Bionatura-Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fisik
ISSN 1411 - 0903
Vol. 15, No. 1, Maret 2013: 8 - 13

SEDIMENTOLOGI DAN PALEOHIDROLOGI SEDIMEN FLUVIAL OLIGOSEN FORMASI WALAT, SUKABUMI-JAWA BARAT

Sunardi, E. dan Adhiperdana, B.G.

Laboratorium Sedimentologi dan Geologi Kuarter, Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran Jalan Raya Bandung-Sumedang Km. 21 Jatinangor 45363
E-mail: edysunardi@unpad.ac.id

ABSTRAK

Penelitian sedimentologi dan estimasi parameter paleohidrologi pada batuan sedimen fluvial Formasi Walat yang berumur Oligosen, meng- ungkap sejarah sedimentasi sungai purba serta perkembangan cekungan fluvial. Parameter paleohidrologi yang penting sebagai faktor penentu interaksi dengan sedimentasi fluvial adalah sinusitas sungai, kedalaman tepian sungai, lebar kanal sungai, panjang gelombang sinusitas sungai, lebar jalur multi kanal *(channel belt)*, dan debit tahunan. Objek penelitian ini diwakili pada tiga lokasi singkapan sayatan stratigrafi terpilih dari tua ke muda yaitu di Cantayan, Pasir Pogor dan Kadupugur. Bagian dari sejarah sedimentasi fluvial menunjukkan perkembangan sinusitas kanal fluvial menjadi semakin lemah, dan sungai berubah menjadi lebih bersifat menganyam. Hal ini sejalan dengan kondisi kanal-jalur multi kanal yang semakin lebar dan dalam. Proporsi fasies berbutir kasar relatif bertambah pada tiap suksesi sedimen sistem kanal. Keadaan ini mencerminkan suplai sedimen yang relatif meningkat melampaui kapasistas akomodasi cekungan *(low non-marine accomodation)*, serta perkembangan cekungan fluvial menjadi relatif lebih proksimal. Faktor yang mengontrol kondisi ini kemungkinan ber- kaitan dengan kondisi muka laut yang relatif rendah sepanjang Paleogen, dan perubahan iklim global dari kondisi rumah kaca menjadi icehouse di sekitar Kala Eosen-Oligosen.

Kata kunci: Formasi Walat, Paleogen, Sungai Purba, Paleohidrologi, Sistim Fluvial

ABSTRACT

The current study on sedimentology and paleo-hydrologic estimation of the Oligocene fluvial Walat Formation has revealed the sedimentation development of fluvial sinuosity decreased, and the river became into more braided upsection. Moreover, channel and channel belt width become wider and deeper upsection, and the proportion of coarse-grained facies relatively increase in each successive channel deposits. This situation represents the relative sediment supply increases beyond the capacity of the accommodation (low non-marine accommodation), moreover the development of the fluvial basin becomes relatively more proximal upsection. The controlling factors might be attributed to sea level drop throughout the Palaeogene, and global climate change from greenhouse to Icehouse conditions at the Eocene-Oligocene time.

Key words: Walat Formation, Paleogene, Ancient River, Paleohydrology, Fluvial System

PENDAHULUAN

Formasi Walat yang tersingkap di Sukabumi adalah *equivalent* dari Formasi Bayah (Martodjojo, 2003) yang berumur Oligosen (Gambar 1). Secara regional Formasi Walat atas dasar seting iklim global dan fase tektonik regional di Asia Tenggara (Gambar 1) mempunyai kandungan Oksigen Isotop ($\delta^{18}O$) bervariasi dari 2-3% (Baumann, dkk. 1973). Penyelidik terdahulu memberikan nama Formasi Walat (Effendi, 1974) untuk singkapan di G. Walat dan Pasir Bongkok. Di selatan Sukabumi, singkapan Formasi Walat yang terluas terdapat di G. Walat. Ketebalan minimum dari satuan ini adalah sekitar 700 m (Baumann, 1972). Singkapan Formasi Walat lain yang agak terpisah berada di sebelah tenggara G. Walat yang juga sering dikenal sebagai Kompleks Pasir Aseupan.

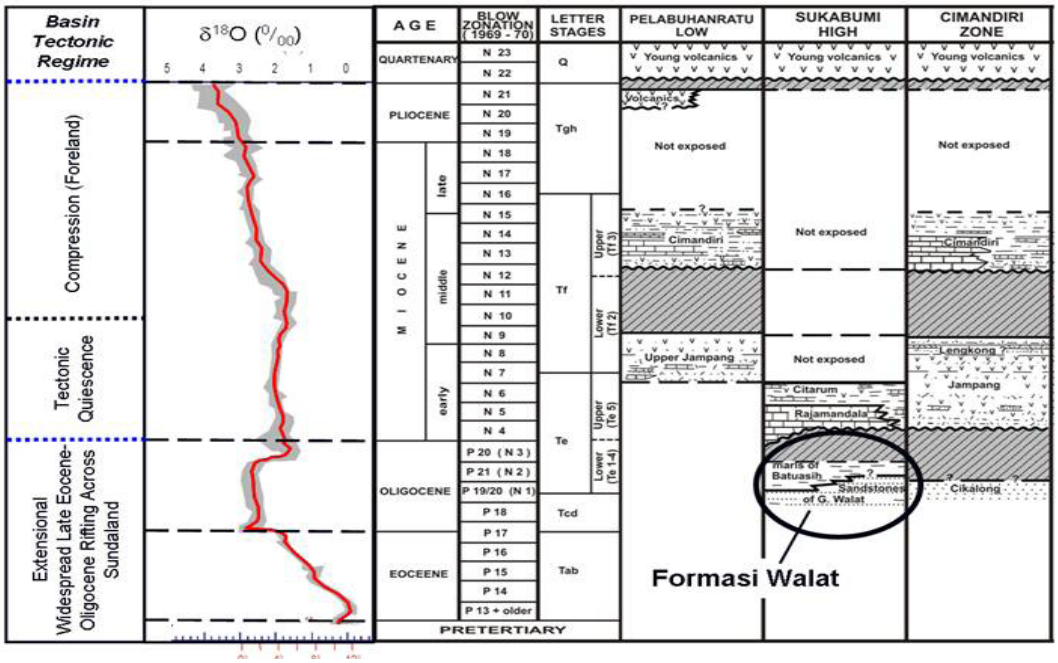
Formasi Walat di daerah ini umumnya terdiri dari perselingan antara batupasir, konglomerat dan batulempung yang mengandung batubara. Batupasir umumnya konglomeratan atau konglomerat pasiran. Berdasarkan ciri litologi serta banyaknya sisipan batubara, lingkungan pengendapan Formasi Walat menunjukkan darat yang berhubungan dengan sedimentasi di lingkungan sungai atau fluvial.

Paleohidrologi dapat didefinisikan sebagai sains mengenai air yang ada di bumi, komposisi, distribusi dan perpindahannya pada lanskap purba, yang melibatkan sejak adanya hujan, erosi dan transportasi sedimen pada cekungan drainase. Studi-studi hidrologi dan geomorfologi sungai menjadi dasar dari penafsiran paleohidrologi di lingkungan fluvial dan sedimentasinya (Schumm, 1968). Morfologi kanal sungai ditentukan oleh perilaku air dan tipe sedimen yang melaluinya.

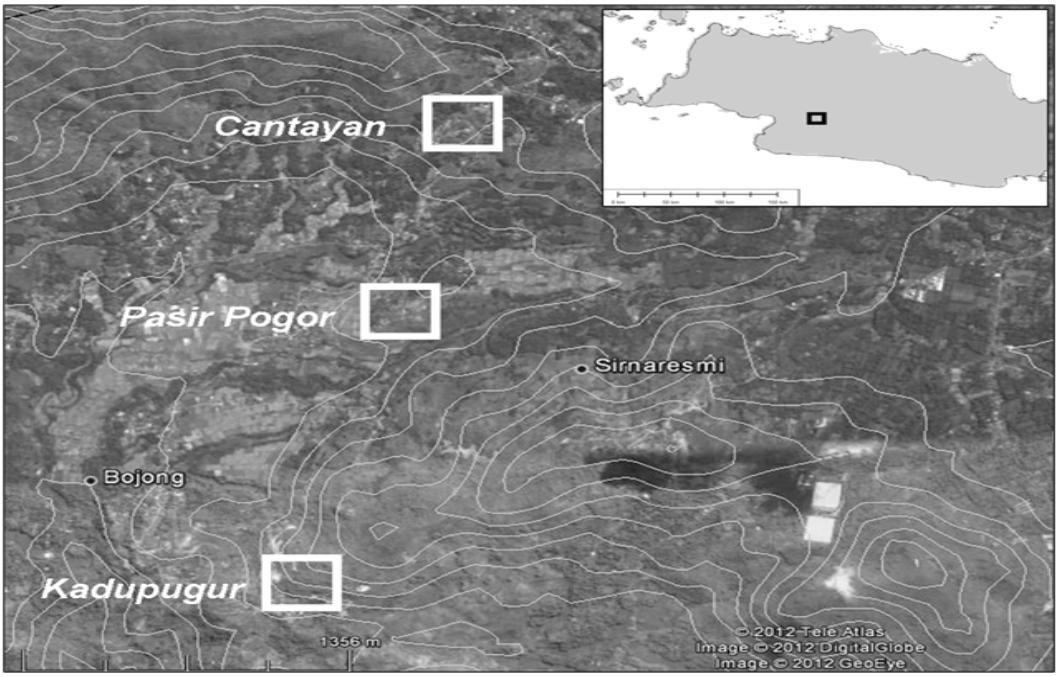
Aspek-aspek paleohidrologi sungai purba yang penting sebagai faktor penentu interaksi dengan sedimentasi fluvial adalah sifat sinusitas sungai, kedalaman tepian sungai, lebar kanal sungai, panjang gelombang sinusitas sungai, lebar jalur multi kanal (*channel belt*), dan debit tahunan.

Tujuan dari penelitian sedimentologi ini adalah untuk mengetahui perubahan parameter paleohidrologi sungai purba dan pola sedimentasinya seiring dengan perkembangan pengisian cekungan fluvial.

Studi sedimentologi dan paleohidrologi endapan sungai purba Formasi Walat berumur Oligosen ini diwakili pada tiga lokasi sayatan stratigrafi terpilih dari bagian paling bawah di Cantayan ke penampang stratigrafi di atasnya di Pasir Pogor dan penampang stratigrafi paling atas pada penampang Kadupugur (Gambar 2). Secara vertikal, urutan ketiga lokasi tersebut berturutan merepresentasikan perkembangan sedimentasi pada cekungan fluvial Formasi Walat.



Gambar 1. Ikhtisar stratigrafi regional dibandingkan dengan seting iklim global dan fase tektonik regional di Asia Tenggara, modifikasi berdasarkan Doust dan Sumner (2007); Zachos, dkk. (2001); dan Baumann, dkk. (1973)



Gambar 2. Lokasi penelitian pada tempat singkapan dan penyebaran Formasi Walat di Kabupaten Sukabumi Jawa Barat, kotak putih menunjukkan tempat pengukuran dan deskripsi sedimen fluvial

METODE

Karakter paleohidrologi sistem fluvial Formasi Walat diestimasi berdasarkan hubungan-hubungan empiris sinusitas sungai, kedalaman tepian sungai, lebar kanal sungai, panjang gelombang sinusitas sungai, lebar jalur multi kanal dan estimasi rata-rata debit tahunan. Hubungan-hubungan empiris tersebut telah ditentukan dari berbagai studi pada sistem fluvial modern (Ito dkk., 2006).

Pada penelitian ini, perhitungan parameter paleo-hidrologi dilakukan terutama pada tiga lokasi yang merepresentasikan posisi stratigrafi secara vertikal berturut-turut dari yang lebih muda ke yang lebih tua, yaitu asosiasi endapan sungai dan bar di Cantayan, Pasir Pogor dan Kadupugur. Arah dispersal sedimen diperoleh dari pengukuran orientasi struktur sedimen yang mengindikasikan arah arus purba seperti struktur sedimen *ripple lamination*, *trough cross stratification* dan orientasi imbrikasi butiran kerikil pada fasies batuan berbutir kasar seperti konglomerat.

Data yang dipergunakan dalam perhitungan parameter paleohidrologi didasarkan atas pengukuran unsur dimensi, struktur sedimen dan geometri unit-unit sedimen pada lingkungan fluvial seperti ketebalan endapan bar dan ketebalan set stratifikasi silang-siur.

Seluruh data pengukuran tersebut diukur dari pengamatan singkapan batuan sedimen Formasi Walat di tiga lokasi terpilih. Selain itu, dilakukan pula deskripsi fasies batuan untuk mengetahui karakter khas dari tiap-tiap sedimen yang mengisi kanal sungai purba berumur Oligosen pada Formasi Walat.

Sinusitas dari kanal sungai purba merupakan salah satu faktor penting dalam penentuan kelas kanal fluvial, semakin besar sinusitas suatu kanal sungai ditafsirkan sebagai respon terhadap peningkatan muatan sedimen suspensi relatif terhadap muatan bedload, dan sejalan dengan berkurangnya kekuatan arus (Schumm, 1968; Ferguson, 1987). Arah arus purba dipergunakan sebagai dasar untuk merekonstruksi sinusitas kanal sungai purba. Dari beberapa metode yang ada, dalam penelitian ini dipergunakan data kisaran maksimum arah arus purba untuk merekonstruksi sinusitas (P) (Bridge dkk., 2000):

$$P = 4.84/ (4.84 - \phi^2)$$

Keterangan:

f : setengah dari kisaran maksimum arah arus purba dalam satuan radian.

Dimana:

h: Ketebalan stratigrafi endapan unit bar ditafsirkan sebagai data kritis bagi estimasi kedalaman tepian sungai maksimum kanal sungai purba ($d \approx h$),

Rata-rata kedalaman tepian sungai kanal sungai purba ($dm \approx 0.5\ d$) (Bridge dan Tye, 2000).

Lebar kanal sungai purba (Wc) ditafsirkan sebagai fungsi dari rata-rata kedalaman kanal (dm) sebagaimana termuat dalam persamaan regresi empiris berikut (Bridge and Mackey, 1993):

$$Wc = 8.88\ dm^{1.82}\ (m)$$

Dimana:

L: Panjang gelombang sinuosity kanal sungai purba (L) ditafsirkan sebagai fungsi dari lebar kanal (Bridge, 1978):

$$L \approx 11\ Wc\ (m)$$

Persamaan empiris untuk mengestimasi lebar jalinan kanal sungai purba atau channel belt width (Cbw) menurut Bridge dan Mackey (1993) berdasarkan kedalaman rata-rata kanal sungai purba (dm) adalah:

$$Cbw = 59.9\ dm^{1.8}\ (m)$$

$$Cbw = 192\ dm^{1.37}\ (m)$$

Persamaan empiris untuk mengestimasi besarnya rata-rata tahunan debit (Qm) berturut-turut menurut Oesterkamp dkk., (1982) dan Williams (1984) dalam William (1984) adalah:

$$Qm = 0.027\ Wc^{1.71}\ (m^3/s)\ (0.8 \leq Wc \leq 430\ m)$$

$$Qm = 0.06\ Wc^{1.66}\ (m^3/s)\ (1.8 \leq Wc \leq 67\ m).$$

Meskipun perhitungan parameter paleohidrologi diperoleh dari estimasi, namun masih memiliki arti penting yang meliputi proses dan mekanisme sedimentasi serta pemahaman terhadap lingkungan pengendapan. Perubahan karakter paleohidrologi sistem fluvial dapat mencerminkan perubahan akomodasi dan tingkat supply sedimen serta kondisi iklim purba. Parameter-parameter paleohidrologi yang dipergunakan dalam penelitian ini diringkas dalam Tabel 1.

Tabel 1. Ikhtisar parameter paleohidrologi yang dipergunakan dalam perhitungan penelitian sungai purba Formasi Walat

Parameter Paleohidrologi	Persamaan/ Relasi	Sumber Rujukan
Sinuosity (P)	$P = 4.84/(4.84-\phi^2)$	Bridge *et.al.* (2000)
Mean bankfull channel depth (dm)	$Dm \sim 0.5\ d\ (m)$	Bridge and Type (2000)
Channel width (Wc)	$Wc = 8.88\ dm^{1.82}\ (m)$	Bridge and Mackey (1993)
Sinuosity wavelength (L)	$L \sim 11\ Wc\ (m)$	Bridge (1978)
Channel belth widh (Cbw)	$Cbw = 59.9\ dm^{1.8}\ (m)$ $Cbw = 192\ dm^{1.37}\ (m)$	Bridge and Mackey (1993)
Mean annual discharge (Qm)	$Qm = 0.027\ Wc^{1.71}\ (m^3/s)$ $(0.8 \leq Wc \leq 430\ m)$	Oesterkamp and Hendman (1982)
	$Qm = 0.06\ Wc^{1.66}\ (m^3/s)$ $(1.8 \leq Wc \leq 67\ m)$	Williams (1984)

HASIL DAN PEMBAHASAN

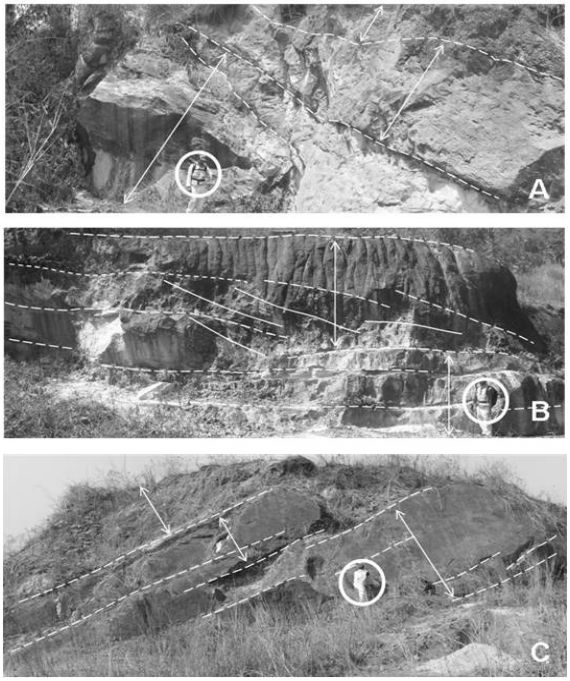
Asosiasi Fasies

Urut-urutan sedimen fluvial pada lokasi Cantayan menunjukkan suatu sistem sedimentasi sungai menganyam di bagian bawah, yang dicirikan oleh fasies konglomerat dan asosiasi batupasir kasar kerikilan. Urut-urutan tersebut berkembang menjadi endapan bar tebal yang beramalgamasi satu dengan lainnya membentuk endapan bar komposit (Gambar 3). Ketebalan unit komposit urut-urutan sedimen ini di lokasi Cantayan dapat mencapai lebih dari 20 m dengan selingan tipis fasies batulempung, batulempung karbonan dan asosiasi sedimen berbutir halus lainnya. Karena migrasi endapan bar, maka sedimen berbutir halus ini menjadi tererosi dan sering menunjukkan sifat impersisten secara lateral ataupun berubah fasies secara lateral menjadi batupasir.

Di lokasi Pasir Pogor, sedimen fluvial dicirikan oleh batu lempung bersifat kaolinit tebal dengan laminasi tipis di bagian bawah, berubah ke arah atas menjadi batupasir kerikilan ditandai oleh struktur sedimen sedimen stratifikasi silang-siur *trough*. Di bagian atas batupasir endapan bar ini sering dijumpai fosil jejak penggalian dan pengisian pasir secara vertikal dengan diameter maksimum 2 cm sepanjang hingga lebih dari 50 cm. Urut-urutan ini ditutupi oleh endapan fasies batulempung yang mengandung material organik dan lapisan tipis lignit yang tererosi oleh okupasi sistem kanal baru di atasnya, ditandai oleh fasies konglomerat tebal dan amalgamasi batupasir tebal yang merepresentasikan tumpukan endapan bar.

Di lokasi Kadupugur yang merupakan bagian teratas (Gambar 3), dicirikan oleh fasies heterolitik berlapis tipis di bagian bawah yang berubah secara vertikal menjadi lapisan tebal batupasir yang

merepresentasikan endapan bar pada sistem kanal sungai. Urut-urutan ini berangsur berubah semakin mengkasar ke arah atas yang dicirikan terutama oleh fasies batupasir kasar kerikilan dan konglomerat dengan struktur sedimen silang-siur berbentuk *trough*. Fasies berbutir kasar ini pada umumnya memiliki sifat sentuh erosional di bagian bawahnya. Perubahan umum ukuran butir sedimen yang mengkasar secara vertikal di lokasi Kadupugur merepresentasikan perubahan lingkungan fluvial menjadi relatif lebih proksimal dibandingkan lingkungan fluvial sebelumnya.



Gambar 3. A) superimpos batupasir dan konglomerat sedimen kanal sungai dan bar di lokasi Kadupugur, garis putih dengan panah menunjukkan ketebalan unit atau komposit endapan bar, lingkaran putih menunjukkan skala foto; B) amalgamasi batupasir endapan bar di lokasi Pasir Pogor; C) batupasir kerikilan endapan kanal sungai dan bar di lokasi Cantayan

Paleohidrologi dan Arus Purba

Hasil perhitungan untuk mengestimasi nilai parameter paleohidrologi sungai purba pada Formasi Walat memperlihatkan perbedaan pada ketiga lokasi. Perbedaan nilai parameter paleohidrologi yang meliputi dimensi kanal, kedalaman kanal, sinusitas sungai purba dan debit menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan perkembangan sedimentasi dalam sejarah perkembangan pengisian cekungan fluvial. Ikhtisar hasil perhitungan parameter paleohidrologi dari ketiga lokasi dapat di lihat pada Tabel 2.

Dengan merujuk pada hasil estimasi parameter paleohidrologi di lokasi Cantayan, maka dimensi kanal pada awal sejarah perkembangan sedimentasi fluvial lebih sempit dengan kedalaman di bawah 5 meter, namun lebar dari jalur multi kanal dapat mencapai lebih dari 300 meter (Gambar 4). Rasio lebar kanal terhadap kedalaman menunjukkan kecenderungan erosi dan migrasi bar ke arah lateral, dan juga mencerminkan tingkat agradasi yang relatif tidak tinggi.

Tabel 2. Ikhtisar hasil perhitungan parameter paleohidrologi dari ketiga lokasi

Parameter Paleohidrologi	=Lokasi		
	Cantayan	Pasir Pogor	Kadupugur
Max paleocurrent range (radian)	1.73	0.82	0.29
Sinuosity index (P)	1.18	1.03	1.01
Ketebalan rata-rata unit endapan bar (m)	3.26	7.15	10.26
Max bankfull channel depth (m)	3.26	7.15	10.26
Mean bankfull channel depth (m) (dm)	1.26	3.6	5.1
Channel width (m) (Wc)	2.17	90.1	174.1
Rasio channel width/ depth	17	25	34
Sinuosity wavelenght (m) (L)	238.2	991.5	1915.2
Channel belt width (m) (Cbw)	144-375	592-1098	1136-1803
Mean annual discharge (m^3/s) (qm)	5.2-9.9	59.5	183.3

Di urutan stratigrafi berikutnya, yaitu pada lokasi Pasir Pogor, perkembangan sistem fluvial berangsur berubah menjadi lebih bersifat sungai menganyam, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai estimasi paleo-hidrologi. Pada kondisi berikutnya, sistem kanal menjadi lebih lebar dan relatif lebih dalam, sinusitas lebih kecil, dan jalur multi kanal menjadi semakin lebar. Dalam kondisi ini, meskipun kedalaman kanal relatif bertambah, namun laju pertambahan lebar kanal dan sistem multi kanal bertambah secara dramatis. Hal ini menunjukkan bahwa seiring dengan perubahan gradien lereng yang menjadi relatif lebih curam erosi dan migrasi bar ke arah lateral atau ke arah hilir masih dominan daripada erosi vertikal. Pengikisan yang bersifat torehan kemungkinan tidak begitu berpengaruh. Ruang akomodasi di lingkungan darat ini seolah berkurang secara dramatis.

Pada perkembangan selanjutnya, sebagaimana ditunjukkan oleh hasil estimasi paleohidrologi di lokasi Kadupugur, sistem kanal fluvial menjadi semakin dalam dan juga semakin melebar, dengan debit tahunan yang semakin besar pula. Hal ini mencerminkan laju suplai sedimen yang melebihi ruang akomodasi pada cekungan fluvial.

Arah dispersal sedimen pada lokasi Cantayan yang menempati urutan terbawah pada penampang stratigrafi menunjukkan arah rata-rata ke baratdaya, seperti dinyatakan dalam diagram roset (Gambar 4). Diagram roset yang menunjukkan arah dispersal sedimen di lokasi Cantayan (274 pengukuran) memberikan arah rata-rata N182ºE, kisaran maksimum arah arus purba sebesar 99º, dengan simpangan 11º dan tingkat kepercayaan 2º.

Arah dispersal sedimen pada lokasi Pasir Pogor yang menempati posisi stratigrafi di atas lokasi Cantayan menunjukkan arah rata-rata ke baratdaya (508 pengukuran), seperti dinyatakan dalam diagram roset (Gambar 4). Diagram roset untuk lokasi Pasir Pogor memberikan arah rata-rata N189ºE, kisaran maksimum arah arus purba sebesar 46º, dengan simpangan 6º dan tingkat kepercayaan 3º.

Arah dispersal sedimen pada lokasi Kadupugur yang menempati posisi stratigrafi paling atas menunjukkan arah rata-rata ke selatan (95 pengukuran), seperti dinyatakan dalam diagram roset (Gambar 4). Diagram roset untuk lokasi Kadupugur memberikan arah rata-rata N176ºE, kisaran maksimum arah arus purba sebesar 16º, dengan simpangan 7º dan tingkat kepercayaan 6º.

Nilai kisaran maksimum arah arus purba semakin berkurang secara stratigrafi ke arah vertikal seiring dengan perkembangan sedimentasi cekungan fluvial. Hal ini menunjukkan migrasi bar yang lebih seragam dan pola sinusitas alur sungai purba yang semakin rendah. Sinusitas sungai yang melemah mencerminkan perubahan lereng landai menjadi lebih curam.

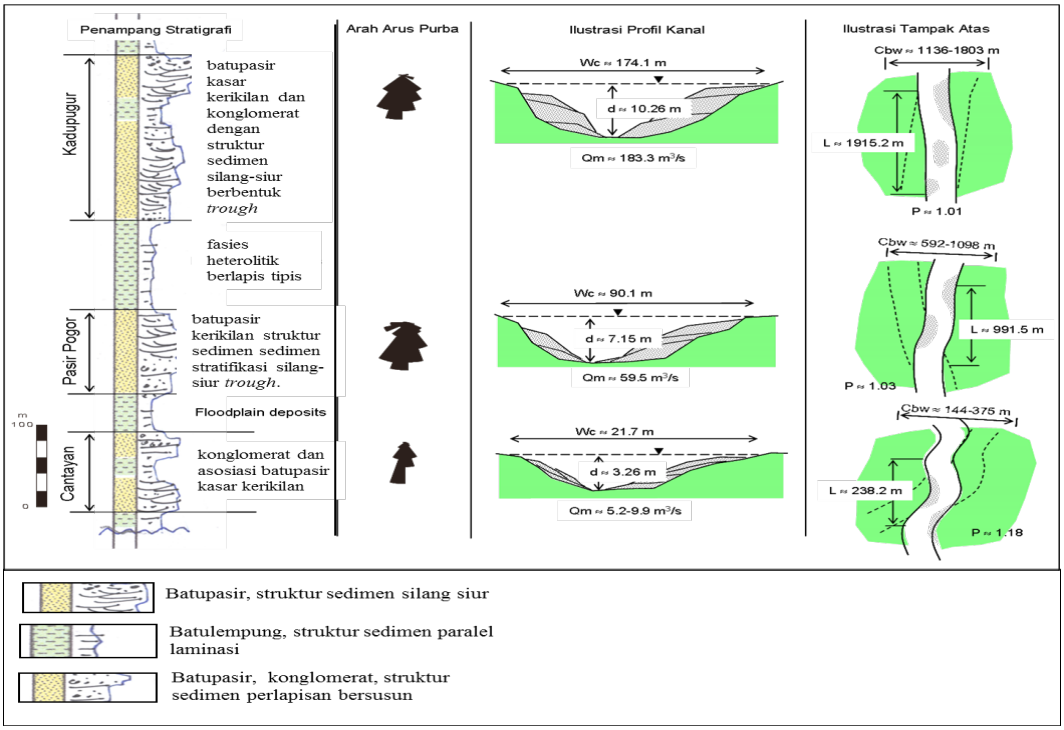
Data hasil pengukuran ketebalan fasies menunjukkan bahwa fasies berbutir kasar terutama konglomerat dan batupasir kerikilan proporsinya berangsur bertambah ke arah vertikal secara stratigrafi dari mulai dari lokasi Cantayan (0.5≤ tebal ≤2 m), ke lokasi Pasir Pogor (0.5≤ tebal ≤4 m) hingga ke lokasi Kadupugur yang merupakan lokasi paling atas dengan tebal fasies berbutir kasar > 15 m.

Data arah arus purba tidak menunjukkan perubahan arah dispersal sedimen pada sistem fluvial Formasi Walat sebagaimana ditunjukkan oleh diagram roset yang relatif konsisten sepanjang sejarah sedimentasi, relatif ke arah selatan dan baratdaya. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem pengisian dalam arah aksial sungai lebih berperan penting dari pola pengisian transversal.

Secara umum, sedimentasi cekungan fluvial purba pada Formasi Walat dapat dipengaruhi oleh perubahan iklim yang bersifat arid dimana ditandai oleh dominasi dari partikel kasar serta tidak dijumpainya sedimen tebal dari partikel berbutir halus, ini menandakan bahwa pada saat itu mempunyai iklim yang kering (arid) dimana tidak tersedianya air yang cukup. Produksi sedimen di bagian hulu meningkat secara cepat sehingga laju suplai sedimen melampaui laju pertambahan akomodasi. Ruang akomodasi pada cekungan sedimen darat dipengaruhi oleh aktifitas tektonik. Selain itu, basis level geomorfologi yang ditandai oleh batas muka airlaut kemungkinan sedang berada dalam kondisi rendah. Kompilasi data yang dilakukan oleh Zachos dkk, (2001) terhadap pengukuran Oksigen Isotop ($\delta^{18}O$) pada formaninefera bentos, menunjukan bahwa terdapat perubahan iklim sepanjang 65 juta tahun,(Paleogen) dimana telah terjadi pertumbuhan dan pengurangan volume lapisan es di daratan.

SIMPULAN

Penelitian sedimentologi dan estimasi parameter paleohidrologi pada batuan sedimen fluvial yang berumur Oligosen, mengungkap sejarah sedimentasi sungai purba serta perkembangan cekungan fluvial yang berasosiasi dengan Formasi Walat. Bagian



Gambar 4. Log litologi, diagram roset yang menunjukkan arah arus purba, serta ilustrasi skematik perkembangan dimensi dan perubahan paleohidrologi sungai purba di sebagian penampang stratigrafi Formasi Walat berdasarkan endapan fluvial pengisi kanal sungai purba di lokasi Cantayan, Pasir Pogor dan Kadupugur

dari sejarah sedimentasi fluvial menunjukkan perkembangan sinusitas kanal fluvial menjadi semakin lemah, atau sungai berubah menjadi lebih bersifat menganyam, hal ini sejalan dengan kondisi kanal-jalur multi kanal yang semakin lebar dan dalam. Proporsi fasies berbutir kasar relatif bertambah pada tiap suksesi sedimen sistem kanal. Keadaan ini mencerminkan suplai sedimen yang relatif meningkat melampaui kapasistas akomodasi cekungan (low non-marine accomodation), serta perkembangan cekungan fluvial menjadi relatif lebih proksimal. Faktor yang mengontrol kondisi ini kemungkinan berkaitan dengan kondisi muka laut yang relatif rendah sepanjang Paleogen, dan perubahan iklim global dari kondisi rumah kaca menjadi *icehouse* di sekitar Kala Eosen-Oligosen.

DAFTAR PUSTAKA

Baumann, P., Genevraye, P., Samuel, L., Mudjito & Sayekti, S., 1973. Contribution to the Geological Knowledge of Southwest Java, Ind. Petrol. Assoc. Annual Conv. Proc. 2'nd, 105-108.

Bridge, J.S., 1978. Palaeohydraulic interpretation using mathematical models of contemporary flow and sedimentation in meandering channels. In: Miall, A.D. (Ed.), Fluvial Sedimentology. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 5, 723-742.

Bridge, J.S., 2003. Rivers and Floodplains: Facies, Processes and Sedimentary Records. Black well, Oxford, 491 pp.

Bridge, J.S., & Mackey, S.D., 1993. A theoretical study of fluvial sandstone body dimensions. In: Flint, S.S., Bryant, I.D. (Eds.), The Geological Modeling of Hydrocarbon Reservoirs and Outcrop Analogues. International Association of Sedimentologists, Special Publication 15, 213-236.

Bridge, J.S., & Tye, R.S., 2000. Interpreting the dimensions of ancient fluvial channel bars, channels, and channel belts from wireline-logs and cores, American Association of Petroleum Geologists, Bulletin 84, 1205-1228.

Doust, H., & Sumner, H.S., 2007. Petroleum systems in rift basins a collective approach in Southeast Asian basins, Petroleum Geoscience 13, 127–144

Effendi, A.C., 1974. Geological Map of Bogor Quadrangle scale 1:100,000, GRDC Bandung

Ferguson, R.I., 1987. Hydraulic and sedimentary controls of channel patterns. In: Richards, K.S. (Ed.), Rivers: Environment, Forms, and Processes. Blackwell, Oxford, pp. 129-158.

Ito, M., Matsukawa, M., Saito, T., & Nichols, D.J., 2006. Facies architecture and paleohydrology of a synrift succession in the Early Cretaceous Choyr Basin, southeastern Mongolia, Cretaceous Research 27, 226-240.

Martodjojo, S., 2003. Evolusi Cekungan Bogor (The Evolution of Bogor Basin), ITB Publisher.

Osterkamp, W.R., Hedman, E.R. & Wiseman, A.G., 1982. Geometry, basin-characteristic, discharge, and particle-size data from gaged stream-channel sites, western United States. U.S. Geol. Surv. Open-file Rep., 82-93, Lawrence, Kansas.

Schumm, S.A., 1968. Speculations Concerning Paleohydrologic Controls of Terrestrial Sedimentation, Geological Society of America, Bulletin 79, 1573-1588.

Williams, G., 1984. Paleohydrologic equations for rivers. In: Costa, J.E., Fleisher, P.J. (Eds.), Development and Applications of Geomorphology. Springer, Berlin, pp. 343-364.

Zachos, J. C., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E. & Billups, K., 2001. Trends, rhythms, and aberrations in global climate change 65Ma to present, Science 292, 686-293