

Pendugaan Proses Pencampuran Limbah Cair di Wilayah Perairan Estuaria

Oleh

M.S Wibisono

S A R I

Wilayah estuaria merupakan salah satu alternatif sebagai tempat pembuangan limbah cair kegiatan migas yang diduga masih mengandung kadar hidrokarbon, walaupun kecil beserta komponen-komponen toksik lainnya. Mengingat wilayah tersebut merupakan wilayah ekosistem yang berdekatan dengan pantai dan yang mempunyai produktivitas tinggi, selalu dinamis, berfluktuasi sesuai gerakan pasang surut, maka daya dukung estuaria perlu mendapat perhatian. Studi ini bertujuan untuk mengetahui tipe pencampuran muara setempat dalam rangka untuk memperkirakan proses pencampuran pencemar dengan perairan muara. Selanjutnya metode yang digunakan diharapkan bisa diterapkan dan dikembangkan guna kepentingan pengelolaan lingkungan pantai yang lebih baik termasuk kegiatan pemantauannya.

Pengamatan dilakukan di delapan stasiun di wilayah muara Sungai Saliki (Muara Badak), yang merupakan cabang Sungai Mahakam bagian utara. Pada tiap stasiun dilakukan pengamatan terhadap kedalaman dan tingkat salinitas saat pasang dan surut, sedangkan pengukuran pasang surut dilakukan di pelabuhan Badak Hilir selama 48 jam menggunakan tide-staff dicatat setiap 30 menit. Hasil studi menunjukkan bahwa tipe pasang surut di wilayah studi termasuk Harian Ganda. Kedalaman di wilayah muara berkisar antara 1 – 8,8 meter dari duduk tengah, dengan tipe pencampuran pada irisan membujur sepanjang muara saat pasang slightly stratified – salt wedge, dan saat surut menjadi slightly stratified – highly stratified.

I. PENDAHULUAN

Pada umumnya limbah cair kegiatan migas ada yang langsung dibuang ke tengah laut menggunakan *submersible pipe*, tapi ada pula yang dibuang di daerah hilir dari aliran sungai setelah diolah lebih dahulu dan

memenuhi syarat baku mutu air buangan serta dengan mempertimbangkan nilai peruntukan bagi badan air penerima limbah. Maksud dan tujuan dari pemanfaatan wilayah pantai dan atau laut sebagai tempat pembuangan akhir limbah cair tersebut

adalah untuk mengurangi kemungkinan terjadinya pencemaran dengan berbagai bentuk dampak negatif di wilayah terestrial (*on-shore*) yang tidak dikehendaki. Hal ini juga bukan berarti wilayah pantai dan atau laut dapat ditawarkan sebagai tempat

ABSTRACT

Estuarine waters ecosystem is an alternative spot as a recipient body of oil and gas effluent. This effluent is sometime still indicated the occurrence of oil content and other toxic materials though in a small amount. Since the estuary is a coastal ecosystem of the mouth of a river and connects to the open sea, with high productivity, always dynamics, tidally fluctuated, so that its carrying capacity should be primarily taken into account. The aim of the study is to obtain the mixing type of the estuarine waters locally in the framework of the mixing process estimation of the pollutant in the water column. The method detailed herein may hopefully be applied and developed in order to support better coastal management and monitoring.

Observation was carried out at eight stations within the estuary of Saliki river (Muara Badak), of which the north branch of Mahakam river. The depth and salinity were measured in each station at the time of tide and ebb, while observation on the tidal stream was implemented at Badak Hilir harbour for the duration of 48 hours using tide-pole, and the height of the water was noted in every 30 minutes. The results of study indicated that tidal type in the study area was semi diurnal. The range of water depth in Muara Badak area was between 1 – 8,8 meters measured from the mean sea level, with the mixing type along the estuary was slightly stratified - salt wedge at the time of tide and slightly stratified – highly stratified at the time of ebb.



buangan yang berisiko dampak.

Estuaria merupakan bagian hilir dari aliran sungai yang berdekatan dengan bagian pantai dan atau laut. Semula definisi dan klasifikasi estuaria diberikan oleh para ahli geologi dan peneliti kelautan (*physical oceanographer*). Namun mengingat fungsi estuaria begitu penting, kompleks dan khas dalam konteks ekologi perairan pantai/laut maka pengertian umum dari estuaria mengalami pembaharuan seiring dengan kemajuan di bidang ilmu pengetahuan. Definisi yang banyak disitir dari literatur ilmiah diberikan oleh Pritchard (1967) yang mengatakan bahwa estuaria adalah suatu badan perairan pantai yang semi tertutup, tetapi masih mempunyai hubungan dengan laut terbuka di mana air laut mengalami pelarutan yang bisa diukur dengan massa air tawar yang berasal dari drainase darat.

Definisi dari Pritchard tersebut tampaknya tidak menyebut tentang pasang surut yang merupakan salah satu sifat fisis hidro-oseanografi yang terasa di setiap daerah pantai. Pada kesempatan lain Odum (1969) pernah mendefinisikan estuaria sebagai ekosistem permukaan air yang berfluktuasi sesuai dengan kondisi pasang dan surut. Definisi tersebut malah terkesan terlalu sederhana dan kurang tajam. Baru pada tahun 1980, Fairbridge memberikan batasan yang lebih komprehensif sebagai berikut: Estuaria merupakan tempat masuk (*inlet*) air laut hingga mencapai lembah sungai sejauh pengaruh pasang masih tampak ke arah hulu dan bisa dibagi menjadi tiga segmen muara yakni:

- a) Segmen pantai atau bagian terendah dari estuaria yang berhubungan langsung dengan laut terbuka.
- b) Segmen tengah yang dipengaruhi oleh salinitas yang tinggi dan terjadi pencampuran dengan air tawar (sungai).
- c) Segmen hulu (*fluvial estuary*)

yang ditandai oleh dominasi air tawar tetapi masih terpengaruh oleh gerakan pasang harian.

Batas dari masing-masing segmen tersebut sangat bervariasi dan tergantung pada perubahan-perubahan yang teratur (*constant changes*) dalam aliran sungai.

Walaupun definisi Fairbridge di atas mengesampingkan beberapa bentuk geomorfis pantai seperti misalnya laguna, delta dan estuaria non-pasang surut, namun pembagian atas tiga segmen tersebut di atas sudah dianggap cukup dapat menggambarkan sebagian besar dari ciri-ciri fisik, geologis dan ekologis. Ekosistem estuaria selain merupakan habitat peralihan antara ciri-ciri ekosistem terestrial dengan perairan tawarnya dan habitat perairan marin, juga merupakan wilayah pantai yang mempunyai tingkat produktivitas tinggi. Keberadaan hutan bakau, dengan habitat tanah berlumpur (*wetlands*) berikut jenis-jenis fauna yang ada merupakan keadaan yang khas yang tidak terdapat di habitat darat maupun di habitat marin. Para ahli beranggapan bahwa ada korelasi antara banyak sedikitnya hasil tangkapan perikanan di laut dengan keadaan tingkat kesuburan *wetlands* yang merupakan bagian wilayah sekitar estuaria.

Secara umum Day, dkk. (1989) membagi sumber-sumber penyebab dampak kegiatan manusia terhadap ekosistem estuaria kedalam empat kategori utama yakni:

1. Peningkatan kadar (*enrichment*) bahan organik atau hara anorganik atau peningkatan suhu.
2. Pengrusakan fisik wilayah muara: merupakan perubahan secara langsung pada struktur fisik atau dinamika estuaria dalam waktu relatif lebih cepat.
3. Introduksi bahan-bahan yang bersifat toksik baik secara akut maupun khronis.

4. Perubahan struktur komunitas melalui penebangan pohon/vegetasi dalam jumlah besar maupun introduksi jenis-jenis baru.

Mengingat limbah cair dalam kegiatan migas diduga masih mengandung hidrokarbon minyak walaupun kecil, apalagi bila dalam kondisi *shut down*, maka bila tidak dikelola dengan baik bisa termasuk dalam kategori 3 menurut penggolongan Day tersebut di atas. Bentuk n-alkana mudah didegradasi oleh kegiatan mikroba dan reaksi kimia, oleh sebab itu Grahl-Nielsen (1987) menyarankan penggunaan naftalena, fenantrena, dibenzothiofena dan homolog yang ber-alkilasi sebagai *chemical markers* untuk menentukan kadar hidrokarbon minyak di perairan maupun di jaringan nekton. Komponen-komponen tersebut di atas cukup banyak ditemui dalam substansi minyak, dan bukan berasal dari alam, serta cukup resisten terhadap proses *weathering* dan cukup mudah diperiksa dengan menggunakan kromatografi. Bila limbah yang mengandung hidrokarbon aromatik (*chemical markers*) secara terus menerus dibuang ke area estuaria maka bisa menimbulkan gejala akumulasi biologis pada jaringan organisme akuatik. Namun demikian menurut Fossato dan Canzonier (1976) terdapat waktu-paro biologis (*biological half-life*) dari pencemar yang terakumulasi dalam jaringan. Hal ini berarti bahwa organisme akuatik dapat memurnikan dirinya dari pencemar yang terdapat di dalam tubuhnya membutuhkan waktu minimal dua kali waktu-paro, dengan syarat selama periode tersebut tidak terjadi pencemaran. Sebaliknya hidrokarbon yang bersifat mudah menguap seperti misalnya benzena, toluena dan xilena kadarnya menurun dengan cepat sebanding dengan waktu dan jarak dari titik curah atau sumber limbah cair (*pollutant*) terutama disebabkan karena proses



evaporasi, dispersi dan kelarutan (*dilution*). Khusus bagi komponen pencemar yang mudah larut, maka proses pencampuran dalam kolom air muara dapat diketahui dengan menggunakan estimasi tipe pencampuran (*mixing type*) yang terjadi di wilayah estuaria setempat. Tipe pencampuran di wilayah muara tidak sama dengan muara yang lain tergantung dari beberapa faktor antara lain tipe pasang surut, kedalaman, debit air sungai, tiupan angin, proses sirkulasi dan ada tidaknya bentuk-bentuk geomorfologi pantai (laguna, delta). Oleh sebab itu tipe pencampuran muara setempat penting untuk diketahui dalam rangka untuk memperkirakan proses pencampuran pencemar dengan muara sungai sebagai badan penerima limbah cair guna kepentingan pengelolaan lingkungan yang lebih baik. Studi ini dilakukan di wilayah estuaria cabang Sungai Mahakam di bagian utara (Sungai Saliki) yang termasuk dalam wilayah administrasi Kabupaten Samarinda, Kalimantan Timur.

II. METODOLOGI

A. Lokasi pengamatan

Pengamatan dilakukan di delapan stasiun seperti tertera pada Tabel 1.

Selain itu pengamatan terhadap pasang surut dilakukan di pelabuhan Badak Hilir.

Tabel 1
Stasiun pengamatan Hidro-Oseanografi

Stasiun	Lokasi
Stasiun 1	Sungai Saliki bagian hulu
Stasiun 2A	Muara Sungai Saliki sebelah barat (Muara Badak)
Stasiun 2B	Tengah muara Sungai Saliki (Muara Badak)
Stasiun 2C	Muara Sungai Saliki sebelah timur (Muara Badak)
Stasiun 3	Selatan Tanjung Limau (dekat outlet limbah)
Stasiun 4	Utara delta
Stasiun 5	Timur Stasiun 6
Stasiun 6	Timur Tanjung Limau

B. Pengukuran kedalaman

Kedalaman perairan pantai dan estuaria diukur dengan menggunakan tali penduga yang diberi tanda tiap satu meter. Tali yang mempunyai pemberat tersebut saat diceburkan ke dasar perairan tidak dapat tegak lurus, melainkan agak miring membentuk sudut terhadap ordinat karena terhanyut arus. Jadi kedalaman air yang dicari dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$d = l \cos x$$

di mana:

d = kedalaman air yang dicari

l = panjang tali yang terentang miring

x = sudut antara tali dengan ordinat.

Angka "d" yang didapat akan dikoreksi lagi dengan angka surutan yang diperoleh dari hasil perhitungan pada grafik pasang surut. Hasil akhir menggambarkan kedalaman sebenarnya yang diukur dari duduk tengah (*mean sea level*).

C. Pengamatan salinitas

Pengamatan salinitas dilakukan dengan menggunakan peralatan salinometer merk YSI dan pengambil sampel air (*Kamerer water sampler*) di berbagai kedalaman. Setiap sampel air yang berhasil diambil di setiap kedalaman diukur salinitasnya. Pengamatan ini dilakukan bersamaan

dengan pengamatan kedalaman.

D. Pengamatan pasang surut

Data pasang surut diperoleh dengan dua cara, yakni dari data sekunder terbitan Dinas Hidro-oseanografi TNI-AL (1989 dan 1990) dan hasil pengamatan lapangan menggunakan alat ukur *tide-staff*. Tinggi air dicatat tiap 30 menit selama 24 jam. Angka yang didapat dari hasil pengamatan dan angka ramalan pasut dari data sekunder tersebut di atas pada saat yang bersamaan di gambar pada kertas grafik untuk mengetahui gambaran tipe pasang surut dan besar angka surutan. Selanjutnya grafik dari tipe pasang surut tersebut dicocokkan dengan Konstanta Pasang Surut (*Tidal Constants*) yang dihitung dengan metode Admiralty menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F = \frac{AK_1 + AO_1}{AM_2 + AS_2}$$

di mana:

F = konstanta pasang surut

AK_1 = amplitudo dari anak gelombang pasang surut Harian Tunggal rata-rata yang dipengaruhi oleh deklinasi bulan dan matahari.

AO_1 = amplitudo dari anak gelombang pasang surut Harian Tunggal yang dipengaruhi oleh deklinasi matahari.

AM_2 = amplitudo dari anak gelombang pasang surut Harian Ganda rata-rata yang dipengaruhi oleh bulan.

AS_2 = amplitudo dari anak gelombang pasang surut Harian Ganda rata-rata yang dipengaruhi oleh matahari.

Bila harga :

$0 < F < 0,25$ maka tipe pasang surut sebagai Harian Ganda (murni)

$0,25 < F < 1,50$ maka tipe pasang



surut sebagai campuran condong ke Harian Ganda.

$1,50 < F < 3,00$ maka tipe pasang surut sebagai campuran condong ke Harian Tunggal.

$F \geq 3,00$ maka tipe pasang surut sebagai Harian Tunggal (murni)

III. HASIL PENGAMATAN

A. Kondisi umum di wilayah

studi

Secara garis besar situasi umum pada tapak penelitian merupakan muara sungai yang dibatasi oleh sebagian daratan Kalimantan Timur dan salah satu Delta Mahakam bagian utara. Delta tersebut banyak ditumbuhi tanaman yang merupakan komposisi hutan rawa. Di sebelah selatan Tanjung Limau terdapat *outlet* limbah cair dari kegiatan eksplorasi-produksi migas yang berasal dari buangan stasiun pompa sentral dan beberapa tangki penimbun minyak mentah milik perusahaan kontraktor, VICO.

Muara tersebut menghadap ke arah timur laut (Selat Makasar). Seperti diketahui bahwa Selat Makasar mempunyai pola arus umum yang tetap dari utara menuju selatan sepanjang tahun. Dengan adanya bentuk-bentuk geografis pantai maka timbul arus balik dekat pantai yang diperkirakan berlangsung dari bulan April sampai bulan Oktober (Ilahude, 1978). Arus tersebut mengalir dari pantai timur Pulau Laut mengarah ke utara sepanjang pantai Kalimantan Timur sampai Tanjung Mangkaliat kemudian berbelok ke arah tenggara lalu menyatu kembali dengan pola arus umum di Selat Makasar menuju selatan.

B. Pasang surut

Pasang surut merupakan gerakan vertikal dari seluruh partikel massa air laut dari permukaan sampai bagian

terdalam dari dasar laut yang disebabkan oleh pengaruh gaya tarik menarik antara bumi dan benda-benda angkasa terutama bulan dan matahari.

Thurman (1988) mengatakan bahwa gerakan pasang surut yang disebabkan oleh gaya tarik antara bumi dan matahari hanya 46% saja sedang yang berasal dari gaya tarik menarik antara bumi dan bulan lebih dominan. Posisi bulan terhadap bumi sangat mempengaruhi kondisi pasang surut, sebagai contoh adalah bahwa pada bulan purnama (*full moon*) terjadi rata-rata pasang tertinggi (*spring tide*) dibanding dengan waktu pasang lainnya.

Pasang di perairan Selat Makasar pada umumnya merupakan rambatan pasang yang berasal dari kondisi pasang di Samudra Pasifik melalui Laut Mindanau dan Laut Sulawesi memasuki Selat Makasar yang kemudian diteruskan ke Laut Jawa. Mengingat tapak penelitian merupakan daerah bermuaranya salah satu anak Sungai Mahakam yang sangat lebar maka, kondisi pasang surut sedikit banyak juga mendapat pengaruh dari aliran sungai di estuaria. Walaupun energi pasang yang dari laut akan menjadi berkurang sebanding dengan berkurangnya kedalaman namun begitu memasuki estuaria air sungai didesak ke atas sehingga alirannya menjadi relatif terhenti pada saat puncak pasang tertinggi selama

beberapa saat dan bisa mencapai ketinggian tiga meter dari surut terendah. Hal ini berarti permukaan air sungai sama tinggi dengan permukaan air laut di mana kecepatan aliran dari kedua belah pihak menjadi nol. Kecepatan alir = 0 juga terjadi pada saat Air Rendah (*AR/low water*). Suatu titik yang berada di tengah antara Air Tinggi (*AT/high water*) dan Air Rendah (*AR*) mempunyai kecepatan alir terbesar.

Adapun tipe pasang di daerah tapak penelitian dan sekitarnya menurut hasil perhitungan konstanta pasang surut seperti tersaji pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 tersebut di atas tampak bahwa tempat-tempat tersebut mempunyai tipe pasang surut campuran condong ke harian ganda. Tipe ini mempunyai bentuk yang mendekati tipe harian ganda murni, di mana dalam satu daur pasang surut terdapat dua kali pasang dan dua kali surut selama periode 24 jam.

Selanjutnya hasil pengamatan pasang surut dan ramalan pasang surut dari data terbitan Dinas Hidro oseanografi TNI-AL ditunjukkan dalam grafik pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Dengan menggunakan ramalan pasut di kawasan Sungai Kutai maka bila grafik pasang surut kita amati, ternyata pada pengamatan tersebut

Tabel 2
Tipe pasang di Tapak Penelitian dan sekitarnya tahun 1989-1990.

No.	Lokasi	Amplitudo Komponen Pasang				F	Tipe Pasang
		K1	O1	M2	S2		
1	Bontang	23	13	59	38	0,37	Campuran, condong harian ganda
2	Sungai Kutai	24	15	59	43	0,38	Campuran condong harian harian ganda
3	Teluk Sangkulirang	19	19	52	34	0,44	Campuran, condong harian ganda



menunjukkan tipe harian ganda (semi diurnal) dengan tunggang air (fluktuasi) berkisar antara 20 – 22 dm dan posisi duduk tengah (*mean sea level*) kira-kira pada 162,5 cm dari dasar atau pada kedalaman 1,6 meter. Ternyata antara kurva ramalan dengan kurva hasil pengamatan, tidak terdapat perbedaan bentuk tipe pasang surut walaupun ada selisih rata-rata tunggang air sebesar 1,5 dm.

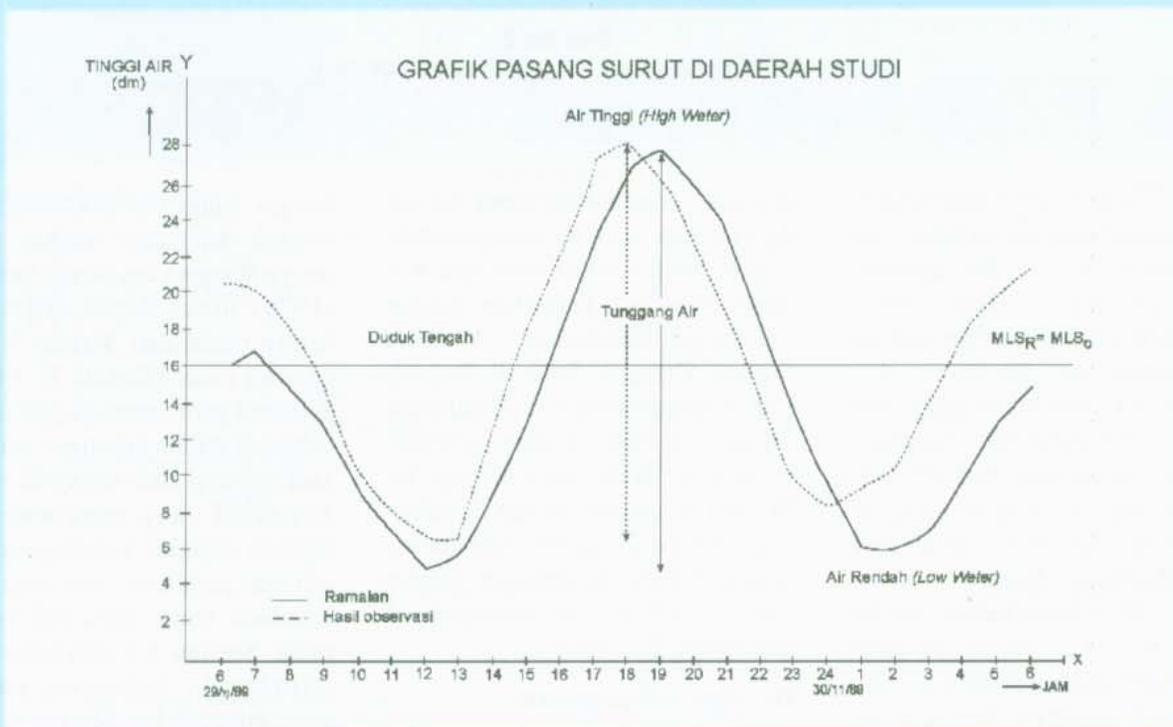
C. Kedalaman

Topografi dasar laut di daerah tapak penelitian umumnya diperlihatkan pada peta tematik yang menunjukkan kedalaman perairan secara umum. Sedangkan kedalaman sebenarnya dari tiap stasiun pengamatan dihitung dari rata-rata tinggi permukaan air laut (*mean sea level*) seperti tersaji pada Tabel 3. Dalam skala global *mean sea*

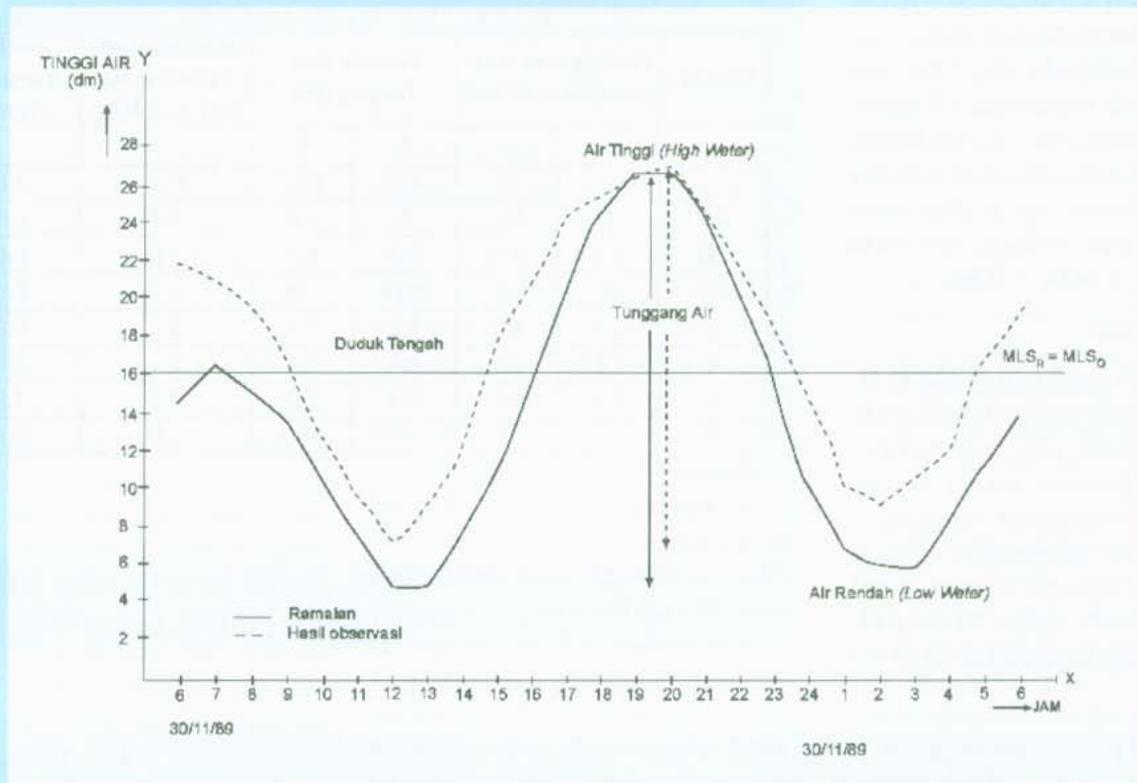
Tabel 3
 Konversi kedalaman tiap stasiun pengamatan

Stasiun	Kedalaman saat pengukuran (m)		Kedalaman hitung (m)		Kedalaman sebenarnya (m) dari MSL	Muka surutan (dm)
	P	S	P	S		
1	9	11	8,9	10,7	11,5	7,6
2A	6	5,2	5	4,8	5,4	5,6
2B	6,5	8,5	5,4	8,2	8,8	6,0
2C	1	2	0,97	1,98	2,7	6,8
3	3,5	4,5	3,2	4,4	5,2	8,2
4	2,5	3,3	2,4	3,1	3,4	3,0
5	3,7	2,6	3,4	2,3	2,5	1,8
6	-	1	-	0,97	1,0	0,4

Catatan:
 P = Pasang
 S = Surut.



Gambar 1
 Grafik Pasang Surut di Daerah Studi



Gambar 2
 Grafik pasang surut di daerah studi (lanjutan)

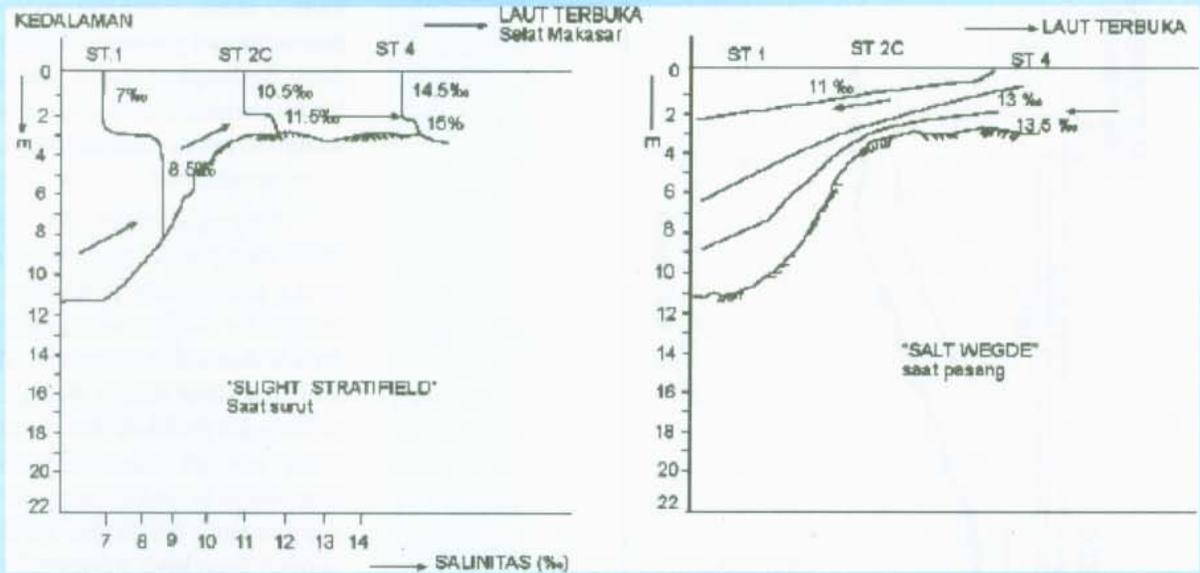
level ini secara teoretis dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain geoid, meteorologis, eustatik dan elemen-elemen hidrografi (Lisitzin, 1967). Walaupun tinggi rata-rata permukaan laut setempat juga ditentukan dari beberapa faktor minimum antara lain tinggi rata-rata bulanan dan tinggi rata-rata tahunan namun metode perhitungan langsung dengan mengkaitkan rata-rata dari muka surutan bisa dipertimbangkan (Rossiter, dalam: Lisitzin, 1967). Berdasarkan hal-hal tersebut di atas, tampaknya pada Stasiun 1 mempunyai kedalaman 11,5 meter. Selanjutnya Stasiun 2C merupakan stasiun yang paling dangkal yakni hanya 2,7 m. Ke arah timur yakni menuju Stasiun 4 menjadi agak lebih dalam yakni 3,4 meter. Sebaliknya Stasiun 2B merupakan

stasiun pengamatan yang paling dalam dari stasiun pengamatan bagian pantai yakni mencapai 8,8 meter, menyusul kemudian Stasiun 2A dengan kedalaman 5,4 meter. Stasiun 6 yang terletak di Tanjung Limau hanya mempunyai kedalaman sekitar 1,0 meter. Makin jauh dari tanjung ke arah timur menuju ke Stasiun 5 menjadi semakin dalam yakni sekitar 2,5 meter. Selanjutnya stasiun 3 yang berdekatan dengan outlet limbah cair mempunyai kedalaman 5,2 meter.

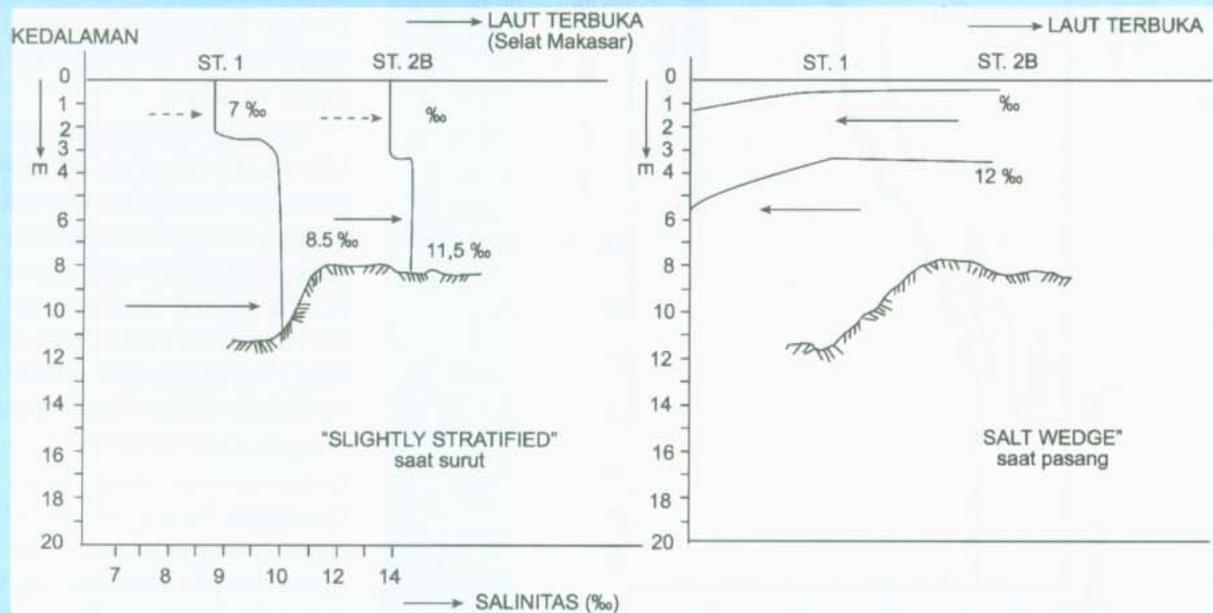
D. Tipe pencampuran

Berdasarkan data kedalaman dan salinitas yang diperoleh pada saat pasang maupun surut maka telah dicoba untuk memperkirakan tipe pencampuran di daerah muara

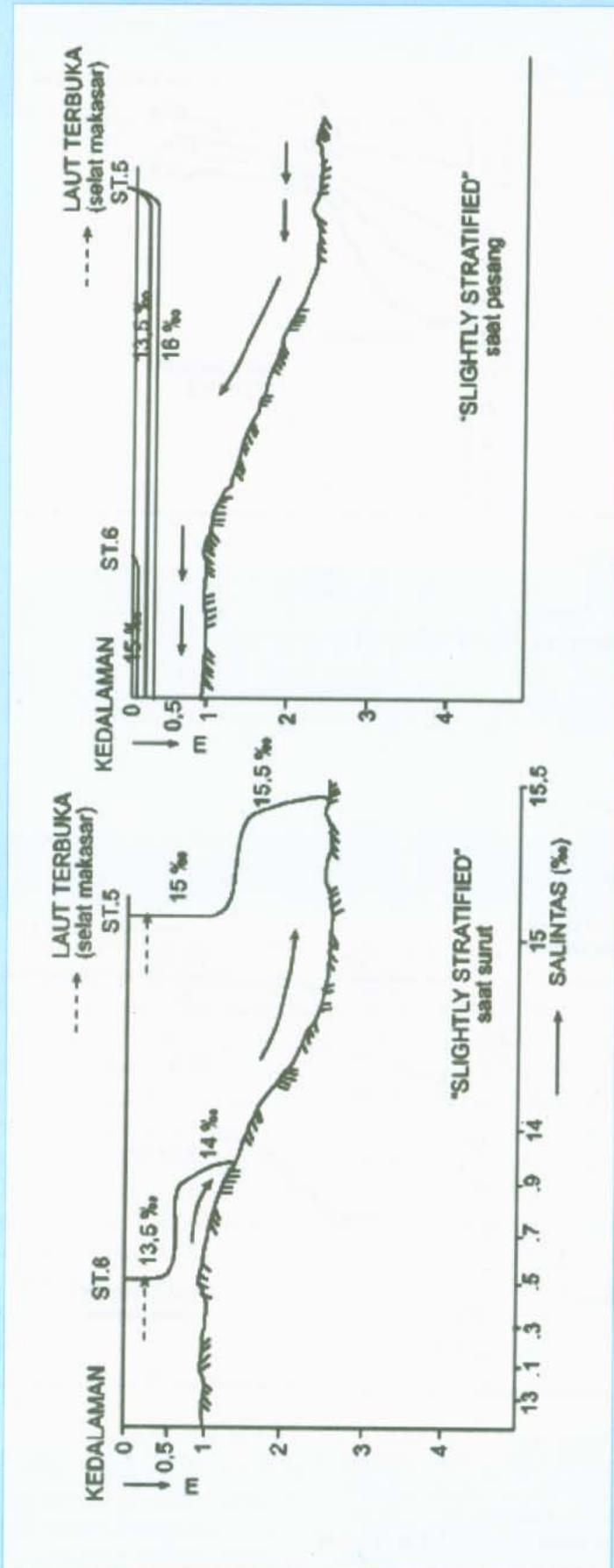
Sungai Saliki dan sekitarnya dalam bentuk diagram. Sesuai dengan penggolongan yang dibuat oleh Picard (1979) maka dapat disimpulkan bahwa mulai dari Stasiun 1 menuju ke arah timur (Stasiun 2C) terus ke Stasiun 4 gambaran tipe pencampuran termasuk dalam golongan *salt wedge* saat pasang dan menjadi *Slightly Stratified* yang membentuk pola lapisan dengan sedikit perubahan salinitas pada saat surut (Gambar 3). Keadaan yang sama juga dialami mulai Stasiun 1 sampai Stasiun 2B (Gambar 4). Sedangkan pada alur yang dimulai dari Stasiun 1 menuju Stasiun 2A dan berlanjut ke Stasiun 3 dan diperkirakan termasuk dalam golongan *slightly stratified* pada saat pasang. Sebaliknya pada saat surut menjadi *highly stratified*. Selanjutnya



Gambar 3
Tipe pencampuran di ST1, ST 2C & ST 4



Gambar 4
Tipe pencampuran di ST 1 & ST 2 B



Gambar 5
 Tipe pencampuran ST. 5 & 6

untuk daerah perairan sebelah timur tanjung Limau yaitu di Stasiun 5 dan Stasiun 6 (Gambar 5) ternyata pada saat surut mempunyai tipe pencampuran golongan *slightly stratified*. Sedangkan pada saat pasang berubah menjadi *highly stratified* dengan pola perubahan lapisan salinitas yang lebih jelas.

Mengingat pasang surut wilayah studi mempunyai tipe harian ganda maka jenis-jenis pencampuran di setiap alur stasiun pengamatan selalu terjadi dua kali saat pasang dan dua kali saat surut dalam waktu 24 jam. Selain jenis-jenis hidrokarbon aromatik yang mudah larut seperti telah disebutkan di muka, maka zat-zat lain yang bersifat toksik dan mudah larut seperti misalnya komponen fenol, logam-logam berat dsb. perlu mendapatkan perhatian khusus karena proses pencampuran mengikuti pola tersebut di atas sebelum terbawa arus menuju ke laut. Informasi lain mengatakan bahwa tingkat kelarutan hidrokarbon minyak akan menurun sebanding dengan kenaikan tingkat salinitas. Hal ini dibuktikan oleh Harned dan Owen (1975) bahwa kelarutan hidrokarbon minyak dalam air laut bervariasi dengan kisaran antara 12 % - 30 % dari fraksi larut dalam air suling.

Peranan gelombang walaupun bisa sedikit menghalangi perjalanan pencemar menuju ke laut namun di wilayah studi tampaknya tidak mengambil posisi yang penting karena faktor tiupan angin yang selalu berubah-ubah (tidak stabil). Hasil kajian ini menunjukkan bahwa tipe *vertically-mixed* tidak terdapat di wilayah studi. Hal ini berarti gambaran pencampuran yang benar-benar tercampur baik (*well mixed*) tidak terjadi sehingga bila ada pencemaran, maka dampak terhadap lingkungan muara diperkirakan tidak terlalu besar. Hutan bakau yang biasanya terdapat di wilayah estuaria merupakan salah satu bentuk ekosistem pantai yang



penting dan mempunyai tingkat produktivitas tinggi serta mempunyai hubungan yang saling mempengaruhi dengan ekosistem terumbu karang dan padang lamun. Sehubungan dengan hal tersebut maka idealnya wilayah muara atau estuaria berikut daerah sempadan termasuk dalam golongan wilayah lindung yang terbebas dari pengaruh kegiatan manusia. Apalagi wilayah studi juga dihuni oleh beberapa jenis fauna yang dilindungi seperti misalnya: bekantan, (*Nasalis larvatus*), kelempiau (*Hylobates muelleri*), bangau (*Ciconia stormi*), elang ular (*Spilornis cheela*), raja udang (*Halcyon chloris*), kipasan (*Rhipidura javanica*). Kondisi tersebut seperti tertuang dalam keputusan Kepala BAPEDAL No. KEP-056/1994 yang menyebutkan bahwa kegiatan yang berbatasan langsung dengan kawasan lindung (sempadan pantai, kawasan pantai berhutan bakau) termasuk dalam kategori menimbulkan dampak penting.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Sebagai kesimpulan dalam penelitian ini dapat diketengahkan sebagai berikut:

1. Tipe pencampuran merupakan salah satu cara (*tool*) yang bisa dipakai untuk menduga proses pencampuran pencemar di daerah muara. Tipe pencampuran pada irisan membujur sepanjang muara saat pasang berbentuk *slightly stratified - salt wedge*, dan saat surut menjadi *slightly stratified -*

highly stratified.

2. Tipe pasang surut di daerah studi termasuk harian ganda di mana terdapat dua kali puncak pasang dan dua kali surut terendah dalam waktu 24 jam.
3. Kedalaman di daerah muara berkisar antara 1 – 8,8 meter dari duduk tengah

B. Saran

Penelitian ini bisa dan mudah diterapkan untuk tiap muara sungai yang menerima limbah kegiatan migas dengan tujuan untuk pengembangan pengelolaan lingkungan, namun perlu dikembangkan lebih lanjut dengan mempertimbangkan beberapa segi antara lain: analisis arus pasang surut, gambaran tipe sirkulasi di daerah muara setempat dan perhitungan produktivitas dari pola *trophodynamic* pada ekosistem muara tersebut.

KEPUSTAKAAN

1. Day Jr., J.W., Hall, C.A.S., Kemp, W.M. dan Arancibia, A.Y. (1989) *Estuarine Ecology*. John Wiley & Sons., Inc., New York.
2. Dinas Hidro-Oseanografi TNI-AL (1989). Daftar Arus Pasang Surut Kepulauan Indonesia.
3. Fairbridge, R., (1980). The estuary: Its definition and geodynamic cycle. Dalam: E. Olausson dan I. Cato (Eds.), *Chemistry and Biochemistry of Estuaries*. Wiley, New York, Hal 1 –35.
4. Fossato, V.U. dan W.J. Canzonier (1976). Hydrocarbon uptake and

loss by the mussel, *Mytilus edulis*. Mar. Biol. 36, 234 – 250.

5. Grahl-Nielsen, O. (1987). Hydrocarbons and phenols in discharge water from offshore operations. Fate of the hydrocarbons in the recipient. *Sarsia* 72 : 375 – 382.
6. Harned, H.S. dan Owen, B.B. (1975) *The Physical Chemistry of electrolytic solutions*. Dalam : *National Academy of Science*. Reinhold, New York. Hal. 531.
7. Ilahude, A.G.(1978).On The Factors Affecting The Productivity of The Southern Makasar Strait, *Mar. Res. Indonesia No. 21*, 1978: 81-107
8. Lisitzin, E., (1967). Mean sea level. Dalam: Barnes, H (Ed) *Oceanography and Marine Biology. An Annual Review., Vol. I*, George Allen & Unwin Ltd., London.
9. Odum, E.P. (1969). The strategy of ecosystem development. *Science*, 164 : 262 – 270.
10. Picard, G.L. (1979). *Descriptive Physical Oceanography*. 3rd ed., Pergamon Press, Oxford. Hal. 203.
11. Pritchard, D. (1967). Observation of circulation in coastal plain estuaries. Dalam: G.Lauff (Ed.), *Estuaries. American Association for the Advancement of Science. Publ. No. 83*, Washington D.C., Hal. 37 – 44.
12. Thurman, H.V, (1988) *Introductory Oceanography*, 5 th ed. Merrill Publishing Co, London