



## **Sedimentologi dan stratigrafi batuan sedimen Miosen di Lembangan Malibau, Sabah**

(Sedimentology and stratigraphy of Miocene sediment in the  
Malibau Basin, Sabah)

B. ALLAGU

Jabatan Penyiataan Kajibumi Malaysia, Sabah  
Beg Berkunci 2042  
88999 Kota Kinabalu  
Sabah

**Abstrak:** Hasil kajian sekarang telah mengubahsuai stratigrafi kawasan Lembangan Malibau di mana ianya terdiri daripada Formasi Tanjong yang berusia Miosen Awal hingga awal Miosen Tengah, dan Formasi Kapilit yang berusia pertengahan Miosen Tengah hingga awal Miosen Akhir. Formasi Tanjong ditindih secara tidak selaras oleh Formasi Kapilit. Taburan formasi-formasi tersebut telah diubahsuai. Formasi Tanjong meliputi bahagian selatan dan timur kawasan kajian, manakala Formasi Kapilit meliputi bahagian tengah kawasan kajian atau Lembangan Malibau. Formasi Tanjong terdiri daripada tiga unit jujukan stratigrafi iaitu Unit I merupakan jujukan sedimen pelagik, Unit II pula merupakan jujukan sedimen fluvio-deltaik yang mengandungi batu arang, manakala Unit III pula merupakan jujukan sedimen pelagik. Formasi Kapilit pula terdiri daripada dua unit iaitu Unit I yang merupakan jujukan sedimen deltaik yang mengandungi batu arang, manakala Unit II pula merupakan jujukan sedimen pelagik.

Asosiasi fasies dan jujukan dalam Formasi Tanjong menunjukkan kehadiran megajujukan yang mengkasar ke atas antara Unit I dan II, dan seterusnya megajujukan yang menghalus ke atas dalam Unit III. Ini menggambarkan perubahan persekitaran pengendapan dari keadaan progradasi ke agradasi. Manakala Unit I dan II Formasi Kapilit menunjukkan kehadiran megajujukan yang menghalus ke atas yang menggambarkan sekitaran keadaan agradasi. Analisis arus kuno telah menunjukkan bahawa punca sedimen adalah dari arah barat dan utara kawasan kajian. Ketebalan Formasi Tanjong di kawasan kajian dianggarkan sekitar 6,200 meter manakala Formasi Kapilit pula dianggarkan sekitar 4,500 meter. Walau bagaimanapun, ketebalan keseluruhan Formasi Tanjong dianggarkan sekitar 7,000 meter manakala Formasi Kapilit sekitar 6,500 hingga 7,000 meter.

**Abstract:** The present research has revised the stratigraphy of the Malibau Basin which comprises the Tanjong Formation of Early to Middle Miocene and Kapilit Formation of middle Middle Miocene to early Late Miocene. The Kapilit Formation lies unconformably on Tanjong Formation. The distribution of these formations have also been revised. The Tanjong Formation covers the southern and eastern parts of the area whereas the Kapilit Formation underlie the central part of the area or the Malibau Basin. The Tanjong Formation comprises three stratigraphic units. Unit I contains a sequence of pelagic sediments, Unit II contains a sequence of fluvio-deltaic sediments and is coal-bearing, whereas Unit III contains a sequence of pelagic sediments. On the other hand the Kapilit Formation comprises two stratigraphic units. Unit I contains a sequence of deltaic sediments and a coal-bearing, whereas Unit II contains a sequence of pelagic sediments.

Facies and sequence association in Tanjong Formation indicates the presence of coarsening upwards megasequence between the Units I and II, and fining upwards megasequence in Unit III. This shows the changes in depositional environment from progradational to aggradational. Units I and II of Kapilit Formation, however, indicate the presence of fining upwards megasequence which is aggradational. Palaeocurrent analysis indicates that the sources of sediments are from west and north of the area. The thickness of the Tanjong Formation in the study area is estimated to be 6,200 metre whereas the Kapilit Formation is about 4,500 metre. The overall thickness of the Tanjong Formation, however, is estimated to be 7,000 metre whereas the Kapilit Formation is about 6,500 to 7,000 metre.

## PENDAHULUAN

Morfologi lembangan sedimen Neogen yang berbentuk subbulat dan elips di Sabah adalah sangat unik dan ini telah menarik minat ramai pengkaji dalam pelbagai aktiviti eksplorasi sejak puluhan tahun yang lalu. Walau bagaimanapun, kebanyakan kajian ke atas lembangan-lembangan di bahagian daratan Sabah adalah di peringkat tinjauan sahaja (Fitch, 1958; Wilson, 1960; Wilson dan Wong, 1964; Collenette, 1965; Leong, 1974; Lee, 1970; Clennell, 1992; Hazebroek and Tan, 1993). Lembangan Maliau dan Malibau menganjur dalam arah barat laut-tenggara hingga ke Lembangan Tarakan, di Kalimantan manakala Lembangan Bangan, Kuamut dan Bukit Garam pula menganjur dalam arah barat daya-timurlaut hingga ke Sandakan. Secara amnya, lembangan-lembangan ini mempunyai ciri-ciri struktur dan bentuk yang lebih kurang sama iaitu mempunyai suatu siri permatang-permatang yang tinggi dengan sudut kemiringan yang besar di bahagian tepi lembangan dan dengan pengurangan sudut kemiringan semakin ke arah dalam lembangan. Lembangan-lembangan ini biasanya disempadani oleh beberapa sesar-sesar utama. Lembangan Maliau disempadani oleh Sesar Pinangah di bahagian barat dan Sesar Lonod di bahagian timur yang juga memisahkan Lembangan Malibau dari Lembangan Maliau (Rajah 1).

Kawasan kajian yang terletak di bahagian pedalaman Sabah mewakili sebahagian besar daripada kawasan Lembangan Malibau dan sedikit bahagian utara Lembangan Luis. Collenette (1965) telah melaporkan bahawa Formasi Tanjong meliputi sebahagian besar dari lembangan-lembangan berbentuk sub-bulat di bahagian pedalaman Sabah iaitu di Lembangan-lembangan Malibau, Maliau dan Bangan. Manakala Formasi Kapilit meliputi bahagian selatan kawasan kajian dan kawasan-kawasan Sinklin Luis dan Sesui (Rajah 2). Formasi Kalabakan pula hanya wujud sedikit sahaja di tenggara kawasan kajian. Formasi-formasi ini mempunyai julat usia yang lebih kurang sama iaitu Miosen Awal ( $T_5-T_1$ ) dan tidak ada hubungan geologi atau stratigrafi yang jelas bagi membezakan ketiga-tiga formasi tersebut. Diskripsi batuan yang diberikan bagi formasi-formasi tersebut adalah lebih kurang sama dan hanya dibezakan dari segi kedominan fasies batuan sahaja. Oleh itu kajian terperinci perlu dilakukan untuk memetakan semula taburan batuan di kawasan ini.

Projek pemetaan geologi dan eksplorasi mineral yang dijalankan oleh Jabatan Penyiasatan Kajibumi Malaysia, Sabah di kawasan Lembangan Malibau (Syt Sungai Kalabakan 4/117/5) (Rajah 3)

telah membolehkan kajian terperinci ini dijalankan dengan jayanya sejak tahun 1992 hingga 1995. Kertas kerja ini adalah sebahagian daripada laporan peta JKM, Sabah dan penulisan tesis Ijazah Sarjana di Universiti Kebangsaan Malaysia.

## OBJEKTIF KAJIAN

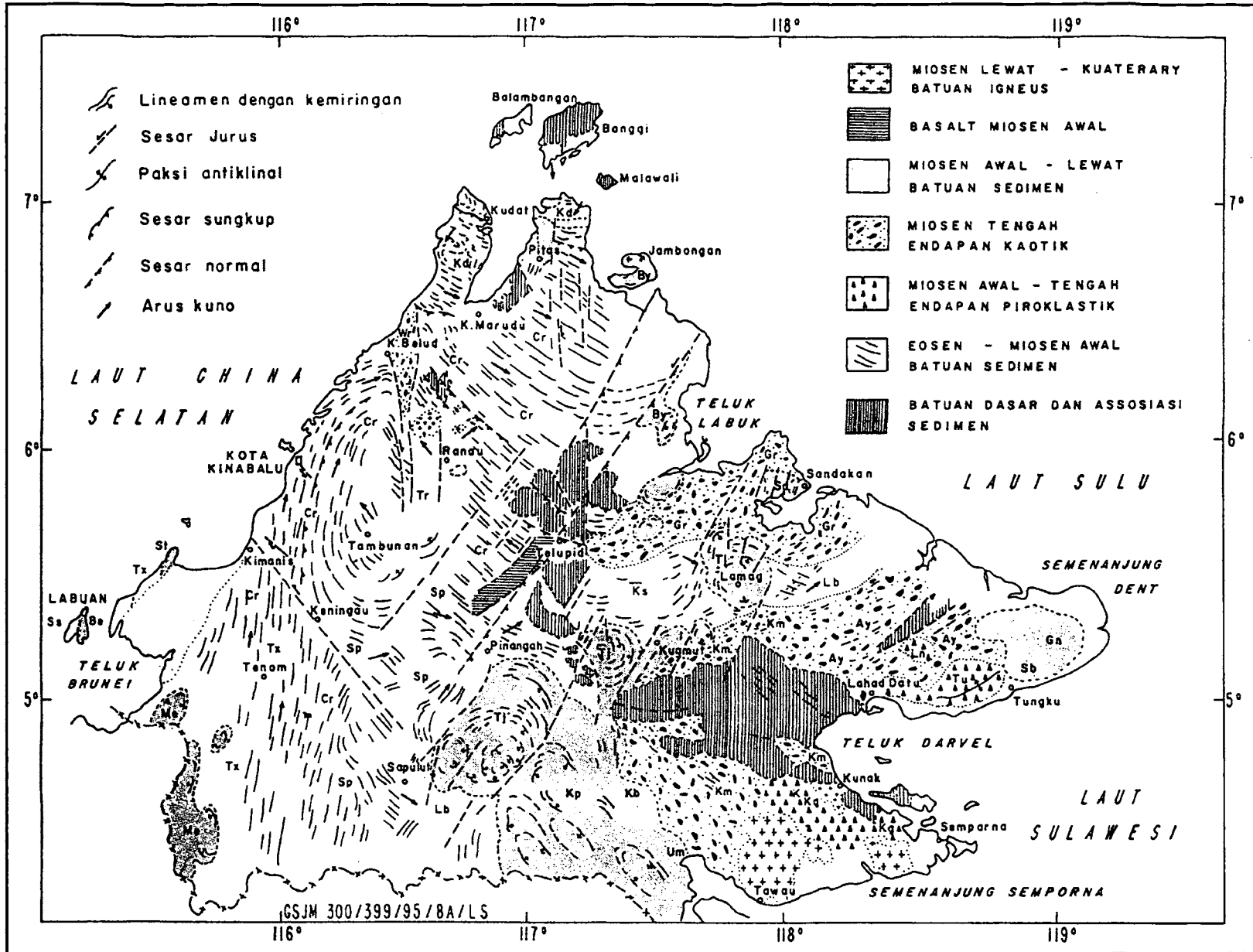
Objektif utama kajian ini adalah untuk:

1. Mengkaji unit-unit batuan dalam kawasan kajian dan mengelaskannya kepada formasi yang sesuai.
2. Membina turus stratigrafi kawasan kajian yang lebih tepat.
3. Menentukan ketebalan formasi-formasi di kawasan kajian.
4. Menentukan sekitaran pengendapan dan punca sedimen kawasan kajian.
5. Membuat suatu model sejarah pengendapan sedimen kawasan kajian.

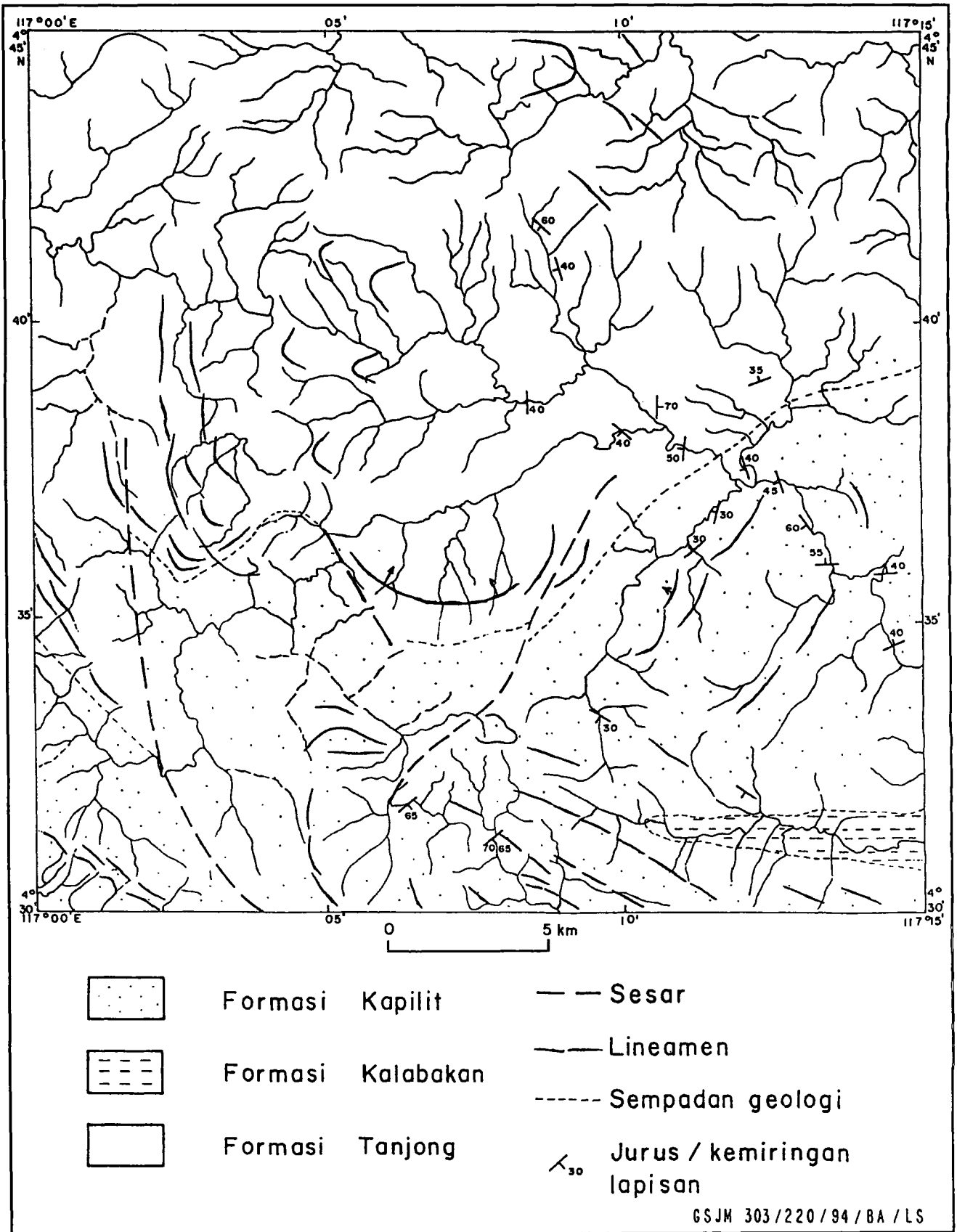
## GEOLOGI TERKINI KAWASAN KAJIAN

Berdasarkan kepada data lapangan, jujukan stratigrafi dan kajian imej radar, taburan unit-unit batuan dan jujukan stratigrafi kawasan kajian telah diubahsuai. Kawasan kajian didapati terdiri daripada Formasi Tanjong dan Formasi Kapilit. Taburan unit-unit batuan ini di kawasan kajian adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4. Sempadan di antara unit-unit batuan tersebut adalah sempadan stratigrafi dan struktur. Bahagian selatan dan timur kawasan kajian diliputi oleh Formasi Tanjong yang lebih terancang dengan lipatan menjunam berarah barat laut-tenggara. Formasi Kapilit duduk di atas Formasi Tanjong dengan hubungan ketakselarasan bersudut rendah yang mempunyai corak lipatan terbuka.

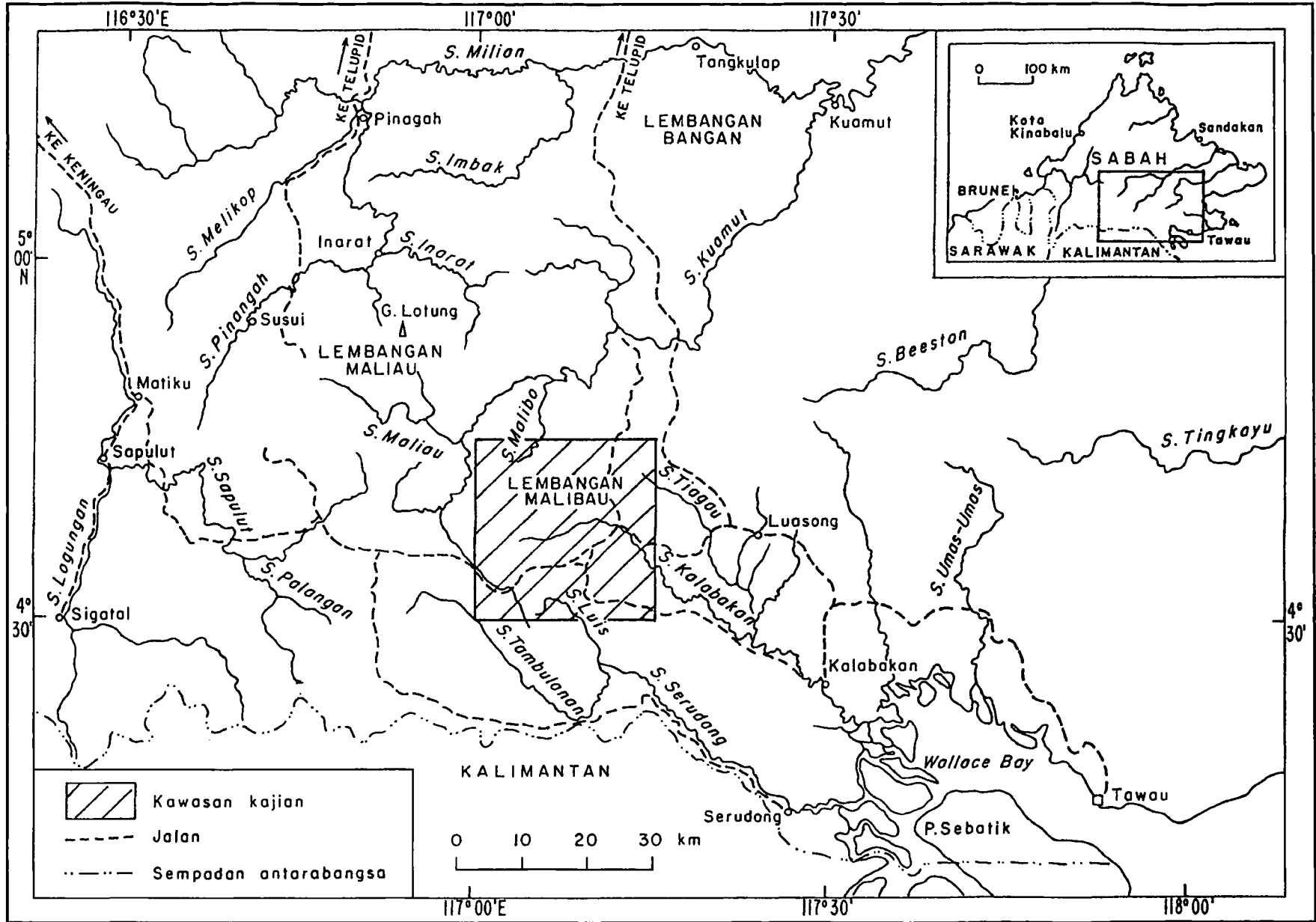
Formasi Tanjong terdiri daripada tiga unit stratigrafi yang dinamakan sebagai Unit I, II dan III. **Unit I** didominasi oleh litofasies berargilit yang agak terich. Ia dicirikan oleh kehadiran batu lumpur tebal hingga masif yang diselanglapis oleh batu lodak atau batu pasir halus yang nipis. Batu pasir juga hadir tetapi secara jarang-jarang. Ia meliputi bahagian tenggara-timur kawasan kajian dan merupakan unit tertua dalam Formasi Tanjong. Ia juga mempunyai hubungan secara lateral dengan Formasi Kalabakan(?). **Unit II** meliputi bahagian selatan dan timur kawasan kajian yang mana secara amnya didominasi oleh litofasies berarenit hingga rudit dan mengandungi batu arang. Secara amnya unit ini adalah dicirikan oleh jujukan selanglapis batu pasir dan batu lumpur yang tebal serta mengandungi fasies batu arang dan fasies batu lumpur berkarbon. **Unit III** meliputi sebahagian besar daripada



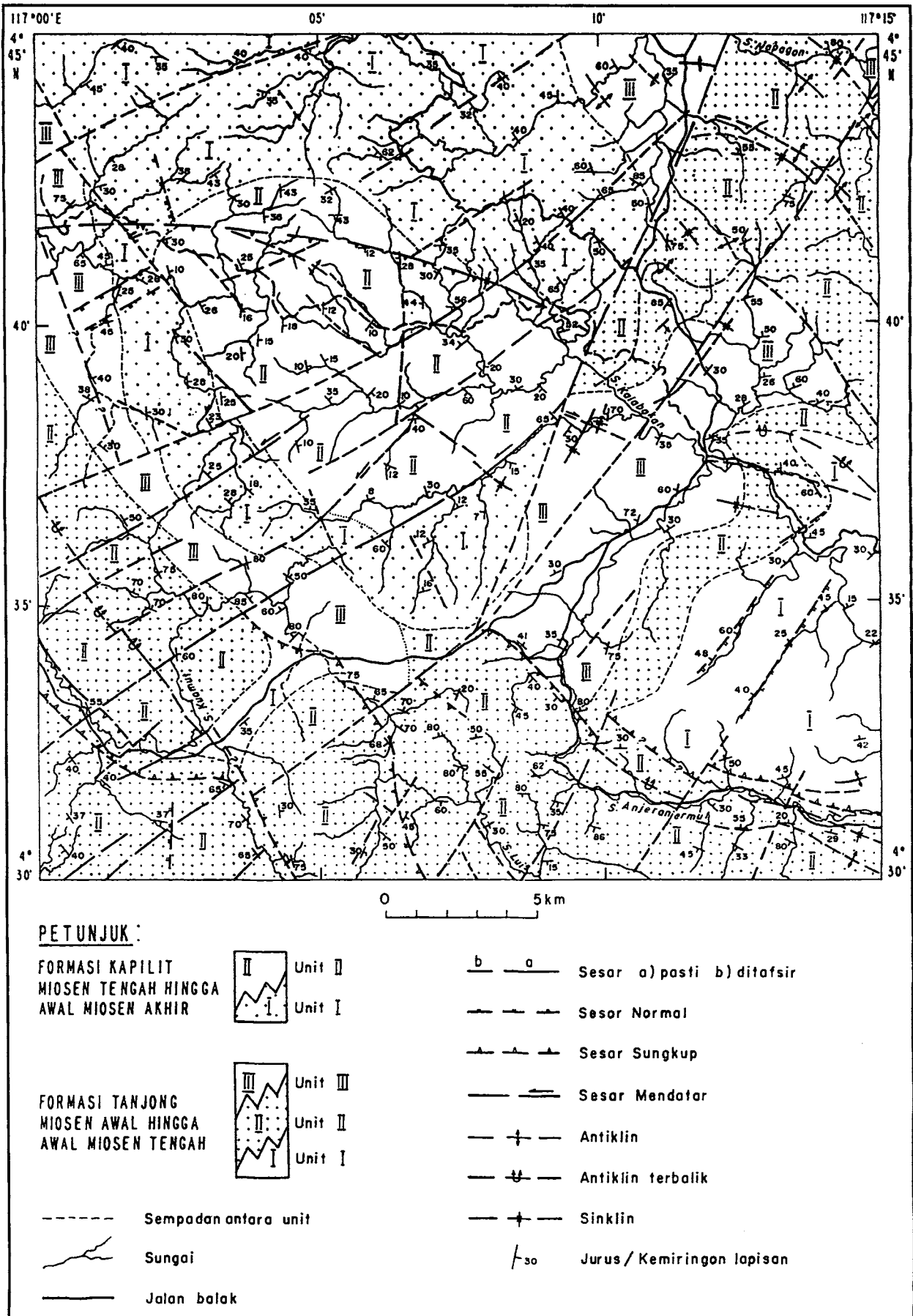
**Rajah 1.** Peta Tektonik Sabah (Tongkul, 1991) menunjukkan tren struktur utama dan jenis-jenis batuan. Formasi: Cr = Crocker, Sp = Sapulut, Tr = Trusmadi, Tx = Temburong, Lb = Labang, Ks = Kulapis, Kd = Kudat, Tj = Tanjong, Kb = Kalabakan, Kp = Kapilit, Sd = Sandakan, Me = Meligan, Be = Belait, Ss = Setap Shale, By = Bongaya, Ay = Ayer, Wr = Wariu, Km = Kuamut, Sb = Sebahat, Gn = Ganduman, Tu = Tungku, Ln = Libong Tuffite, Kg = Kalumpang dan Umas-umas.



Rajah 2. Peta geologi kawasan Sg. Kalabakan (Collenette, 1965).



Rajah 3. Peta lokasi kawasan kajian.



Rajah 4. Peta geologi kawasan kajian.

kawasan-kawasan di bahagian pinggir Lembangan Malibau. Unit III didominasi oleh jujukan litofasies berargilit yang dicirikan oleh kehadiran batu lumpur tebal hingga masif yang diselanglapis oleh batu lodak atau batu pasir halus yang nipis. Batu lumpur adalah agak tericah sedikit.

Formasi Kapilit yang meliputi bahagian tengah dan utara kawasan kajian adalah terdiri daripada dua unit stratigrafi iaitu Unit I dan Unit II. **Unit I** dicirikan oleh jujukan selanglapis batu lumpur berkarbon dan batu pasir tebal yang didominasi oleh batu lumpur dan mengandungi batu arang. **Unit II** pula dicirikan oleh jujukan sedimen didominasi oleh litofasies berargilit dan batu pasir tebal yang jarang, dan mengandungi sedikit batu kapur.

## SEDIMENTOLOGI

### Analisis Fasies

Lebih daripada 90 pengukuran litolog telah dibuat di lapangan. Keratan jujukan Formasi Tanjong yang telah diukur adalah sekitar 1,470 m manakala dalam Formasi Kapilit adalah sekitar 2,940 m. Berdasarkan kepada keratan-keratan jujukan tersebut sebanyak 10 fasies telah dikenalpasti dan ditafsir dibawah ini. Fasies B dan H tidak ditemui dalam Formasi Kapilit manakala Fasies J pula tidak ditemui dalam Formasi Tanjong.

#### A. Fasies Batu Lumpur Dengan Lapisan Nipis Batu Pasir Halus — Fasies A

Fasies ini dicirikan oleh kehadiran jujukan batu lumpur yang diselanglapis oleh lapisan batu pasir halus atau batu lodak yang nipis. Lapisan nipis batu pasir halus atau batu lodak tersebut biasanya berwarna kelabu cerah dan berketebalan berbeza-beza antara 2 hingga 10 sentimeter. Perlapisan dalam fasies ini adalah jelas yang menunjukkan perulangan perlapisan dan biasanya mempunyai sempadan yang tajam antara satu sama lain. Kadang kala lapisan batu lodak tersebut adalah sangat nipis dan terdiri daripada penyusunan konkresi-konkresi. Batu lumpur dalam fasies ini biasanya berwarna kelabu cerah hingga kelabu gelap serta kebiruan, dan berwarna perang muda serta keputihan apabila terluluhawa. Ketebalan fasies ini adalah berbeza-beza iaitu antara 5 hingga 100 meter telah diperhatikan di lapangan. Struktur sedimen selain daripada laminasi jarang diperhatikan. Struktur laminasi silang, palung dan kesan riak adalah struktur sedimen yang paling biasa ditemui disamping kesan flut dan fosil kesan komponen mendatar Fosil-fosil kesan jenis tapak pergerakan haiwan (*trails*) sering ditemui seperti

*Scalarituba sp.*, *Thalassinoides sp.*, *Scolicia sp.*, dan *Ophiomorpha labuanensa*. Lubang-lubang cacing (*Pinnatulites burrows*) komponen menegak dan mendatar juga telah diperhatikan.

Fasies yang berdominasi lumpur ini mewakili persekitaran pengendapan air yang tenang dan arus bertenaga rendah dimana kebanyakan sedimen yang terdiri daripada butiran-butiran lumpur yang terapung dapat mengendap (Blatt *et al.*, 1980).

#### B. Fasies Batu Lumpur Masif — Fasies B

Fasies batu lumpur ini dicirikan oleh kehadiran batu lumpur yang wujud dalam keadaan sangat tebal hingga masif. Perlapisan dalam fasies ini biasanya tidak hadir atau tidak jelas. Kadangkala terdapat juga lapisan nipis batu lodak atau lapisan konkresi batu lodak yang tidak berterusan secara lateral. Ketebalan fasies ini telah diperhatikan di lapangan boleh mencapai antara 50 hingga 100 meter. Batu lumpur ini biasanya berwarna kelabu gelap dan kelabu cerah, jarang berkarbon, kurang berfisiliti dan sering menunjukkan retakan konkoidal. Struktur sedimen adalah jarang diperhatikan dalam fasies ini kecuali laminasi selari dan silang yang hanya diperhatikan secara minor. Kesan aktiviti haiwan atau bioturbasi adalah jarang diperhatikan dalam fasies ini. Fosil kesan *Paleodictyon sp.* telah ditemui di satu lokaliti.

Proses pengendapan sedimen halus yang tebal biasanya berlaku di persekitaran pengendapan air yang tenang dimana butiran-butiran halus lumpur yang terapung dapat mengendap. Fosil kesan yang ditemui juga adalah dari iknofasies neritik yang juga menunjukkan persekitaran laut dalam. Fosil kesan dan fosil-fosil mikro yang dikenalpasti kebanyakannya mewakili persekitaran pengendapan neritik dalam hingga abisal.

#### C. Fasies Batu Pasir Berlapisan Silang — Fasies C

Fasies ini dicirikan oleh kehadiran lapisan-lapisan batu pasir yang mempunyai struktur lapisan silang dan lapisan palung yang wujud dalam skala kecil hingga besar (20 meter). Ketebalan lapisan batu pasir ini berbeza-beza iaitu antara 1 hingga 5 meter. Jujukan fasies batu pasir ini boleh mencapai ketebalan antara 10 hingga 30 meter yang mana ia biasanya diselanglapis oleh lapisan batu lumpur atau batu lodak yang nipis. Batu pasir fasies ini biasanya berwarna kelabu cerah dan bersaiz butiran halus hingga kasar. Struktur sedimen yang paling biasa ditemui adalah lapisan silang, lapisan palung, kesan riak, laminasi karbon selari dan bersilang. Fosil kesan jenis tapak pergerakan haiwan juga ditemui. Kesan riak bersimetri, tidak bersimetri, jenis bertindan dan

linguoid adalah biasa diperhatikan.

Pengendapan batu pasir tebal hingga masif dilakukan oleh arus kuat yang mengandungi punca sedimen yang tinggi dalam jangkamasa pendek. Batu pasir berlapis silang biasanya diendapkan oleh arus bertenaga tinggi iaitu di persekitaran pasang-surut, muara sungai atau estuari. Lapisan silang terbentuk dari migrasi rebung lurus megariak, gelombang pasir atau beting. Ianya juga terbentuk melalui migrasi alur-alur dalam sistem sungai bersirat. Manakala Kebanyakan lapisan berpalung berskala besar biasanya terbentuk daripada migrasi beting pasir yang tidak lurus (Blatt, 1980).

#### **D. Fasies Batu Pasir Beralur — Fasies D**

Fasies ini dicirikan oleh kehadiran lapisan batu pasir beralur yang biasanya wujud dalam peralapisan yang nipis hingga tebal antara 2 hingga 5 meter. Peralapisan nipis batu lumpur juga hadir di antara jujukan lapisan batu pasir berpalung. Struktur lapisan beralur yang diperhatikan wujud dalam skala kecil hingga sangat besar. Keadaan peralapisan secara mendatar dalam fasies ini kebanyakannya menunjukkan ciri-ciri melengkong ke atas pada bahagian sisi dan menipis secara lateral. Bahagian dasar lapisan biasanya tidak rata atau melengkong yang menunjukkan ciri-ciri hakisan terhadap lapisan yang lebih tua. Batu pasir ini biasanya berwarna kelabu cerah hingga keputihan dan bersaiz butiran antara sederhana hingga sangat kasar dan kadangkala berkelikir pada dasar lapisan. Klas-klas bahan organik dan lensa-lensa batu arang juga ditemui. Struktur sedimen selain daripada struktur alur adalah jarang ditemui. Biasanya ia wujud sebagai suatu lapisan batuan yang masif dan struktur sedimennya tidak begitu jelas.

Fasies ini telah diendapkan melalui proses aliran bertenaga tinggi dan aliran yang tidak membual kerana tidak terdapatnya penggredan saiz butiran. Kehadiran lapisan beralur yang berbagai skala dan kehadiran pebel dan kelikir pada dasar setengah lapisan boleh ditafsirkan sebagai mewakili alur-alur atau akibat migrasi lob-lob yang aktif di sekitaran fluvial atau fluvio-deltaik. Kajian fosil mikro pula menunjukan persekitaran pengendapan pantai ke fluviomarin.

#### **E. Fasies Selanglapis Batu Lumpur Dengan Batu Pasir — Fasies E**

Fasies ini adalah dicirikan oleh jujukan-jujukan selanglapis antara batu lumpur-batu pasir serta juga batu lodak. Fasies ini boleh dibezakan daripada fasies yang lain dari segi ketebalan peralapisan dimana ketebalannya adalah kurang daripada 1meter. Ketebalan jujukan selanglapis

ini adalah berbeza-beza iaitu antara 5 hingga 35 meter. Struktur organik atau bioturbasi telah diperhatikan di beberapa lokaliti dan kebanyakannya menunjukkan kehadiran lubang-lubang cacing atau struktur korekan komponen menegak atau mendatar. Struktur sedimen yang paling biasa ditemui adalah lapisan silang, isian alur, laminasi selari dan silang, kesan riak dan sedikit kesan beban serta kesan flut. Fosil kesan seperti *Helminthopsis tenuis*, *Zoophycos* dan *Chondrites* telah ditemui. Lapisan silang berbentuk tulang ikan juga telah ditemui di satu lokaliti.

Fasies ini mungkin telah diendapkan di persekitaran pengendapan laut cetek, delta dalam hingga delta tengah dan hinggalah ke kawasan pasang-surut. Jujukan lapisan selanglapis batu pasir beriak dan batu lumpur menunjukkan kitaran yang berulang yang biasanya berlaku di persekitaran kawasan pasang-surut. Fosil mikro menunjukkan persekitaran deltaik, pantai, dan neritik dalam.

#### **F. Fasies Batu Lumpur Berkarbon — Fasies F**

Fasies ini dicirikan oleh kehadiran lapisan-lapisan batu lumpur berkarbon. Lapisan batu lumpur berkarbon biasanya berasosiasi dengan lapisan batu arang yang nipis. Fasies batu lumpur berkarbon ini biasanya wujud sebagai lapisan tebal hingga masif dengan ketebalan antara 1 hingga 10 m dan kadangkala ada juga yang mencapai ketebalan antara 15 hingga 30 m. Lapisan batu pasir nipis kadang-kadang berselanglapis dengan lapisan batu lumpur berkarbon nipis dalam jujukan tebal fasies batu lumpur berkarbon.

Kehadiran batu lumpur berkarbon serta pirit menunjukkan persekitaran yang sangat cetek seperti di dataran banjir atau muara sungai dimana berlakunya akumulasi bahan-bahan organik. Fasies ini mewakili sekitaran pengendapan seperti teluk antara cawangan, endapan krevas atau tetambak. Fosil mikro yang ditemui mewakili persekitaran pengendapan pantai, pantai berpaya dan dataran pantai dalam.

#### **G. Fasies Batu Arang — Fasies G**

Fasies ini biasanya dicirikan oleh kehadiran lapisan-lapisan batu arang yang mana selalunya berasosiasi dengan fasies batu lumpur berkarbon. Batu arang yang segar biasanya berwarna hitam, bersih, berketumpatan rendah dan keras hingga sangat keras. Iannya juga sering menunjukkan retakan konkoidal dan permukaannya menunjukkan kilauan sublogam (*submetallic luster*). Lapisan batu arang yang ditemui kebanyakannya nipis iaitu berketebalan antara beberapa sentimeter hingga satu meter. Biasanya



lapisan batu arang dialasi dan ditutupi oleh lapisan-lapisan batu lumpur berkarbon. Selain daripada laminasi karbon, struktur sedimen lain adalah jarang ditemui.

Kehadiran batu arang dan pirit menunjukkan persekitaran yang sangat cetek dan pada paras air bawah tanah yang tinggi seperti di kawasan berpaya dan dataran banjir dimana berlakunya akumulasi bahan-bahan organik dan tindakbalas kimia dalam keadaan penurunan.

### **H. Fasies Konglomerat — Fasies H**

Fasies ini dicirikan oleh kehadiran lapisan konglomerat yang tebal hingga masif. Ketebalan lapisan yang telah diperhatikan di lapangan adalah di antara 1 hingga 20 meter. Konglomerat tersebut kebanyakannya terdiri daripada jenis orto-konglomerat dan batu pasir berkelikir. Klas-klas dalam lapisan konglomerat adalah terdiri daripada campuran batu pasir, cert berwarna merah hingga kelabu, kuartza berwarna kemerahan hingga putih, dan sedikit batu lumpur. Klas-klas tersebut adalah bersaiz kelikir hingga buntar (*cobble*), dan biasanya adalah berbentuk bulat hingga subbulat. Manakala matriksnya terdiri daripada campuran butiran berkelikir cert dan kuartza, dan lumpur berpasir. Dalam perlapisan konglomerat yang sangat kasar klas-klas biasanya bersaiz buntar manakala matriksnya terdiri daripada butiran bersaiz kelikir. Fasies konglomerat ini biasanya berwarna putih disebabkan oleh matriks yang berwarna keputihan. Ianya agak lembut, mudah pecah dan bercerai. Bahan berkarbon dan fosil-fosil kayu adalah biasa ditemui.

Struktur sedimen yang paling jelas sekali dalam fasies ini adalah struktur palung dan lapisan silang. Imbrikasi pebel-pebel hanya telah dilihat di beberapa lokaliti sahaja dan biasanya ia adalah tidak begitu ketara. Fasies ini besar kemungkinan mewakili persekitaran pengendapan fluvial iaitu mungkin alur sungai.

### **I. Fasies Selanglapis Batu Pasir Berkapur dan Batu Lumpur Berkapur — Fasies I**

Fasies ini dicirikan oleh kehadiran selanglapis antara batu pasir berkapur dan batu lumpur berkapur. Ketebalan lapisan-lapisan adalah di antara 0.2 hingga 1 meter. lapisan batu pasir berkapur biasanya berwarna kelabu, keras dan berbutir halus hingga sederhana manakala lapisan batu lumpur berkapur berwarna kelabu cerah dan berbutir halus. Lapisan-lapisan batu pasir berkapur yang nipis berlaminasi selari biasanya mudah dibezakan dimana ianya berwarna kelabu cerah hingga kelabu gelap, sangat keras, dan berbutir halus hingga sederhana. Fasies batu pasir berkapur yang nipis kadang-kadang diperhatikan

wujud sebagai lensa-lensa sahaja. Kadang-kadang terdapat juga lapisan-lapisan batu lumpur berkapur yang berpasir. Kandungan alokem adalah agak tinggi terutamanya dalam lapisan-lapisan batu lumpur berkapur, dimana ianya terdiri daripada alga, bivalvia dan foraminifera. Laminasi-laminasi selari dan sedikit laminasi silang merupakan struktur sedimen yang biasa ditemui dalam fasies ini. Struktur sedimen lain adalah jarang diperhatikan.

Fasies ini juga boleh terbentuk akibat daripada berlakunya percampuran antara sedimen berpasir dan sedimen berkarbonat dengan kadar sumbangan pengendapan sedimen berpasir yang lebih tinggi. Sumbangan sedimen berkarbonat adalah berpunca daripada proses penghasilan dan pengumpulan sedimen berkapur. Fasies ini mungkin telah terbentuk di persekitaran pengendapan pelantar cetek, luar pantai atau kawasan pasang-surut.

### **Petrografi**

Tekstur batu pasir Formasi Tanjong mempunyai pengisihan yang buruk hingga sederhana dengan kandungan matriks antara 5 hingga 46 peratus. Batu pasir Unit I dan III kebanyakannya adalah jenis graiwak litik atau wak kuartza, manakala batuan Unit II pula kebanyakan adalah jenis graiwak litik dan sublitharenit. Secara amnya kebanyakan daripada sampel batuan menunjukkan komposisi graiwak litik. Klas-klas batu pasir dalam konglomerat pula kebanyakannya adalah jenis arenit kuartza dan sublitharenit. Batu pasir Formasi Tanjong adalah tidak matang dari segi komposisi dan tekstur. Tekstur batu pasir Formasi Kapilit didapati mempunyai pengisihan yang buruk dengan kandungan matriks antara 11 hingga 44 peratus. Sampel batuan dari Unit I Formasi Kapilit adalah jenis graiwak litik manakala Unit II terdiri daripada jenis graiwak litik, wak kuartza dan sublitharenit. Batu kapur adalah jenis biomikrit padat.

Sedimen kawasan kajian didapati berasal dari kawasan percampuran batuan plutonik, metamorf dan sedimen yang mungkin telah mengalami beberapa kitaran erosi, pengangkutan dan pengendapan. Ini disokong oleh tekstur butiran dan kurangnya kandungan mineral feldspar dalam sedimen kawasan kajian. Cert merupakan serpihan batuan yang paling dominan yang mencadangkan bahawa puncanya mungkin dari kawasan sedimen kerak lautan. Formasi Cert-Spilit di bahagian timur Sabah dan kawasan Kalimantan Utara merupakan dua kawasan yang banyak mengandungi batuan cert dan mungkin merupakan dua kawasan punca sedimen utama. Di samping itu cert juga boleh berpunca dari proses kitar semula daripada formasi yang lebih tua yang mana batu

pasirnya mungkin mengandung kandungan butiran cert yang tinggi, seperti batu pasir Formasi Sapulut.

Klas-klas dalam konglomerat yang lebih bersifat arenit, sangat keras dan berwarna merah-jingga dan kelabu cerah mungkin berpunca dari Formasi Kulapis, Labang, Sapulut atau Crocker yang terdapat di bahagian barat kawasan kajian. Klas-klas batu pasir dan cert tersebut juga mungkin berpunca dari Formasi Cert Spilit.

### Arus Kuno

Daripada taburan arah arus kuno yang diringkaskan seperti dalam Rajah 5 didapati bahawa arah arus dalam Unit I Formasi Tanjong adalah lebih ke arah tenggara kawasan kajian. Terdapat juga pergerakan riak ke arah baratdaya tetapi ianya mungkin secara lokal sahaja. Unit II Formasi Tanjong pula menunjukkan arah arus lebih ke arah timur dan tenggara di bahagian barat kawasan kajian. Di bahagian selatan tengah (Sg. Luis) pula arus bergerak ke arah timur-timurlaut, manakala semakin ke timur kawasan kajian arah arusnya bergerak ke arah timur-tenggara. Tren bacaan imbrikasi pebel sebenarnya adalah kurang jelas maka arahnya kurang meyakinkan. Terdapat juga tren pergerakan riak ke arah baratdaya yang mungkin merupakan arah secara lokal sahaja. Tren perubahan arahnya menunjukkan sekitaran fluvio-deltaik. Unit III Formasi Tanjong secara amnya menunjukkan arah arus dominan ke arah timur dan tenggara. Secara amnya didapati bahawa tren pengendapan sedimen Formasi Tanjong adalah datang dari barat laut hingga barat.

Data-data arah arus kuno menunjukkan dua tren pengendapan sedimen dalam Formasi Kapilit iaitu sedimen Unit I didapati mungkin datang dari arah baratdaya, barat laut, utara hingga timurlaut, manakala sedimen Unit II pula didapati datang dari arah baratdaya hingga barat laut. Ini menunjukkan bahawa sedimen bagi Formasi Kapilit telah dibekalkan dari kawasan-kawasan tanah tinggi yang terletak di bahagian utara, barat laut hingga ke baratdaya kawasan kajian.

## STRATIGRAFI

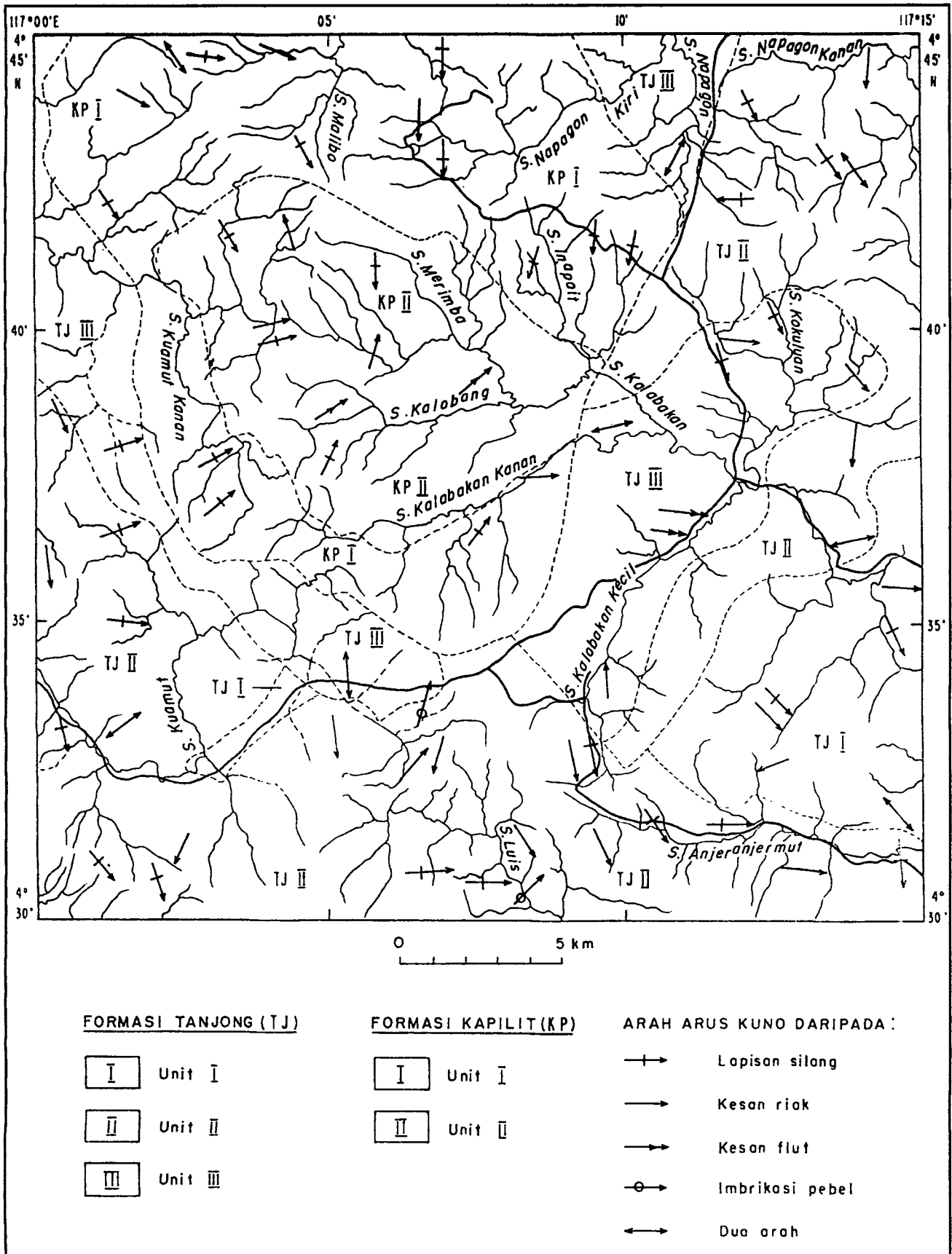
Stratigrafi kawasan kajian telah dibuat berdasarkan kepada cerapan di lapangan, analisis fosil dan pemerhatian imej radar serta gambar udara. Ia adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 6. Penulis telah membuat beberapa pembaharuan terhadap stratigrafi kawasan kajian. Stratigrafi kawasan kajian didapati terdiri daripada Formasi Tanjong dan Formasi Kapilit. Formasi Kapilit ditafsirkan sebagai duduk di atas Formasi Tanjong secara tidak selaras dengan hubungan

ketakselarasan bersudut rendah. Batuan Formasi Tanjong yang berusia Miosen Awal hingga awal Miosen Tengah telah dibahagikan kepada tiga unit stratigrafi yang dinamakan sebagai Unit I, II dan III; manakala Formasi Kapilit yang berusia Miosen Tengah hingga awal Miosen Akhir pula terdiri daripada dua unit stratigrafi iaitu Unit I dan II.

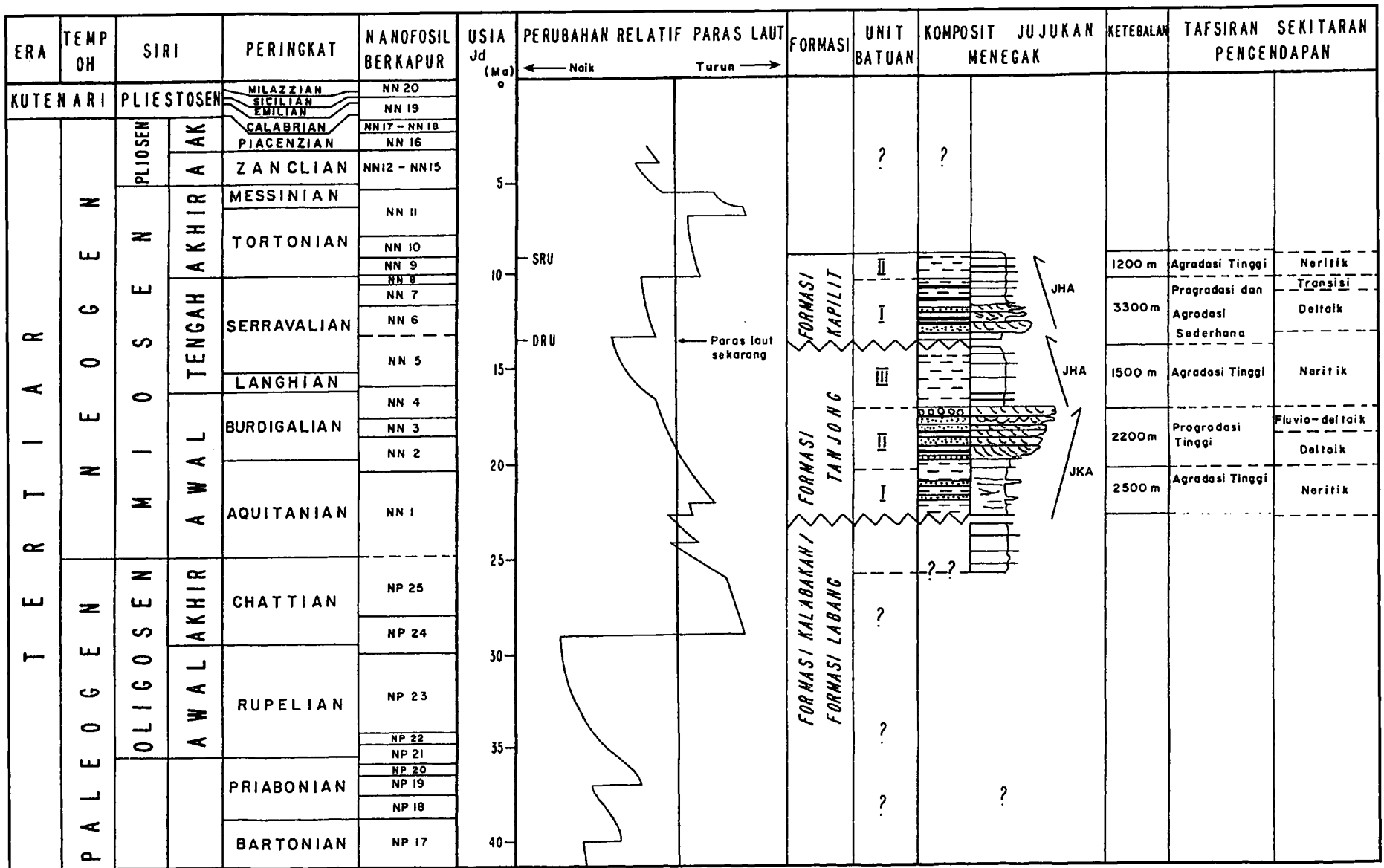
### Hubungan Menegak

Batuan yang tertua sekali di kawasan kajian adalah batuan Unit I Formasi Tanjong yang dipercayai didasari oleh Formasi Labang(?) yang tidak tersingkap di kawasan kajian. Ketiga-tiga unit stratigrafi Formasi Tanjong mempunyai hubungan stratigrafi secara menegak yang jelas ditunjukkan oleh analisis hubungan menegak yang telah dibuat berdasarkan kepada pengukuran litolog. Lebih daripada 90 pengukuran litolog telah dilakukan dengan ketebalan lebih kurang 4,410 meter. Sempadan antara unit-unit ini tidak begitu ketara di lapangan, tetapi ianya telah diperhatikan dan ditafsirkan sebagai sempadan stratigrafi yang menunjukkan perubahan secara gradual dari jujukan dominasi lumpur ke jujukan dominasi pasir dan sebaliknya. Sempadan struktur biasanya menunjukkan perubahan litologi secara mendadak. Litologi kedua-dua Unit I dan III adalah agak sukar dibezakan pada singkapan tetapi ia dapat dibezakan dari segi kedudukan unit-unit tersebut pada jujukan stratigrafi yang dipisahkan oleh Unit II yang berarenit dan ini disokong oleh tafsiran imej SAR yang jelas menunjukkan kedudukan superposisi mereka.

Analisis jujukan menegak Unit I menunjukkan ianya terdiri daripada tiga fasies utama iaitu Fasies A, C dan E. Secara keseluruhannya Unit I ini didominasi oleh Fasies A yang terdiri daripada jujukan batu lumpur yang tebal dengan lapisan nipis batu pasir halus. Hampir 80 peratus daripada singkapan jujukan dan litolog tersebut adalah diliputi oleh Fasis A manakala Fasies C dan E hanya wujud kadang-kadang sahaja dengan ketebalan yang nipis hingga tebal. Asosiasi antara Fasies A dan Fasies E atau C kadang-kadang menunjukkan tren jujukan mengkasar ke atas (JKA) yang biasanya wujud dalam skala yang kecil hingga sederhana. Umumnya tren jujukan menghalus ke atas (JHA) atau jujukan mengkasar ke atas (JKA) dalam unit ini adalah tidak begitu ketara, namun masih terdapat tren jujukan JKA yang kecil-kecil yang ditunjukkan oleh perubahan saiz butiran dan ketebalan lapisan yang menebal ke atas. Megajjukan unit ini dipercayai masih memperlihatkan tren JKA yang kurang ketara di peringkat bawah dan yang lebih ketara semakin ke atas jujukan ini. Oleh itu dengan tren jujukan yang mengkasar ke atas maka Unit I ditafsirkan



Rajah 5. Taburan arah arus kuno kawasan kajian.



Rajah 6. Jujukan stratigrafi dan evolusi tektonik kawasan kajian.

sebagai mempunyai hubungan saling menjari dengan Unit II.

Unit II terdiri daripada enam fasies utama iaitu Fasies A, C, D, E, F, G dan H. Di antara fasies-fasies ini, Fasies C dan D merupakan yang paling dominan dalam jujukan stratigrafi Unit II, dan ini mencirikan unit ini sebagai unit berarenit. Peringkat bawah jujukan litostratigrafi Unit II ini dicirikan oleh kehadiran selanglapis fasies batu lumpur dominan dan batu pasir; peringkat pertengahan dicirikan oleh selanglapis fasies batu pasir dominan dan fasies batu lumpur, manakala peringkat atasnya pula dicirikan oleh kehadiran fasies batu pasir berlapis silang dan berpaling, dan fasies konglomerat yang dominan. Asosiasi fasies-fasies tersebut menunjukkan kehadiran jujukan-jujukan JHA dan JKA dalam ketebalan yang berbeza-beza antara 3 hingga 50 m. Secara amnya jujukan-jujukan JKA adalah lebih dominan dimana megakitarannya juga menunjukkan tren yang mengkasar ke atas iaitu mencetek ke atas. Walaupun kadang-kadang terdapat kitaran-kitaran JHA yang kecil yang jelas, akan tetapi kitaran yang umum masih lebih dominan sebagai jujukan mengkasar ke atas.

Unit III terdiri daripada tiga fasies utama iaitu Fasies A, C dan E. Ianya didominasi oleh Fasies A yang terdiri daripada jujukan batu lumpur yang tebal dengan lapisan nipis batu pasir halus. Hampir 90 peratus daripada singkapan dan litolog yang telah diperhatikan adalah diliputi oleh Fasies A manakala Fasies C dan E hanya wujud kadang-kadang sahaja dengan ketebalan yang nipis hingga sederhana tebal. Fasies B yang terdiri daripada batu lumpur masif hanya telah diperhatikan di satu lokaliti sahaja dan ditafsirkan sebagai mewakili bahagian bawah Unit III. Fasies E yang terdiri daripada selanglapis nipis batu pasir dan batu lumpur adalah jarang diperhatikan. Secara umumnya asosiasi fasies antara Unit I dan III mempunyai banyak persamaan. Analisis jujukan menegak tidak menunjukkan tren perubahan saiz butiran dan ketebalan perlapisan yang jelas.

Unit I Formasi Kapilit seterusnya menindih Unit III Formasi Tanjong dengan hubungan ketakselarasan bersudut rendah. Bahagian bawah jujukan unit adalah berarenit dan semakin ke atas ianya berargilit, dan seterusnya ditindih oleh Unit II yang juga berargilit. Asosiasi jujukan Unit I dan II Formasi Kapilit menunjukkan kehadiran satu megajjukan yang menghalus ke atas.

Jujukan menegak Unit I Formasi Kapilit terdiri daripada enam fasies utama iaitu Fasies A, C, D, E, F dan G. Ianya dicirikan oleh kehadiran fasies batu lumpur berkarbon (Fasies F) dan fasies batu arang (Fasies G) dimana ianya didapati berulang dalam keseluruhan jujukan Unit I dan ini telah

diperhatikan dalam litolog sepanjang 2,050 m yang telah diukur di bahagian utara kawasan kajian. Akan tetapi asosiasi fasies unit ini di bahagian selatan dan baratdaya lembangan Malibau adalah agak berbeza sedikit dimana fasies batu arang dan batu lumpur berkarbon adalah jarang diperhatikan dan ianya hanya didominasi oleh kehadiran fasies A, C, D dan E. Bahagian bawah jujukan ini setebal 1,200 m adalah berarenit dan berarang dimana ini ditunjukkan oleh asosiasi antara Fasies C, D, E, F dan G; manakala bahagian atas unit ini setebal 860 m adalah lebih berargilit yang ditunjukkan oleh asosiasi antara Fasies A dan F serta sedikit Fasies C. Jujukan JKA didapati wujud dalam ketebalan antara 10–70 meter manakala jujukan JHA berketebalan antara 10–50 meter. Secara amnya pada bahagian bawah Unit I tren jujukan JKA dan JHA adalah lebih kurang sama atau seimbang manakala pada bahagian atas pula didapati tren jujukan JKA adalah lebih dominan yang mana kebanyakannya wujud secara lokal.

Jujukan Unit II Formasi Kapilit setebal 890 m diperhatikan terdiri daripada tiga fasies utama iaitu subfasies A1, fasies C dan E. Di samping itu terdapat sedikit fasies I dan J yang jarang diperhatikan. Di antara fasies-fasies ini, subfasies A1 dan A2 yang terdiri daripada lumpur marin yang tebal hingga sangat tebal merupakan fasies yang paling dominan dan di selangseli oleh batu pasir tebal hingga masif dari fasies C atau fasies E. Fasies A adalah sangat dominan dan Fasies C/E hanya diperhatikan pada sela jarak antara 40–100 meter. Jujukan JKA didapati wujud dalam ketebalan antara 10–30 meter manakala jujukan JHA berketebalan antara 10–20 meter. Jujukan-jujukan atau kitaran yang mudah tersebut biasanya berulang dan kadangkala kehadirannya tidak jelas.

### **Ketebalan Unit-unit Stratigrafi**

Ketebalan Formasi Tanjong dan Formasi Kapilit di kawasan kajian tidak dapat ditentukan secara keseluruhannya. Ketebalan Formasi Tanjong yang dianggarkan dari keratan rentas kawasan kajian adalah sekitar 6,200 m (Unit I = 2,500 m, Unit II = 2,200 m dan Unit III = 1,500 m), manakala ketebalan yang diukur di lapangan adalah sekitar 1,470 m. Pengukuran dan korelasi ketebalan formasi ini telah dibuat dengan mengambil kira faktor pengulangan jujukan. Pengukuran di lapangan telah dilakukan di kawasan-kawasan yang jelas menunjukkan jujukan menegak dan telah dipastikan tiada pengulangan jujukan. Ketebalan formasi ini mungkin lebih besar lagi dimana Unit I formasi ini masih tertabur luas di bahagian tenggara dan timur luar kawasan kajian. Dengan ini ketebalan Formasi Tanjong

dianggarkan mungkin sekitar 7,000 m.

Ketebalan Formasi Kapilit yang dianggarkan dari keratan rentas adalah sekitar 4,500 m (Unit I = 3,300 m dan Unit II = 1,200 m). Ketebalan jujukan Unit I yang diukur di lapangan adalah sekitar 2,050 m, manakala ketebalan jujukan Unit II yang diukur pula adalah sekitar 890 m. Dengan itu jumlah ketebalan yang diukur di lapangan adalah 2,940 m. Walau bagaimanapun, ketebalan formasi ini dianggarkan melebihi daripada 4,500 m kerana masih terdapat lagi taburan jujukan batuan formasi ini di bahagian utara kawasan kajian. Sekiranya tidak berlaku sesar sungkup maka tidak berlaku sebarang pengulangan jujukan peralihan dan dengan mengambilkira bahagian atas formasi ini yang terhakis, maka ketebalan asal formasi ini dianggarkan sekitar 6,500–7,000 m.

### Usia

Penentuan usia Formasi Tanjong adalah agak sukar kerana kebanyakannya mempunyai julat usia yang panjang dan tidak ada fosil petunjuk yang sesuai. Walau bagaimanapun, sampel batu lumpur dari bahagian bawah Unit III telah memberikan usia yang tepat iaitu akhir Miosen Awal (NN4) atau Awal Miosen Tengah (N8) berdasarkan kepada fosil *Helicosphaera ampliapertura* dan *Sphenolithus heteromorphus* (NN4), dan foraminifera pelagik *Globigerinoides subquadratus* dan *Globigerinoides sicanus* (N8). Oleh itu memandangkan Unit III merupakan suatu jujukan yang agak tebal maka ia mungkin telah diendapkan sehingga pertengahan Miosen Tengah iaitu dari 17–14 Jd. Memandangkan julat usia bagi unit-unit lain agak panjang maka usia Unit III tersebut telah dijadikan sebagai pengawal bagi menafsir usia unit-unit lain dan seterusnya menentukan usia Formasi Tanjong yang sesuai. Unit I difikirkan mungkin telah diendapkan pada masa rebakan Laut Sulu iaitu pada Miosen Awal(?). Maka dengan itu had bawah usia Formasi Tanjong ditafsirkan sebagai Miosen Awal. Dua sampel batu lumpur dari unit ini juga mencadangkan usia Miosen Awal. Ini menunjukkan bahawa Formasi Tanjong mungkin telah diendapkan sejak Miosen Awal hingga Miosen Tengah. Usia had atas tersebut telah dikorelasikan dengan 'Deep Regional Unconformity' (DRU).

Julat usia yang diperolehi bagi Formasi Kapilit adalah panjang iaitu sekitar Miosen hingga Resen. Walau bagaimanapun, memandangkan Formasi Kapilit adalah lebih muda daripada Formasi Tanjong dan setelah membuat korelasi secara rantau dengan sejarah pengendapan sedimen Jalur Dalam bahagian Barat Sabah dan Laut Sulu, maka telah ditafsirkan bahawa usia Formasi Kapilit sekitar Miosen Tengah hingga awal Miosen Akhir.

Usia had atasnya telah dikorelasikan dengan 'Shallow Regional Unconformity' (SRU).

## PERBINCANGAN DAN EVOLUSI SEKITARAN PENGENDAPAN

### Stratigrafi

Kajian ini telah mengubahsuai stratigrafi dan taburan batuan kawasan kajian. Kawasan kajian terdiri daripada dua formasi iaitu Formasi Tanjong yang berusia Miosen Awal hingga awal Miosen Tengah dan Formasi Kapilit yang berusia Miosen Tengah hingga awal Miosen Akhir. Taburan batuan formasi-formasi tersebut telah dipetakan semula. Kawasan kajian sebelum ini telah dipetakan kepada tiga formasi iaitu Formasi Tanjong, Kalabakan dan Kapilit oleh Collenette (1965), walaupun tidak ada hubungan geologi atau stratigrafi yang jelas dapat membezakan di antara ketiga-tiga formasi tersebut. Diskripsi batuan yang diberikan bagi formasi-formasi tersebut juga adalah lebih kurang sama dan hanya dibezakan dari segi kedominan fasies batuan.

Taburan batuan Formasi Tanjong dan Kapilit juga telah diubahsuai. Kawasan yang dahulunya dipetakan sebagai Formasi Tanjong kini dipetakan sebagai Formasi Kapilit yang lebih muda manakala kawasan yang dahulunya dipetakan sebagai Formasi Kapilit kini dipetakan sebagai Formasi Tanjong yang lebih tua. Kedua-dua kawasan taburan formasi tersebut jelas menunjukkan perbezaan dari segi arah kemudaan dan fasa tektonik yang telah dilaluinya. Selain daripada itu intergrasi antara data lapangan dan tafsiran gambar udara serta imej radar (SAR) jelas menunjukkan kedudukan superposisi antara kedua-dua unit batuan formasi tersebut. Kawasan selatan dan timur kawasan kajian sepatutnya terdiri daripada formasi yang lebih tua iaitu Formasi Tanjong manakala bahagian tengah kawasan kajian pula seharusnya terdiri daripada Formasi Kapilit yang lebih muda. Kawasan yang diliputi oleh Formasi Tanjong sekarang adalah lebih rencam dari segi struktur dan litologinya yang lebih terancang berbanding dengan kawasan yang diliputi oleh Formasi Kapilit sekarang.

Sempadan stratigrafi di antara kedua-dua formasi tersebut adalah kurang jelas dan ditafsirkan bagi ketakselarasan bersudut rendah. Pembahagian jujukan sedimen dalam Formasi Tanjong kepada tiga unit stratigrafi adalah meyakinkan terutamanya kerana ia jelas menunjukkan perubahan litologi di lapangan. Ketiga-tiga unit tersebut mempunyai taburan yang luas yang boleh dipetakan dan diwakili oleh keratan-keratan penjenis yang sesuai. Berdasarkan

kepada ini unit-unit jujukan batuan tersebut mungkin boleh dipetakan dan dikelaskan kepada tiga Ahli. Bagi menaikkan taraf unit-unit jujukan batuan tersebut kepada Ahli maka kajian lanjutan adalah dicadangkan.

Stratigrafi kawasan kajian memberi implikasi bahawa stratigrafi kawasan sekitarnya perlu dikaji semula dan diubahsuai mengikut hasil kajian sekarang. Sekiranya stratigrafi baru ini dapat dikembangkan dan boleh digunakan di kawasan-kawasan sekitarnya dan lembangan-lembangan lain yang mengandungi sedimen yang sama maka seterusnya stratigrafi Sabah perlu diubahsuai juga.

### Sedimentologi

Pengkaji-pengkaji terdahulu kebanyakannya berpendapat bahawa sekitaran pengendapan kawasan kajian adalah sekitaran deltaik iaitu berdasarkan kepada kehadiran batu arang dan lumpur berkarbon. Walau bagaimanapun, berdasarkan kepada analisis asosiasi fasies dan asosiasi jujukan serta kajian fosil menunjukkan bahawa terdapat perubahan persekitaran pengendapan dari neritik hingga ke deltaik/fluvio-deltaik dan sebaliknya. Ini ditunjukkan oleh kehadiran tiga unit jujukan batuan dalam Formasi Tanjong iaitu Unit I yang ditafsirkan sebagai endapan bahagian neritik, Unit II diendapkan di sekitaran fluvio-deltaik, manakala Unit III pula diendapkan di sekitaran neritik dalam. Perubahan sekitaran ini menggambarkan berlakunya keadaan transgresif dan regresif. Formasi Kapilit pula menunjukkan bahawa Unit I adalah diendapkan di sekitaran deltaik manakala Unit II diendapkan di sekitaran neritik. Bahagian atas Unit I Formasi Kapilit ini juga menunjukkan sekitaran transisi antara deltaik ke neritik. Perubahan sekitaran pengendapan tersebut ditafsirkan mungkin disebabkan oleh perubahan paras laut global dan akibat aktiviti tektonik di kawasan kajian.

Kajian-kajian rantau terdahulu telah menganggap bahawa sedimen yang meliputi lembangan-lembangan membulat di Sabah adalah lebih didominasi oleh jujukan berarenit. Akan tetapi pengukuran litolog-litolog di Lembangan Malibau yang diliputi oleh Formasi Kapilit menunjukkan bahawa secara keseluruhan ianya didominasi oleh jujukan berargilit manakala batu pasir yang tebal hingga masif hanya wujud secara jarang-jarang sahaja. Kajian terdahulu juga telah menganggap bahawa sedimen-sedimen yang meliputi Lembangan-lembangan Neogen telah diendapkan dalam satu lembangan pada jangkamasa yang sama. Akan tetapi kajian sekarang mendapati bahawa proses pengendapan kawasan ini telah dikawal oleh perubahan relatif paras laut dan kesan tektonik sejak Miosen Awal

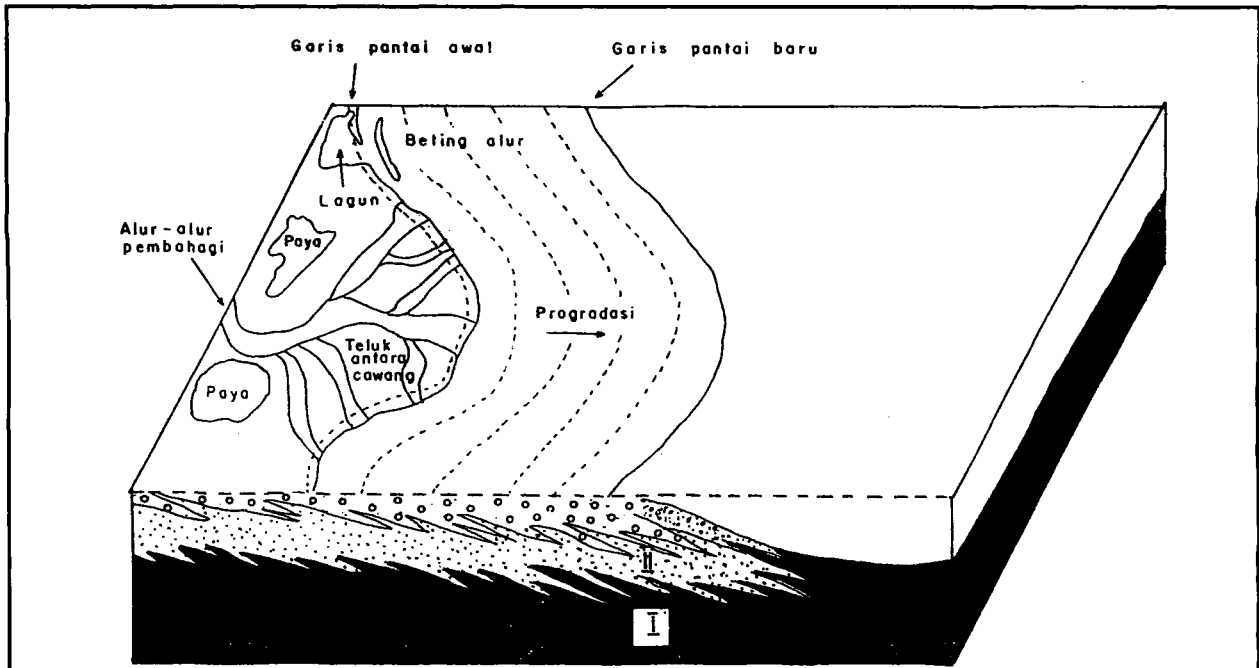
hingga awal Miosen Akhir, dimana Formasi Tanjong telah diendapkan dahulu dan diikuti oleh proses pengendapan Formasi Kapilit.

Analisis arus kuno menunjukkan bahawa arah arus kuno kawasan kajian adalah dari arah barat laut dan barat kawasan kajian manakala punca sedimen adalah dari Formasi Crocker dan Sapulut. Rekod arah arus kuno kawasan kajian sebelum ini tidak ada. Sekitaran pengendapan dari fluvio-deltaik, deltaik hingga neritik menunjukkan sekitaran pengendapan yang sangat luas yang seharusnya turut meliputi kawasan-kawasan sekitarnya. Oleh itu sedimen-sedimen yang meliputi kawasan sekitar kawasan kajian juga turut diendapkan dalam persekitaran yang sama. Ini mencadangkan bahawa kawasan-kawasan Sinklin Sesui, Luis, Serudong dan Selimpoon adalah diliputi oleh Formasi Tanjong, manakala kawasan-kawasan Lembangan Maliau, Bangan, Kuamut dan Bukit Garam ditafsirkan diliputi oleh Formasi Kapilit. Kehadiran sedimen yang tebal dalam lembangan-lembangan tersebut menunjukkan kadar pengendapan sedimen yang sangat tinggi dan mungkin proto-lembangan asal telah mengalami penurunan dari masa ke semasa.

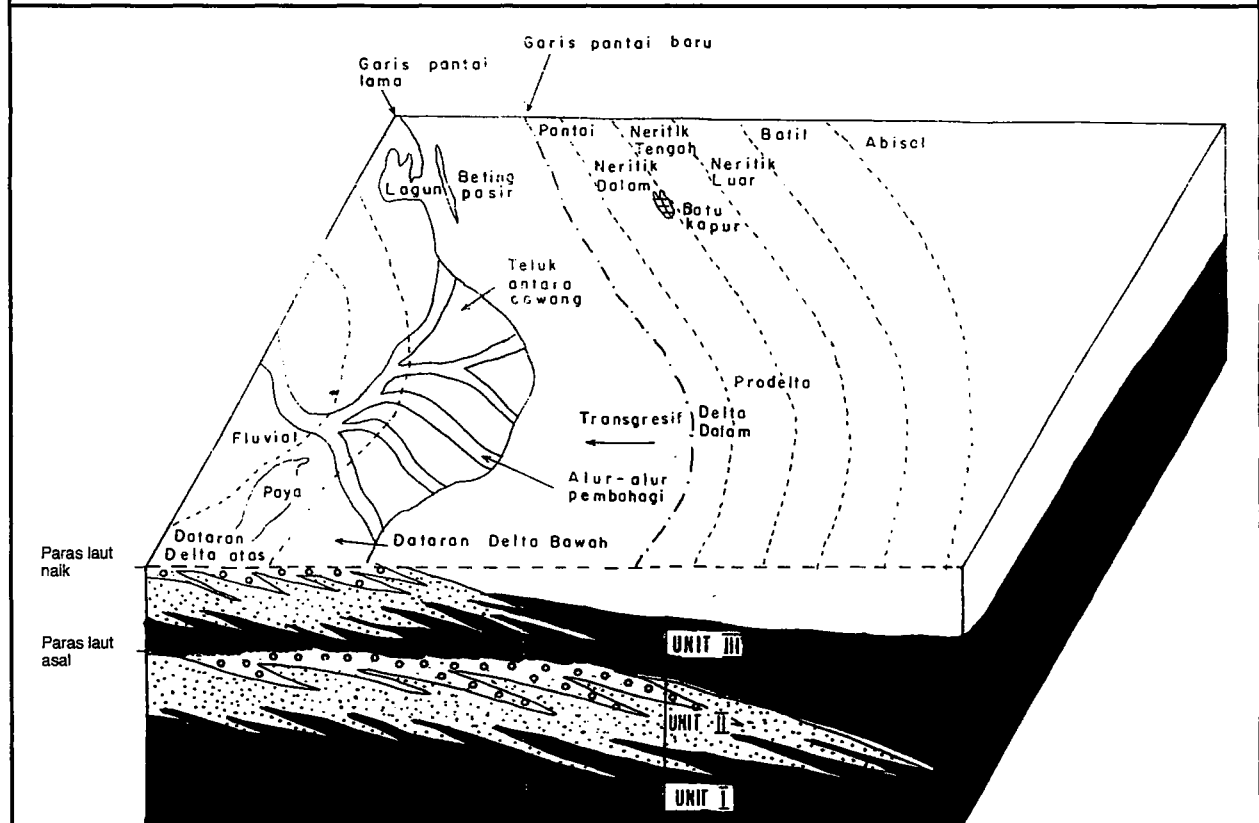
### Evolusi Sekitaran Pengendapan

Berdasarkan kepada maklumat stratigrafi dan sedimentologi telah dibincangkan hasil daripada kajian ini maka tafsiran model sekitaran pengendapan sedimen kawasan kajian ditunjukkan dalam Rajah 7. Sejarah pengendapan sedimen di sekitar kawasan kajian telah bermula sejak sebelum pembukaan Laut Sulu, yang mana kawasan kajian sehingga Laut Sulu merupakan persekitaran laut dalam dan dipercayai telah diendapkan oleh sedimen turbidit Formasi Labang dari Oligosen hingga awal Miosen Awal. Rebakan Laut Sulu telah bermula sejak Miosen Awal dan ini telah menyebabkan proses penipisan kerak lautan sehingga ke kawasan kajian. Proses rebakan dan penipisan kerak lautan yang berterusan telah menyediakan lembangan pengendapan yang agak luas sehingga ke sekitar kawasan kajian. Pada masa inilah telah berlaku pengendapan sedimen Unit I Formasi Tanjong yang menunjukkan keadaan pengendapan agradasi sederhana hingga tinggi di sekitaran laut neritik. Pengendapan fasies batu lumpur dengan lapisan nipis batu lodak atau batu pasir halus adalah sangat dominan.

Seterusnya pembukaan (rekahan) Laut Sulu telah berlaku dalam tren barat laut-tenggara sejak 20 hingga 19 Jd, maka pembentukan endapan-endapan olistostrom dan melange seperti Formasi-formasi Garinono, Ayer dan Kuamut telah berlaku di bahagian timur Sabah. Pembukaan Laut Sulu tersebut difikirkan mungkin menjadi semakin



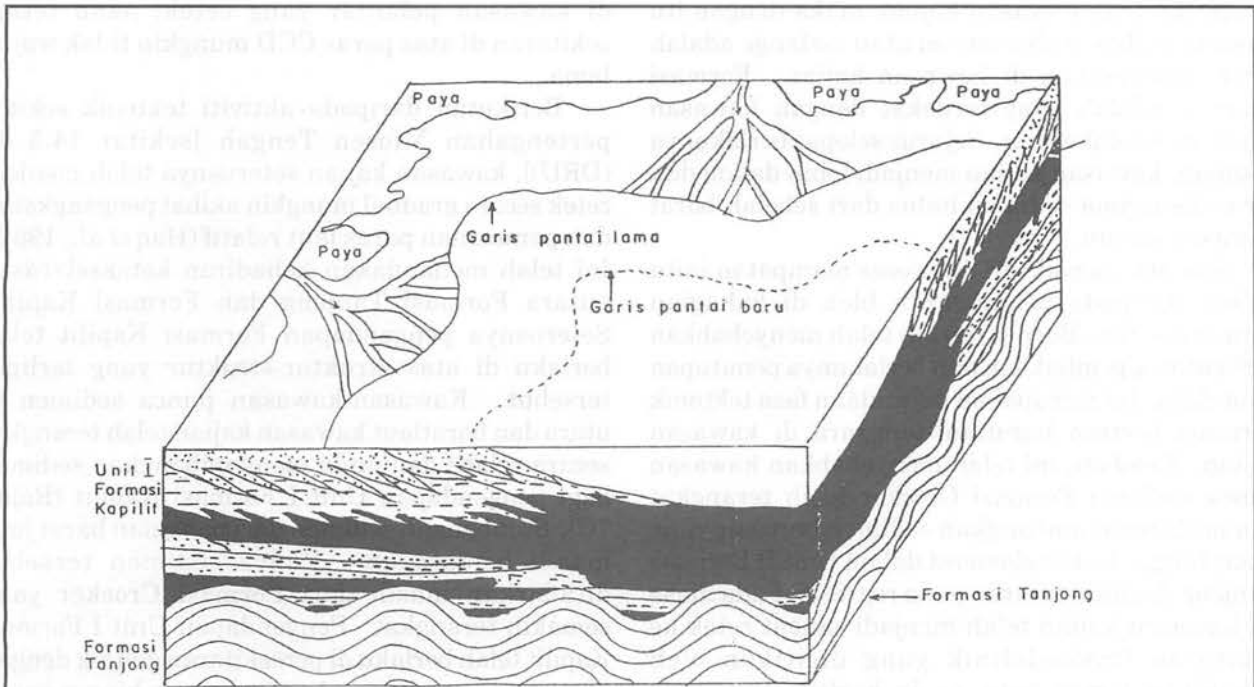
**A:** Pengendapan Unit I dan II Formasi Tanjong yang saling menajari. Unit I diendapkan di sekitaran neritik manakala Unit II diendapkan di sekitaran fluvio-deltaik. Pengendapan delta berprogradasi.



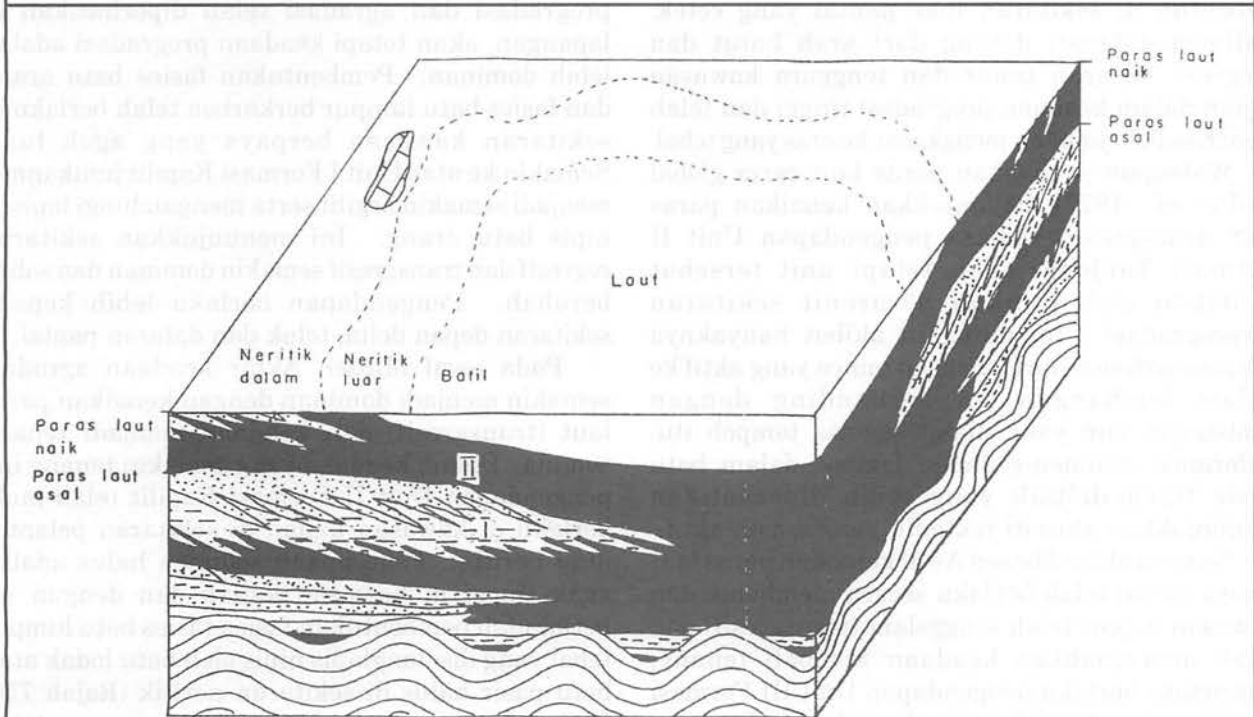
**B:** Transgresif telah menyebabkan pengendapan Unit III Formasi Tanjong di atas Unit II di sekitaran neritik

**Rajah 7A & 7B.** Model evolusi sekitaran pengendapan sedimen kawasan kajian (tidak berdasarkan kepada sekil).





**C:** Pengendapan sedimen Unit I Formasi Kapilit di sekitaran detail di atas Formasi Tanjong yang terlipat punca sedimen datang dari utara dan barat kawasan kajian.



**D:** Pengendapan sedimen Unit II Formasi Kapilit di sekitaran neritik akibat kenaikan paras laut. Pembentukan batu kapur berlaku di kawasan pelantar yang cetek.

**Rajah 7C & 7D.** Model evolusi sekitaran pengendapan sedimen kawasan kajian (tidak berdasarkan kepada sekelil).

sempit ke arah kawasan kajian, maka dengan itu taburan endapan olistostrom atau melange adalah tidak diperhatikan di kawasan kajian. Formasi Kuamut adalah yang terdekat dengan kawasan kajian di sebelah timur. Sejurus selepas berlakunya rekahan, kawasan kajian menjadi lebih dalam dan terus menerima sedimen halus dari sebelah barat kawasan kajian.

Seterusnya pada 18 Jd proses mampatan iaitu akibat daripada pelanggaran blok di bahagian barat laut-utara Borneo (18 Jd) telah menyebabkan berhentinya pembukaan dan berlakunya penutupan Laut Sulu. Ini merupakan permulaan fasa tektonik pertama bertren barat laut-tenggara di kawasan kajian. Keadaan ini telah menyebabkan kawasan punca sedimen Formasi Crocker lebih terangkat dan mula menyumbangkan sedimen berpasir yang kasar hingga ke konglomerat dalam Unit II Formasi Tanjong dalam sekitaran yang regresif. Pada masa ini kawasan kajian telah menjadi sangat cetek ke sekitaran fluvio-deltaik yang dicirikan oleh kehadiran fasies batu pasir berlapis silang (beriak), fasies batu pasir beralur dan fasies konglomerat (Rajah 7A). Pembentukan fasies batu arang dan fasies batu lumpur berkarbon telah berlaku di sekitaran berpaya manakala sedikit fasies batu kapur berpasir atau berlumpur telah terbentuk di sekitaran luar pantai yang cetek. Sedimen didapati datang dari arah barat dan bergerak ke arah timur dan tenggara kawasan kajian dalam keadaan progradasi tinggi dan telah menghasilkan jujukan mengkasar ke atas yang tebal.

Walaupun perubahan paras laut carta global Vail *et al.* (1977) menunjukkan kenaikan paras laut (transgresif) semasa pengendapan Unit II Formasi Tanjong, akan tetapi unit tersebut dicirikan oleh jujukan berarenit sekitaran berprogradasi. Ini mungkin akibat banyaknya bekalan sedimen dari kawasan punca yang aktif ke dalam lembangan ini berbanding dengan lembangan lain yang dikaji semasa tempoh itu. Deformasi sedimen-sedimen lembut dalam batu pasir fluvio-deltaik yang telah diperhatikan menunjukkan aktiviti tektonik yang masih aktif.

Semasa akhir Miosen Awal kenaikan paras laut secara global telah berlaku secara mendadak dan kawasan kajian telah tenggelam (transgresif) dan telah menyebabkan keadaan kembali tenang, seterusnya berlaku pengendapan Unit III Formasi Tanjong yang terdiri daripada sedimen dominasi lumpur yang telah berlaku sehingga awal Miosen Tengah di sekitaran prodelta hingga neritik (Rajah 7B). Kehadiran fosil kesan *paleodictyon sp.* pada bahagian bawah Unit III menunjukkan persekitaran laut dalam (batil) yang seterusnya telah berubah ke sekitaran neritik. Pembentukan batu lumpur berkapur yang nipis juga telah berlaku

di kawasan pelantar yang cetek, akan tetapi sekitaran di atas paras CCD mungkin tidak wujud lama.

Berikutan daripada aktiviti tektonik sekitar pertengahan Miosen Tengah [sekitar 14.5 Jd (DRU)], kawasan kajian seterusnya telah menjadi cetek secara gradual mungkin akibat pengangkatan dan penurunan paras laut relatif (Haq *et al.*, 1987). Ini telah menandakan kehadiran ketakselarasan antara Formasi Tanjong dan Formasi Kapilit. Seterusnya pengendapan Formasi Kapilit telah berlaku di atas struktur-struktur yang terlipat tersebut. Kawasan-kawasan punca sedimen di utara dan barat laut kawasan kajian telah terangkat secara relatif dan mula menyumbangkan sedimen bagi pengendapan Unit I Formasi Kapilit (Rajah 7C). Sumbangan sedimen dari bahagian barat juga masih berterusan. Punca sedimen tersebut ditafsirkan masih dari Formasi Crocker yang semakin terangkat. Pengendapan Unit I Formasi Kapilit telah berlaku di persekitaran deltaik dengan punca sedimen datang dari arah utara hingga barat. Pada peringkat awal, punca sedimen berpasir adalah agak tinggi dimana pengendapan fasies batu pasir berlapis silang telah berlaku dalam keadaan progradasi sederhana hingga tinggi. Walaupun ciri-ciri pengendapan dalam keadaan progradasi dan agradasi telah diperhatikan di lapangan, akan tetapi keadaan progradasi adalah lebih dominan. Pembentukan fasies batu arang dan fasies batu lumpur berkarbon telah berlaku di sekitaran kawasan berpaya yang agak luas. Semakin ke atas Unit I Formasi Kapilit jujukannya menjadi semakin argilit serta mengandungi lapisan nipis batu arang. Ini menunjukkan sekitaran regresif dan transgresif semakin dominan dan saling berubah. Pengendapan berlaku lebih kepada sekitaran depan delta, teluk dan dataran pantai.

Pada awal Miosen Akhir keadaan agradasi semakin menjadi dominan dengan kenaikan paras laut (transgresif) dan keadaan menjadi tenang semula. Dalam keadaan yang semakin tenang ini, pengendapan Unit II Formasi Kapilit telah mula berlaku di kawasan kajian di sekitaran pelantar atau neritik. Penerimaan sedimen halus adalah agak tinggi di kawasan kajian dan dengan itu berlakulah pembentukan fasies-fasies batu lumpur tebal yang diselanglapis nipis oleh batu lodak atau batu pasir halus di sekitaran neritik (Rajah 7D). Fasies batu pasir berlapis silang yang tebal hingga masif yang wujud secara jarang-jarang (*occasionally*) terbentuk sebagai beting-beting pasir atau sebagai gelombang pasir. Fasies batu kapur beralga dan berkoral pula terbentuk di sekitaran kawasan pelantar yang cetek dimana cahaya matahari dapat mencapai dasarnya. Ini menunjukkan wujudnya sekitaran kawasan di atas

paras CCD yang membolehkan penghasilan sedimen karbonat. Batu kapur gersik juga didapati terbentuk di kawasan-kawasan yang kurang stabil. Bahagian atas jujukan Unit II Formasi Kapilit yang semakin berargilit menunjukkan lembangan semakin ditenggelami.

Pada pertengahan Miosen Akhir iaitu sekitar 8.5 Jd, pengendapan Unit II Formasi Kapilit mungkin telah berhenti dan penurunan paras laut global tempatan yang telah berlaku mungkin menandakan ketakselarasan pada masa ini. Selepas ini proses pengendapan mungkin tidak berlaku di kawasan kajian kerana tidak ada sedimen yang lebih muda yang ditemui di kawasan kajian dan sekitarnya. Ini adalah kerana kawasan kajian dan sekitarnya mungkin telah terangkat selepas tindakan daya deformasi berikutnya. Penulis berpendapat bahawa morfologi struktur yang diperhatikan sekarang telah terbentuk dalam keseluruhan Formasi Tanjong dan Formasi Kapilit yang telah diendapkan dalam suatu proto-lembangan yang besar. Sejurus selepas pengangkatan dan proses hakisan yang sangat tinggi sebahagian daripada bahagian atas Formasi Kapilit di kawasan kajian telah terhakis dan kini hanya tinggal beberapa struktur subbulat sahaja di bahagian pedalaman Sabah yang tersusun dalam arah timurlaut-baratdaya dan dikenali sebagai Lembangan-lembangan Maliau, Malibau, Bangan, Kuamut dan Bukit Garam. Kebanyakan daripada sedimen yang telah terhakis tersebut telah diangkut dan diendapkan di dasar Laut Sulawesi sekarang.

## KESIMPULAN

Stratigrafi kawasan kajian telah diubahsuai dimana ianya terdiri daripada Formasi Tanjong yang berusia Miosen Awal hingga awal Miosen Tengah dan Formasi Kapilit yang berusia pertengahan Miosen Tengah hingga awal Miosen Akhir. Formasi Tanjong ditindih secara tidak selaras oleh Formasi Kapilit. Taburan formasi-formasi tersebut juga telah diubahsuai. Formasi Tanjong terdiri daripada tiga unit jujukan stratigrafi.

Asosiasi jujukan dalam Formasi Tanjong menunjukkan kehadiran megajjukan yang mengkasar ke atas antara Unit I dan II dan seterusnya megajjukan yang menghalus ke atas dalam Unit III. Ini menggambarkan perubahan persekitaran pengendapan dari keadaan progradasi ke agradasi. Manakala Unit I dan II Formasi Kapilit menunjukkan kehadiran megajjukan yang menghalus ke atas yang menggambarkan sekitaran keadaan agradasi.

Ketebalan Formasi Tanjong di kawasan kajian dianggarkan sekitar 6,200 meter manakala Formasi Kapilit pula dianggarkan sekitar 4,500 meter. Ketebalan keseluruhan Formasi Tanjong dianggarkan sekitar 7,000 meter manakala Formasi Kapilit sekitar 6,500 hingga 7,000 meter.

## PENGHARGAAN

Penulis ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan dan terima kasih kepada Prof. Madya Dr. Felix Tongkul selaku penyelia program Ijazah Sarjana, yang telah memberi bimbingan, komen dan pendapat yang sangat bernilai dalam penulisan ini. Penulis juga berterima kasih kepada Jabatan Penyiasatan Kajibumi Malaysia bagi membenarkan kertas kerja ini diterbitkan.

## RUJUKAN

- BLATT, H., MIDDLETON, G. DAN MURRAY, R., 1980. *Origin of sedimentary rocks* (2nd. Ed). Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 782p.
- CLENNELL, M.B., 1992. *The mélanges of Sabah, Malaysia*. Ph.D. Thesis, University of London (unpublished).
- COLLENETTE, P., 1965. The geology and mineral resources of the Pensiangan and Upper Kinabatangan area, North Borneo. *Br. Borneo Geol. Surv. Memoir 12*.
- FITCH, F.H., 1958. The geology and mineral resources in the Sandakan area, North Borneo. *Br. Borneo Geol. Surv. Memoir 19*.
- HAQ, B.U., HARDENBOL, J. DAN VAIL, P.R., 1987. The chronology of fluctuating sea level since the Triassic. *Science*, 235, 1156-1167.
- HAZEBROEK, H.P. DAN TAN, D.N.K., 1993. Tertiary tectonic evolution of the NW Sabah continental margin. *Bull. Geol. Soc. Malaysia*, 33, 195-210.
- LEE, D.T.C., 1970. Geology of the Sandakan Peninsular, eastern Sabah. *Malaysian Geol. Surv. Rept.*, 6, 75p.
- LEONG, K.M., 1974. The geology and mineral resources of the Upper Segama Valley and Darvel Bay area, Sabah, Malaysia. *Geol. Surv. Malaysia, Memoir 4* (Revised).
- TONGKUL, F., 1991. Tectonic evolution of Sabah, Malaysia. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences. Special Issue: Orogenesis in action — Tectonics and processes at the West Equatorial Pacific Margin*, 6, 3/4, 395-406.
- VAIL, P.R., MITCHUM, R.M., JR. DAN THOMPSON, S., III, 1977. Siesmic stratigraphy and global changes of sea-level, part 3: relative change of sea-level and coastal onlap. In: Reading, H.G. (Ed.), 1986, *Sedimentary environments and Facies* (2nd Ed.). Blackwell Scientific Publications, Oxford, London.
- WILSON, R.A.M., 1960. The geology and mineral resources of the Banggi Island and Sugut River area, North Borneo. *Geol. Surv. Dept. Br. Terr. Memoir 15*.
- WILSON, R.A.M. DAN WONG, N.P.Y., 1964. The geology and mineral resources of the Labuan and Padas Valley area, Sabah. *Malaysia. Geol. Surv. Malaysia Memoir 17*.