

KEKERUHAN MAKSIMUM DAN "LENDUT"

oleh

Otto S.R. Ongkosongo¹⁾*ABSTRACT*

TURBIDITY MAXIMUM AND FLUID MUD. The natural phenomena of turbidity maximum and fluid mud have been recognized in many big rivers in the world since a half century ago. Their characteristics are briefly described and the effects of their existence to riverine transportations and other environmental aspects such as water pollution are discussed. These two phenomena do exist in the Gembong tributary of the Citarum delta. It is suggested to conduct future research on this matter in Indonesia.

EKSISTENSI DAN PERISTILAHAN

Pada umumnya daratan lebih tinggi dari lautan. Hal ini merupakan ketidakseimbangan alam yang menyebabkan terjadinya proses erosi di daratan dan sedimentasi di lautan dalam prosesnya menuju keseimbangan morfologi alam berdasarkan sistem energi perubahan (sungai, angin, hujan dan sebagainya) setempat yang berperan. Khususnya pada hasil erosi (sedimen) yang diangkut ke laut melalui aliran sungai, umumnya akan menyebabkan kekeruhan air di perairan muara sungai. Untuk daerah tropika basah seperti Indonesia, hampir seluruh sungai berukuran relatif besar yang berhulu di pegunungan membawa lumpur ke arah muara dalam jumlah yang relatif besar. Proses pelapukan batuan begitu kuat sehingga menghasilkan lapisan batuan terlapuk yang sangat tebal. Selanjutnya erosi dengan mudah terjadi apabila lapisan terlapuk tadi tidak ditutupi tumbuhan, apalagi bila terletak pada lereng terjal.

Cikal bakal perkotaan acapkali bermula di tepi sungai. Dengan perkembangan penduduk yang semakin cepat, akan menimbulkan dampak tambahan dengan keruhnya dan adanya pencemaran pada perairan sungai tersebut, baik karena pembuangan sampah maupun kebiasaan penduduk untuk membuang hajatnya di sungai. Sebagai contoh dapat disebutkan semakin kotor, keruh dan tercemarnya massa air Sungai Code sesudah melalui kota Yogyakarta dibandingkan dengan massa air aslinya sebelum melalui kota tersebut. Bila ada buangan beracun hasil industri yang melalui aliran sungai, perairan akan semakin berbahaya, apalagi bila air sungai tersebut digunakan sebagai sumber air minum. Di kota-kota pantai, dimana air tawar sangat sukar diperoleh, maka air untuk minum diperoleh juga dengan cara mengolah air sungai yang acapkali sudah sangat keruh dan tercemar. Di kota Jakarta, air sungai Ciliwung yang sudah kotor, berlumpur tinggi dan tercemar diolah kembali sebagai

1) Laboratorium Geologi Laut, Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Oseanologi Nasional — LIPI, Jakarta.

air minum di pengolahan air minum Pejompongan. Air keruh yang berasal dari daratan pada banyak sungai besar seperti Gironde dan Loire di Perancis, dan Thames (Inggris) telah diketahui memperlihatkan adanya pola tertentu nilai kekeruhan sungainya. Selain memperlihatkan adanya penyebaran kekeruhan maksimum air (*turbidity maximum*), kejadian tadi juga menunjukkan adanya "lendut" atau "jladren" lumpur (*fluid mud*) di dasar sungai yang oleh EFFENDI (*Komunikasi pribadi*) disebut sumbat lumpuran.

Istilah kekeruhan maksimum ini dimaksudkan untuk bagian perairan yang memiliki konsentrasi suspensi rata-rata yang paling tinggi, baik yang diukur secara optis maupun gravimetri (McCAVE 1979). Beberapa aspek lingkungan ternyata berkaitan dengan fenomena kekeruhan maksimum dan lendut tersebut. Meskipun untuk menyebut barang yang sama, yakni suspensi dalam air, namun seringkali suspensi ini disebut juga sebagai "total suspended solids", "suspended sediment", "suspended matter", "seston" dan "silts". Istilah tersebut bermakna sama yakni untuk menyebut suspensi, baik yang organik maupun yang anorganik (SCHUBER; BIGGS; dan RHOADS dalam BULLER & McMANNUS 1974). Penemuan fenomena ini mulai dikemukakan setengah abad yang lalu di Inggris oleh ALEXANDER & ALTER tahun 1935, dan kemudian diketahui terdapat juga di Perancis oleh LEVEQUE tahun 1936 dan GLANGEAUD tahun 1938-1941, dan di Jerman Barat oleh LUNEBURG tahun 1939. Kemudian konsentrasi suspensi yang tinggi tadi diberi nama "bouchon vaseux" oleh GLANGEAUD pada tahun 1939 (ROUX *et al.* 1984).

PROSES PEMBENTUKAN DAN PENGENALAN DILAPANGAN

Menurut BARBIER (1983), konsentrasi sedimen suspensi berevolusi sebagai berikut: sedimen suspensi—kekeruhan maksimum—lendut—endapan lumpur terkonsolidasi. Pada umumnya kekeruhan maksimum tadi di-

sebabkan oleh hasil akhir sirkulasi massa air yang tidak dipengaruhi pasangsurut (*net non-tidal circulation*). Letaknya di daerah yang berenergi nihil (*null zone*), yakni yang memiliki kecepatan air dekat dasar sama dengan nol. Ke arah hulu daerah ini, arus sisa (*residual flow*) mengarah ke laut, sedang ke arah hilirnya, arusnya mengarah ke darat berupa penyusupan air asin. Oleh karena itu daerah ini merupakan jebakan sedimen (McCAVE 1979). Beberapa peneliti seperti KRONE (dalam McCAVE 1979) diperkirakan bahwa sedimentasi yang cepat di daerah kekeruhan maksimum ini disebabkan oleh proses "penjonjotan" (*flokulasi*). Pada umumnya dalam daerah pencampuran air asin-tawar (daerah peralihan), air yang lebih asin ditemukan di bawah air yang lebih tawar. Di lapisan tengah kedua massa air ini terjadilah proses pencampuran dengan sistem sirkulasi acak-acakan yang polanya sangat dipengaruhi sekali oleh keadaan pasangsurut dan debit sungainya sendiri.

Faktor lain yang sangat menentukan dalam pembentukan dan penyebaran kekeruhan maksimum dan lendut adalah pasangsurut. Di Sungai Gironde, Perancis misalnya kekeruhan maksimum terletak pada bagian hulu batas penyusupan air asin dari laut dan daerah nol (*null zone*) dan setiap kali bermigrasi sesuai dengan perubahan aliran air sungai. Pada waktu air banjir, daerah lendut terdorong ke dekat muara. Namun sewaktu alirannya kecil, daerah lendutnya tersebar lebih ke arah hulu sampai sekitar 100 km dari muara. Pada waktu air surut dan air rata-rata, konsentrasi kekeruhan berkurang karena terjadi sedimentasi yang membentuk endapan lendut. Sewaktu air pasang, kecepatan arus di sungai, baik oleh turbulensi akibat proses pencampuran massa air darat-laut ataupun karena dasar sungai yang lebih dalam, akan mengaduk lendut yang mengendap hingga lebih mengeruhkan perairan (ALLEN 1972; ALLEN & CASTAING 1973; ALLEN *et al.* 1974). Tidak semua estuaria memiliki akumulasi lendut tersebut (McCAVE 1979). Kekeruhan maksimum merupakan kenampakan

karakteristik pada estuaria yang bersifat "tercampur bagus" (well mixed) dan yang "tercampur sebagian" (partially mixed). Sebagaimana telah ditulis oleh berbagai peneliti estuaria, ada beberapa klasifikasi estuaria ditinjau dari segi sifat pencampuran massa air sungai dengan massa yang berasal dari laut. Sebagai contoh dapat disebut klasifikasi PRITCHARD (1952), DYER (1973), BIGGS (1978), BOWDEN (1980) dan POSTMA (1967).

Dari pengalaman aplikasi yang telah dilakukan di Sungai Gironde, letak maupun penyebaran lendut dapat dideteksi dengan pemeraman gema (echosounder) yang menggunakan frekuensi 210 KHz. Dasar sungainya sendiri dapat terekam dengan frekuensi 30 KHz. Dengan cara mengoperasikan dua frekuensi tersebut secara bersama-sama, kedua fenomena tersebut (kekeruhan maksimum dan lendut) dapat direkam secara tepat (BARBIER 1983). Namun demikian McVACE (1979) menunjukkan bahwa frekuensi 30 KHz dapat pula untuk merekam lapisan lendut meskipun kurang begitu jelas. Hasil penelitian dengan densitometer sinar gamma memperlihatkan pula adanya perbedaan kerapatan (density) antara lapisan lendut dengan dasar sungai. Dalam lapisan lendutnya sendiri bagian atasnya menunjukkan kerapatan lebih rendah dibandingkan dengan lapisan yang bawah. Kerapatan lendut berkisar dari $1,1 \text{ gr/cm}^3$ - $1,4 \text{ gr/cm}^3$, sedangkan dasar sungai menunjukkan harga lebih besar dari $1,4 \text{ gr/cm}^3$ (KIRBY & PARKER dalam McCAVE 1979).

Penduduk pedesaan sepanjang aliran sungai relatif dekat dengan muara sungai berdasarkan pengalaman sudah memahami pengaruh pasangsurut dalam kaitannya dengan salinitas air sungai bagi kebutuhan hidupnya sehari-hari. Para nelayan sungai juga menyadari pengaruh pasangsurut terhadap pelayaran/transportasi sungai dengan adanya gundukan (shoal) lumpur khususnya di depan muara sungai. Meskipun "lunas" perahu nelayan biasanya sudah dangkal, namun acap-

kali pada waktu air surut perahu tersebut tetap tidak dapat melaut. Ada dua proses sedimentasi yang menyebabkan terjadinya gundukan tersebut. Pertama gundukan di bagian yang menghadap ke laut terbentuk akibat gelombang laut dan "baji" salinitas air darat dan laut (Gambar 1). Bagian yang menghadap ke arah hulu lebih banyak disebabkan tertahannya suspensi oleh gundukan hasil gelombang tersebut. Selain itu aliran air di sungai pada galibnya memiliki arah aliran ke laut. Di muara, alirannya disebar pada daerah yang lebih luas di samping memperoleh perlawanan arus dan gelombang laut. Hal ini secara relatif menyebabkan terjadinya pengurangan kecepatan arus yang dapat menimbulkan sedimentasi baik yang bersifat sementara ataupun menetap.

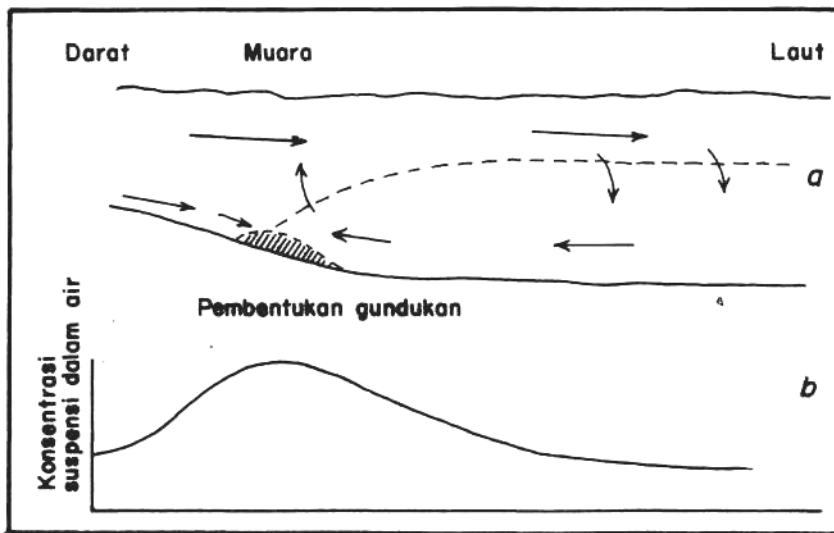
PERMASALAHAN DAN CONTOH KASUS DI MUARA GEMBONG

Di Sungai Gironde, lendut menyebabkan pendangkalan sungainya sehingga sangat mengganggu pelayaran sungai yang menuju kota pelabuhan Bordeaux yang terletak sekitar 100 km dari muaranya. Lendut tadi merupakan jladren lumpur kental yang dapat setebal 3 m di dasar sungainya yang mempunyai kedalaman kurang dari 10 m. Kapal-kapal yang menabrak lendut tadi dapat terjebak di dalamnya sehingga tidak dapat bergerak lagi. Baru setelah lendut tadi bergerak seirama dengan siklus dan dinamika pasangsurut dan arus sungai, kapal dapat melaju kembali. Di sungai ini pengamatan kedalaman serta pengerukan alur pelayaran dilakukan terus-menerus secara teliti dan cepat dengan menetapkan sistim koordinat posisi alur, pencatatan pasangsurut secara otomatis dan perhitungan kedalaman yang telah dikoreksi dengan pasangsurut dengan bantuan komputer. Informasi ini dapat selalu memberikan data secara cepat yang cukup teliti mengenai keadaan pasangsurut dan kedalaman alur (BARBIER & CHAUMET - LAGRANGE 1983). Di Sungai Gironde ke-

keruhan maksimum mencapai 0,2 g/l - 1 g/l di permukaan sungai dan antara 1 g/l -10 g/l di dekat dasarnya. Kekeruhan ini dapat tersebar sepanjang 10 km - 50 km. Lendutnya sendiri dapat mencapai 100 g/l - 400 g/l dengan ketebalan antara 0,5 m - 3 m pada sungai yang berpasut 2 m - 5 m tersebut (BARBIER 1983).

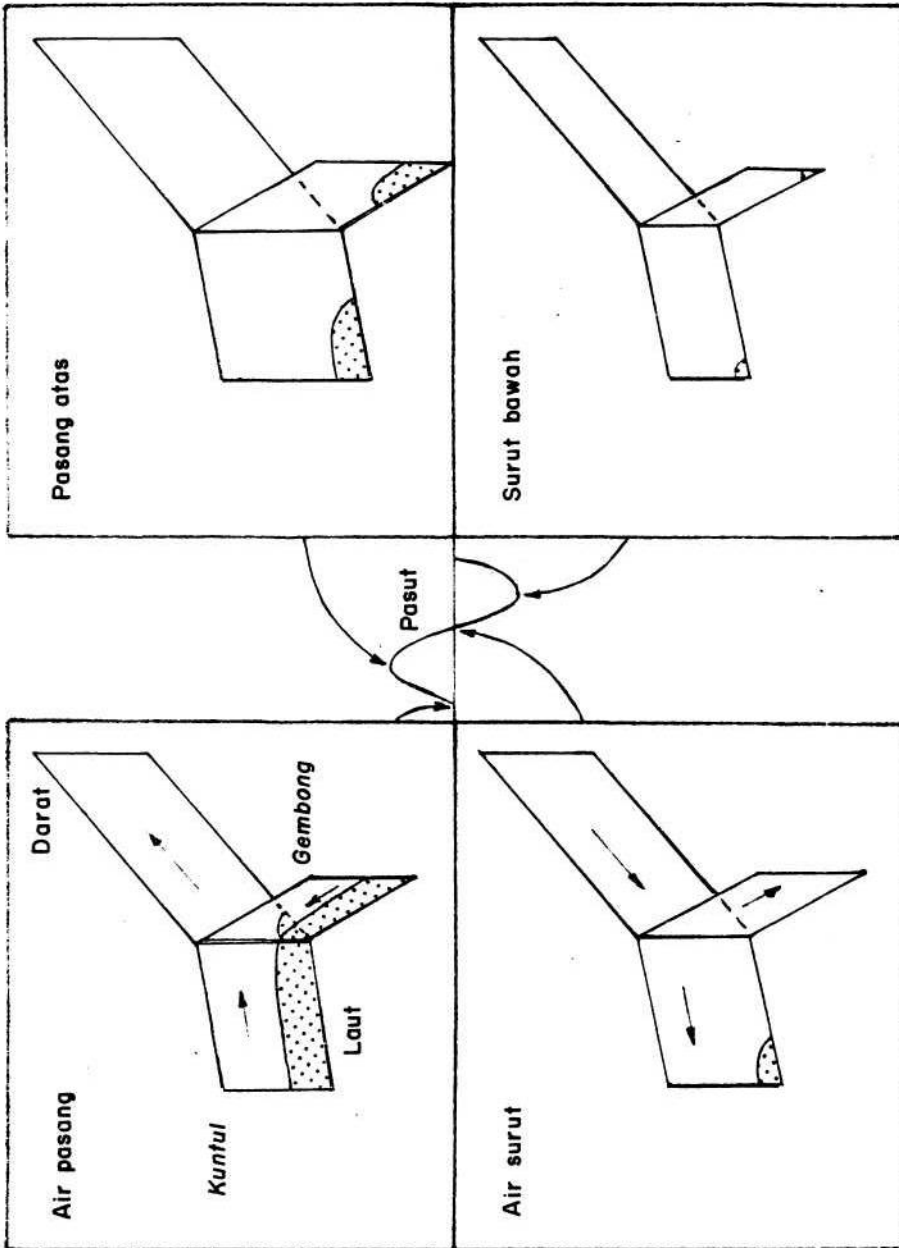
Pada waktu air surut, air sungai dapat mengalir ke arah laut. Namun pada waktu air pasang, sebagian air sungai tertahan dan bahkan sebagian dapat balik kembali ke arah darat bercampur dengan air asin yang menyusup ke darat melalui sungai. Air yang telah tercemar yang berasal dari kota pantai dapat tertahan di perairan kota atau malah mundur ke arah hulu kota dan dengan demikian dapat tersedot pada pusat penjernihan air, meskipun penjernihan tersebut telah diletakkan pada bagian hulu kota. Keadaan seperti ini telah terjadi di kota pelabuhan Nantes yang terletak di tepi Sungai Loire, Perancis (OTTMANN 1983). Selain itu dikatakannya

juga bahwa daerah kekeruhan maksimum mengandung bakteri dan bahan-bahan beracun yang lebih tinggi dibandingkan dengan air yang belum tercemar (ARRONDEAU *et al.* 1911; BERTRAND *et al.* 1977; FRENEL *et al.* 1982; MARTIN *et al.* 1976; dan OTTMANN 1983). Hal ini tentu saja akan memberikan permasalahan tersendiri dalam penyediaan air bersih yang sehat dan murah. Di Sungai Gembong, delta Citarum, posisi kekeruhan maksimum sangat dipengaruhi oleh keadaan pasangsurut. Secara skematik posisi tersebut dapat diterangkan sebagai pada Gambar 2. Meskipun penelitian pada perairan perbatasan air tawar-air payau pada salinitas sekitar 1‰ belum pernah dilakukan, namun penulis telah menemukan adanya pembentukan lendut di muara Gembong dengan tebal sekitar 0,5 m pada tahun 1983. Sungai Gembong memperlihatkan ciri berbaji asin pada waktu air pasang (Gambar 3) atau tercampur sebagian pada waktu air mulai pasang menurut klasifikasi DYER (1973).



Gambar 1. Diagram sirkulasi sedimen suspensi (DYER 1979).

- a. hasil berupa kekeruhan maksimum
- b. pembentukan gundukan di muara



Gambar 2. Skema perubahan posisi kekeruhan maksimum dalam kaitannya dengan pasangsurut di muara Kuntul dan muara Gembong, delta Citarum (ONGKOSONGO 1984).

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- ALLEN, G.P. 1972. *Etude des processus sedimentaires dam l'estuaire de la Gironde*. These Doct. es Sciences, Bordeaux, 313 pp.
- ALLEN, G.P. and P. CASTAING 1973. Suspended sediment transport from the Gironde estuary (France) into the adjacent continental shelf. *Marine Geology* 14 : 47 - 53.
- ALLEN, G.P., P. CASTAING and A. KLINGEBIEL 1974. Suspended sediment transport and deposition in the Gironde estuary and adjacent shelf. *Mem. Inst. Geol. Bassin Aquitaine* 7 : 27 - 36.
- ARRONDEAU, J.P., P. FRENEL, et. LE DOUAREG 1977. Methodologie d'étude pour le eaux polluees, application á l'estuaire externe de la Loire. *Rev. Inst. Oceanogr. Med.* 47 : 141 -146.
- BARBIER, J.M. 1983. *Politique d'entretien du chenal d'accès au port de Bordeaux-Bassens*. Port Autonome de Bordeaux, 13 pp.
- BARBIER, J.M. et M. CHAUMET-LAGRANGE 1983. Contrôle des dragages par les sondage hydrographiques. *Revue Hydrogr. Intern*, Monaco, 60 (2), Juillet: 35 - 47.
- BIGGS, R.B. 1978. Coastal bays. In: "Coastal sedimentary environments" (R.A. DAVIS Jr. ed.) Springer Verlag, New York : 66 - 99.
- BOWDEN, K.F. 1980. Physical factors : Salinity, temperature, circulation, and mixing processes. In: "Chemistry and biogeochemistry of estuaries" (E. Olausson and I. Cato, eds.). John Wiley & Sons, Chichester : 37 - 70.
- BULLER, A.T. and J. McMANUS 1974. Factors influencing the formation of "turbidity maxima" with examples from the Tay estuary, Scotland. *Mem. Inst. Geol. Bassin Aquitaine* 7 : 37 - 44.
- DYER, K.R. 1973. *Estuaries : a physical introduction*. John Wiley & Sons, London, 140 pp.
- DYER, K.R. 1979. Estuaries and estuarine sedimentation. In: "Estuarine hydrography and sedimentation" (K.R. Dyer, ed.) Cambridge Univ. Press, Cambridge: 1-18.
- FRENEL, P., F. OTTMANN and J. QUERE 1982. Pollution microbiologique dans l'estuaire de la Loire. *Techn. Scienc. Munic L'eau*, Fevrier, 77 (2) : 97 -104.
- MARTIN, J.M., M. MEYBECK, F. SAVADORI, et A. THOMAS 1976. *Pollution chimique des estuaires, état actuel connaissances*. CNEXO, Rapp. Scient. Techn. 22 : 286 pp.
- McCAYE, I.N. 1979. Suspended sediment. In: "Estuarine hydrography and sedimentation" (K.R. Dyer, ed.). Cambridge Univ. Press, Cambridge : 131 -185.
- ONGKOSONGO, O.S.R. 1982. The nature of coastline changes in Indonesia. *Indon. Journ. Geogr.* 12 (43) : 1 - 22.
- ONGKOSONGO, O.S.R. 1984. *Evolution et effets des aménagements dans l'environnement côtier de la baie de Jakarta*, These 3^{ème} cycle, Univ. Bordeaux I, 411 pp.
- OTTMANN, F. 1983. Problemes d'alimentation et ressources en eau de la ville de Nantes. *Bull. Soc. Sc. Nat. Quest de la France*. 5 (2) : 55 - 67,
- POSTMA, H. 1967. Sediment transport and sedimentation. In : "Estuaries" (G.H. Lauff, ed.). *Publ. Am. Assoc. Advan. Sci.* 83 : 158-179.
- PRITCHARD, D.W. 1952. Estuarine hydrography. *Adv. Geoph.* 1 : 243 - 280.
- ROUX, J., G. LACOMBE, J. GRANBOULAN, M. CHAUMET-LANGRANGE et C. FOURCASSIES 1984. *Mesure de la profondeur navigable dans un chenal envasé*. 2^e Conf. Intern. Hydrogr., Plymouth, Sept., 19 pp.