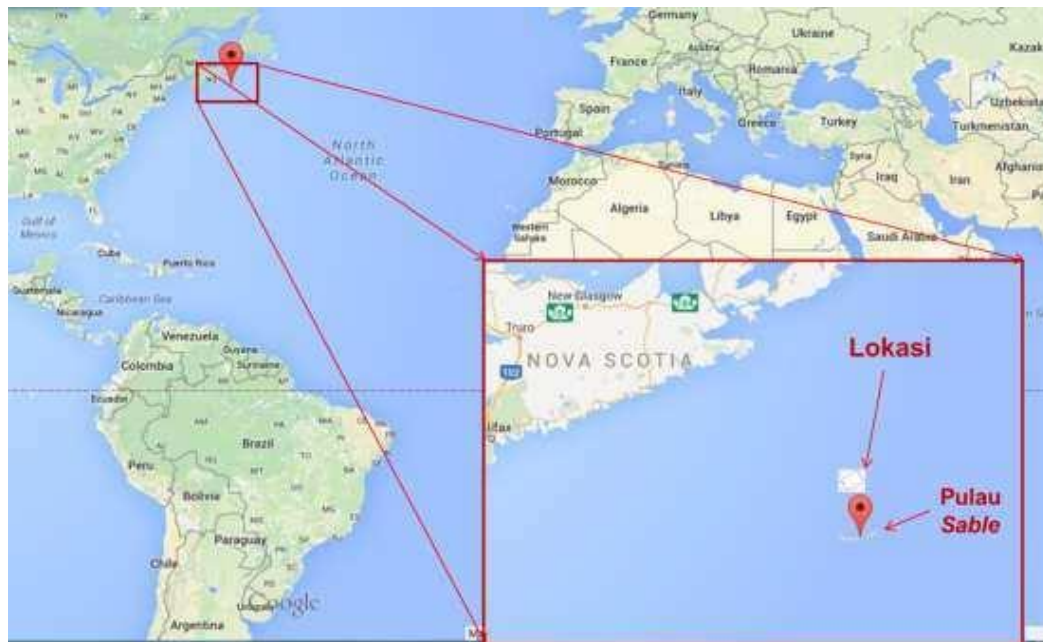


BAB III TINJAUAN GEOLOGI

3.1 Geologi Regional

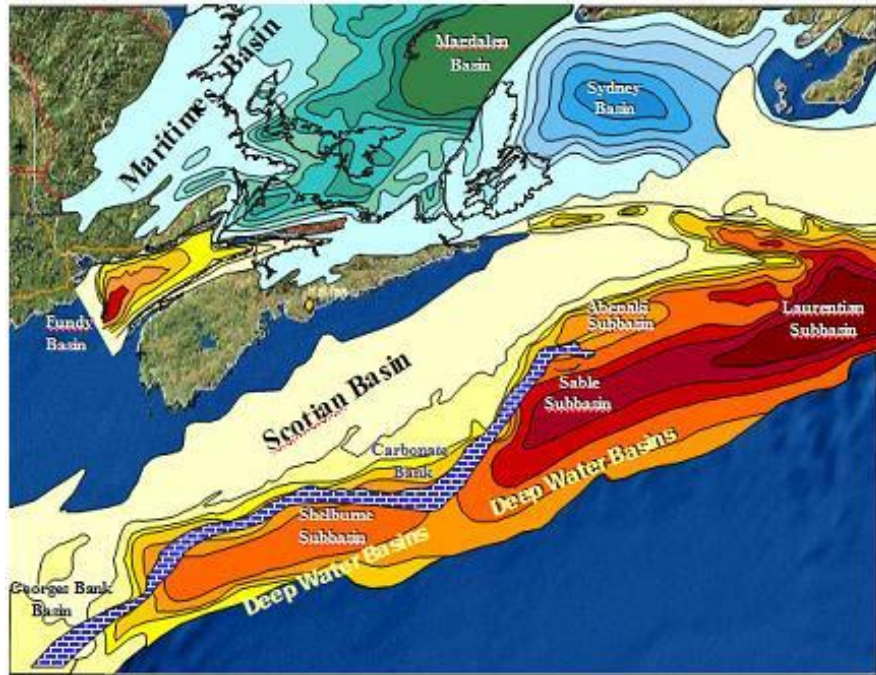
Daerah penelitian pada tugas akhir ini adalah lapangan Pebobscot yang berada di provinsi Nova Scotia bagian Tenggara, Kanada dan 25 km NW dari pulau Sable. Lokasi ini berada pada Samudra Atlantik Utara. Secara geografis lapangan Penobscot terletak pada $44^{\circ}07'46''$ N / $60^{\circ}06'00''$ W. Prospek ini terletak pada Missisauga Ridge yang memisahkan *Sub-basin* Abenaki dan *Sub-basin* Sable.



Gambar 3.1 Peta lokasi penelitian (Google Map, 2015)

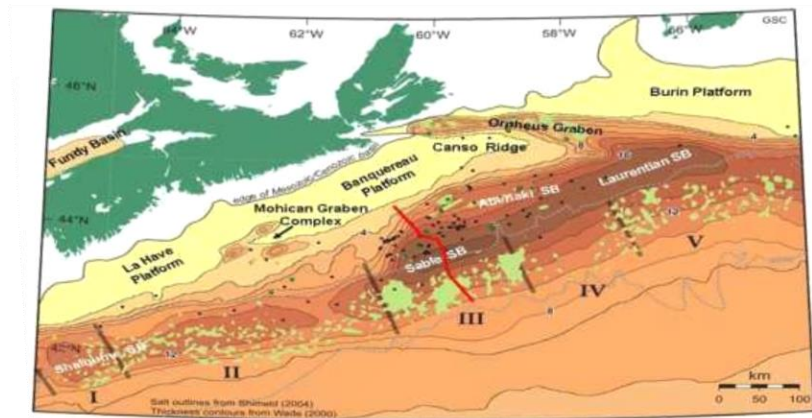
Lapangan Penobscot berada pada cekungan Scotia dengan luas 300.000 km^2 dan panjang sekitar 1200 km yang membentang dari Barat Daya pada perbatasan *Yarmouth Arch* / Amerika Serikat hingga Timur Laut pada *Uplift Avalon* di *Grand Banks Newfoundland* pada posisi timur laut. Cekungan Scotia terbentuk pada daerah *passive continental margin* yang berkembang setelah periode retakan Pangea hingga pembentukan Atlantik. Retakan Pangea yang menyebabkan terpisahnya benua Amerika Utara dengan benua Afrika yang berlangsung pada periode Triassic pertengahan. Kemudian membentuk cekungan yang terisi oleh lapisan paling awal berupa sedimen *fluvial* dan *lacustrine* serta intrusi batuan

vulkanik. Pada periode *Early Jurassic* cekungan secara bertahap terisi oleh batuan klastik dan karbonat kemudian berkembang menjadi lautan sepenuhnya pada periode *Jurassic* pertengahan yang memicu terbentuknya susunan *alluvial plain* dan karbonat.



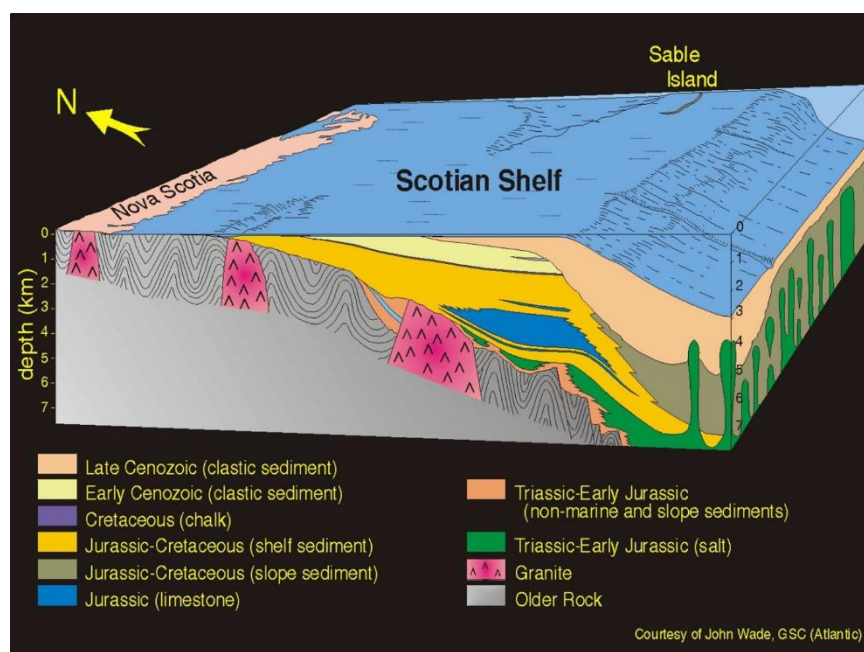
Gambar 3.2 Skema cekungan Scotia dan area disekitarnya (Nova Scotia Department of Energy, 2011)

Kenaikan permukaan air laut disertai terjadinya pembentukan *platform* karbonat. Lingkungan karbonat ditutupi oleh serpih (*shale*), yang kemudian terbentuk kembali pada periode *Late Jurassic*. Pengendapan pada periode Cretaceous didominasi oleh serangkaian batupasir yang tebal dari tipe *deltaic*, *strain plain*, *carbonat shoal*, dan suksesi paparan laut dangkal. Fluktuasi relatif permukaan air laut pada periode Tersier mengakibatkan *unconformity* pada lapisan sedimen. Lapisan tersebut tererosi oleh aliran *fluvial* yang membawa sedimen menuju *abyssal plain*. Pada periode Kuartar, terdapat deposit sedimen laut dan *glacial* pada bagian luar paparan.



Gambar 3.3 Cekungan Scotia (Nova Scotia Departement of Energy, 2011)

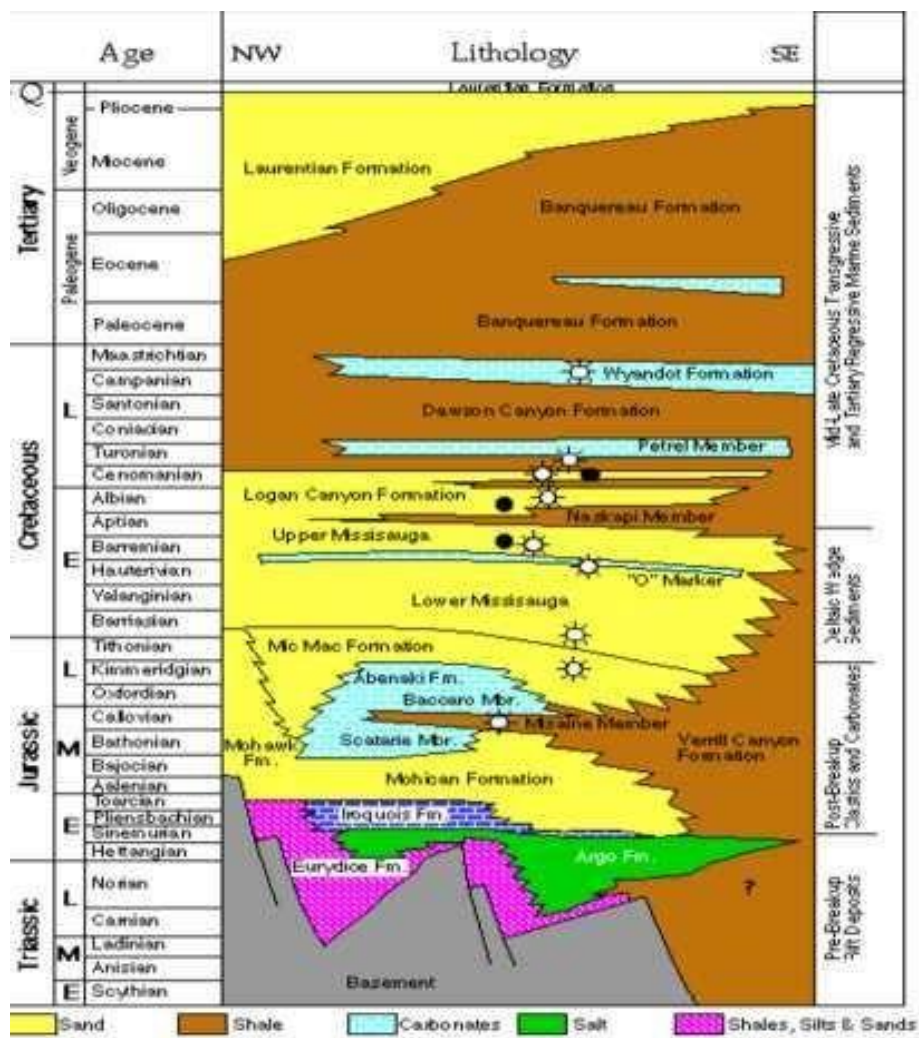
Gambar diatas menunjukkan cekungan Scotia yang terdiri dari serangkaian tinggian (*platform*) dan rendahan (*depocenter*). Lapangan eksplorasi ini berada di *Missisauga Ridge* yang terletak diantara *Sub-basin Abenaki* dan *Sub-basin Sable*. Batas-batas *platform* dan *depocenter* merupakan zona rekahan (*fracture*) wilayah samudra kearah kerak benua. Pada lapangan ini terdapat dua patahan besar yang berada di sebelah Barat Daya dan Timur Laut dengan arah patahan Barat Laut ke Tenggara (Nova Scotia Departement of Energy, 2011)



Gambar 3.4 Skema 3D geomodel *Scotian Shelf* (Wade, 2007)

3.2 Stratigrafi

Cekungan Scotia mengandung batuan sedimen *Mesozoic-Cenozoic* ketebalan mencapai 16 km, endapan tersebut diendapkan selama masa pergerakan Pangea. Penelitian ini berada pada formasi *Missisauga* Tengah dengan interval yang dibatasi oleh periode *Early Cretaceous* pada masa *valanginian* sampai *barremian* sekitar 140 - 125 juta tahun yang lalu. Pada interval stratigrafi Formasi *Missisauga* tengah menjadi target penelitian. Formasi ini terbentuk dari *limestone* dan *sandstone* yang memiliki stratigrafi yang kompleks dan menonjol. Berikut 14 formasi dari yang tertua hingga termuda pada lapangan penelitian:



Gambar 3.5 Stratigrafi regional lapangan eksplorasi (Nova Scotia Departement of Energy, 2011)

a. Formasi Eurydice

Formasi Eurydice adalah formasi tertua dari cekungan Scotia yang pembentukannya berkaitan dengan pembentukan samudra Atlantik dan terdiri dari deretan *sandstone*, *siltstone*, dan *shale* pada zaman Triasik. Beberapa sumur pernah dibor hingga mencapai formasi ini. Pada *graben Orpheus*, hampir 600 meter dari Formasi Eurydice dibor dan dari data seismik mengindikasikan total ketebalan mencapai 3 km. Lebih dari 1,5 km dari Formasi Eurydice dibor pada kompleks *Graben Naskapi* dan pada *platform LaHave* dan dari data seismik pun mengindikasikan ketebalan mencapai 3 km.

b. Formasi Argo

Formasi Argo adalah formasi batuan yang berhadapan langsung dengan formasi Eurydice dan berada pada tepi cekungan, penyusun utamanya adalah garam. Persebaran garam pada cekungan Scotia memicu graben utama pada pengendapan awal mengakumulasi lapisan tipis dari evaporit dan *redbeds*. Aliran garam secara ekstensif mengisi selama tahapan akhir pemisahan benua. *Salt pillows*, *salt diapir* dan *salt conoples* merupakan sesuatu area yang biasa terbentuk pada lapisan garam, yang secara terpisah pada zona utama struktur diapir cenderung berada di bawah *slope* kontinen dari *George Bank* bagian timur kearah *Grand Bank* bagian barat.

c. Formasi Iroquois dan Mohican

Formasi Iroquois adalah formasi yang tersusun oleh batuan dolomit (*dolostone*), memiliki umur yang hampir sama dengan bagian bawah formasi Mohican pada *platform LaHave* yang mencapai ketebalan maksimum hingga 800 meter. Formasi Iroquois adalah representasi dari deretan *dolomitic beds* yang terdapat pada bagian terbawah dari *Grand Banks*.

Formasi Mohican disusun oleh *sandstone* dan *shale* yang terbentuk pada Jurassic tengah dan terendapkan hingga *subsiding subbasin* yang masih aktif berdekatan dengan zona *Hinge*.

d. Formasi Mic Mac dan Mohawk

Formasi Mic Mac disusun oleh batuan klastik dominan yang terbentuk setelah pemekaran kerak (*post-rift*) yang memiliki ketebalan sekitar 6 km pada *subbasin laurentian* sampai ujung pengendapan *platform LaHave, Burin, dan Avalon Uplift*. Pada sebelah tenggara pulau Sable terdiri dari 4 km sampai 5 km perselingan antara *sandstone, shale* dan *limestone*. Pada arah barat dan utara dari pulau Sable, sepanjang zona *Hinge* terdapat fasies karbonat yang cukup menonjol yaitu formasi Abenaki. Fasies kontinen lainnya, lebih kearah darat terdapat formasi Mohawk terdiri dari tekstur yang matang, *felspatic sandstone*, dan *siltstone* berselingan dengan *shale* dan *limestone*.

e. Formasi Verril Canyon

Formasi Verril Canyon terbentuk pada Jurassic Tengah ke Awal Cretaceous dan terendapkan pada *prodelta*, bagian luar paparan, dan *continental slope setting*. Formasi Verril Canyon merupakan fasies laut yang tersusun dari *calcareous shale* dengan lapisan tipis *limestone, siltstone*, dan *sandstone*. Formasi ini memiliki ketebalan sekitar 360 m pada bagian barat daya dan sekitar 915 meter di bagian timur laut *basin Scotia*.

f. Formasi Laurentian

Formasi Laurentian merupakan formasi sedimentasi dari *progradational wedge* pada zaman Kuartar dan Pleosen. Bagian tertebal berada pada bagian luar dan dalam *slope*, terdapat sekitar 1500 m lapisan *glaciomarine sand, marine sand, siltstone*, dan *shale*.

g. Formasi Abenaki

Formasi Abenaki adalah formasi yang terbagi menjadi empat yaitu Scatarie, Misaine, Bacaro, dan Artimon. Formasi ini terbentuk dari lapisan *limestone* yang memiliki sekuen seismik yang kompleks dan menonjol. Bagian paling baik yang dapat dikembangkan dari formasi ini adalah pada *Hinge zone* antara *platform LaHave, subbasin Shelburnem* dan *Subbasin Sable*.

Selama Jurassic akhir, bagian timur dari *margin* Kanada terpengaruh oleh pemisahan Iberia dari Amerika Utara. Pengaruh paling kuat berada pada bagian selatan *Newfoundland*, dimana terdapat *uplift*, deformasi dan erosi pada zaman Jurassic dan strata yang lebih tua. *Breakup Unconformity*, *Avalon Unconformity* ditemukan dari *Avalon Uplift* ke bagian barat sampai dengan bagian timur dari basin Scotia. Selama kejadian ini, ada pergeseran depositer ke arah barat dari *subbasin* Laurentian ke *subbasin* Sable.

h. Formasi Missisauga

Formasi Missisauga tersebar luas pada basin Scotia yang sangat bervariasi secara fasies dan ketebalan. Pada *Platform LaHave*, *Platform Burin*, dan *Canso Ridge*. Formasi ini memiliki ketebalan mencapai 1 km dengan komposisi 60-80% *sandstone* dan beberapa fasies batugamping yang terdapat pada bagian Barat Daya. Di *Sub-basin* Sable, lebih dari 2770 m telah dibor dan diperkirakan ketebalan lebih dari 3 km dengan 30-50% merupakan *sandstone* dan *siltstone*. Ke arah basin formasi Missisauga *grades* turbidit dan *shale* dari bagian Cretaceous formasi Verrill Canyon.

i. Formasi Logan Canyon

Formasi Logan Canyon memiliki ketebalan sekitar 2,5 km dan dibagi menjadi empat bagian yang dua diantaranya didominasi oleh *shale*. Formasi ini mirip dengan turbidit atau *shale (distal turbidite/shale equivalent)* pada bagian *Shorthland Shale*.

j. Formasi Dawson canyon

Batuan *marine shale*, batu kapur, dan sejumlah kecil *limestone* yang terendapkan di seluruh basin Scotia selama *Late Cretaceous*. Unit transgresif pertamanya adalah Formasi Dawson Canyon memiliki variasi ketebalan dari 700 meter lebih di bagian *Sub-basin Southwhale* dan bagian paparan Scotia kira-kira 200 meter pada *Canso Ridge* dan sekitar 100 m di bagian luar *Sub-basin* Sable.

k. Formasi Wyandot

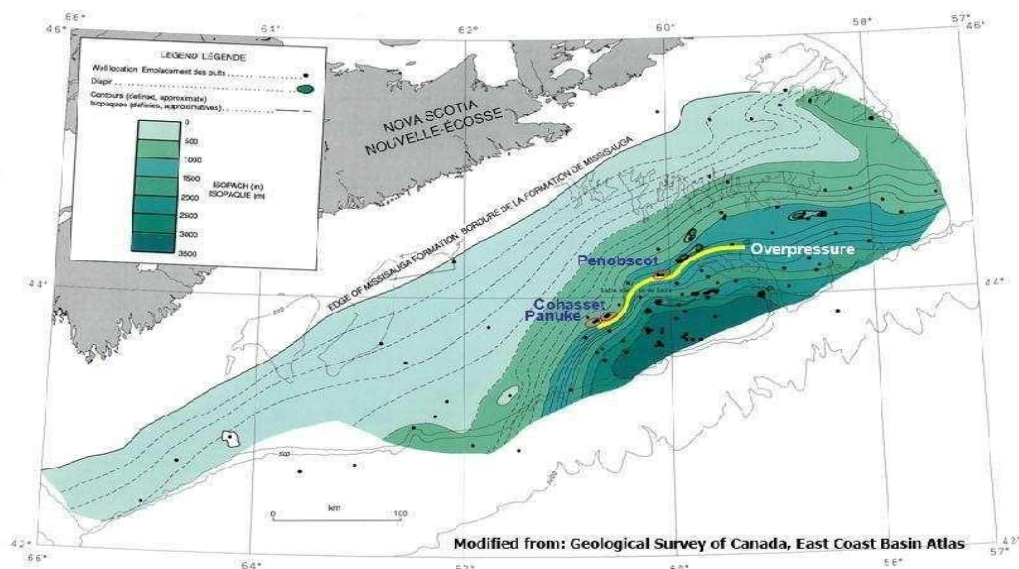
Formasi *Wyandot* adalah formasi yang tersusun atas batu kapur, *mudstone* kapuran (*chalky mudstones*), *marl* dan sedikit *limestone*. Ketebalan bervariasi antara kurang dari 50 m di pulau Sable dan sekitar 400 m di sebelah tenggara pada tepi paparan Scotia tetapi keberadaannya hilang pada basin karena proses erosi pada zaman tersier. Di bawah bagian luar paparan dan *slope*, di atas formasi ini sering ditandai adanya *unconformity* yang *overlay* dengan sedimen tersier.

l. Formasi Banguereau

Formasi *Banguereau* merupakan sedimentasi yang terdapat diantara bagian atas formasi *Wyandot* dan bagian atas formasi *Cenozoic*. Formasi ini memiliki ketebalan dari nol hingga empat kilometer.

3.3 Petroleum System

Prospek pada lapangan eksplorasi terletak tepat pada *updip* pada daerah *geopressed* lapangan minyak Cohasset dan Panuke yang sudah beroperasi pada pertengahan tahun 1990. Terdapat 23 penemuan gas kondensat dan *light oil* di paparan Scotia yang terletak sebagian dalam *Sable Sub-basin* (Nova Scotia Department of Energy, 2011).



Gambar 3.6 Peta *Isopach* Formasi Mississauga (Nova Scotia Departement of Energy, 2011)

3.3.1 *Source Rock* dan Migrasi

Batuan induk (*source rock*) diprediksi berada pada area Verril Canyon pada kedalaman 3666.7 m dibawah permukaan dan anggota Misaine (*Shale Dominated*) yang di duga dekat dengan bagian atas *oil window*. Karena adanya Missisauga *Ridge* menyebabkan hidrokarbon yang teregenerasi akan bermigrasi kearah Utara Dan Selatan Struktur Penobscot (Kendell, 2013).

3.3.2 *Reservoir* dan *Trap*

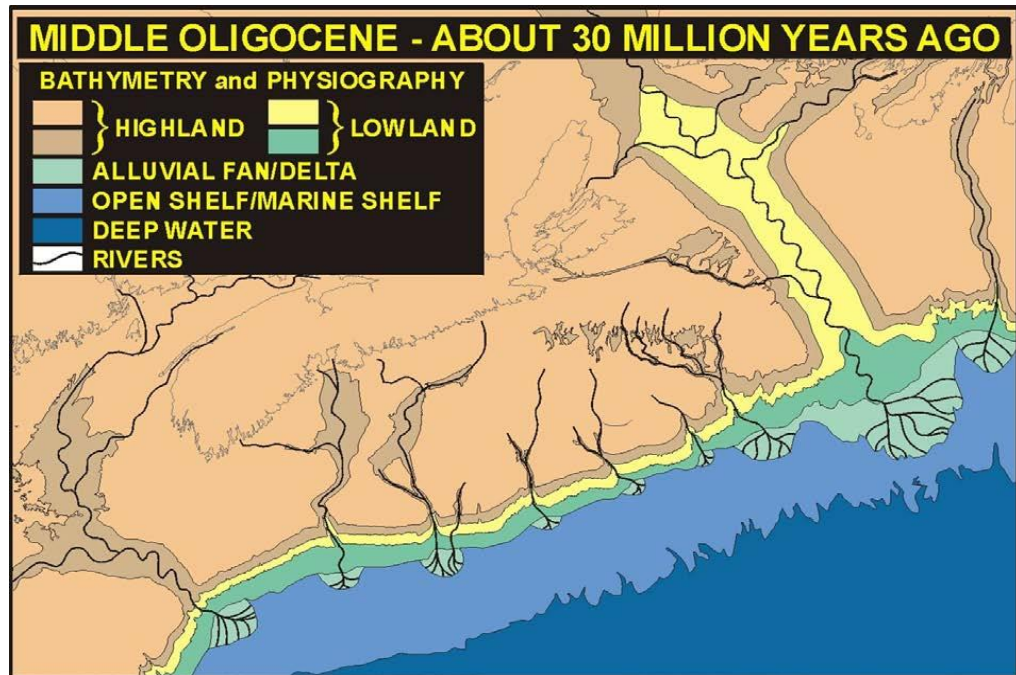
Reservoir hidrokarbon pada lapangan eksplorasi ini diduga berada pada Formasi Missisauga Tengah dan Bacaro dari Formasi Abenaki.

Formasi Missisauga bagian tengah berisi lapisan *sandstone* yang lebih tebal dari bagian bawahnya dan lapisan pasirnya dapat dikorelasikan dengan sumur yang ada. Lapisan pasir pada missisauga tengah menjadi fokus penelitian ini sebagai batuan reservoir yang tebal pada bagian tengah dan menipis kepinggir dengan porositas rata-rata 20-30 % dan permeabilitas rata-rata 120 *milidarcy* dengan permeabilitas maksimum lebih dari 1000 *milidarcy*.

Formasi Baccaro merupakan bagian dari *platform* karbonat dari Abenaki dan telah terbukti pada bagian barat daya lapangan Deep Panuke. Hidrotermal dolomitisasi membentuk porositas yang tinggi pada reservoir pada fasies karbonat. Patahan pada *basement* yang terjadi sepanjang punggung Missisauga dapat memberikan jalur untuk air hidrotermal yang dapat membentuk porositas yang baik. Sedangkan *trap* atau batuan penutup sebagai perangkap hidrokarbon diprediksi berupa serpih klastik dari Delta Sable yang pengendapannya berlangsung pada periode akhir Jurassic (*Nova Scotia Departement of Energy*, 2011).

3.4 Lingkungan Pengendapan

Lingkungan pengendapan dapat berdasarkan pada karakter log, deskripsi sampel dan derajat tingkat kontinuitas termasuk paparan dangkal, pantai, *distributary channel mouth bar* dan *bariri island*. Itu semua merupakan bagian dari pengaturan margin delta yang berhubungan dengan sistem Delta Sable.



Gambar 3.7 Lingkungan pengendapan cekungan Scotia (*Nova Scotia Departement of Energy, 2011*)