarakan (Achmad dan Samuel, 1984)

## II.1.2 Struktur Geologi dan Evolusi Tektonik Cekungan Tarakan

### II.1.2.1 Struktur Regional Cekungan Tarakan

Struktur regional Cekungan Tarakan memiliki fitur sesar geser sinistral dengan orientasi barat laut-tenggara (NW-SE), antiklin dengan orientasi barat laut-tenggara (NW-SE), serta rangkaian *growth fault-toe thrust* dengan orientasi timur laut-barat daya (NE-SW) (lihat **Gambar II.4**). Menurut Hidayati dkk. (2007), kerangka struktur Cekungan Tarakan dapat dibagi menjadi dua lingkungan dengan *structural style* yang berbeda (**Gambar II.2**). Penampang tektonik Cekungan Tarakan dapat dilihat pada **Gambar II.3**.

- Area daratan (*onshore*)

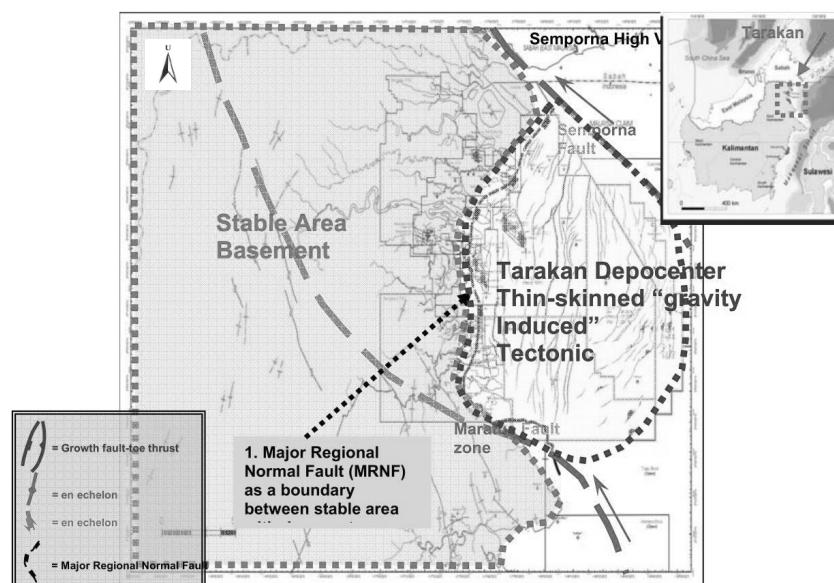
Daerah ini merupakan daerah yang relatif stabil apabila dibandingkan dengan daerah *offshore*. Struktur daerah ini dikontrol oleh tektonik yang berkaitan dengan deformasi batuan dasar. Beberapa struktur yang menyertai di antaranya adalah sesar geser sinistral yang memiliki orientasi NW-SE dan antiklin *en echelon* yang memiliki orientasi NW-SE. Batas dari *onshore area* di sebelah timur merupakan area transisi peralihan ke *offshore area*, khususnya di Pulau Bunyu dan Pulau Tarakan.

- Area lepas pantai (*offshore*)

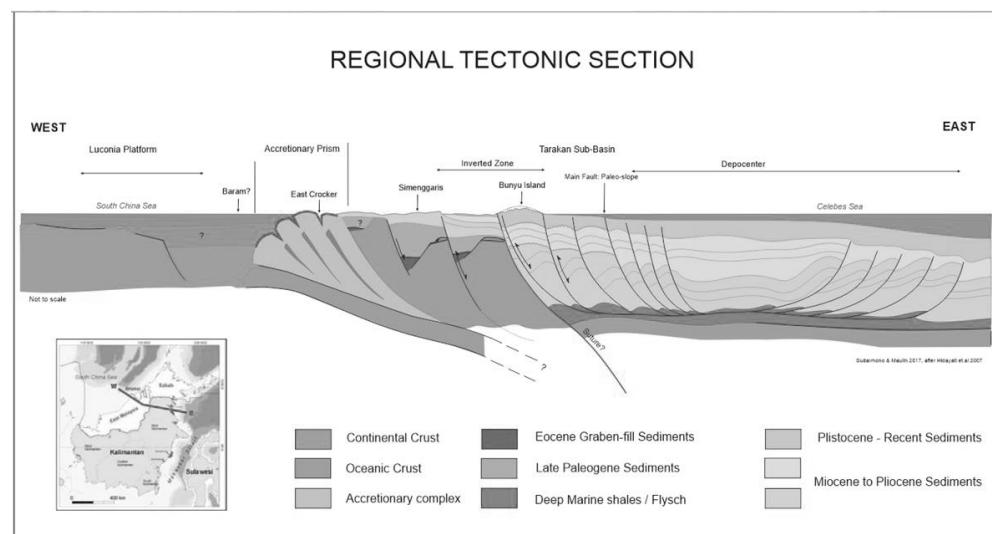
Daerah ini merupakan daerah deposenter Tarakan. Daerah ini merupakan daerah yang lebih banyak dijumpai struktur apabila dibandingkan dengan daerah *onshore*. Struktur daerah ini dicirikan dengan adanya pengaruh gravitasi yang mengakibatkan deformasi *thin skinned* berupa sesar-sesar normal. Ciri struktur tersebut umum dijumpai pada lingkungan pengendapan delta. Pengaruh dari gravitasi menyebabkan terbentuknya rangkaian sesar normal-*toe thrust* berorientasi NNE-SSW atau NE-SW yang terbentuk pada Miosen Tengah atau Miosen Akhir. Sesar geser sinistral kemungkinan tereaktivasi pada 5 juta tahun yang lalu menyebabkan adanya inversi sesar normal dan membentuk antiklin *en echelon*.

Kedua daerah struktur tersebut dipisahkan oleh adanya sutura antara kerak kontinen dari bagian timur *Sundaland* dan kerak samudra Laut Celebes (Sudarmono dkk., 2017). Sutura tersebut diperkirakan memiliki kelurusan dengan orientasi NNE-SSW di sepanjang jajaran Pulau Tarakan, Pulau Bunyu, dan Pulau Ahus. Hidayati dkk. (2007) menjelaskan bahwa batas dua kerak yang berbeda tersebut adalah *major regional normal fault* (MRNF). Hal tersebut diinterpretasikan dari adanya sesar normal di bagian paling barat dari ketiga pulau tersebut (Tarakan, Bunyu, dan Ahus). Ketiga pulau tersebut diinterpretasikan merupakan antiklin yang tersegmentasi akibat adanya suatu diskontinuitas berupa *major regional normal fault* (MRNF) yang memiliki *dipping* ke arah timur. MRNF tersebut terbentuk bersamaan dengan peristiwa kolisi *Luconia–Dangerous Grounds* di bagian barat cekungan dan kemungkinan akan berhubungan dengan sutura (Sudarmono dkk.,

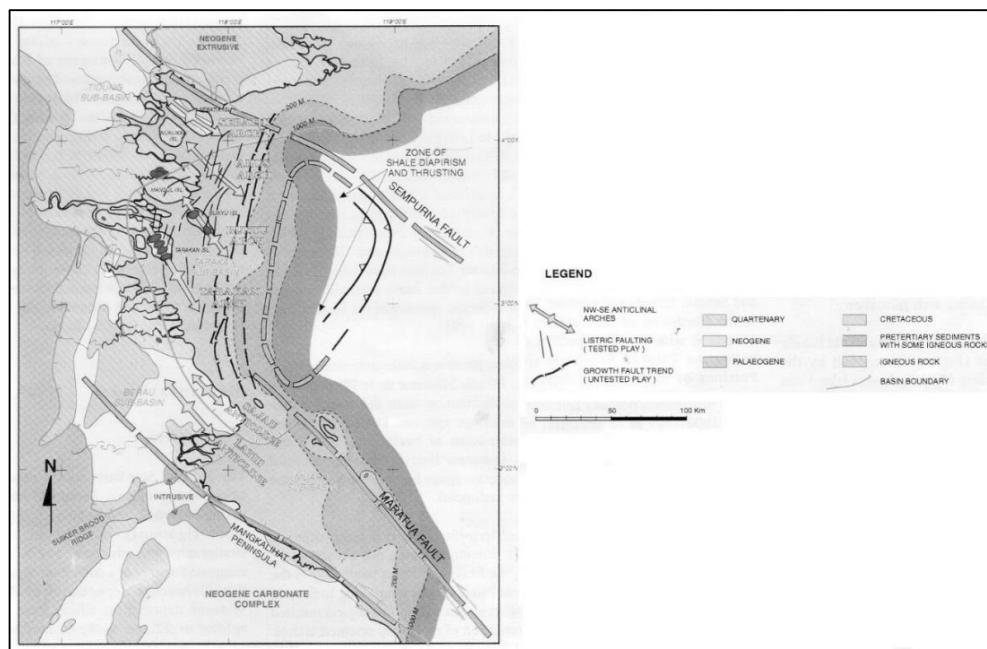
2017). Area yang stabil (bagian *footwall*) didasari oleh kerak kontinen, sedangkan area yang kurang stabil di daerah Deposenter Tarakan (bagian *hangingwall*) didasari oleh kerak samudera.



**Gambar II. 2** Pembagian daerah berdasarkan perbedaan *structural style* (Hidayati dkk., 2007)



**Gambar II. 3** Penampang tektonik dari Cekungan Tarakan (Sudarmono dkk., 2017)



**Gambar II. 4 Peta Geologi Cekungan Tarakan (Pertamina BPPKA, 1996)**

### II.1.2.2 Evolusi Tektonik

Evolusi tektonik Cekungan Tarakan diilustrasikan oleh Balaguru dan Hall (2009) (**Gambar III.5**) yang sebenarnya secara spesifik menjelaskan tentang Cekungan Sabah, Malaysia. Kemudian penjelasan yang lebih rinci pada Cekungan Tarakan dijelaskan dalam literatur dari Hidayati dkk. (2007). Perkembangan struktur di Cekungan Tarakan terjadi melalui beberapa tahap peristiwa tektonik yang memiliki lingkup pengaruh yang luas dan mengontrol pengendapan sedimen di cekungan.

- **Eosen Tengah–Eosen Akhir (45-40 Ma)**

Konfigurasi struktur dimulai dengan adanya peristiwa tektonik ekstensional yang menyebabkan perkembangan blok besar *horst* dan *graben*. Bentukan *graben* tersebut menjadi dasar bagi sedimen tersier yang paling tua di Cekungan Tarakan yaitu Formasi Sembakung.

Peristiwa tektonik ekstensional yang diperkirakan sudah dimulai pada Eosen Awal (Hidayati dkk., 2007) terjadi dikarenakan hasil dari subduksi Lempeng Proto Laut Cina Selatan di sebelah barat laut Kalimantan saat

Kalimantan belum terotasi berlawanan arah jarum jam. Peristiwa tersebut berhubungan dengan peristiwa pemekaran Laut Celebes, Selat Makassar.

Kemudian peristiwa tektonik ekstensional ini diikuti oleh adanya peristiwa pengangkatan di bagian barat dari cekungan pada Eosen Tengah mengakibatkan adanya proses erosi dari puncak Tinggian Sekatak yang kemudian menjadi sumber sedimen bagi siklus pengendapan pertama. Siklus pengendapan pertama membentuk Formasi Sujau, Formasi Mangkabua, dan Formasi Seilor. Formasi tersebut diendapkan secara tidak selaras di atas Formasi Sembakung.

- **Oligosen Awal–Miosen Awal (38-22 Ma)**

Adanya subduksi yang aktif pada Oligosen – Miosen Awal membentuk busur vulkanik & peristiwa pengangkatan awal Kelompok Rajang. Pengendapan Formasi Tempilan sampai Formasi Naintupo dimulai dengan adanya pengangkatan pada Oligosen Awal yang diendapkan secara tidak selaras di atas formasi endapan siklus pertama. Sedimen yang diendapkan pada siklus kedua ini terjadi pada saat fase transgresif. Ketika peristiwa ekstensi dan pengangkatan mencapai puncak akhirnya pada Miosen Awal, pengendapan berubah memasuki fase regresif. Berbeda dengan pengangkatan sebelumnya yang muncul hanya di bagian barat cekungan, pada peristiwa pengangkatan ini menyebar hingga ke bagian timur, membentuk Tinggian Dasin – Fanny.

- **Miosen Awal–Miosen Tengah (19-15,5 Ma)**

terjadi peristiwa pengangkatan akibat kolisi mikrokontinen *dangerous ground* & Orogenesa Sabah pada Miosen Awal. Pengangkatan terus berlanjut bersamaan dengan pemekaran Laut Sulu bagian tenggara. Adanya kolisi tersebut menghentikan busur vulkanik, kemudian adanya peristiwa pengangkatan menimbulkan adanya sumber sedimen baru.

- **Miosen Tengah–Miosen Akhir (15–8,6 Ma)**

Pengangkatan masih berlanjut bersamaan terjadi penghentian pemekaran Laut Sulu. Namun subduksi singkat terjadi ke arah tenggara menimbulkan adanya pembentukan busur volkanik Sulu. Terjadi pembentukan *growth fault* akibat sedimentasi endapan deltaik, yaitu Formasi Meliat, Formasi Tabul, dan Formasi Santul yang cepat, sehingga terjadi *gravitational sliding* pada endapan deltaik tersebut. Pembentukan *growth fault* sesaat terhenti selama proses awal pengendapan Formasi Santul akibat adanya fase transgresif pendek. Kondisi tektonik di Cekungan Tarakan pada kala ini relatif stabil.

- **Pliosen–sekarang (8,6 Ma–Resen)**

Pengangkatan berhenti dan tektonik yang terjadi di Cekungan Tarakan saat ini adalah rezim kompresional akibat adanya *strike-slip fault* yang kemungkinan di pengaruhi oleh pemekaran Laut Celebes atau kemenerusan Sesar Palu-Koro. Di beberapa tempat, rezim kompresi ini mengakibatkan adanya sesar normal yang terinversi.

### **II.1.3 Stratigrafi Cekungan Tarakan**

Kolom stratigrafi regional Cekungan Tarakan dapat dilihat pada **Gambar II.6**. Stratigrafi regional Cekungan Tarakan secara umum mengacu pada Achmad dan Samuel (1984). Penjelasan stratigrafi dimulai dari adanya batuan dasar dan pengendapan sedimen tertua di Cekungan Tarakan. Kemudian, Achmad dan Samuel (1984) membagi stratigrafi menjadi 5 kelompok siklus pengendapan yang dapat dibedakan. Siklus pengendapan ke-1 sampai siklus pengendapan ke-4 dapat dibedakan karena setiap siklus diawali dengan adanya peristiwa pengangkatan yang kemudian menimbulkan suatu ketidakselarasan. Siklus pengendapan ke-5 dapat dibedakan akibat adanya *marine onlap* yang menandakan adanya ketidakselarasan. Ketidakselarasan tersebut menjadi batas dari setiap kelompok siklus pengendapan.

Cekungan Tarakan memiliki batuan dasar berumur Pra-Tersier disebut sebagai Formasi Danau. Formasi Danau terdiri dari batuan yang terpengaruh kuat oleh

tektonik dan sebagian batuan yang termetamorfosa. Menurut Nordeck (1974) dalam Pertamina BPPKA (1996), batuan dasar ini tersusun atas sedimen *flysch* yang termetamorfkan. Kemudian diendapkan Formasi Sembakung pada kala Eosen Awal secara tidak selaras di atas Formasi Danau. Formasi ini tersusun atas batupasir dengan fragmen volkanik dan lempung lanauan (Buchan dkk., 1971 dalam Achmad dan Samuel, 1984).

#### **II.1.3.1 Siklus Pengendapan Pertama (Eosen Akhir–Oligosen Akhir)**

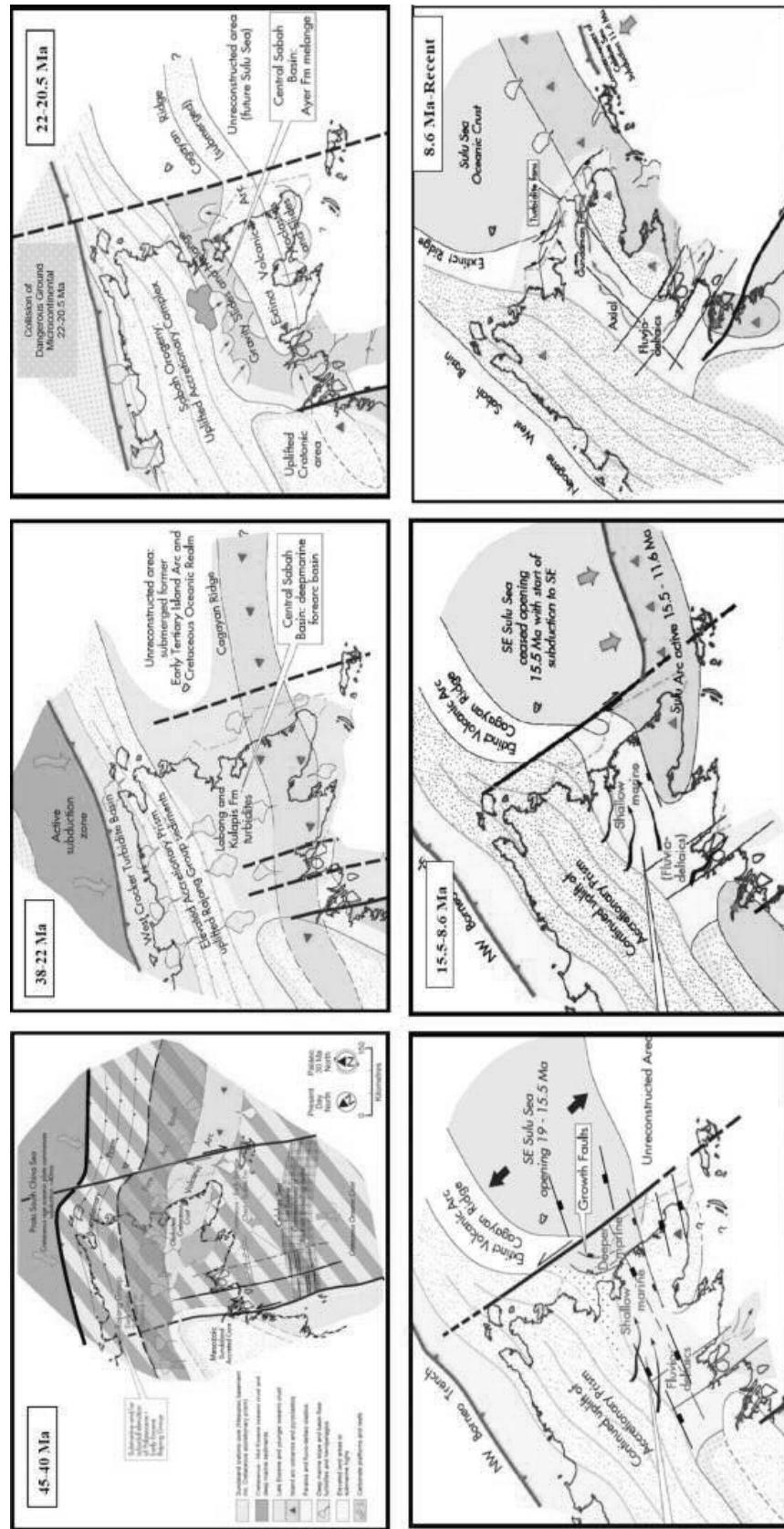
Terjadi proses erosi yang luas dan transgresi secara regional yang setelah terjadinya pengangkatan pada Eosen Tengah. Formasi Sujau yang terendapkan secara tidak selaras di atas Formasi Sembakung. Lapisan mengalami gradasi ke bagian atas menjadi satuan platform karbonat yang dinamakan Formasi Seilor. Sedimentasi karbonat mendominasi selama Oligosen Awal. Peristiwa tektonik yang menghentikan siklus pengendapan pertama yaitu pada saat Oligosen Akhir.

##### **a. Formasi Sujau**

Formasi Sujau merupakan endapan sedimen Eosen Akhir yang diendapkan secara tidak selaras di atas formasi yang lebih tua (Formasi Danau atau Formasi Sembakung). Formasi ini tersusun atas butiran klastik berukuran kasar seperti konglomerat, batupasir, dan batu volkanik yang memiliki ketebalan lebih dari 1000 m pada singkapan. Litologi tersebut terlipatkan secara kuat dan menyeluruh dan tersingkap di Sub-cekungan Tidung. Lapisan batubara, sisipan tipis batugamping, dan interval napalan umum dijumpai.

##### **b. Formasi Seilor dan Formasi Mangkabua**

Formasi Seilor tersusun atas dominasi dari batugamping mikrit dan diendapkan secara selaras di atas Formasi Sujau. Formasi Seilor merupakan suatu platform karbonat yang terdistribusikan secara luas di bagian timur laut cekungan bagian timur laut Kalimantan. Formasi Seilor ini berumur Oligosen Awal. Ketebalan batugamping bervariasi di antara 100–500 m. Formasi Seilor memiliki suksesi normal gradasi serta semakin ke arah cekungan berubah menjadi napal masif yang merupakan Formasi Mangkabua.



Gambar II. 5 Kerangka tektonik Kalimantan Utara (Balaguru dan Hall, 2009)

### **II.1.3.2 Siklus Pengendapan Kedua (Oligosen Akhir– Awal Miosen Tengah)**

Siklus ini dimulai dengan pengendapan Formasi Tempilan. Setelah itu, proses erosi yang luas dan transgresi secara regional terjadi yang bersamaan dengan pengendapan platform karbonat Formasi Tabalar. Di beberapa tempat, batugamping diendapkan secara tidak selaras di atas siklus sebelumnya tanpa kehadiran Formasi Tempilan.

#### **a. Formasi Tempilan**

Formasi tersusun atas perlapisan tipis batupasir, tuf, batulempung, dan lapisan batubara. Formasi ini diendapkan secara tidak selaras di atas formasi yang lebih tua. Bukti ketidakselarasan tersebut secara lokal ditemukan di batas cekungan bagian barat. Formasi ini mengindikasikan umur Oligosen Akhir berdasarkan data foraminifera besar (Van der Vlerk, 1925 dalam Achmad dan Samuel, 1984). Ketebalan formasi ini pada singkapan sekitar 1000 m.

#### **b. Formasi Tabalar**

Formasi Tabalar tersusun atas batugamping yang merepresentasikan sikuen platform karbonat dengan perkembangan terumbu secara lokal. Formasi ini secara dominan terdiri dari batugamping mikrit yang berumur Oligosen Akhir–Miosen Awal yang tersebar hampir di seluruh cekungan di daerah darat dan area dekat pantai. Formasi ini diendapkan secara selaras di atas Formasi Tempilan dan secara lokal diendapkan tidak selaras di atas Formasi Seilor. Data ketebalan lama menginformasikan ketebalan formasi ini mencapai 500 m.

#### **c. Formasi Birang/Naintupo**

Formasi Tabalar yang berubah secara gradual ke atas menjadi batulempung, napal, dan beberapa lapisan batugamping merupakan fasies laut dalam yang kaya dengan foraminifera planktonik. Sikuen ini terdistribusi secara luas dan disebut Formasi Birang (Wesch, 1936 dan Swemle, 1940 dalam Achmad dan Samuel, 1984) di bagian selatan dari cekungan. Sikuen yang sama dinamakan Formasi Naintupo (Leopold, 1928 dalam Achmad dan Samuel, 1984) di bagian utara dari cekungan. Kemunculan foraminifera planktonik mengindikasikan umur dengan rentang zona N9 atau N10 (awal

Miosen Tengah). Ketebalan dari Formasi Birang/Naintupo bervariasi pada Sub-cekungan Tarakan ketebalannya mencapai 600–800 m (PERTAMINA–BEICIP, 1983 dalam Achmad dan Samuel, 1984).

#### **II.1.3.3 Siklus Pengendapan Ketiga (Miosen Tengah–Miosen Akhir)**

Perubahan utama dari sejarah sedimentasi di Kalimantan bagian timur laut terjadi pada awal Miosen Tengah. Pada masa tersebut, terdapat pengangkatan pada bagian tepi barat cekungan yang kemudian memberi sumber pengendapan sedimen baru. Pengendapan tersebut hadir dalam bentuk sistem deltaik yang kemudian mengalami progradasi dari barat ke arah timur. Siklus sedimen deltaik dicirikan oleh siklus pengendapan 3, 4, dan 5. Siklus pengendapan ketiga mencakup pengendapan dari Formasi Latih/Meliat, Formasi Tabul, dan Formasi Santul. Semua proses sedimentasi pada area ini berhenti karena pengangkatan pada Miosen Akhir.

##### **a. Formasi Latih/Meliat**

Formasi Latih diketahui dengan baik melalui singkapan yang berada pada Sub-cekungan Berau. Formasi ini tersusun atas batupasir kasar dengan struktur sedimen perlapisan silang-siur, batulempung karbonan, serta lapisan batugamping tipis. Ketebalan formasi ini mencapai 900–1100 m. Kehadiran foraminifera besar pada formasi ini mengindikasikan umur Miosen Tengah. Formasi Latih diendapkan secara tidak selaras di atas Formasi Birang dan kemungkinan diendapkan di lingkungan delta. Formasi ini semakin ke arah timur berubah fasies menjadi lingkungan laut. Satuan litologi yang berekivalensi dengan Formasi Latih adalah Formasi Meliat yang berada pada Sub-cekungan Tidung dan Sub-cekungan Tarakan. Formasi Meliat diendapkan secara tidak selaras di atas Formasi Naintupo. Ketebalan formasi ini menapai 250–700 m. Formasi ini terdiri dari batupasir halus sampai kasar, batulempung, dan lapisan batubara dengan fasies delta.

##### **b. Formasi Menumbuh**

Formasi Menumbuh tersusun atas batulempung karbonatan, napal, dan batugamping di Sub-cekungan Muara. Pada sub-cekungan tersebut, sedimen diendapkan secara tidak selaras di atas Formasi Birang. Pada Sub-cekungan Berau, Formasi Menumbuh diendapkan secara selaras di atas

Formasi Latih. Pada bagian utara dari Sub-cekungan Tarakan, bagian bawah Formasi Menumbang tersebar sebagai lapisan batugamping tebal yang berekivalensi dengan Formasi Tabul di bagian barat dari Sub-cekungan Tarakan dan Tidung.

**c. Formasi Tabul dan Formasi Santul**

Formasi Tabul tersusun atas batupasir, batulanau, dan batulempung yang berselingan dan secara lokal ditemui di Sub-cekungan Tarakan dan sebagian dari Sub-cekungan Tidung. Formasi ini berumur Miosen Tengah–Miosen Akhir. Formasi ini dapat mencapai ketebalan 1500 m dan meningkat ketebalannya semakin ke arah timur. Secara regional, Formasi Tabul membentuk pola penumpukan progradasi ke arah cekungan sebagai endapan kompleks delta yang terendapkan di atas Formasi Meliat. Berdasarkan Baggelaar (1951) dalam Achmad dan Samuel (1984), ekivalensi Formasi Tabul bagian atas dapat dibedakan menjadi satuan yang terpisah yang dinamakan Lapisan Santul. Saat ini istilah Formasi Santul lebih sering digunakan. Formasi Santul tersusun atas batupasir, batulempung, dan batubara yang berselingan berumur Miosen Akhir yang merupakan endapan *delta front-delta plain*.

**II.1.3.4 Siklus Pengendapan Keempat (Pliosen)**

Pengangkatan yang baru pada bagian tepi barat cekungan di awal Pliosen. Pengangkatan tersebut mengakibatkan munculnya sedimentasi delta baru yang kemudian mengendapkan Formasi Sajau atau Formasi Tarakan di bagian utara dari cekungan. Bagian selatan cekungan relatif stabil dan batugamping yang kemudian disebut Formasi Domaring diendapkan di sepanjang paparan Tanjung Mangkalihat, serta Sub-cekungan Muara dan Berau.

**a. Formasi Sajau/Tarakan**

Formasi Sajau atau Formasi Tarakan tersusun atas batupasir, batulempung, dan batubara yang berselingan, berhubungan dengan sistem delta pada saat Pliosen. Total ketebalan formasi ini mencapai 800 m yang ditemukan pada singkapan (Leopold & Van der Vlerk, 1931 dalam Achmad dan Samuel, 1984). Formasi ini diendapkan secara tidak selaras di atas formasi yang

lebih tua. Endapan volkaniklastik yang dinamakan Tuf Sijin secara lokal hadir di bawah Formasi Tarakan/Sajau. Tuf Sijin tersebut berumur Miosen Akhir. Tuf di area ini diendapkan pada saat aktivitas vulkanik yang bersamaan dengan peristiwa pengangkatan di Miosen Akhir.

**b. Formasi Domaring**

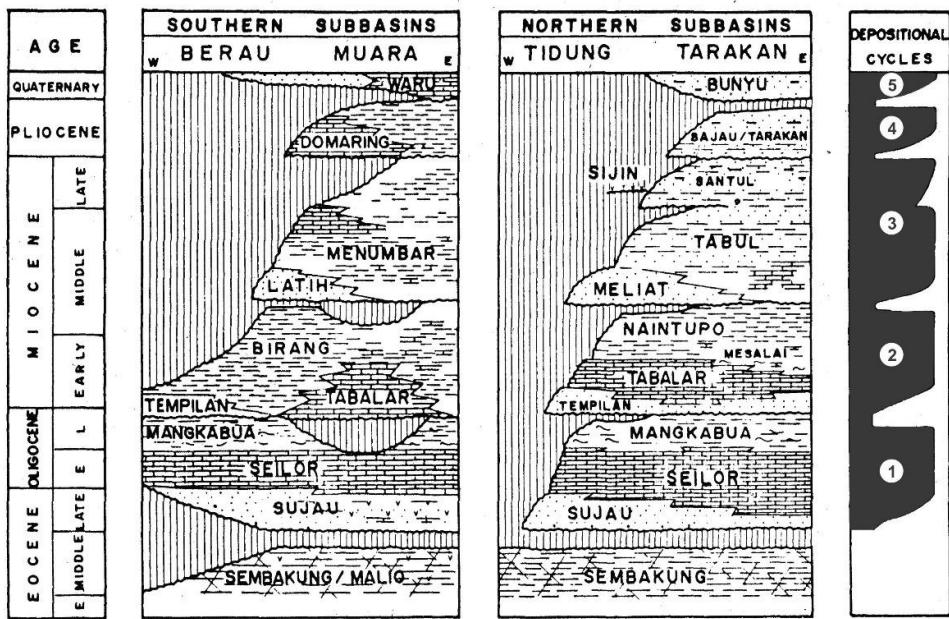
Pada Sub-cekungan Berau, bagian barat dari Sub-cekungan Muara, dan area Mangkalihat terdapat fasies platform karbonat yang diendapkan pada saat Pliosen, dikenal sebagai Formasi Domaring. Formasi ini berubah secara gradual ke arah timur pada lingkungan neritik luar menjadi napal dan batulempung. Formasi Domaring diendapkan secara tidak selaras di atas formasi yang lebih tua.

**II.1.3.4 Siklus Pengendapan Kelima (Kuarter)**

Siklus terakhir ini dimulai pada saat batas antara Pliosen–Pleistosen dan berlanjut sampai sekarang. Sedimen dari siklus ini diendapkan setelah adanya *marine onlap* (Vail, 1977 dalam Achmad dan Samuel, 1984) disebabkan oleh peningkatan muka air laut secara global. Transgresi ini menggeser letak delta ke arah barat dekat dengan letak garis pantai saat ini.

**a. Formasi Bunyu dan Formasi Waru**

Formasi Bunyu ditemukan pada Sub-cekungan Tarakan, tersusun atas batupasir, batulempung, dan batubara (lignit) yang berselingan. Formasi ini diendapkan secara tidak selaras di atas Formasi Tarakan. Formasi Bunyu diendapkan pada saat transgresi Pliosen dan merepresentasikan lingkungan pengendapan *delta plain – fluvial*. Formasi Waru merupakan ekivalensi dari Formasi Bunyu yang dapat ditemukan di bagian selatan dari cekungan (Sub-cekungan Muara dan Berau), serta di area Mangkalihat dengan lingkungan pengendapan laut dangkal. Formasi Waru tersusun atas perselingan napal dan batugamping.



Gambar II. 6 Kolom Stratigrafi Regional Cekungan Tarakan (Achmad dan Samuel, 1984)

#### II.1.4 Sistem Petroleum Cekungan Tarakan

Grafik sistem petroleum Cekungan Tarakan dapat dilihat pada Gambar II.7.

##### a. Batuan Induk

Menurut Subroto dkk. (2005), ada dua formasi yang berpotensi menjadi batuan induk pada Cekungan Tarakan, yaitu Formasi Naintupo dan Formasi Meliat. Formasi Tabul dan Formasi Santul kemungkinan juga berpotensi menjadi batuan induk yang sebagian berada di bagian dalam dari cekungan.

Sampel batulempung Formasi Santul memiliki kandungan TOC dari cukup-sangat baik dengan rentang nilai 0,6–4,5%, sedangkan batubara pada formasi ini memiliki kandungan TOC sampai 69%. Formasi ini memiliki nilai HI dengan rentang 30–328 yang mengindikasikan potensi hidrokarbon berwujud gas dengan sedikit wujud cairan (minyak). Selain itu, nilai HI tersebut juga mengindikasikan bahwa formasi ini memiliki tipe kerogen III/II dan dapat diinterpretasikan karena pengaruh degradasi dari tumbuhan tingkat tinggi.

Sampel batulempung Formasi Tabul memiliki memiliki kandungan TOC dari baik–sangat baik dengan rentang nilai 0,5–4%. Sedangkan batubara dari formasi ini memiliki kandungan TOC sampai 72%. Kerogen dari sampel batulempung dan batubara menunjukkan bahwa formasi ini didominasi dari campuran kerogen tipe III/II dengan HI di antara 60–280 yang mengindikasikan potensi hidrokarbon berwujud gas dengan sedikit wujud cairan (minyak).

Sampel batulempung Formasi Meliat memiliki kandungan TOC dengan rentang nilai 0,7–6,5%. Nilai HI umumnya mengindikasikan potensi generasi gas, namun masih memungkinkan untuk terbentuknya minyak. Analisis kerogen dari sampel batulempung dan batubara menunjukkan bahwa kerogen di dominasi oleh tipe III.

Sampel batubara dari Formasi Naintupo menunjukkan nilai TOC mencapai 72%. Nilai HI mengindikasikan potensi hidrokarbon gas dan minyak. Analisis kerogen menunjukkan adanya inertinit yang berlimpah serta menunjukkan bahwa kerogen bertipe III dan beberapa tipe II. Batulempung dari formasi ini umumnya memiliki TOC dari cukup–baik.

#### b. Batuan Reservoir

Menurut Pertamina BPPKA (1996), pada Sub-cekungan Tidung, objektif utama adalah endapan klastik Formasi Meliat, Formasi Tabul, dan Formasi Santul yang berusia Miosen Tengah-Miosen Akhir. Batupasir dari Formasi Tabul memiliki sejumlah potensi reservoir dan merupakan objektif sekunder lepas pantai Cekungan Tarakan. Pada banyak daerah lepas pantai, batupasir Formasi Tabul berada di bawah sedimen berumur Plio-Pleistosen dan mungkin terkompaksi hingga menjadi objektif lepas pantai yang layak. Batupasir berumur Miosen ditemui pada kedalaman di salah satu sumur, menyugestikan potensi reservoir Miosen jauh di dalam cekungan. Pada bagian utara Cekungan Tarakan, suplai sedimen klastik terbatas, sehingga

memungkinkan paparan karbonat untuk tumbuh dengan sejumlah *build-up* terisolasi.

Dalam semua sistem pengendapan delta, kemenerusan reservoir dapat diprediksi bersifat buruk, khususnya saat lapisan serpih dan batubara dipotong oleh *channel* yang terisi batupasir pada bagian lingkungan dataran delta. Kemenerusan reservoir seharusnya lebih baik pada lingkungan *distributary channel*, *mouth bar*, dan *inner fringe* sistem delta (terutama saat persentase batupasir 10-40%). Ketebalan maksimum reservoir batupasir individu seharusnya sekitar 25-30 m. Saat muka laut turun, sistem *distributary channel* seharusnya bermigrasi ke tepi paparan, memungkinkan batupasir mencapai perairan dalam.

#### c. Batuan Tudung

Perangkap secara lateral pada cekungan ini kemungkinan dikarenakan *sealing faults*, perubahan fasies, atau proses diagenesis yang berbeda pada batugamping. Pada daerah utara cekungan yang dominan endapan klastik, fasies batulempung (*mudstone*) yang merupakan endapan laut, *prodelta*, dan *delta plain* dapat menjadi batuan tudung. Endapan yang tipis dan kurang menerus dari batuan tudung berlitologi batulempung di daerah proksimal dari cekungan dipertimbangkan menjadi alasan utama kurangnya keberhasilan dalam eksplorasi. Nilai *net to gross ratio* yang tinggi pada batupasir dengan perangkap batuan tudung/pengsesaran yang tipis menjadi suatu permasalahan.

#### d. Perangkap

Perangkap hidrokarbon pada Cekungan Tarakan meliputi perangkap stratigrafi dan perangkap struktural. Perangkap stratigrafi pembajian ditemukan pada batupasir deltaik Formasi Latih. Perangkap tersebut muncul pada pengapitan struktur atau di sepanjang ketidakselarasan. Perangkap stratigrafi *onlap* dan *pinchout* kemungkinan terbentuk pada Formasi Sujau yang berumur Eosen. Namun, data seismik yang kurang bagus pada

kedalaman formasi tersebut membuat sulit interpretasi. Pada daerah penelitian (bagian daratan/*onshore* Cekungan Tarakan), perangkap stratigrafi ditemukan dalam bentuk perubahan fasies.

Perangkap struktur juga terlihat pada Cekungan Tarakan. Fitur struktur pada bagian barat dikontrol oleh tegasan kompresional dan bagian timur dikontrol oleh tegasan tensional. Perangkap struktur yang telah terbukti umumnya berupa antiklin yang memiliki orientasi barat laut-tenggara (NW-SE). Antiklin *roll-over* kemungkinan dapat muncul di bagian deposenter dari cekungan. Perangkap struktur yang lebih kompleks terbentuk oleh adanya inversi. Struktur inversi tersebut dikombinasikan karena pengaruh deformasi sesar geser.

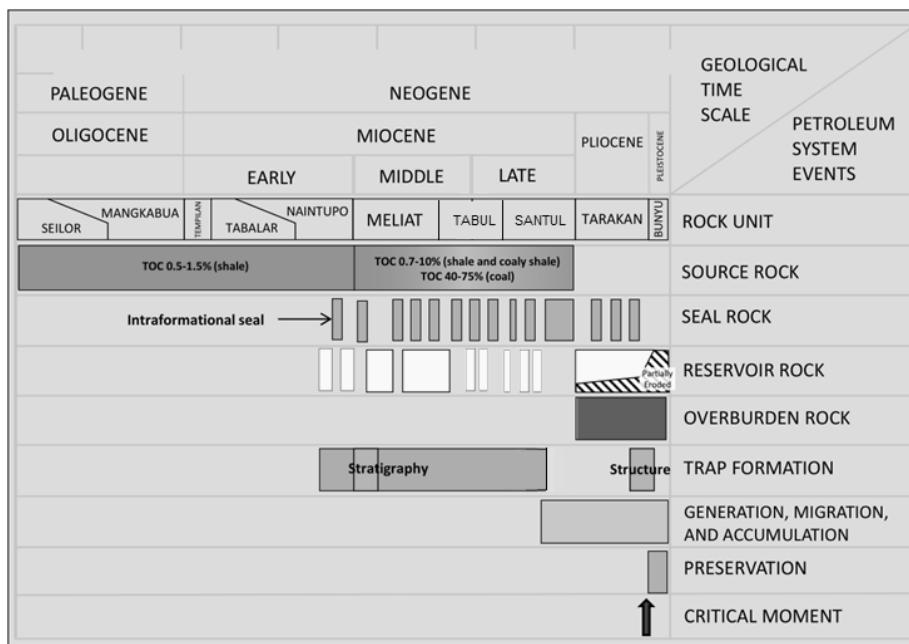
#### e. Sistem Generasi dan Migrasi Petroleum

Dari ke-lima siklus pengendapan yang ada pada Cekungan Tarakan, endapan dari siklus 3 dan siklus 4 terbukti produktif. Hidrokarbon sudah diproduksi secara komersial dari Sub-deposenter *Graben* Sembakung-Bangkudulis dan Deposenter Bunyu-Tarakan. Berdasarkan analisis geokimia, batuan induk berasal dari batulempung dari Formasi Meliat dan Formasi Tabul. Tipe kerogen umumnya cenderung menghasilkan gas (Kerogen tipe III) dengan beberapa kecenderungan menghasilkan minyak (Kerogen tipe II). Hidrokarbon digenerasikan sejak pengendapan dari Formasi Santul, yaitu pada saat Miosen Akhir.

Menurut Noeradi dkk. (2005), migrasi hidrokarbon umumnya terjadi dari arah timur yang posisi batuan induk di lapisan yang lebih dalam. Lapangan Sesanip di Pulau Tarakan memiliki kasus sistem sesar yang tumbuh akibat proses inversi yang menjadi contoh pola migrasi vertikal melalui zona sesar maupun secara lateral.

Menurut Biantoro dkk. (1996), jalur migrasi juga dikontrol oleh adanya *growth fault* yang diasumsikan apabila *non-sealing* dan juga sebagai

perangkap apabila diasumsikan *sealing*. Asumsi bahwa *growth fault* berperan sebagai jalur migrasi didasarkan atas dua kondisi yaitu migrasi akan terjadi apabila sesar dalam keadaan aktif dan hidrokarbon sudah digenerasikan.



**Gambar II. 7** Grafik Sistem Petroleum Cekungan Tarakan (Medco Energi, 2018)

## II.2 GEOLOGI LAPANGAN “SSDK”

Lapangan SSDK merupakan lapangan yang terletak di Sub-cekungan Tidung yang daerahnya didominasi oleh wilayah daratan.

### II.2.1 Stratigrafi Daerah Penelitian

Berdasarkan studi yang telah dilakukan melalui literatur dan hasil analisis data, Lapangan SSDK termasuk ke dalam Sub-Cekungan Tidung yang memiliki tatanan stratigrafi yang terdiri dari empat formasi, yaitu dari yang tertua Formasi Naintupo, Formasi Meliat, Formasi Tabul, dan Formasi Santul yang merupakan endapan sedimen berumur relatif Miosen Awal–Miosen Akhir (**Gambar II.9**) dengan arah pengendapan relatif barat-timur (Achmad dan Samuel, 1984). Hal tersebut ditentukan dari data batuan inti, data batuan inti samping, data *mudlog*, data log tali

kawat, data biostratigrafi pada Lapangan SSDK, serta dilengkapi dengan studi literatur daerah penelitian.

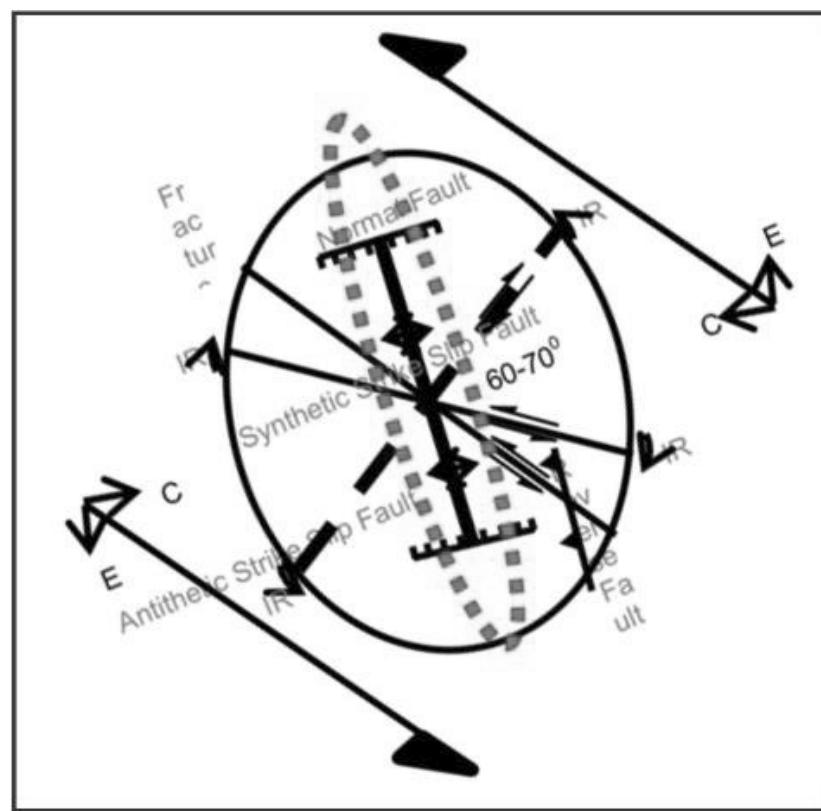
Sejarah sedimentasi deltaik di Cekungan Tarakan terjadi pada awal Miosen Tengah. Pada masa tersebut, terdapat pengangkatan pada bagian tepi barat cekungan yang kemudian memberi sumber pengendapan sedimen klastik baru (endapan sedimen siklus ke-tiga). Pengendapan tersebut hadir dalam bentuk sistem delta yang kemudian mengalami progradasi dari barat ke arah timur.

Endapan sedimen siklus ke-tiga tersebut adalah Formasi Meliat, Formasi Tabul, dan Formasi Santul. Formasi Meliat diendapkan secara tidak selaras di atas Formasi Naintupo (Achmad dan Samuel, 1984). Berdasarkan data keratan bor dari laporan pemboran, Formasi Meliat terdiri dari perselingan litologi serpih, batupasir, batulanau, dengan sisipan batubara dan batulempung. Formasi Tabul diendapkan secara selaras di atas Formasi Meliat terdiri dari perselingan litologi batupasir, batulanau, batulempung, dengan sisipan dolomit dan batubara. Formasi Santul diendapkan secara selaras di atas Formasi Tabul terdiri dari perselingan litologi batupasir, batulempung, dan batubara. Fokus penelitian berada di interval Formasi Tabul. Formasi Tabul memiliki umur Miosen Tengah-Miosen Akhir dan diendapkan pada lingkungan transisi berdasarkan data polen dan data nanoplankton.

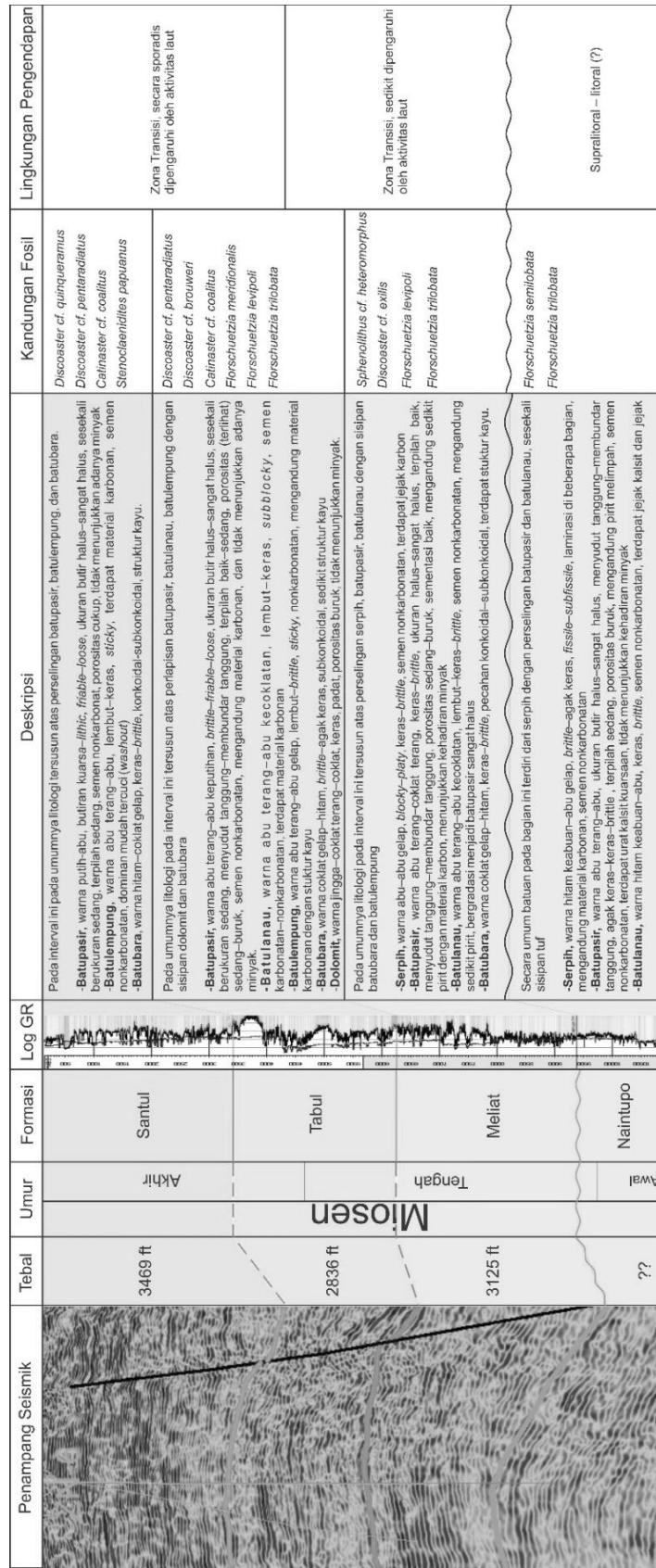
### **II.2.2 Struktur Geologi Daerah Penelitian**

Pengamatan struktur geologi daerah penelitian dilakukan dengan analisis menggunakan studi literatur dan data seismik 2-D. Lapangan SSDK berada di *Graben* Sembakung-Bangkudulis (**Gambar II.10**) dan berdasarkan hasil analisis data seismik pada **Gambar II.12** dapat dilihat kenampakan sesar-sesar dengan orientasi tertentu (**Gambar II.11**). Lapangan SSDK secara tektonik termasuk ke dalam wilayah yang berada pada *stable area* yang memiliki struktur berupa sesar normal berorientasi NE-SW dan antiklin berorientasi NW-SE. Stratigrafi Lapangan SSDK diapit oleh dua sesar normal yang diinterpretasikan memiliki genetika yang serupa.

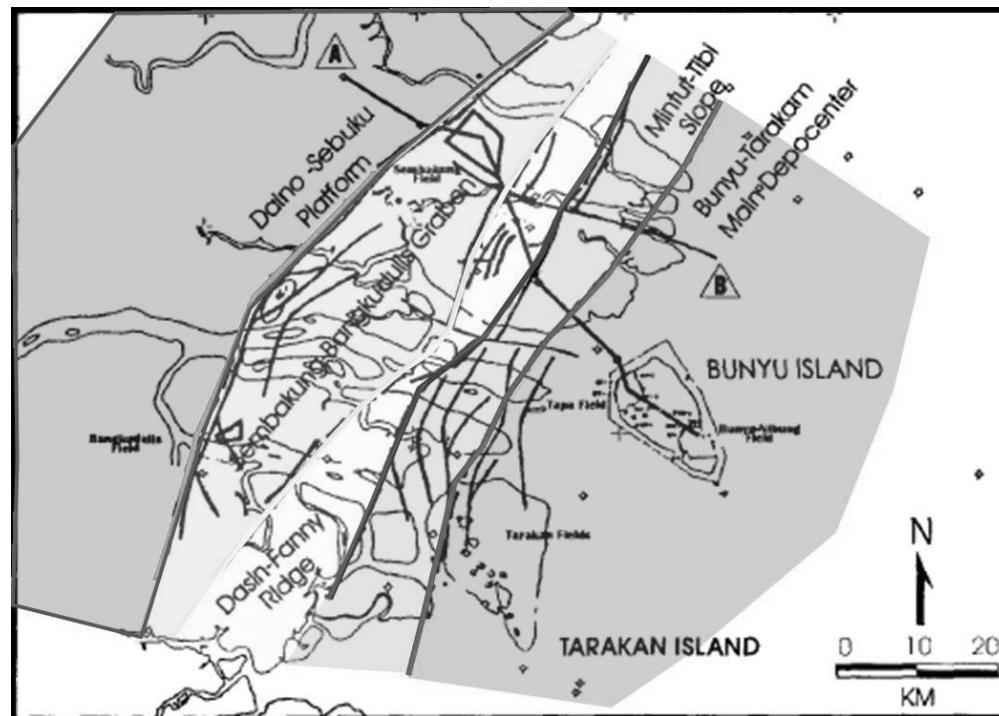
Sesar normal yang memiliki orientasi barat daya-timur laut (NE-SW) yang berada di bagian barat dan timur Lapangan SSDK serta adanya antiklin dengan orientasi barat laut-tenggara (NW-SE) diinterpretasikan terbentuk karena pengaruh tektonik kompresif pada Pliosen. Tektonik kompresif tersebut terjadi akibat berlangsungnya kolisi Banggai Sula yang merubah tatanan tektonik secara regional. Pada Cekungan Tarakan, rezim kompresif tersebut dikontrol oleh beberapa sesar geser sinistral yang utama, yaitu Sesar Mangkalihat, Sesar Maratua, dan Sesar Samporna. Jika dilihat dari *strain ellipsoid* yang akan terbentuk dari sesar geser sinistral (**Gambar II.8**), struktur yang ada di Lapangan SSDK saling berhubungan dalam pembentukannya. Hal tersebut dikarenakan struktur yang ada pada Lapangan SSDK sesuai dengan *strain* yang akan terbentuk pada rezim kompresif sesar geser sinistral.



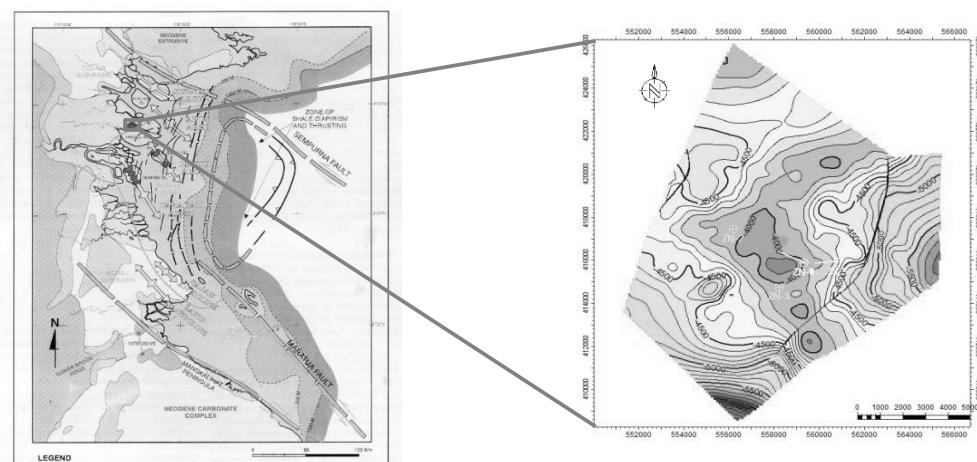
**Gambar II. 8** *Strain ellipsoid* sesar geser sinistral (Modifikasi Hidayati dkk., 2007)



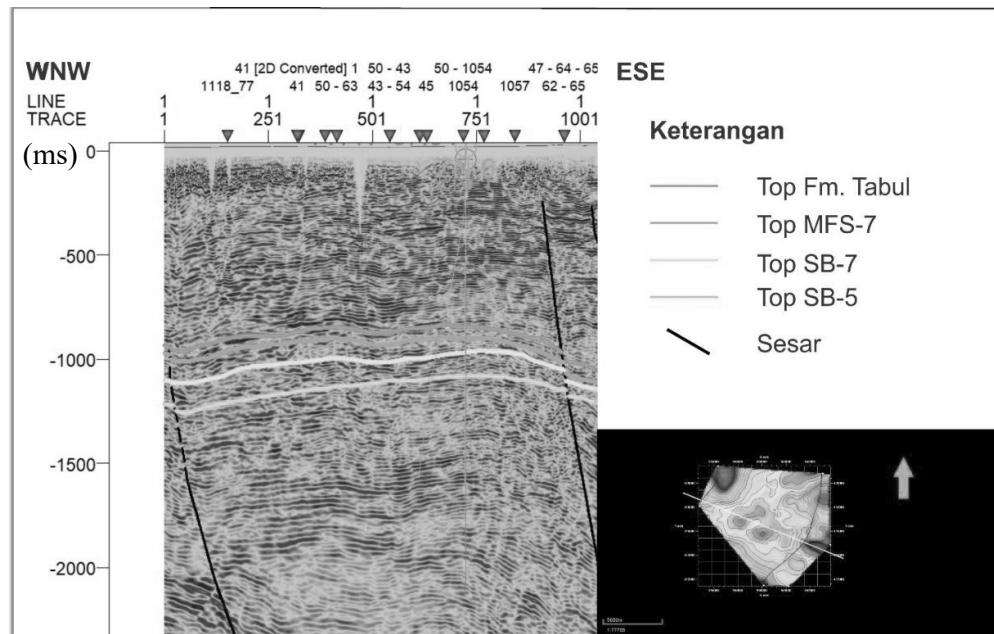
Gambar II. 9 Kolom Stratigrafi Lapangan SSDK



**Gambar II. 10** Peta Provinsi Geologi yang dibagi menjadi 5 area geologi pada Cekungan Tarakan (Biantoro dkk., 1996)



**Gambar II. 11** Struktur Geologi Lapangan SSDK (Pertamina BPPKA, 1996)



Gambar II. 12 Penampang Seismik Lapangan SSDK