

BAB III

TEORI DASAR

3.1. Stratigrafi Sikuen

Stratigrafi sikuen merupakan studi mengenai hubungan antar batuan dalam suatu kerangka kronostratigrafi yang berulang dan terusun oleh satuan batuan stratigrafi yang berhubungan secara genetis dengan dibatasi oleh suatu bidang erosi atau bidang nondeposisi atau bidang keseluruhan yang korelatif (van Wagoner, 1995; dalam Posamentier dkk., 1998; dalam Catuneanu, 2002). Korelasi dalam stratigrafi sikuen menggunakan konsep kesamaan waktu (*chronostratigraphy*) bukan kesamaan batuan (*lithostratigraphy*). Dengan stratigrafi sikuen, interval reservoir yang telah diketahui berdasarkan petunjuk dari komponen-komponen sikuennya akan dapat dipastikan waktu relatif pembentukannya dan hubungan antar ruangnya.

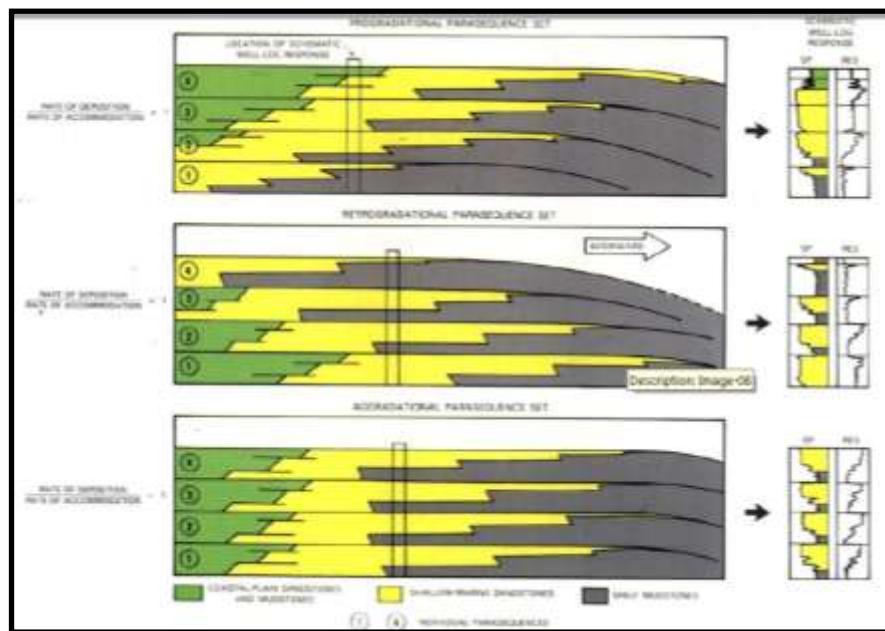
Dalam stratigrafi sikuen, istilah sikuen menunjuk pada sikuen orde 3 (tiga) yang mempunyai selang waktu 0.5-5 juta tahun (Tabel 3.1.) (Vail, 1992; dalam Handford, 1997). Sikuen tersebut diakibatkan oleh *glacio-eustatic change* dan tektonik lokal ataupun regional. Sikuen mempunyai pola tumpukan sedimen (*stacking pattern*) dan merupakan bukti dari adanya siklus *high-frequency eustatic*.

Tabel 3.1. Orde Sikuen (Vail, 1992; dalam Handford, 1997).

Order	Duration (ma)	Nomenclature	Mechanism	Sea Level Fluctuation (meters)	Rate (cm/ky)
1 st	50-350	mega sequence	global tectonics	>100	?
2 nd	5-50	supersequence	Eustacy, supply, tectonics,	50-100	1-3
3 rd	0.5-5	3 rd order sequence	Eustasy	50-100	1-10
4 th	0.05-0.5	Parasequence set	Milankovitch, sediment supply	1-150	40-500
5 th	0.01-0.05	parasequence	Milankovitch, supply, local processes	1-150	60-700
>8th	<0.01	Beds&bedsets	Local processes	<1	?

Sikuen tersebut tersusun atas komponen sikuen sebagai respons akibat perubahan muka air laut relatif (Posamentier dkk., 1988). Pembagian orde stratigrafi sikuen setiap sikuen pengendapan terdiri dari perulangan perlapisan atau hiatus atau permukaan yang selaras (van Wagoner dkk., 1990). Sikuen dibatasi secara regional oleh ketidakselarasan atau permukaan keselarasan (Mitchum dkk., 1977). Interpretasi stratigrafi sikuen dan komponen sikuennya serta horizon seperti batas sikuen (*sequence boundary*), bidang transgresi, bidang *maximum flooding Surface* (MFS), *condensed section* memerlukan pemahaman akan hubungan stratigrafi, umur, batimetri, dan fasies. Dengan demikian, terlihat bahwa aspek biostratigrafi sangat penting dalam mengevaluasi stratigrafi sikuen.

Dalam stratigrafi sikuen, faktor utama yang paling mempengaruhi pengendapannya adalah suplai sedimen dan kenaikan muka air laut. Dengan diasumsikan bahwa suplai sedimen tetap, maka kecepatan muka air laut menjadi kontrol utama dalam stratigrafi sikuen. Hubungan suplai sedimen dan kenaikan muka air laut ini akan menghasilkan pola-pola penumpukan pengendapan (*stacking pattern*) seperti progradasi, retrogradasi, dan agradasi (Gambar 3.1.).



Gambar 3. 1. Pola penumpukan (*parasequence set*) progradasi, retrogradasi, dan agradasi (van Wagoner dkk., 1990).

A. Pola Penumpukan Progradasi

Pola penumpukan progradasi terjadi apabila kenaikan muka air laut relatif lebih lambat dibandingkan dengan suplai sedimen, sehingga memperlihatkan pola *shallowing upward* dan menebal ke atas. Progradasi bisa terjadi tanpa adanya kenaikan muka air laut.

B. Pola Penumpukan Retrogradasi

Kebalikannya dengan pola penumpukan progradasi, pola penumpukan retrogradasi terjadi apabila kenaikan muka air laut relatif lebih cepat dibandingkan dengan suplai sedimen, sehingga memperlihatkan pola *deepening upward* dan menipis ke atas.

C. Pola penumpukan Agradasi

Berbeda dengan pola penumpukan progradasi dan retrogradasi, pola penumpukan agradasi tidak menunjukkan pola menipis atau menebal, polanya relatif sama. Hal ini terjadi karena kecepatan kenaikan muka air laut relatif sama dengan suplai sedimen.

3.1.1. Komponen-Komponen Dalam Stratigrafi Sikuen

Stratigrafi sikuen memiliki komponen-komponen penting seperti, *sequence boundary* (SB), *maximum flooding surface* (MFS), dan *system tract*.

A. *Sequence Boundary (SB)*

Sequence boundary atau batas sikuen adalah bidang ketidakselarasan yang memisahkan endapan yang berumur lebih muda dengan endapan yang berumur lebih tua, dimana terdapat indikasi adanya ekspos sedimen ke permukaan (van Wagoner, 1995; dalam Catuneanu, 2002). *Sequence boundary* (SB) merupakan horizon yang memiliki bidang ketidakselarasan yang korelatif dengan bidang yang selaras dan menjadi batas untuk satu sikuen. Bidang ketidakselarasan ini merupakan bidang erosi yang menunjukkan bahwa bidang tersebut pernah tersingkap sedangkan bagian yang selaras menunjukkan bahwa bidang tersebut tidak tersingkap.

B. Maximum Flooding Surface

Maximum flooding surface adalah bidang permukaan yang menandakan akhir dari transgresi garis pantai maksimum (Galloway, 1989). *Maximum flooding surface* (MFS) merupakan horizon yang menandai batas maksimal kecepatan naiknya muka air laut. Pada horizon ini air laut mencapai kecepatan maksimal melebihi suplai sedimen, sehingga akan terlihat pola retrogradasi. MFS juga dapat dilihat dari perubahan pola retrogradasi menjadi progradasi.

C. System Tract

System tract adalah satuan pengendapan tiga dimensional dan merupakan suatu paket sistem pengendapan seumur. *System tract* tersusun oleh sejumlah paket endapan tertentu (*parasequence set*). Masing-masing parasikuen set akan membentuk *system tract* yang berbeda. Parasikuen set ini merupakan pola penumpukan (*stacking pattern*) yang terdiri dari beberapa pola stratigrafi (*stratigraphic pattern*). Terdapat tiga *system tract* utama yang dikenal, masing-masing mencirikan tahap perubahan muka air laut yang relatif berbeda-beda, yaitu: *lowstand system tract* (LST), *transgressive system tract* (TST), dan *highstand system tract* (HST) (Gambar 3.2.).

Lowstand System Tract (LST)

System tract ini diendapkan pada periode antara penurunan muka air laut relatif pada *offlap break* dengan kenaikan muka air laut relatif yang terjadi kemudian.

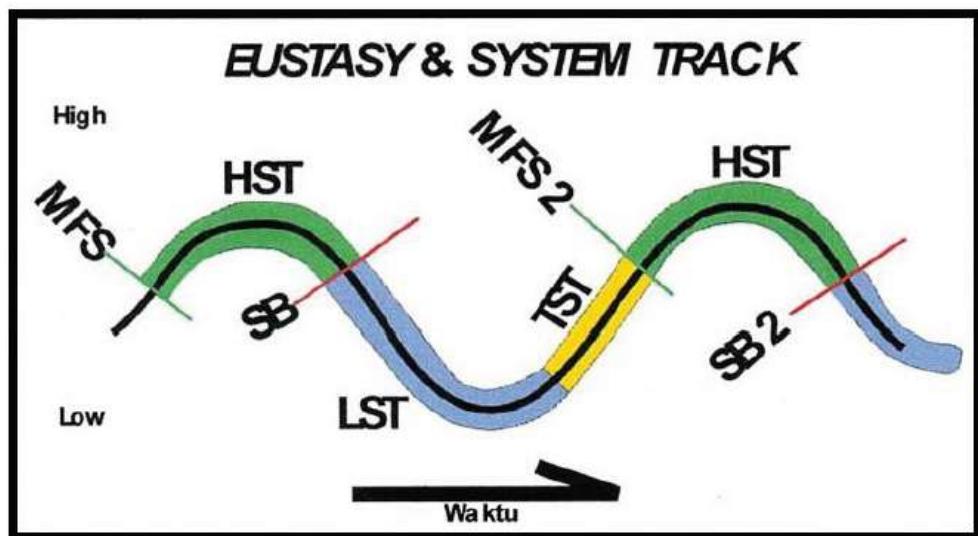
Transgressive System Tract (TST)

System tract ini terdiri atas sedimen yang diendapkan saat kenaikan relatif muka air laut lebih cepat daripada kecepatan suplai sedimen. Batas atas dari TST dicirikan oleh *maximum flooding surface* (MFS), yang menandai batas paling atas dari transgresi (Posamentier dkk., 1988).

Highstand System Tract (HST)

System tract ini terdiri atas urutan-urutan regresif yang diendapkan saat kenaikan muka air laut berkurang sampai lebih kecil daripada kecepatan suplai

sedimen. HST dibatasi pada bagian bawahnya oleh MFS dan pada bagian atasnya oleh *sequence boundary* (SB) (Posamentier dkk., 1988).



Gambar 3.2. Eustasi dan *system tract* (Posamentier dkk., 1988).

3.2. Biostratigrafi

Biostratigrafi merupakan cabang ilmu stratigrafi yang berkaitan dengan studi paleontologi pada batuan sedimen. Berbagai macam fosil dapat ditemukan dalam batuan sedimen yang diendapkan pada lingkungan berbeda. Tujuan dari analisis biostratigrafi adalah penentuan umur relatif pada batuan sedimen, penentuan lingkungan pengendapan, batimetri, paleoekologi, paleotemperatur, paleomorfologi, dan sebagai penunjuk dalam penentuan *horizon marker* untuk korelasi stratigrafi.

Satuan dasar dalam biostratigrafi adalah zona (biozona), yang merupakan suatu lapisan tubuh batuan yang dicirikan oleh kandungan fosilnya yang terdiri dari satu takson atau lebih dan dapat dibagi lagi menjadi satuan yang lebih kecil disebut dengan sub-zona. Batas-batas dari suatu zona (biozona) tidak ditentukan oleh tebal atau luas penyebaran tubuh batuan, namun berdasarkan kandungan fosilnya. Mikro dan makro fosil yang umum digunakan untuk analisis biostratigrafi antara lain foraminifera, nannofosil, spora, polen, ostracoda, diatom, radiolaria, moluska, dinoflagelata, koral, alga, dan porifera. Zona sendiri dapat dikelompokkan menjadi empat tipe, yaitu:

1. Zona Kumpulan (*Assemblage Zone*)

Lapisan batuan yang dicirikan oleh kumpulan fosil yang khas yang dapat dibedakan dalam sifat biostratigrafinya dengan lapisan yang berbatasan.

2. Zona Kisaran (*Range zone*)

Lapisan batuan yang dicirikan oleh kisaran total dari setiap unsur yang terpilih dari keseluruhan kumpulan fosil dalam urutan stratigrafi.

3. Zona Puncak (*Abundant Zone*)

Lapisan batuan yang dicirikan oleh adanya perkembangan maksimum suatu takson tertentu.

4. Zona Selang (*Interval Zone*)

Selang stratigrafi antara dua horizon biostratigrafi yang berupa kemunculan awal atau kemunculan akhir dari suatu takson-takson penciri.

3.2.1. Foraminifera

Foraminifera diklasifikasikan ke dalam Kerajaan Protista, yaitu kerajaan organisme bersel tunggal dan masuk ke dalam Filum Protozoa yang hidup secara akuatik (terutama hidup di laut), memiliki satu atau lebih kamar yang terpisah satu sama lain oleh sekat (septa) yang ditembus oleh banyak lubang halus atau foramen (Pringgoprawiro dan Kapid, 2000). Foraminifera biasanya terdapat pada batuan sedimen dan jumlahnya sangat melimpah serta memiliki peranan penting dalam analisis mikropaleontologi dan paleoekologi.

Foraminifera memiliki perkembangbiakan secara seksual maupun aseksual, hal ini dilihat dengan adanya dua bentuk yang berbeda dalam satu spesies foraminifera (dimorfisme) antara lain megalosferik dan mikrosferik. Berdasarkan ukurannya foraminifera dibagi menjadi dua kelompok, yaitu kelompok foraminifera besar dan kelompok foraminifera kecil. Namun berdasarkan cara hidupnya foraminifera dibagi menjadi dua bagian, yaitu kelompok foraminifera planktonik dan foraminifera

bentonik. Kelompok foraminifera besar pada umumnya termasuk dalam foraminifera bentonik.

Dalam analisis mikrofossil, cangkang foraminifera merupakan bagian yang terpenting. Determinasi foraminifera dilakukan berdasarkan kenampakan fisik atau morfologi cangkang serta struktur dalam cangkang. Cangkang foraminifera memiliki karakteristik tertentu yang dapat dijadikan sebagai acuan dalam identifikasi dan analisis foraminifera itu sendiri. Cangkang foraminifera bisa terdiri dari sebuah kamar atau beberapa kamar. Batas antar kamar disebut sutura dan biasanya mempunyai satu atau lebih lubang bukaan yang disebut apertur. Pada umumnya ukuran cangkang foraminifera kurang dari 1 mm kecuali foraminifera dari beberapa kelompok Rotaliina dan Fusulina. Selain susunan kamar masih terdapat beberapa karakteristik yang dapat diamati dari cangkang foraminifera antara lain bahan penyusun dinding cangkang, bentuk cangkang, jenis putaran cangkang, apertur, dan ornamentasi.

A. Foraminifera Planktonik

Foraminifera planktonik dapat digunakan dalam aplikasi mikropaleontologi dan rekonstruksi paleoceanografi. Dalam menentukan paleoekologi kegunaan foraminifera planktonik sangat terbatas, hal ini dikarenakan banyak spesies dari fosil foraminifera planktonik yang masih hidup sampai saat ini dan kemungkinan telah mengalami evolusi sehingga menghasilkan keragaman fauna yang tinggi dengan morfologi yang lebih kompleks. Selain itu foraminifera planktonik juga memiliki cara hidup dengan melayang-layang pada kolom air. Maka dari itu foraminifera planktonik lebih baik digunakan untuk penentuan paleotemperatur. Foraminifera planktonik terkadang digunakan untuk penentuan paleobatimetri (Tabel 3.2.), yaitu dibandingkan dengan foraminifera bentonik dengan melakukan perhitungan pelagik rasio dengan perhitungan:

$$\boxed{(Planktonik/Planktonik+Bentonik) \times 100\%}$$

Dalam aplikasi mikropaleontologi foraminifera planktonik sangat penting dalam penentuan umur relatif suatu tubuh batuan. Penentuan umur relatif batuan

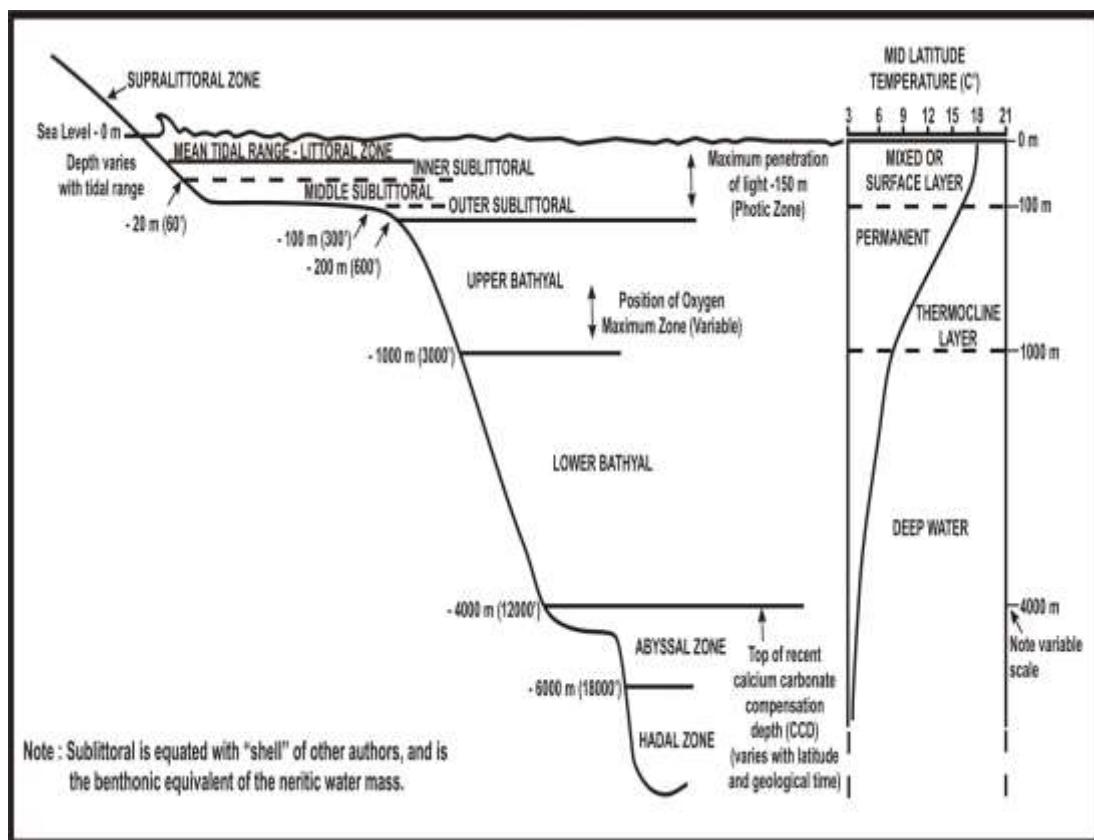
dapat kita lakukan dengan mengamati pemunculan awal dan akhir dari suatu takson yang merupakan takson indeks dari suatu umur tertentu.

Tabel 3.2. Pelagik rasio (Tipsword dkk., 1966; dalam Pringgoprawiro dan Kapid, 2000).

Lingkungan	Kedalaman(m)	Pelagik Rasio(%)
Neritik Dalam	0-20	0-20
Neritik Tengah	20-100	20-50
Neritik Luar	100-200	20-50
<i>Upper Slope</i>	200-1000	30-50
<i>Lower Slope</i>	1000-2000	50-100

B. Foraminifera Bentonik

Foraminifera bentonik terdistribusi pada hampir semua lingkungan laut dan transisi. Foraminifera bentonik merupakan indikator penting suatu lingkungan. Fosil dari foraminifera bentonik dapat kita gunakan untuk interpretasi lingkungan pengendapan purba dan paleobatimetri. Dalam penentuan paleobatimetri digunakan hubungan seperti pola fauna dalam keragaman dan kelimpahan spesies, kehadiran spesies porselen, aglutinan, serta hyalin, rasio planktonik-bentonik, kemudian kisaran kedalaman biofasies dan batas atas kedalaman dari spesies pada kedalaman yang sama (*isobathyal*). Penentuan paleobatimetri ini merupakan deskriptor penting dalam rekonstruksi lingkungan pengendapan bagi seorang ahli geologi (Gambar 3.3.).



Gambar 3.3. Klasifikasi batimetri (Hedgpeth, 1957; dalam Ingle, 1980; dalam Pringgoprawiro dan Kapid, 2000).

Beberapa spesies dari foraminifera bentonik dapat kita gunakan untuk penentuan umur relatif suatu tubuh batuan. Tidak semua batuan sedimen dapat mengandung foraminifera planktonik, seperti pada batuan sedimen yang diendapkan di tepi pantai atau di daerah Litoral. Oleh karena itu, di daerah darat hingga transisi kita dapat menggunakan data fosil lainnya, antara lain polen dan mikromoluska. Nannoplankton juga umum digunakan untuk penentuan umur relatif suatu tubuh batuan yang terdapat pada lingkungan laut.

3.2.2. Aplikasi Biostratigrafi Dalam Penentuan Stratigrafi Sikuen

Biostratigrafi memiliki peranan penting dalam menginterpretasi stratigrafi sikuen, karena dalam menginterpretasi sebuah sikuen diperlukan pemahaman akan hubungan stratigrafi, umur, dan fasies. Biostratigrafi dapat digunakan untuk mengidentifikasi permukaan kronostratigrafi, paleobatimetri/paleoekologi, kondisi iklim, mengidentifikasi horizon stratigrafi sikuen serta *system tract* yang sangat

diperlukan dalam suatu analisis stratigrafi sikuen. Tiap horizon stratigrafi sikuen dan *system tract* memiliki ciri biofasies khusus dengan konsep dasar bahwa fosil yang terkandung dalam sedimen merefleksikan proses sedimentasi sebagai pengaruh siklus fase perubahan relatif muka air laut.

1. LST (*Lowstand System Tract*)

Hadir atau meningkatnya kehadiran fauna rombakan serta pencampuran fauna spesies laut dalam dan dangkal.

2. TST (*Transgressive System Tract*)

Pada laut dangkal: Perubahan biofasies laut dangkal ke laut dalam secara gradual dan peningkatan kelimpahan totalnya.

Pada laut dalam : Peningkatan kelimpahan total biofasies.

3. HST (*Highstand System Tract*)

Pada laut dangkal: Perubahan biofasies laut dalam ke laut dangkal secara gradual.

Pada laut dalam : Perubahan biofasies laut dalam ke laut dangkal.

4. TS (*Transgressive Surface*)

Perubahan lingkungan pengendapan yang makin dalam.

5. SB (*Sequence Boundary*)

Pada laut dangkal: Perubahan biofasies laut dalam ke laut dangkal secara tiba-tiba tanpa/atau dengan perubahan ekologi, adanya biozona yang hilang, perubahan iklim panas ke dingin, perubahan pola kehadiran fauna rombakan dan *displaced*, perubahan komposisi fauna yang tiba-tiba atau penurunan kelimpahannya.

Pada laut dalam : Perubahan iklim panas ke dingin, perubahan pola fauna rombakan dan *displaced*.

6. MFS (*Maximum Flooding Surface*)

Berasosiasi dengan maksimum kedalaman dan dicirikan oleh maksimum kelimpahan dan/atau keragaman totalnya.

Pada laut dangkal: Adanya *influx* biofasies laut dalam dengan maksimum kelimpahan dan/atau keragaman totalnya berada diatas bidang MFS.

Pada laut dalam : Umumnya berasosiasi dengan *condensed section* dan dicirikan oleh maksimum kelimpahan dan/atau keragaman totalnya yang terletak di bawah bidang MFS.

3.3. Log Sumur

Data log sumur dapat digunakan dalam identifikasi litologi, elektrofasies (model pengendapan), dan korelasi. Data log sumur yang digunakan dalam penelitian ini adalah sinar gamma (GR).

Log GR digunakan untuk berbagai keperluan dalam penelitian ini, yaitu: penafsiran litologi, penafsiran elektrofasies, dan korelasi sikuen stratigrafi. Penafsiran litologi didasarkan atas sifat radioaktifitas dari batuan. Pada umumnya batuempung akan memiliki nilai GR yang tinggi, sedangkan batupasir memiliki GR rendah. Nilai GR yang tinggi pada batuempung disebabkan oleh kandungan mineral feldspar dan mineral lempung yang lebih tinggi dibandingkan pada batupasir.

Elektrofasies merupakan analisis fasies menggunakan data-data log. Menurut Selley (1978) dalam Walker dan James (1992), log *gamma ray* mencerminkan variasi dalam suatu suksesi ukuran besar butir. Suatu suksesi ukuran besar butir tersebut menunjukkan perubahan energi pengendapan (Levy, 1991). Tiap-tiap lingkungan pengendapan menghasilkan pola energi pengendapan yang berbeda. Gambar 3.4. memperlihatkan lima pola bentuk dasar kurva log GR sebagai respon terhadap proses pengendapan, yaitu *blocky-shape* (bentuk prisma), *bell-shape* (bentuk lonceng), *symmetrical, serrated*, dan *funnel-shape* (bentuk corong).

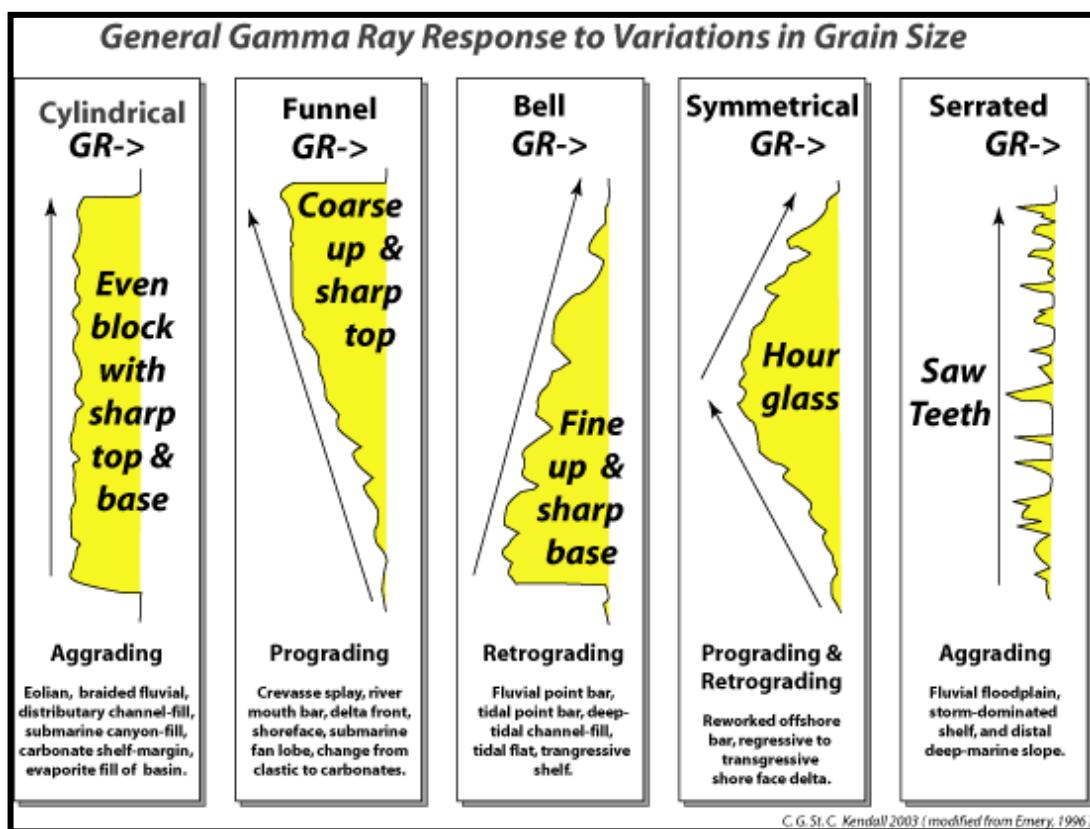
Pola tabung (*blocky*) dicirikan dengan nilai GR yang rendah dengan batas atas dan bawah yang tajam. Pola ini umumnya terdapat pada batupasir *fluvial channel*, endapan turbidit, batupasir aeolian, dan evaporit.

Pola corong (*funnel* atau *cleaning upward trend*) memiliki perubahan nilai GR dari tinggi menuju semakin rendah secara berangsur ke atas. Perubahan ini merefleksikan perubahan dari ukuran butir halus menjadi lebih kasar, peningkatan energi pada saat pengendapan, dan proses pendangkalan secara vertikal ke atas. Pada daerah laut dalam, pola ini merefleksikan peningkatan butiran kasar pada tubuh turbidit. Selain itu, dapat juga mengindikasikan adanya perubahan secara berangsur dari pengendapan klastik ke karbonat.

Pola lonceng (*bell* atau *dirtying upward trend*) mencerminkan peningkatan nilai GR secara berangsur ke atas. Perubahan ini merefleksikan perubahan litologi menghalus ke atas. Pola ini secara tidak langsung menunjukkan penurunan energi pengendapan. Pada daerah non-marin, pola ini didominasi pada endapan *meander* atau *tidal distributary channel*. Pada lingkungan laut dangkal, pola ini umumnya merefleksikan pendalaman dan penurunan energi pengendapan.

Pola bergerigi (*serrated* atau *irregular trend*) merepresentasikan agradasi dari batulempung atau batulanau. Keterdapatannya dapat diamati di semua lingkungan pengendapan.

Korelasi didasarkan pada pola respons dari log GR dengan mengacu pada konsep stratigrafi sikuen. Nilai puncak GR pada batulempung merepresentasikan *condensed section* (*maximum flooding surface* pada stratigrafi sikuen), yang merupakan garis waktu dan dapat berguna sebagai *marker*. Perubahan nilai GR dari tinggi tiba-tiba menjadi rendah secara vertikal ke atas dapat diinterpretasi sebagai batas sikuen (*sequence boundary*).



Gambar 3.4. Pola respons dari log GR (Kendall, 2003).