

SEDIMENTASI SEBAGAI DILEMA PENGEMBANGAN PELABUHAN NUSANTARA DI PERAIRAN LASEM JAWA TENGAH

Delyuzar Ilahude & Ediar Usman

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan
Jl. Diponegoro No. 57 Bandung-40122

SARI

Lokasi daerah studi secara geografis terletak di pesisir utara Pulau Jawa, dan termasuk pantai terbuka terhadap pengaruh energi gelombang dari arah barat laut dan timur laut. Proses erosi di sepanjang garis pantai Lasem, khususnya di bagian timur lautnya, relatif besar. Pasokan sedimen dari pesisir pantai bagian timur laut Lasem tersebut cenderung diendapkan di bagian tengah dan barat daya daerah penelitian.

Ketebalan sedimen subruntuhan B4 pada lintasan L-1 lebih tebal jika dibandingkan dengan subruntuhan B4 pada lintasan L-17. Daerah bagian timur Lasem berpotensi untuk dikembangkan sebagai kawasan pelabuhan.

Kata kunci : daya dukung, pasokan sedimen

ABSTRACT

The studied area is geographically located on the northern coast of Jawa, which is an open beach influenced by wave action from the northwest and northeast direction. The erosion process occurs relatively in the northeastern coastline of the Lasem area. Sediment supply from the northeastern of Lasem tends to be deposited in the central and the southwestern part of the studied area.

The thickness of sediment of subsequence B4 on line L-1 in the southwestern part of the studied area is thicker compared with subsequence B4 on the line L-17 of the northeastern part of the studied area. The eastern part of Lasem can be developed as a harbor area.

Keywords : bearing capacity, sediment supply

PENDAHULUAN

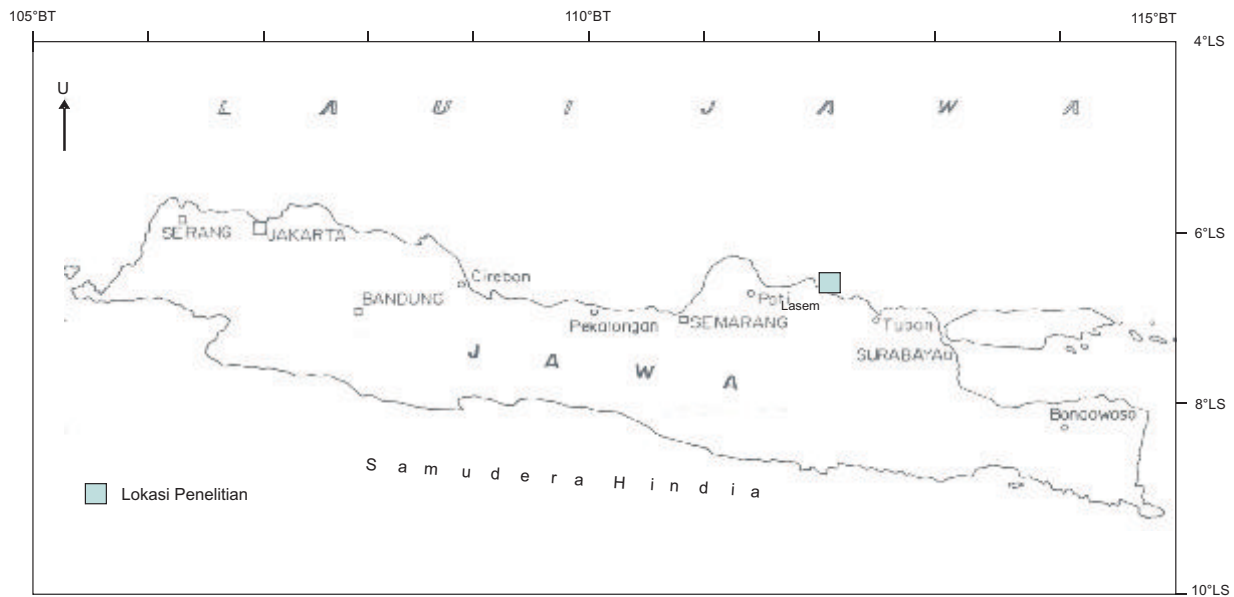
Latar Belakang

Pemerintah Daerah Tingkat I Propinsi Jawa Tengah tahun 2004, menyatakan bahwa wilayah pesisir perairan Lasem Kabupaten Rembang direncanakan akan menjadi salah satu kawasan alternatif untuk dikembangkan sebagai lokasi pelabuhan Nusantara dan daerah kawasan wisata. Pengembangan pelabuhan dan pariwisata ini sebagai langkah untuk meningkatkan Pendapatan Asli Daerah (PAD), khususnya di daerah Kabupaten Rembang. Pemilihan lokasi untuk pengembangan pelabuhan tersebut dihadapkan pada salah satu kendala, yaitu sedimentasi.

Daerah yang diteliti secara geografis terletak di pantai utara Pulau Jawa (Pantura) pada koordinat 111°23' - 11°31'BT dan 6°26' - 6°34'LS. Lokasi ini merupakan

daerah pesisir pantai yang cukup strategis karena merupakan jalur lalu-lintas perekonomian, baik dari arah Jakarta maupun dari arah Surabaya (Gambar 1).

Daerah Lasem dan sekitarnya telah lama dikenal sebagai salah satu daerah yang berpotensi di sektor kelautan, khususnya di bidang perikanan. Upaya untuk meningkatkan ekonomi, khususnya di sektor perikanan ini, terbentur pada masalah kapasitas pelabuhan yang tidak dapat menampung laju pertumbuhan ekonomi di sektor kelautan tersebut. Di pihak lain, untuk menentukan lokasi pelabuhan yang baru, diperlukan kajian khusus, terutama dari aspek geologi dan hidro-oseanografi daerah Lasem dan sekitarnya. Secara visual, proses sedimentasi di pesisir perairan Lasem dan sekitarnya menjadi dilema dalam menentukan lokasi yang tepat untuk pembangunan infrastruktur dermaga.



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian.

Untuk mengkaji daerah peruntukan, khususnya perencanaan tata ruang kawasan pesisir, diperlukan data dan informasi mengenai daya dukung kawasan terhadap pembangunan infrastruktur, seperti pengembangan pelabuhan Nusantara. Oleh sebab itu, dalam perencanaan pelabuhan tersebut dibutuhkan data pendukung dari beberapa aspek, yaitu aspek geologi, geofisika, dan oseanografi.

Maksud penelitian ini adalah untuk mengetahui dinamika lingkungan pesisir melalui pengamatan secara visual maupun dengan pendekatan secara empirik data parameter oseanografi, terutama arah pergerakan pasokan sedimen (*sediment supply*), baik dari darat maupun dari pesisir pantai. Data pendukung lainnya adalah daya dukung tanah (*bearing capacity*) melalui pemboran inti dan uji penetrasi standar (*Standard Penetration Test-SPT*) di daerah penelitian. Tujuan penelitian ini adalah melakukan studi kelayakan pembukaan alur pelayaran, terutama bagi kapal-kapal ukuran besar dan dampaknya terhadap kestabilan lingkungan pantai di sekitarnya akibat adanya pembangunan dermaga. Oleh karena daerah penelitian tidak termasuk ke dalam zona perairan samudra yang sering dilanda gelombang besar maupun bahaya *tsunami* seperti di pantai selatan Jawa, maka penelitian geologi dan geofisika yang dilakukan di daerah pesisir pantai perairan Lasem ini diarahkan hanya untuk mengkaji aspek arah pergerakan sedimen yang disebabkan oleh arus sejajar pantai dan daya dukung litologi pantai dari hasil uji penetrasi standar.

Kondisi Geologi dan Bentang Alam

Data geologi daerah Rembang dan sekitarnya menunjukkan bahwa daerah penelitian merupakan dataran aluvium yang tersusun oleh endapan sungai dan pantai yang terdiri atas kerakal, kerikil, pasir, lanau, dan lempung, sedangkan dataran rendahnya tersusun oleh batuan sedimen napal, batupasir, batulempung, batulempung gampingan, dan serpih yang menempati daerah bagian utara, barat, dan timur (Kadar dan Sudijono, 1993).

Di dataran rendah daerah ini telah dikembangkan berbagai budi daya, antara lain tambak, perkebunan, persawahan, dan pemukiman, sehingga kondisi air tanah menjadi payau karena intrusi air laut dari tambak yang masuk ke dalam tanah (Usman dkk., 2004). Faktor pencemaran limbah rumah tangga dan industri pada perairan Lasem dan sekitarnya relatif kecil.

Pemerintah Daerah setempat memilih daerah Lasem sebagai satu-satunya alternatif untuk dikembangkan sebagai pelabuhan Nusantara karena daerah tersebut sangat strategis yang berdekatan dengan Ibu Kota Kabupaten di Rembang yang merupakan jalur lalu-lintas ekonomi yang cukup padat di Jawa Tengah. Akan tetapi pemilihan lokasi tersebut dihadapkan pada masalah pendangkalan yang ditandai dengan adanya gosong pasir (*sand bar*) di pesisir bagian barat daya Lasem.

Secara visual, pesisir pantai daerah Lasem dan sekitarnya mempunyai bentangan alam dengan posisi garis pantai yang berhadapan dengan Laut Jawa, sehingga horizon pantainya termasuk ke dalam kategori zona pantai terbuka (*open beach*). Pesisir pantai ini cukup rentan terhadap pengaruh dinamika iklim global, terutama pengaruh angin musim (*monsoon*) sepanjang tahun. Periode iklim pada musim barat dan timur sangat berpengaruh terhadap perubahan garis pantai di daerah penelitian yang ditandai oleh proses abrasi gelombang dan sedimentasi yang terjadi di beberapa tempat. Di samping itu, adanya endapan sedimen di sekitar muara sungai yang terpantau pada saat surut, merupakan indikasi adanya sebagian material yang dipasok dari darat terutama pada periode musim hujan. Kondisi tersebut cukup berpengaruh pada zona alur pelayaran di sekitar perairan Lasem. Jika hal ini berlangsung terus-menerus, maka diperkirakan akan berdampak pada produktifitas hasil tangkapan ikan yang setiap hari melalui pelabuhan Tempat Pendaratan Ikan (TPI). Di pihak lain, pengelolaan produk laut maupun kapasitas bongkar-muat untuk keluar-masuk barang dari pelabuhan, tidak cukup dengan hanya mengandalkan sarana pelabuhan yang ada saat ini, sehingga dibutuhkan dermaga dengan kapasitas lebih besar dengan sarana pelabuhan yang lebih baik.

Pembentukan gosong pasir di pesisir pantai Lasem tersebut mempunyai kaitan dengan aktifitas energi gelombang pada dua musim, yaitu musim timur dan musim barat yang ditandai dengan proses erosi di bagian timur laut Lasem. Proses erosi tersebut merupakan indikasi adanya aktifitas gelombang pada kedua musim tersebut yang memicu arus sejajar pantai (*longshore current*) yang bergerak memasok sedimen ke beberapa lokasi yang berdampak terhadap pendangkalan di pesisir pantai Lasem dan sekitarnya.

Untuk mengetahui arah dominan pengendapan sedimen tersebut, akan dianalisis parameter oseanografi yang berpengaruh terhadap pesisir pantai Lasem dan sekitarnya. Di samping itu, informasi data klimatologi dan data seismik dangkal digunakan sebagai masukan untuk mencari daerah

yang lebih layak untuk dikembangkan menjadi pelabuhan Nusantara. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dipergunakan sebagai pedoman dalam perencanaan regional pada pengembangan kawasan pesisir daerah Lasem dan sekitarnya.

METODE PENELITIAN

Untuk mendapatkan gambaran peta kedalaman (batimetri) perairan Lasem dan sekitarnya, digunakan metode pemeruman (*sounding*), sedangkan untuk mengetahui ketebalan sedimen bawah dasar laut, dilakukan prinsip penafsiran seismik stratigrafi resolusi tinggi dan asumsi kecepatan gelombang seismik dalam sedimen yang dikemukakan oleh Ringgis (1986). Untuk mendukung penelitian ini dilakukan juga pemercontohan sedimen dasar laut dan kajian tatanan litologi pantai berdasarkan analisis data bor dari tiga lokasi pemboran. Untuk menganalisis parameter oseanografi dan pergerakan sedimen di sepanjang pantai (*longshore drift*), dilakukan analisis kualitatif terhadap data angin di atas 10 knot yang diacu dari data angin Stasiun Meteorologi Tanjung Perak Surabaya, Jawa Timur selama lima tahun. Untuk menganalisis tinggi dan periode gelombang di daerah penelitian, digunakan kurva prediksi gelombang perairan dalam (*deep-water-wave forecasting curve*) (Bretschneider, 1954), sedangkan untuk mendapatkan besaran energi *flux* gelombang sepanjang pantai, digunakan formulasi Ijima dan Tang (1967). Dengan menggunakan perangkat lunak energi *flux*, hasil analisis ini kemudian disajikan dalam peta pergerakan sedimen sepanjang pantai. Selanjutnya untuk mengetahui nilai laju pasokan sedimen tererosi (Q) persatuan waktu, dilakukan pendekatan dengan menggunakan persamaan linier empiris yang diformulasikan oleh Komar dan Inman dalam Bijker (1988). Nilai yang diperoleh tersebut merupakan pasokan rata-rata sedimen terangkut sepanjang pantai (*longshore-transport rate*) akibat abrasi gelombang dalam satuan meter kubik per tahun. Untuk menguji daya dukung litologi pantai, dilakukan pemboran inti dan uji penetrasi standar (*Standard Penetration Test-SPT*) pada tiga lokasi di daerah Lasem.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Litologi Dasar Laut Dan Sedimentasi

Sebaran sedimen dasar laut menunjukkan bahwa lanau terhampar cukup luas di lepas pantai, sedangkan lanau pasiran tersebar di sepanjang pesisir pantai dan umumnya menempati muaramuara sungai (Gambar 2). Dari pengamatan di lapangan, khususnya di lepas pantai bagian barat daya Lasem, terjadi pendangkalan yang ditandai dengan munculnya endapan sedimen (gosong pasir) pada saat air surut. Pendangkalan tersebut ditunjukkan dalam diagram tiga dimensi perairan Lasem pada sisi bagian barat daya dan tengah daerah penelitian (Gambar 3).

Adanya sedimentasi di bagian barat daya Lasem tersebut, menjadi dilema untuk pengembangan pelabuhan di daerah Lasem dan sekitarnya. Di pihak lain, di bagian timur laut Lasem secara visual dijumpai adanya indikasi erosi (abrasi) pada lereng pantai yang ditandai dengan kemiringan pantai yang curam dengan sudut kemiringan lebih besar dari 45 derajat (Gambar 3). Untuk mengkaji adanya endapan sedimen yang terakumulasi di bagian barat daya Lasem tersebut, dilakukan pengumpulan data parameter oseanografi dan data angin selama lima tahun yang diambil dari Stasiun Meteorologi Tanjung Perak Surabaya. Data tersebut kemudian dianalisis dengan menggunakan kurva prediksi gelombang perairan dalam (*deep-water-wave forecasting*).

Prediksi Parameter Oseanografi Dan Laju Sedimentasi

Hasil analisis data angin permukaan di atas 10 knot selama lima tahun (Tabel 1), menunjukkan bahwa daerah pantai utara Jawa bagian timur, dipengaruhi oleh angin musim (*monsoon*) secara periodik, baik dari barat laut maupun dari tenggara yang digambarkan dalam diagram *windrose* (Gambar 4). Persentase arah angin permukaan dari arah lainnya relatif kecil. Frekuensi angin ini cukup membangkitkan komponen parameter oseanografi secara signifikan, antara lain tinggi gelombang dan arus sepanjang pantai (*longshore current*) di perairan Lasem dan sekitarnya.

Berdasarkan pendekatan kurva prediksi gelombang perairan dalam, diperoleh tinggi gelombang (H) di daerah penelitian yang berkisar antara 0,5 hingga 2,5 meter dengan periode waktu (T) antara 1,5 hingga 5,5 detik. Sudut datang gelombang (θ) pada setiap titik pendugaan di sepanjang garis pantai

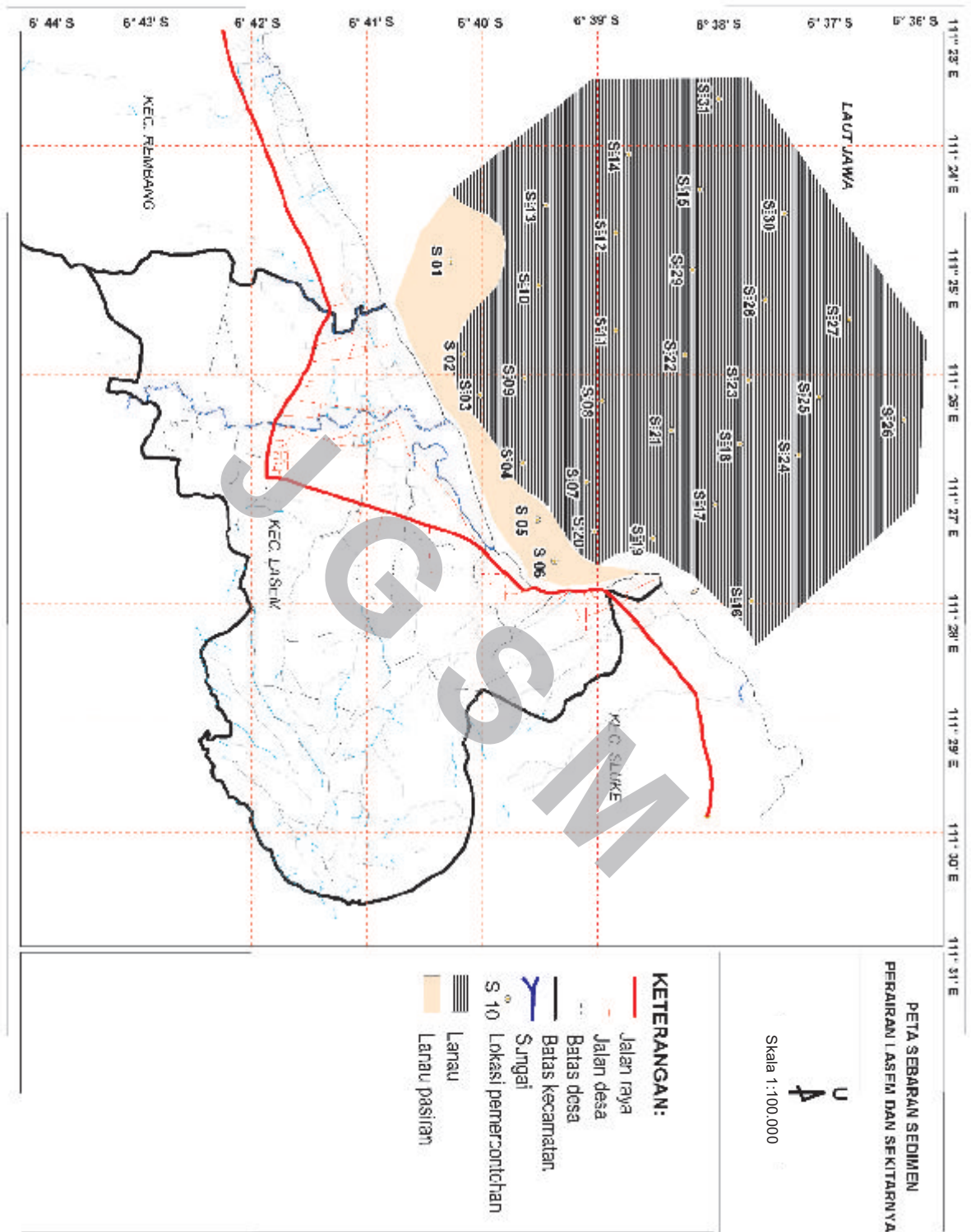
bervariasi antara 0 hingga 90 derajat. Sudut datang gelombang ini sebagai faktor koreksi untuk mendapatkan besaran nilai energi *flux* (P_o) dan arah arus sejajar pantai pada beberapa lokasi. Frekuensi data angin (n) dihitung berdasarkan statistik frekuensi data angin pada masing-masing komponen arah angin dengan nilai yang sangat bervariasi. Dengan mensubstitusikan densitas air (ρ) sebesar 1025 kg/m^3 serta tinggi dan periode gelombang ke dalam persamaan linier empiris yang diformulasikan oleh Ijima dan Tang (1967) di bawah ini, maka nilai energi *flux* gelombang (P_o) dapat diketahui (Tabel 2).

$$P_o = 0.09952 n H^2 T \sin \theta$$

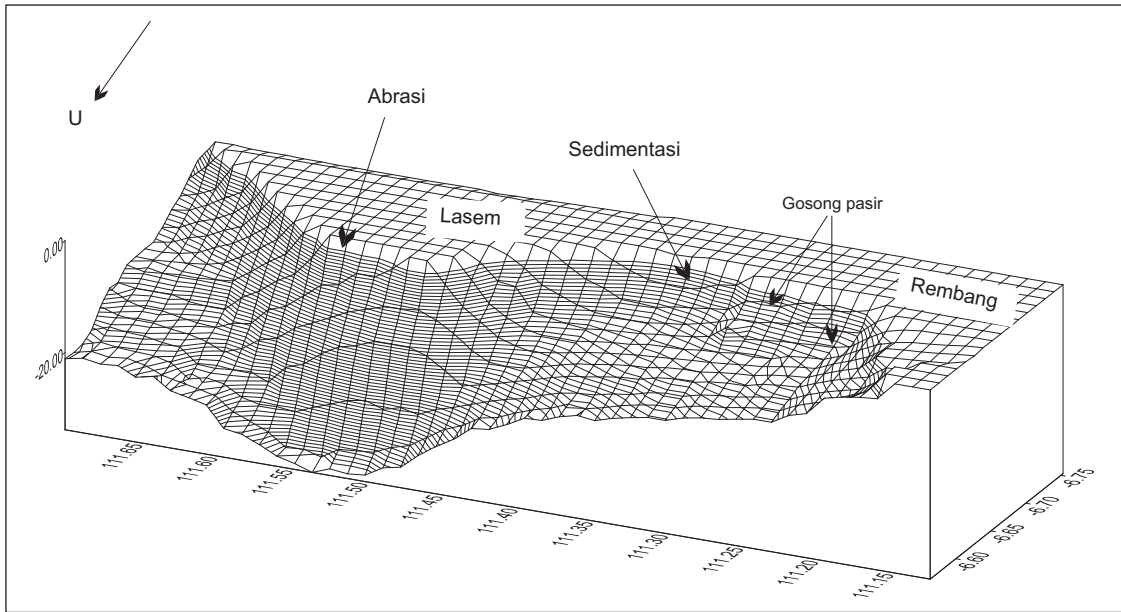
Dari pendekatan nilai energi *flux* tersebut maka potensi sedimentasi dan abrasi (erosi) dapat ditunjukkan dalam grafik energi *flux* gelombang (Gambar 5). Grafik turun dari W1 ke W3 adalah sedimentasi, sedangkan grafik naik dari W3 ke W5 adalah proses abrasi (erosi). Arah pergerakan material sepanjang tahun tersebut ditunjukkan oleh nilai energi *flux* negatif dan positif pada masing-masing lokasi titik peninjauan, dengan nilai energi *flux* negatif ke arah kiri dan positif ke arah kanan. Dengan demikian, arah dominan dari pergerakan sedimen tersebut cenderung ke arah barat daya yang dapat digambarkan dalam peta karakteristik pantai dan pergerakan arus bermuatan sedimen (Gambar 6).

Secara visual, arus sepanjang pantai timbul setelah energi gelombang mengalami refraksi karena adanya perubahan kedalaman di lepas pantai Lasem. Umumnya energi gelombang dan pergerakan sedimen tersebut terjadi pada saat air menuju pasang hingga pasang maksimum (*high-water level*) setelah melewati zona gelombang pecah (*breaker zone*) dan bergerak osilasi mengikuti arus sepanjang pantai dan sebagian bergerak ke arah lepas pantai (Gambar 7).

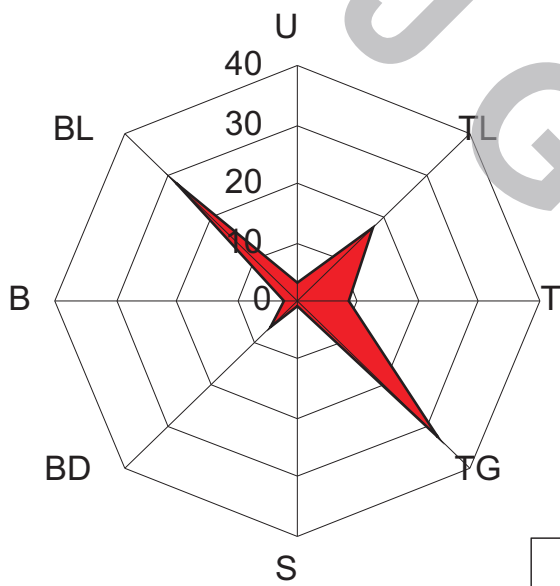
Hasil analisis pergerakan sedimen tersebut menunjukkan bahwa daerah abrasi meliputi kawasan bagian timur laut daerah penelitian dengan pergerakan arus sepanjang pantai yang disertai arah pengendapan sedimen ke arah barat daya. Pendekatan metode ini didukung oleh pengamatan secara visual yang ditandai dengan adanya pesisir pantai yang tererosi di bagian timur laut Lasem, sehingga profil pantai di daerah tersebut cenderung membentuk sudut lebih besar dari 45 derajat, sedangkan di bagian barat daya relatif landai karena adanya sedimentasi (Gambar 3).



Gambar 2. Peta sebaran sedimen perairan Lasem dan sekitarnya (Usman dtr., 2004).

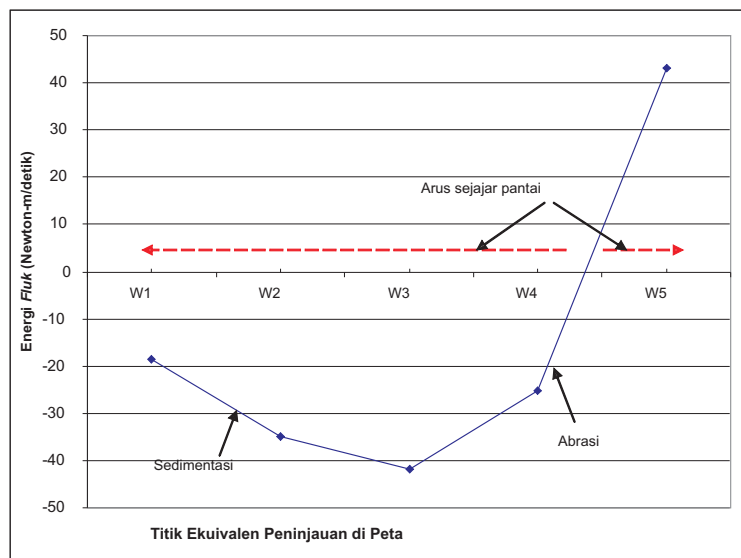


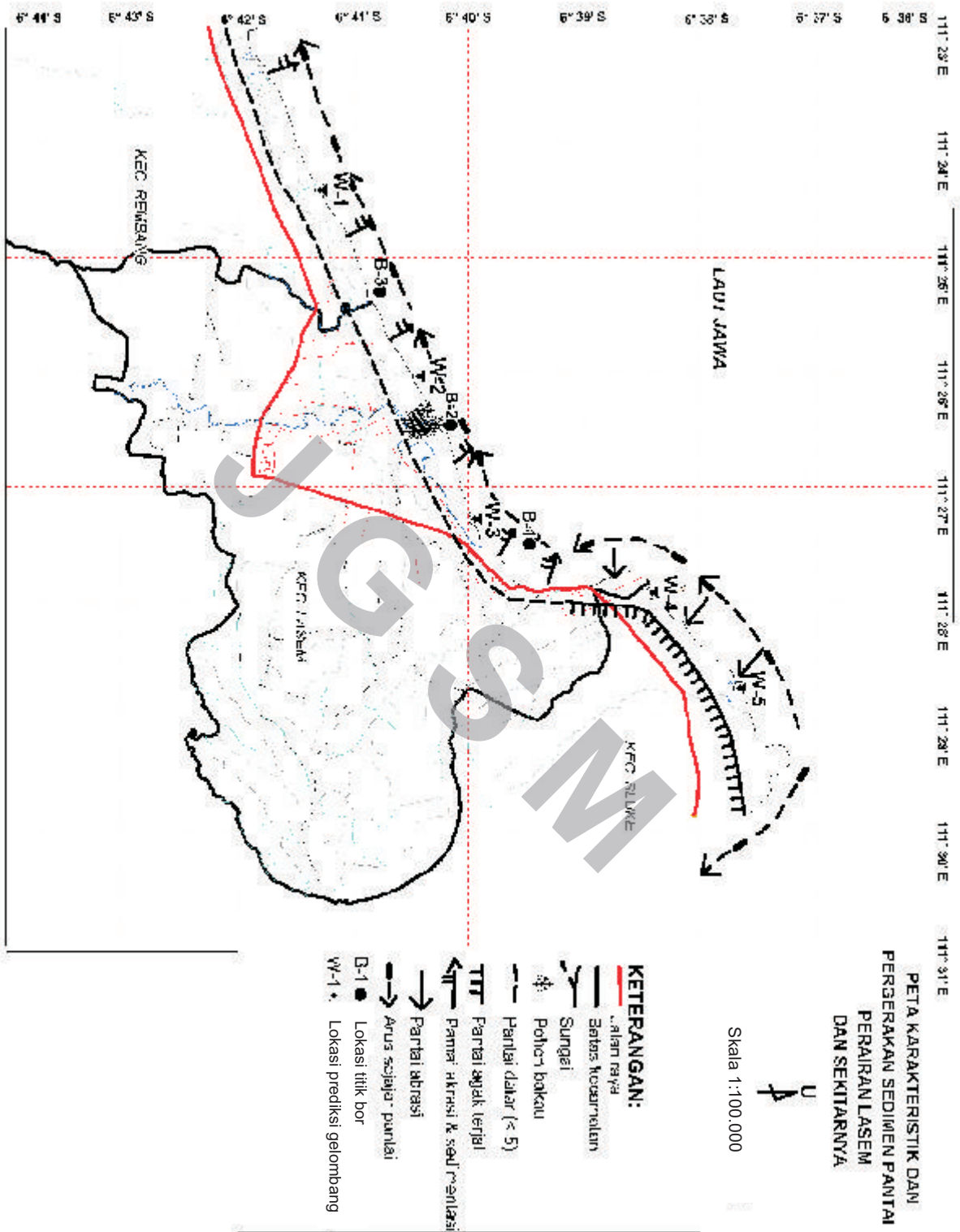
Gambar 3. Diagram tiga dimensi perairan Lasem dan sekitarnya.



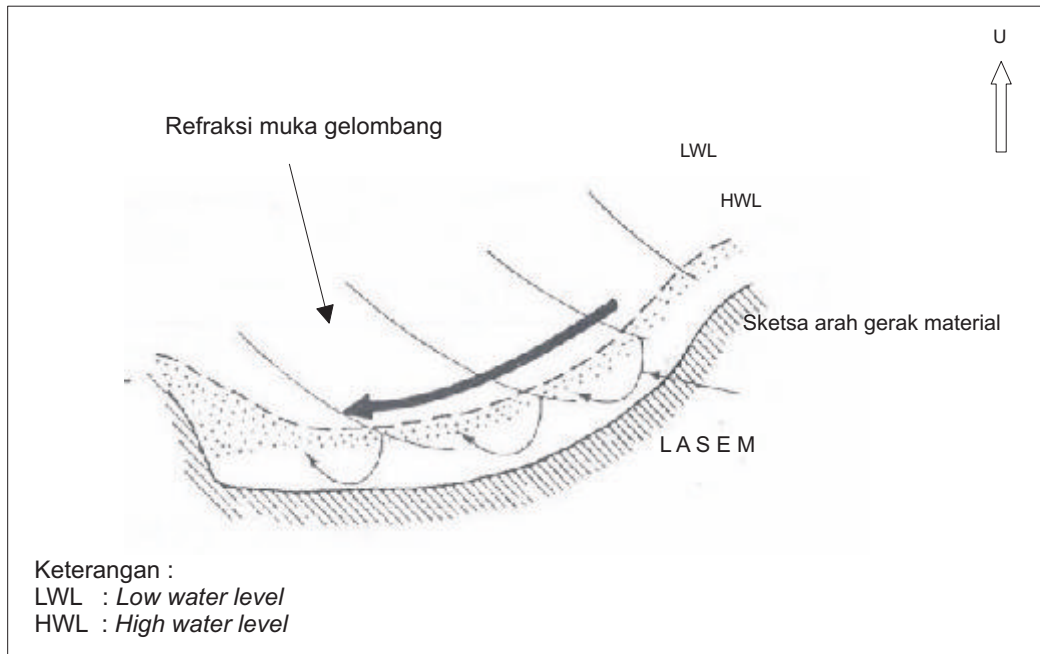
Gambar 4. Diagram windrose hasil analisis dari data Stasiun Meteorologi Tanjung Perak Surabaya (1981-1985).

Gambar 5. Kurva energi Flux gelombang perairan Lasem dan sekitarnya.





Gambar 6. Peta pergerakan arus bermuatan sedimen sepanjang pantai perairan Lasem dan sekitarnya.



Gambar 7. Arah gerak sedimen sepanjang pantai akibat refraksi gelombang di perairan Lasem dan sekitarnya yang beresilasi antara surut terendah (LWL) dan pasang tertinggi (HWL).

Tabel 1. Analisis Persentase Frekuensi Arah Angin Permukaan di atas 10 Knot

Arah	Persentase Frekuensi (n) Arah Angin (%)
Utara	3.01
Timur Laut	17.73
Timur	8.63
Tenggara	32.55
Selatan	0.98
Barat Daya	6.29
Barat	2.20
Barat laut	28.57

Tabel 2. Hasil Analisis Energi *Flux* Gelombang di Perairan Lasem dan Sekitarnya

Lokasi	Prediksi Energi <i>Flux</i> Gelombang (Po) N-m/det)
W1	-18,56
W2	-34,9
W3	-41,86
W4	-25,2
W5	43,1

Kecepatan arus pasang surut (*tidal current*) yang terekam di daerah penelitian secara eksplisit relatif kecil, yaitu rata-rata 0,1 meter/detik pada saat surut dan 0,05 meter/detik pada saat pasang. Dengan demikian, pengaruhnya terhadap pergerakan sedimen jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan kecepatan pasokan sedimen yang ditimbulkan oleh komponen arus sepanjang pantai. Pada saat pengamatan arus pasang-surut, kondisi perairan relatif keruh dengan tingkat kecerahan air antara 30 hingga 50 cm dari permukaan air. Hal ini menunjukkan adanya sedimen mengambang yang dipasok oleh sistem arus pasang-surut di perairan Lasem. Oleh karena kecepatan arus pasang surut tersebut relatif kecil, maka prediksi tinggi gelombang perairan dalam, khususnya pada tiga lokasi (W1, W2 dan W3), diperlukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh energi gelombang yang memicu proses erosi dan arus sepanjang pantai di daerah Lasem (Gambar 6). Ketiga lokasi tersebut dipilih untuk dikaji jumlah pasokan sedimennya yang mewakili daerah erosi (W4 dan W5).

Dengan asumsi percepatan gravitasi (g) 9,81 m/detik², porositas sedimen (p) 0,4, konstanta pasokan sedimen (K) sebesar 1288, dan densitas sedimen (P_s) 2650 kg/m³, maka pendekatan secara empiris terhadap jumlah pasokan sedimen tersebut dapat didekati dari formulasi yang diaplikasikan oleh Komar dan Inman dalam Bijker (1988), yaitu :

$$Q = K P_i / (\rho_s - \rho) g (1 - p)$$

Dengan mensubstitusikan sudut datang gelombang terhadap garis pantai dan nilai energi *flux* gelombang (P_o) ke dalam formulasi *longshore-energy flux* (P_i) di bawah ini :

$$P_i = 0,5 P_o \sin 2\theta$$

maka volume pasokan sedimen rata-rata sepanjang pantai (Q) dapat diperoleh (Tabel 3). Hubungan matematis di atas memperlihatkan bahwa nilai kumulatif KP_i , merupakan fungsi linier nilai Q . Oleh sebab itu, besaran energi *flux* yang diperoleh di perairan Lasem dan sekitarnya (Tabel 2), merupakan salah satu acuan untuk mendapatkan nilai pasokan material rata-rata (Q) per satuan waktu. Pada musim timur dan barat, nilai Q ini akan meningkat jika faktor *longshore-energy flux* (P_i) meningkat ke arah bagian barat daya daerah penelitian.

Peta pergerakan arus bermuatan sedimen (Gambar 6) dan prediksi pasokan sedimen rata-rata sepanjang pantai (Tabel 3) menunjukkan bahwa dari barat daya ke timur laut nilai pasokan sedimen rata-rata per tahun (Q) adalah sebesar 1308.8, 2461.4, dan 2952 m³/tahun. Energi *flux* gelombang terendah terdapat di bagian barat daya daerah penelitian, yaitu pada zona W-1, sedangkan tertinggi berada di bagian zona W-3. Besaran energi *flux* sepanjang pantai PI (Tabel 2) dan nilai pasokan sedimen rata-rata Q (Tabel 3) bukan merupakan nilai mutlak sepanjang tahun. Nilai pasokan sedimen (Q) ini dapat berubah-ubah, akan tetapi pola (*trend*) grafik penurunan maupun peningkatan nilai pasokan sedimen (Q) pada masing-masing lokasi tersebut relatif sama. Demikian juga perubahan nilai P_i pada musim barat dan musim timur akan mengubah besaran pasokan sedimen rata-rata (Q) sepanjang tahun. Oleh karena nilai parameter oseanografi (gelombang dan arus sejajar pantai) bersifat dinamis, maka pendekatan nilai empiris pada Tabel 3 tersebut paling tidak, dapat memberi gambaran bahwa jumlah pasokan sedimen per tahun yang bergerak ke arah barat daya cukup signifikan. Besar dan kecilnya jumlah pasokan sedimen (Q) tersebut sangat ditentukan oleh percepatan arus sejajar pantai yang memicu erosi di bagian timur laut daerah penelitian.

Dengan melihat kondisi di lapangan serta hasil prediksi tinggi gelombang dan pasokan sedimen rata-rata sepanjang tahun maka paling tidak, ada dua sumber pemasokan material di pesisir perairan Lasem ke arah barat daya, yaitu yang pertama adalah yang berasal dari daratan terutama yang dipasok oleh sungai pada musim hujan (foto 1), dan kedua adalah dari erosi pantai di bagian timur laut daerah penelitian.

Tabel 3. Hasil Prediksi Pasokan Sedimen Rata-rata Pertahun di Pantai Perairan Lasem dan Sekitarnya

No.	Lokasi	Prediksi Pasokan Sedimen Rata-rata Sepanjang Pantai (Q) (m ³ /tahun)
1.	Barat daya (Zona W-1)	1308.8
2.	Tengah (Zona W-2)	2461.4
3.	Timur laut (Zonasi W-3)	2952

Analisis laju pasokan sedimen tersebut menunjukkan bahwa pengembangan sarana pelabuhan di wilayah Lasem perlu mempertimbangkan beberapa faktor di atas. Nilai pasokan sedimen rata-rata per tahun tersebut sangat erat kaitannya dengan frekuensi abrasi di pantai bagian timur laut daerah penelitian. Adanya pasokan sedimen bergerak ke arah barat daya tidak menutup kemungkinan akan mengakibatkan proses sedimentasi di pesisir pantai tersebut semakin berkembang.

Kondisi Batimetri

Hasil pemeruman (*sounding*) menunjukkan bahwa daerah perairan Lasem dan sekitarnya relatif dangkal dengan morfologi dasar laut yang relatif datar (Gambar 3). Hal ini ditunjukkan oleh kontur kedalaman di perairan bagian barat dan barat daya yang relatif renggang dengan kedalaman antara 2 hingga 5 meter pada saat surut. Sementara di bagian timur dan timur laut relatif rapat dengan kedalaman berkisar antara 5 hingga 18 meter pada saat surut (Gambar 8). Kedalaman laut bertambah ke arah utara dan timur laut dengan pola garis kontur cenderung berarah barat daya - timur laut mengikuti progradasi lengkungan daratan Lasem dan sekitarnya. Pendangkalan di bagian barat daya tersebut diperkirakan berkaitan dengan arah arus *longshore* yang dominan ke arah barat daya yang ditandai dengan munculnya gosong pasir di bagian barat daya dengan kontur kedalaman hanya 2 meter pada jarak kurang lebih 0,5 hingga 1 mil dari garis pantai (Gambar 8).

Penafsiran Seismik Dangkal

Jika dilihat dari data seismik dangkal saluran tunggal pada lintasan (Lin-17) dan lintasan (Lin-1), maka penafsiran seismik stratigrafi baik di bagian timur laut maupun di barat daya daerah penelitian menunjukkan ketebalan sedimen yang berbeda-beda, terutama pada lapisan sedimen di bagian atasnya. Lintasan seismik (Lin-17) yang mewakili daerah penelitian yang diberi garis tebal (Gambar 9) menunjukkan bahwa paling tidak, ada dua runtunan seismik, yaitu A dan B yang dapat diidentifikasi. Runtunan A merupakan paling bawah dengan karakter pantulan yang umumnya bebas refleksi (*reflection-free zones*), dan runtunan B paling atas yang terbagi dalam subruntunan B1, B2, B3, dan B4. Karakter pantulan pada runtunan maupun subruntunan tersebut memberikan informasi



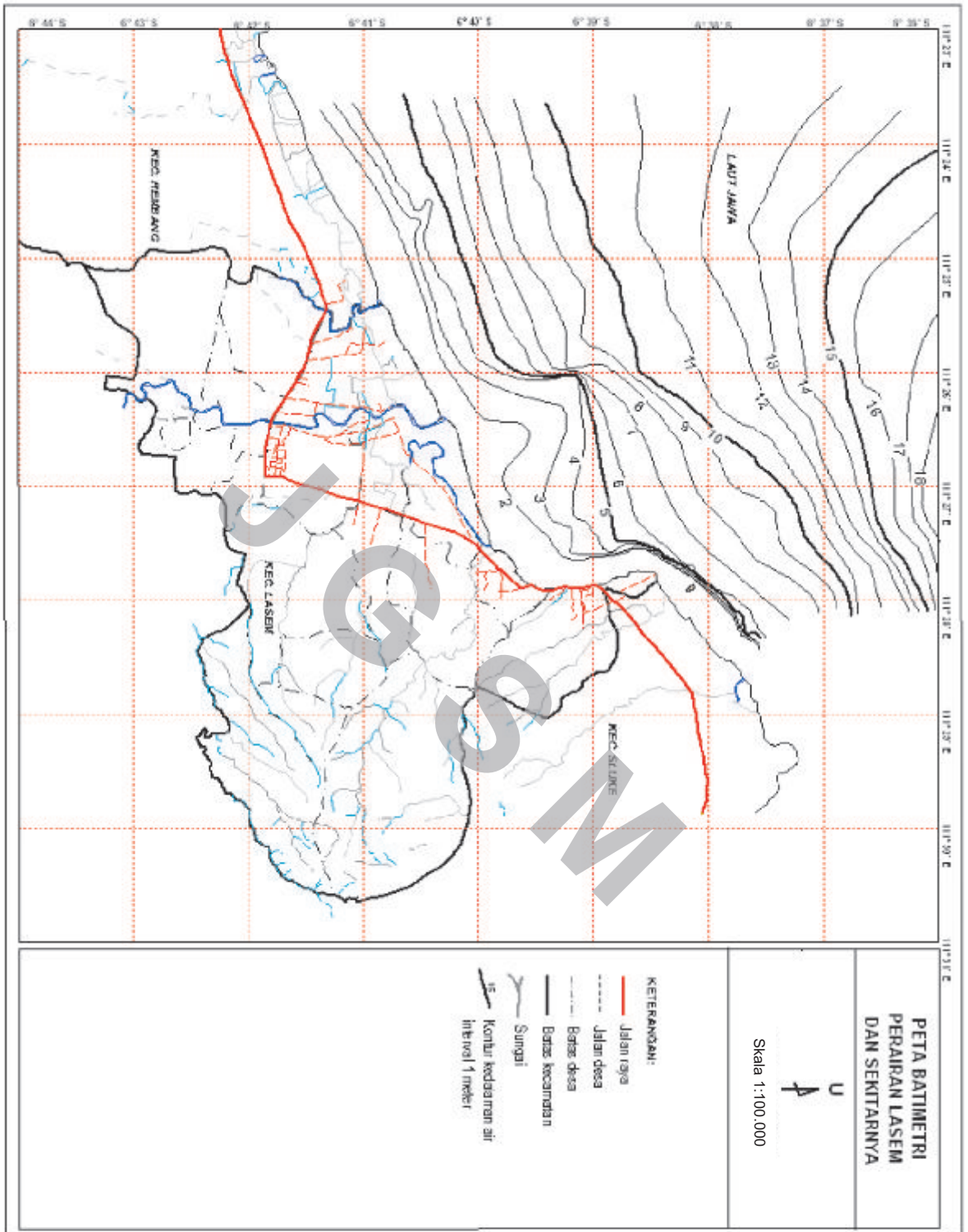
Foto 1. Sedimentasi di muara sungai di lokasi B2 di bagian tengah daerah penelitian.

keadaan geologi bawah permukaan yang berkaitan erat dengan perubahan permukaan air laut pada masa transgresi dan regresi. Fasies pantulan yang relatif lemah hingga kuat pada subruntunan B3, dan B4 ditafsirkan sebagai endapan pantai.

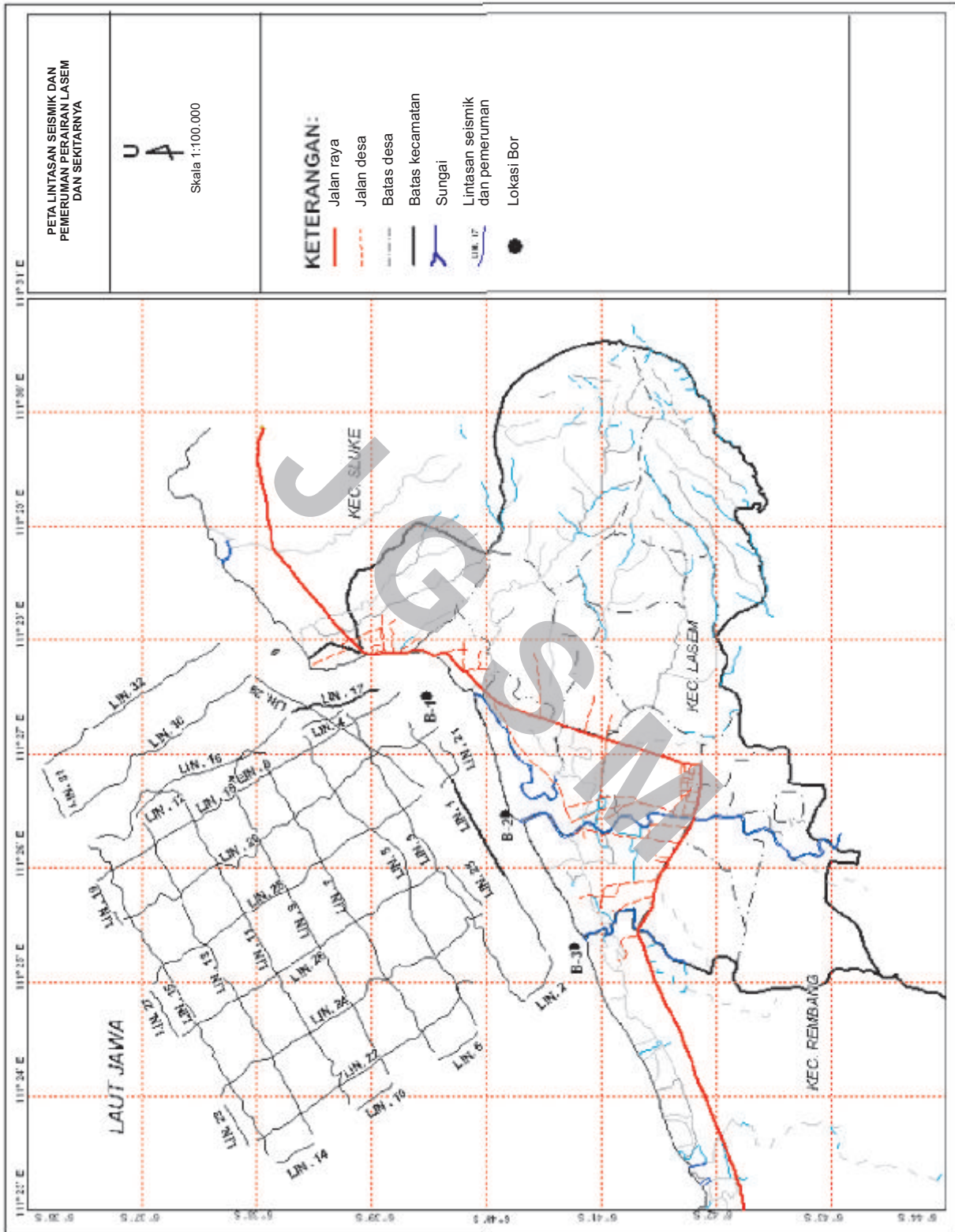
Sesuai prinsip penafsiran seismik stratigrafi dengan mengacu pada prinsip penafsiran seismik stratigrafi resolusi tinggi, maka subruntunan B4 yang mewakili daerah bagian timur laut daerah penelitian dapat ditafsirkan sebagai sedimen berbutir halus. Dengan asumsi kecepatan rambat gelombang seismik 1700 meter/detik pada batuan sedimen (Ringis, 1986), maka ketebalan lapisan sedimen tersebut adalah antara 2,5 hingga 24 meter (Gambar 10).

Demikian juga pada lintasan seismik (Lin-1) yang mewakili daerah bagian barat daya daerah penelitian, subruntunan B4 dapat ditafsirkan sebagai sedimen berbutir halus dengan ketebalan lapisan antara 5 hingga 40 meter (Gambar 12). Bidang kontak perlapisan bagian bawah subruntunan B3 dan B4 pada lintasan ini, dikontrol oleh karakter pantulan berupa sungai purba (*Paleochannel?*). Ketebalan subruntunan B4 pada masing-masing lintasan tersebut jauh berbeda satu sama lain.

Hasil analisis pada masing-masing lintasan tersebut menunjukkan bahwa ketebalan lapisan sedimen pada subruntunan B4 pada lintasan seismik (Lin-1) lebih tebal daripada lapisan subruntunan B4 pada lintasan seismik (Lin-17). Tebalnya sedimen subruntunan B-4 pada lintasan (Lin-1) diduga mempunyai kaitan dengan pergerakan sedimen purba, baik dari muara sungai purba maupun dari pergerakan sedimen dari arah timur laut pada saat ini.



Gambar 8. Peta kedalaman dasar laut (batimetri) perairan Lasem, Kabupaten Rembang dan sekitarnya.



Gambar 9. Lintasan seismik perairan Lasem dan sekitarnya.

Data seismik tersebut menunjukkan bahwa secara umum tataan litologi lepas pantai daerah Lasem dan sekitarnya diperkirakan terdiri atas sedimen yang berbutir halus hingga sedang dan homogen hingga heterogen, secara vertikal maupun horizontal. Jenis sedimen pada lapisan runtunan B mulai dari B1 hingga B4 ditafsirkan sebagai lempung dan lempung pasir (Gambar 11 dan 13). Sementara runtunan A dengan konfigurasi bebas pantul diperkirakan tersusun oleh sedimen yang homogen (*homogeneous sediments*) yang umumnya terdiri atas sedimen berbutir halus hingga sangat halus dengan lingkungan pengendapan sekitar daerah estuari dan daerah teluk (Ringis, 1986). Batas perlapisan antara subruntunan di beberapa tempat sulit diidentifikasi, terutama mendekati pesisir pantai. Diperkirakan kondisi ini disebabkan oleh perairan yang dangkal dan jenis batuan di kawasan tersebut. Ketebalan subruntunan B4 pada lintasan (Lin-1) menunjukkan bahwa paling tidak, arah pergerakan sedimen pada saat itu (*Paleo-sediment movement*) cenderung ke arah barat daya.

Penafsiran fasies karakter pantulan pada subruntunan B4 dengan ketebalan 2,5 hingga 40 meter pada lintasan (Lin-17) dan (Lin-1) yang mendekati titik bor B-1, B-2, dan B-3, mempunyai korelasi yang tidak jauh berbeda dengan deskripsi data bor pada masing-masing lapisan sedimen pada kedalaman antara 0 hingga 20 meter (Gambar 14, 15 dan 16).

Daya Dukung Litologi Pantai

Untuk mengetahui kondisi material penyusun pantai di daerah penelitian maka dilakukan pemboran pada tiga lokasi terpilih di laut, yaitu B-1, B-2, dan B-3 (Gambar 6). Uji pemboran ini untuk mengetahui daya dukung litologi daerah penelitian, antara lain dari hasil uji penetrasi standar (*Standard Penetration Test-SPT*) pada tiga lokasi tersebut. Deskripsi percontohan sedimen meliputi jenis berdasarkan ukuran butir, tekstur, dan komposisi. Sedimen yang diperoleh dari hasil pemboran tersebut langsung dideskripsi di lapangan secara megaskopis. Untuk mengetahui kepadatan relatif material, dilakukan uji N-SPT pada setiap 3 meter kedalaman lapisan

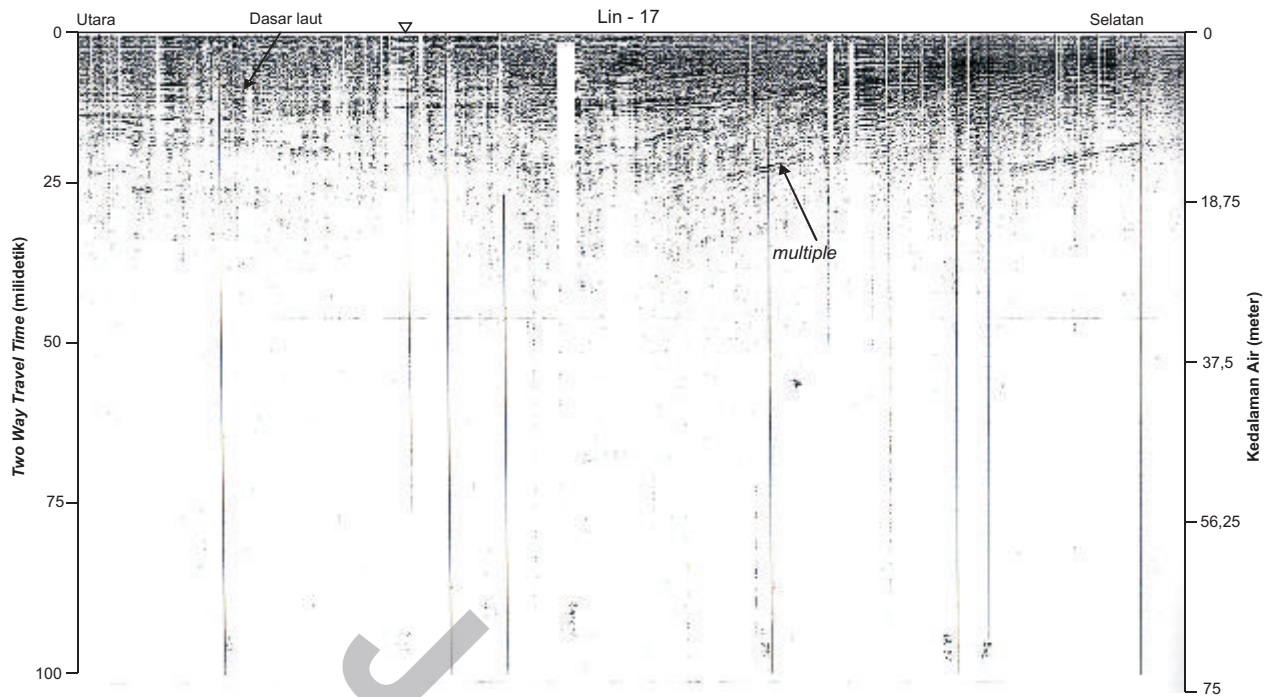
batuan berdasarkan data nilai tumbukan (N-SPT/30 cm) kedalaman inti bor (Gambar 14, 15, dan 16).

- B-1, satuan ini dijumpai pada kedalaman 12 meter hingga 20 meter berupa lempung padat pasir, berdasarkan nilai N-SPT antara 27/30 hingga 42/30, dengan konsistensi sebagai lempung padat (sangat kaku hingga keras).
- B-2, satuan ini dijumpai dari kedalaman 16 meter hingga 20 meter berupa lempung abu-abu padat pasir, berdasarkan nilai N-SPT antara 26/30 hingga 48/30, dengan konsistensi sebagai lempung padat (sangat kaku hingga keras).
- B-3, satuan ini dijumpai pada kedalaman 10 hingga 20 meter berupa lempung. Berdasarkan nilai SPT antara nilai 43/30 dan 36/30 dengan konsistensi sebagai lempung padat (sangat kaku hingga keras).

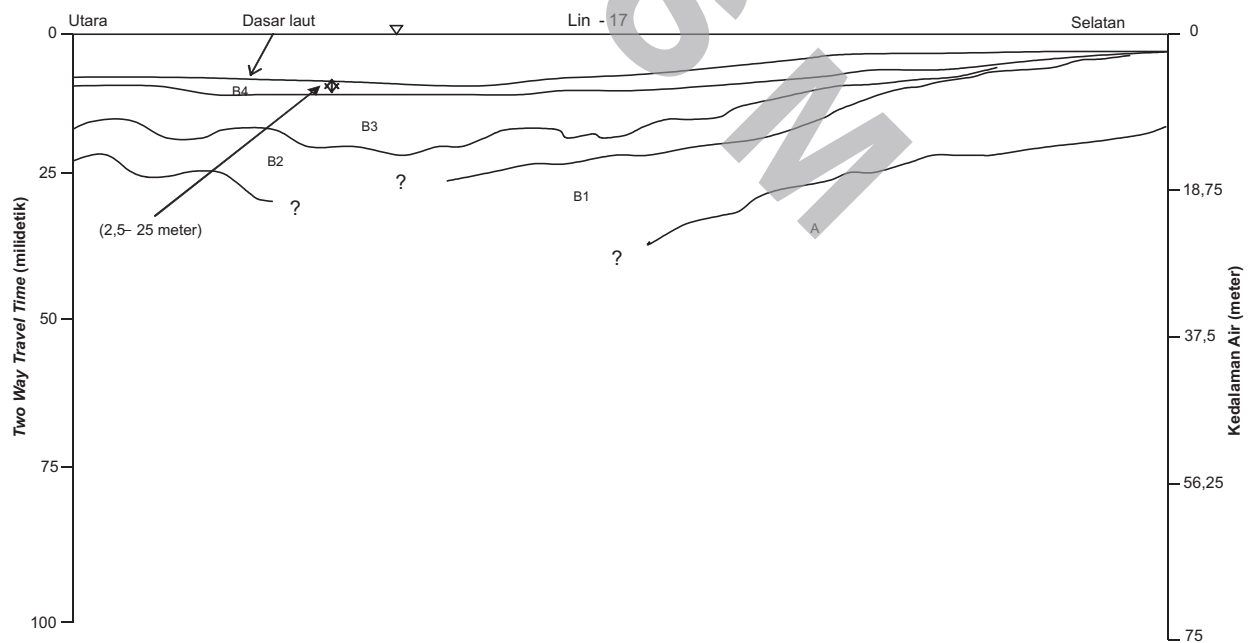
Hasil uji penetrasi standar pada tiga lokasi titik bor tersebut menunjukkan bahwa nilai N-SPT pada setiap kedalaman lapisan batuan sangat bervariasi (Tabel 4). Hasil pembacaan menunjukkan bahwa secara umum bagian permukaan memperlihatkan N-SPT yang relatif kecil, yaitu berkisar antara 2 hingga 9. Perkembangan N-SPT makin meningkat hingga pada kedalaman 7 meter, kemudian mengecil hingga kedalaman 12 meter. Akan tetapi pada kedalaman lebih besar dari 12 meter terjadi kenaikan (Gambar 17). Umumnya nilai N-SPT tersebut cenderung meningkat pada kedalaman bor lebih dari 18 meter dari dasar laut.

Jika hasil pembacaan N-SPT di lapangan dikaitkan dengan hubungan nilai N dengan kepadatan relatif (*relative density*) yang diklasifikasikan oleh Terzaghi dan Peck, 1948 dalam Hardiyatmo (2002), maka nilai N-SPT pada masing-masing lokasi titik bor pada kedalaman bor lebih dari 18 meter (Tabel 4) masuk dalam kategori lempung yang keras (Tabel 5).

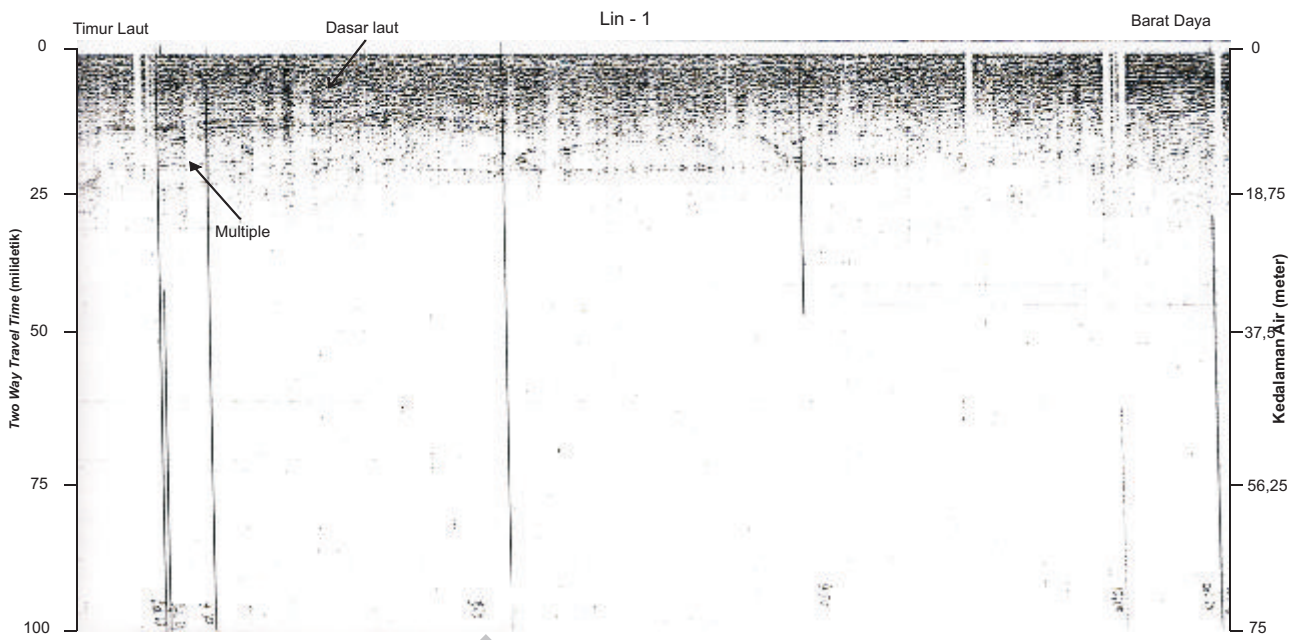
Kondisi ini menggambarkan bahwa jika dilakukan pekerjaan konstruksi dermaga di daerah penelitian, maka desain konstruksi berat tersebut harus diletakkan pada kedalaman lebih besar dari 18 meter, sedangkan pada kedalaman antara 0 hingga 18 meter, sifat fisik tanah relatif lunak (*soft*) hingga sangat kaku (*very stiff*).



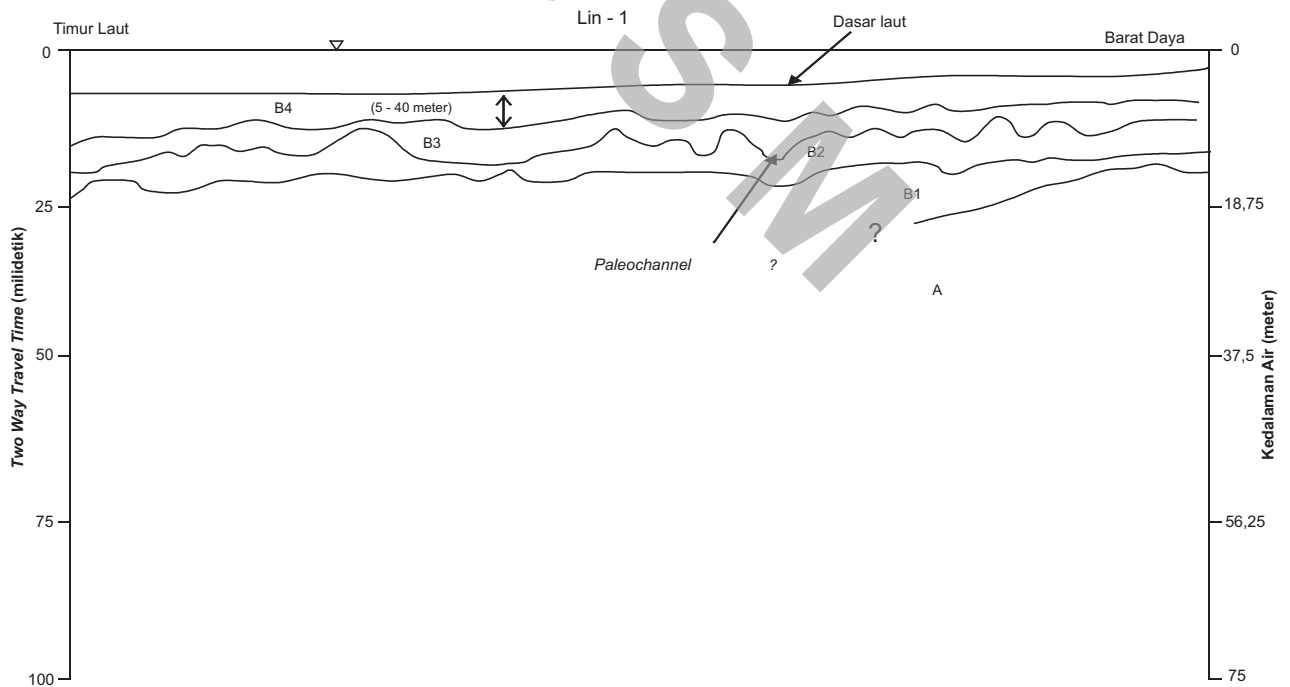
Gambar 10. Data seismik Lin-17 yang diambil di lepas pantai bagian timur laut daerah penelitian.



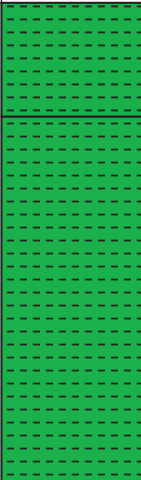
Gambar 11. Penafsiran data seismik Lin-17 yang memperlihatkan lapisan sedimen pada subruntuhan B4 yang relatif tipis.



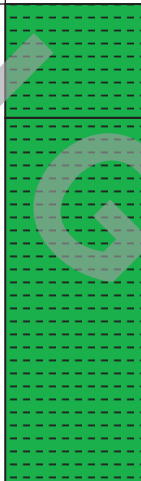
Gambar 12. Data seismik Lin-1 yang diambil di lepas pantai bagian barat daya daerah penelitian.



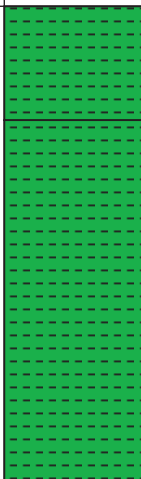
Gambar 13. Penafsiran data seismik Lin-1 yang memperlihatkan ketebalan lapisan sedimen pada subruntonan B4.

Kedalaman (m)	Simbol	N-SPT	Deskripsi
0			Lempung padat (sangat kaku hingga keras)
15		27/30	
16			Lempung pasiran (sangat kaku)
17			Lempung abu-abu (sangat kaku)
18		34/30	Lempung abu-abu (keras)
19			Lempung abu-abu (keras)
20		42/30	Lempung abu-abu (keras)

Gambar 14. Profil bor B-1 dengan nilai N-SPT pada tiap 3 meter kedalaman bor.

Kedalaman (m)	Simbol	N-SPT	Deskripsi
0			Lempung kuning (sangat kaku)
15		26/30	
16			Lempung abu-abu (sangat kaku)
17			Lempung abu-abu (keras)
18		36/30	Lempung abu-abu (keras)
19			Lempung abu-abu (keras)
20		48/30	Lempung abu-abu (keras)

Gambar 15. Profil bor B-2 dengan nilai N-SPT pada tiap 3 meter kedalaman bor.

Kedalaman (m)	Simbol	N-SPT	Deskripsi
0			Lempung kuning (keras)
15		43/30	
16			Lempung putih (keras)
17			Lempung putih (keras)
18		32/30	Lempung putih (keras)
19			Lempung putih (keras)
20		36/30	Lempung putih (keras)

Gambar 16. Profil bor B-3 dengan nilai N-SPT pada tiap 3 meter kedalaman bor.

Tabel 4. Data Hasil Pembacaan N-SPT di Perairan Lasem

No. Titik Pengujian	Kedalaman	Lokasi		
		B-1	B-2	B-3
1	1	8	9	2
2	3	24	21	4
3	6	26	20	18
4	7	29	28	30
5	9	32	32	27
6	12	23	23	21
7	14	21	24	32
8	15	27	26	43
9	18	34	36	32
10	20	42	48	36

DISKUSI

Hasil analisis parameter oseanografi, khususnya prediksi pasokan sedimen pada zona W-3 (Tabel 3), menunjukkan bahwa nilai Q di lokasi ini lebih besar daripada di zona W-1 dan W-2 dengan jumlah nisbi pasokan sedimen cenderung bergerak ke arah barat daya sesuai dengan pergerakan arus sepanjang pantai di daerah Lasem dan sekitarnya (Gambar 6). Kondisi ini menggambarkan bahwa daerah bagian barat daya lokasi penelitian diperkirakan akan menjadi zona akumulasi sedimen sepanjang tahun. Perkembangan daerah sedimetasi tersebut terpantau pada peta batimetri yang renggang di bagian tengah hingga ke barat daya daerah penelitian, dengan kedalaman 1 sampai dengan 2 meter jauh ke arah lepas pantai (Gambar 8). Di pihak lain, bagian timur laut daerah penelitian menunjukkan pola kontur yang relatif rapat dan lebih dalam jika dibandingkan dengan perairan di bagian barat daya, yaitu di atas 6 meter. Hal ini menunjukkan bahwa proses pendangkalan yang disebabkan oleh pasokan arus yang bermuatan sedimen ke arah timur laut relatif kecil jika dibandingkan dengan ke arah barat daya. Oleh sebab itu proses pendangkalan di perairan bagian barat daya daerah penelitian diperkirakan akan menjadi kendala di hari kemudian jika dijadikan pelabuhan Nusantara.

Di pihak lain, dari aspek geoteknik, jika mengacu pada hubungan nilai N dengan *relatif density* yang diklasifikasikan oleh Terzaghi & Peck (1948) dalam Hardiyatmo (2002), maka daerah penelitian dapat dikategorikan tanah yang keras pada kedalaman bor di atas 18 meter.

Jika kondisi ini dikorelasikan dengan arah pergerakan sedimen sepanjang pantai dan data batimetri daerah Lasem dan sekitarnya, maka daerah bagian timur laut lebih berpeluang untuk dikembangkan menjadi daerah pelabuhan Nusantara jika

dibandingkan dengan daerah bagian tengah dan barat daya daerah penelitian.

KESIMPULAN

Pergerakan sedimen ke arah barat daya terutama ke arah zona W-1 dan W-2 diperkirakan menjadi kendala di hari kemudian jika kawasan tersebut diperuntukan sebagai lokasi pelabuhan Nusantara. Pasokan sedimen dari timur laut ke arah barat daya tersebut relatif besar.

Tebalnya sedimen subbruntunan B4 pada lintasan (Lin-1) diduga mempunyai kaitan dengan pergerakan sedimen purba dari arah timur, dan berkembang hingga saat ini. Daya dukung tanah daerah penelitian termasuk ke dalam kategori tanah yang keras pada kedalaman lebih dari 18 meter.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada rekan-rekan yang tergabung dalam kerja sama penelitian dan juga kepada Kepala Puslitbang Geologi Kelautan Ir. Subaktian Lubis, M.Sc. atas izin dan dukungannya dalam penerbitan makalah ini. Terima kasih kepada Dr. Surono (PSG) dan Ir. Untung Sudarsono, M. App. Sc. (PLG) atas saran dan masukannya hingga makalah ini dapat diterbitkan.

ACUAN

- Bijker, E.W., 1988. An international journal for coastal, harbour and offshore engineers, *Coastal Engineering* 12 (3):285-297.
- Bretschneider, C.L., 1954. Generation of wind wave over a shallow bottom, *US Army Corps of Engineering, Beach Tech. Memo* 51:22.
- Data angin dan curah hujan, 1981-1985. Stasiun Meteorologi Tanjung Perak Surabaya, Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta.
- Hardiyatmo, CH., 2002. *Mekanika tanah I*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Ijima and Tang F.L.W., 1967. Numerical calculation of wind wave at shallow water, *Proc. 10th Conf. Coastal Eng.* :3-45.
- Kadar, D. dan Sudijono, 1993. *Peta geologi Lembar Rembang, Jawa, skala 1 : 250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Ringis, J., 1986. Seismic Stratigraphy In Very High Resolution Shallow Marine Seismic Data, *Proceedings Of the Joint ASCOP/CCOP Workshop I*, Jakarta, Indonesia :115-127.
- Usman, E., Ilahude, D., Novico, F., Mirayosi, Setyadi, D., Karmine, M., Tri Dewi, K., Hartono, Permanawati, Y., 2004. *Kajian aspek geologi dan geofisika pengembangan pelabuhan Lasem, Kabupaten Rembang*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Laporan internal.

Naskah diterima	: 5 Juli 2005
Revisi terakhir	: 30 Mei 2007