

PEDOMAN

Konstruksi dan Bangunan

Perbaikan muara sungai dengan jeti

**Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah
Nomor : 360/KPTS/M/2004
Tanggal : 1 Oktober 2004**



DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

Prakata

Pedoman umum perbaikan muara sungai dengan jeti ini termasuk dalam Gugus Kerja Irigasi, Sabo, Rawa dan Pantai, Danau dan Sungai, Sub Panitia Teknik Sumber Daya Air, yang berada di bawah Panitia Teknik Konstruksi dan Bangunan, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

Penulisan pedoman ini mengacu kepada Pedoman BSN No.8 Tahun 2000 dan telah mendapat masukan dan koreksi dari ahli bahasa.

Perumusan pedoman ini dilakukan melalui proses pembahasan pada Gugus Kerja, Prakonsensus dan Konsensus pada tanggal 24 Juli 2003 di Pusat Litbang Sumber Daya Air Bandung serta proses penetapan pada Panitia Teknik yang melibatkan para narasumber dan pakar dari berbagai instansi terkait.

Pedoman ini merupakan panduan yang bersifat umum yang berkaitan dengan pekerjaan perbaikan muara sungai yang meliputi kriteria pemilihan proyek, tahapan penanganan, analisis, dan desain hidraulik. Dengan adanya pedoman ini diharapkan pekerjaan perbaikan muara sungai dapat dilakukan dengan lancar dan terarah.

Daftar Isi

Prakata	i
Daftar isi	ii
Pendahuluan	v
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi	1
4 Kriteria muara sungai	3
4.1 Umum	3
4.2 Tipe muara sungai	3
4.3 Kriteria pemilihan upaya perbaikan muara sungai	6
4.4 Kriteria stabilitas muara sungai	7
4.5 Tingkat kerusakan dan bobot	7
5 Tahapan penanganan perbaikan muara	9
5.1 Tahap studi dan kelayakan	9
5.2 Tahap desain	9
5.3 Tahap pelaksanaan	11
5.4 Tahap pemantauan dan perbaikan	11
6 Studi identifikasi permasalahan	12
6.1 Identifikasi permasalahan	12
6.2 Diskusi	12
6.3 Pembuatan alternatif penanganan awal	12
6.4 Analisis awal	12
6.5 Perhitungan biaya dan manfaat	12
7 Survei	13
7.1 Umum	13
7.2 Peta topografi dan batimetri	13
7.3 Foto udara dan citra landsat	13
8 Data pantai dan analisis	14
8.1 Umum	14
8.2 Pasang surut	14
8.3 Angin	14
8.4 Gelombang	15
8.5 Arus menyusur pantai	15
8.6 Angkutan sedimen menyusur pantai	16
8.7 Angkutan sedimen tegak lurus pantai	16

9	Data sungai dan analisis	17
9.1	Umum	17
9.2	Estimasi banjir	17
9.3	Estimasi aliran rendah	17
9.4	Angkutan sedimen sungai	17
10	Penyelidikan tanah	18
10.1	Umum	18
10.2	Penyelidikan minimum	18
10.3	Penyelidikan khusus	18
11	Analisis dan desain hidraulik perbaikan muara sungai	18
11.1	Persyaratan alur pelayaran	19
11.2	Luas penampang muara	20
11.3	Lebar alur	21
11.4	Panjang dan arah jeti	22
11.5	Elevasi mercu bangunan jeti	23
11.6	Kedalaman gerusan lokal	25
11.7	Penyaluran debit banjir	26
12	Struktur bangunan training jeti	26
12.1	Tipe bangunan jeti	27
12.2	Perbandingan beberapa konstruksi jeti	32
13	Pelaksanaan	33
13.1	Metode pelaksanaan	33
13.2	Pengamanan daerah kerja	33
13.3	Tahapan pelaksanaan	34
13.4	Ruang kerja	34
13.5	Keselamatan kerja	34
13.6	Peralatan khusus	34
13.7	Pengorganisasian kerja	34
13.8	Kendali mutu	34
14	Pemantauan dan pemeliharaan	35
14.1	Ruang lingkup pemantauan dan pemeliharaan	35
14.2	Petugas pemantauan dan pemeliharaan	35
14.3	Tata cara pemeliharaan	36
14.4	Biaya pemantauan dan pemeliharaan	36
Lampiran A	Daftar nama dan lembaga	37
Bibliografi	38

Pendahuluan

Indonesia adalah negara kepulauan yang sangat kaya akan sungai. Jumlah sungai yang terdapat di Indonesia ialah ribuan dan dapat dikelompokkan ke dalam 90 Wilayah Sungai. Tujuan utama pengelompokan ini ialah agar pengelolaan sumber daya air yang ada dapat lebih mudah dan terpadu. Sungai-sungai tersebut bermuara di pantai dan biasanya dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, di antaranya untuk alur pelayaran, baik pelayaran niaga maupun perikanan. Di samping itu, muara sungai juga mempunyai fungsi yang sangat penting, yaitu menyalurkan debit banjir. Permasalahan yang terjadi di muara sungai adalah penutupan mulut sungai akibat angkutan pasir menyusur pantai dan pendangkalan muara, termasuk mulut muara akibat angkutan sedimen dari sungai yang menyebabkan terganggunya fungsi muara tersebut. Untuk mengurangi/menghindari gangguan tersebut, dapat dilakukan perbaikan muara sungai dengan cara pengerukan yang dikombinasikan dengan pembuatan bangunan jeti.

Dari hasil penelitian yang dilakukan, khususnya dalam usaha penanggulangan penutupan muara, banyak diantaranya yang kurang memberikan hasil yang optimal, bahkan ada yang menimbulkan dampak negatif. Agar perbaikan muara sungai dapat memberikan hasil yang optimal, perlu adanya suatu pedoman yang bersifat umum ataupun yang bersifat teknis.

Dengan adanya buku pedoman ini, perbaikan muara sungai yang jumlahnya sangat banyak tersebut dapat dikerjakan dengan lancar dan terarah. Disamping itu, buku ini juga dapat dimanfaatkan untuk keperluan pendidikan dan pengajaran.

Perbaikan muara sungai dengan jeti

1 Ruang lingkup

Pedoman umum ini bertujuan untuk membantu para perencana, pelaksana, dan pengambil keputusan yang berkaitan dengan pekerjaan perbaikan muara sungai, agar dampak negatif dari pekerjaan tersebut dapat dikurangi.

Pedoman ini bersifat umum, yaitu untuk menanggulangi proses penutupan muara sungai dan untuk stabilisasi muara sungai. Yang dimaksud muara sungai di sini ialah muara sungai dengan daerah aliran sungai $< 500 \text{ km}^2$ atau sungai dengan lebar normal $\leq 200 \text{ m}$. Pedoman ini akan ditinjaulanjuti dengan tata cara desain.

2 Acuan normatif

- SNI 03-1724-1989 : Tata cara perencanaan hidrologi dan hidraulik untuk bangunan di sungai

3 Istilah dan definisi

3.1 Alun (*swell*) adalah gelombang yang menjalar keluar dari daerah pembentukannya.

3.2 Angkutan sedimen menyusur pantai (*longshore sediment transport*) adalah angkutan sedimen yang terjadi akibat adanya arus menyusur pantai.

3.3 Angkutan sedimen suspensi (*suspended load transport*) adalah angkutan sedimen yang melayang dalam air.

3.4 Angkutan sedimen dasar (*bed load transport*) adalah angkutan yang terdapat di bagian dasar perairan.

3.5 Arus menyusur pantai (*longshore current*) adalah arus yang dibangkitkan oleh gelombang yang membentuk sudut dengan garis pantai.

3.6 Gelombang angin (*seas*) adalah gelombang yang berada pada daerah pembentukannya.

3.7 Gelombang pecah (*breaking wave*) adalah kondisi gelombang saat terjadi proses keruntuhan pada puncak gelombang. Tinggi dan kedalaman gelombang pecah diberi notasi H_b dan d_b .

3.8 Hilir (*downdrift*) adalah sisi sebelah hilir dari bangunan pantai terhadap arah angkutan sedimen.

3.9 Jeti (*jetty*) adalah salah satu bangunan pengendali muara yang dibangun untuk stabilisasi muara sungai dan perbaikan alur sungai.

3.10 Kedalaman gelombang pecah (*breaking wave depth*) adalah suatu kedalaman saat gelombang dengan tinggi tertentu mengalami proses pecah gelombang. Kedalaman gelombang pecah diberi notasi db yang secara sederhana dirumuskan dengan $d_b = 1,28 H_b$.

3.11 Lapisan armor (*armour layer*) adalah lapisan pelindung luar dari bangunan tipe rubel yang langsung terhempas gelombang, terdiri atas susunan batu atau blok-blok beton yang disusun membentuk kemiringan.

3.12 Lidah pasir (*sand spit*) adalah pola sedimentasi pada muara yang didominasi oleh gelombang laut.

- 3.13 Muara sungai (*estuary*)** adalah bagian hilir sungai yang berhubungan dengan laut dan masih terpengaruh oleh pasang surut air laut.
- 3.14 Muka Air Laut Rerata (*Mean Sea Level, MSL*)** adalah tinggi muka air laut rata-rata.
- 3.15 Muka Air Laut Terendah (*Lowest Astronomical Tide, LAT*)** adalah pasang rendah terendah yang terjadi selama kurun waktu yang panjang (19 tahun).
- 3.16 Muka Air Laut Tertinggi (*Highest Astronomical Tide, HAT*)** adalah pasang tinggi tertinggi yang terjadi selama kurun waktu yang panjang (19 tahun).
- 3.17 Mulut sungai (*river mouth*)** adalah bagian paling hilir dari muara sungai yang langsung bertemu dengan laut.
- 3.18 Pasang surut** adalah naik turunnya muka air laut yang disebabkan oleh adanya gaya tarik antara bumi dengan benda-benda angkasa lainnya, terutama bulan dan matahari.
- 3.19 Pasang perbani (*neap tide*)** adalah pasang rendah yang terjadi dua kali dalam satu bulan, yaitu pada kuartar pertama dan kuartar terakhir.
- 3.20 Pasang purnama (*spring tide*)** adalah pasang tinggi yang terjadi pada saat bulan purnama atau bulan mati.
- 3.21 Pelindung kaki (*toe protection*)** adalah struktur di depan bangunan pantai atau muara yang berfungsi melindungi kaki bangunan.
- 3.22 Pemindahan pasir (*sand bypassing*)** adalah salah satu cara memperbaiki kerusakan pantai bagian *down drift* dengan memindahkan sedimen dari daerah yang ter sedimentasi ke daerah yang tererosi dengan menggunakan cara tertentu.
- 3.23 Pendangkalan muara** adalah berkurangnya kedalaman muara sungai akibat adanya angkutan sedimen dari hulu sungai yang mengendap di muara.
- 3.24 Pengerukan** adalah kegiatan pengambilan material di bawah air yang dilakukan untuk memelihara kedalaman alur sungai.
- 3.25 Penutupan muara** adalah tertutupnya mulut sungai akibat adanya angkutan sedimen menyusur pantai.
- 3.26 Permasalahan muara** adalah penutupan ataupun pendangkalan muara yang menyebabkan terjadinya banjir atau menyebabkan kesulitan lalu lintas kapal dan perahu nelayan. Permasalahan sungai dapat pula berupa seringnya perpindahan muara sungai.
- 3.27 Prisma pasang surut (*tidal prism*)** adalah volume air dari laut yang masuk atau keluar dari sungai melalui mulut sungai, yaitu antara titik balik air surut dan titik balik air pasang.
- 3.28 Sel sedimen (*sedimentation cell*)** adalah wilayah pantai yang dibatasi oleh dua pembatas, yaitu ketika kegiatan yang dilakukan pada lokasi tertentu dalam satu wilayah akan berpengaruh pada lokasi lainnya. Sel sedimen dikenal juga dengan istilah Wilayah Pengaman Pantai (WPP)
- 3.29 Struktur tipe rubel (*rubble mound structure*)** adalah bangunan yang terdiri atas material lepas yang disusun membentuk kemiringan dan dilindungi oleh lapisan penutup luar yang disebut armor. Armor dapat terdiri atas batu atau blok beton.
- 3.30 Udik (*updrift*)** adalah sisi sebelah udik dari bangunan pantai terhadap arah angkutan sedimen.
- 3.31 Zone debur (*surf zone*)** adalah daerah yang terbentang antara gelombang pecah dan garis pantai.
- 3.32 Zone gelombang pecah (*breaker zone*)** adalah daerah tempat gelombang yang datang dari laut (lepas pantai) mencapai ketakstabilan dan pecah.

4 Kriteria muara sungai

4.1 Umum

Untuk keperluan penanggulangan kerusakan muara sungai, perlu diketahui secara pasti penyebab dominan permasalahan yang terdapat di muara sungai. Dengan mengetahui permasalahan tersebut, perencana akan lebih mudah mencari jalan pemecahan masalah yang paling tepat dan yang sesuai dengan lingkungan sekitar. Ada beberapa parameter dominan yang mempengaruhi kerusakan muara sungai, lima di antaranya adalah

- 1) debit sungai,
- 2) angkutan sedimen sungai,
- 3) gelombang dan arus menyusur pantai,
- 4) angkutan sedimen pantai,
- 5) pasang surut dan arus pasang surut.

Pengaruh kelima parameter tersebut dapat berubah-ubah, tergantung pada waktu. Pada saat musim kemarau, debit sungai dan sedimen sungai cukup kecil sehingga pengaruhnya terhadap pembentukan muara sungai relatif kecil, sedangkan pada waktu musim penghujan debit sungai dan sedimen sungai sangat dominan dalam pembentukan muara sungai. Demikian pula pengaruh gelombang pada pembentukan muara sungai, sangat tergantung pada musimnya.

Di Indonesia terdapat beberapa musim di antaranya, ialah musim kemarau dan musim penghujan dalam kaitannya dengan banjir, musim barat dan musim timur dalam kaitannya dengan gelombang, serta pasang purnama dan perbani dalam kaitannya dengan arus pasang surut. Untuk menganalisis permasalahan muara sungai, perlu dikaji parameter-parameter tersebut dengan memasukkan faktor musim yang terdapat di wilayah setempat, dalam hal ini musim yang terdapat di Indonesia.

4.2 Tipe muara sungai dan permasalahannya

Muara sungai secara umum dapat dibagi menjadi tiga macam, sesuai dengan faktor dominan yang mempengaruhi muara. Ketiga macam tipe muara tersebut adalah sebagai berikut.

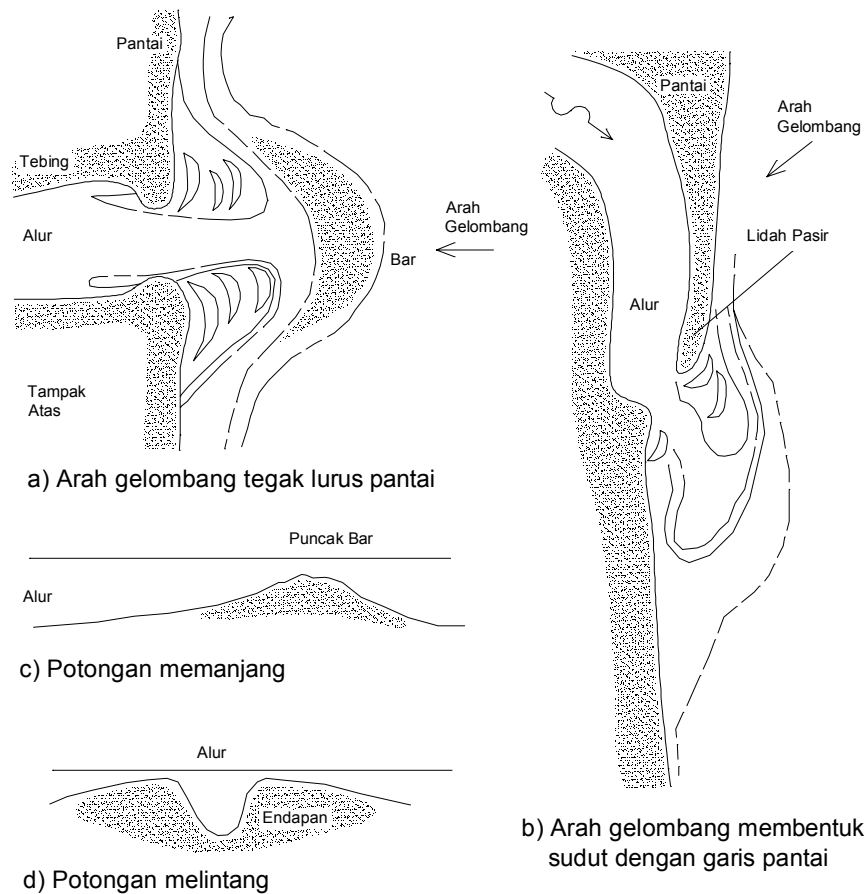
4.2.1 Muara yang didominasi gelombang laut (*wave-dominated river mouth*)

Tipe muara ini ditandai dengan angkutan sedimen menyusur pantai setiap tahun cukup besar dan arus menyusur pantai cukup dominan dalam pembentukan muara sungai. Pada tipe ini biasanya muara tertutup oleh lidah pasir dengan pola sedimentasi, seperti terlihat pada Gambar 1. Pola sedimentasi yang terjadi di muara tersebut sangat tergantung pada arah gelombang.

Jika arah gelombang dominan menyudut terhadap pantai, akan terjadi penutupan muara dengan arah penutupan sesuai dengan arah gerakan pasir menyusur pantai (lihat Gambar 1b). Pada kondisi muara dengan arah gelombang dominan yang relatif tegak lurus dengan pantai, pola sedimentasi akan terlihat, seperti pada Gambar 1a.

Permasalahan utama pada sungai ini ialah saat awal musim hujan, yaitu ketika endapan pasir di muara cukup tinggi dan biasanya muara cukup sempit. Muara tidak mampu menyalurkan air banjir di awal musim hujan. Jika sungai tersebut juga digunakan untuk keperluan nelayan, nelayan tidak dapat atau sulit memasuki muara sungai pada kondisi seperti itu.

Jika arah gelombang dominan menyudut, muara sungai akan sering berpindah tempat sehingga dapat menyulitkan pengendalian banjir ataupun pengelolaan daerah sekitar muara.



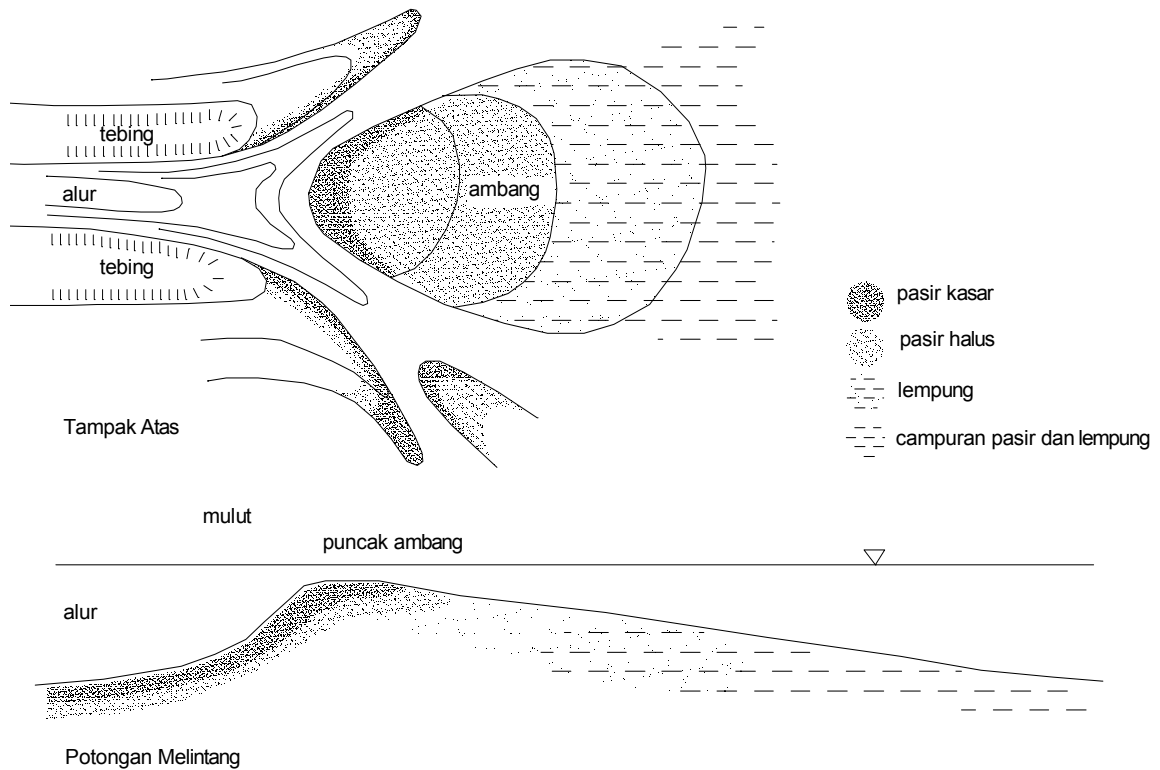
Gambar 1 Tipe muara yang didominasi gelombang laut
(Davis, R.A. Jr. 1985)

4.2.2 Muara yang didominasi aliran sungai (*river flow-dominated river mouth*)

Tipe muara ini ditandai dengan debit sungai menyusur setiap tahunan cukup besar sehingga debit tersebut merupakan parameter utama pembentukan muara sungai. Pola sedimentasi pada muara tipe ini dapat dilihat pada Gambar 2.

Pendangkalan yang serius biasanya tidak terjadi pada tipe muara ini. Hal ini disebabkan aliran air sungai yang terjadi cukup besar sehingga mampu memelihara atau merawat kedalaman alur sungai. Jika aliran sungai cukup banyak membawa material sedimen, garis pantai akan cepat maju dan membentuk tanjung.

Pendangkalan biasanya terjadi tidak pada alur sungai, tetapi terjadi pada pantai di depan muara tersebut. Di depan muara mungkin terjadi beberapa alur sungai yang akan berubah pada setiap musim sesuai dengan arus laut dan angkutan pasir pada waktu itu. Hal ini sangat penting diperhatikan, terutama untuk keperluan navigasi.

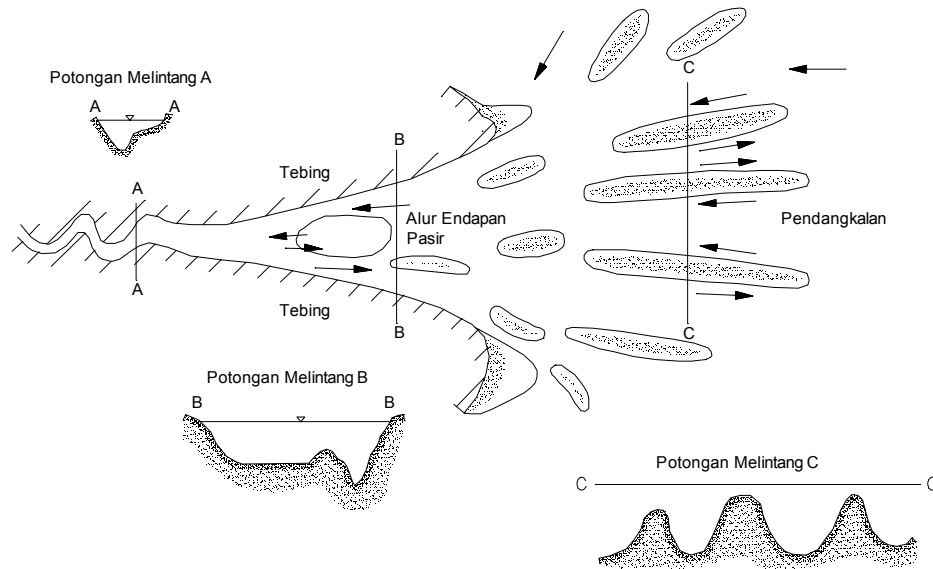


Gambar 2 Tipe muara yang didominasi aliran sungai
(Davis, R.A. Jr. 1985)

4.2.3 Muara yang didominasi pasang surut (*tide-dominated river mouth*)

Tipe muara ini ditandai dengan fluktuasi pasang surut yang cukup besar sehingga arus yang terjadi akibat pasang surut ini cukup potensial untuk membentuk muara sungai. Pada tipe ini terjadi angkutan sedimen dua arah (arah laut dan arah darat). Muara biasanya berbentuk corong atau lonceng (*bell shape*) dengan beberapa alur dan pendangkalan seperti terlihat pada Gambar 3.

Permasalahan utama pada tipe muara ini bukan penutupan muaranya, tetapi pendangkalan yang terjadi di muara sungai dapat mengganggu pelayaran atau navigasi.



Gambar 3 Tipe muara yang didominasi pasang surut
(Davis, R.A. Jr. 1985)

4.3 Kriteria pemilihan perbaikan muara sungai

Karena sangat banyak muara sungai di Indonesia yang bermasalah, dalam usaha memperbaiki kondisi muara tersebut haruslah dipilih muara sungai yang mempunyai nilai ekonomi cukup tinggi. Di bawah ini diberikan pedoman untuk menentukan pemilihan proyek perbaikan muara sungai, yaitu dengan memberikan urutan prioritas terhadap muara yang mempunyai kriteria sebagai berikut.

- 1) muara sungai yang bagian hulunya merupakan daerah yang nilainya cukup tinggi dan perlu dilindungi dari ancaman banjir, misalnya daerah industri dan daerah permukiman yang padat;
- 2) muara sungai yang dipergunakan untuk keperluan pelayaran, baik untuk keperluan niaga maupun untuk keperluan perikanan;
- 3) muara sungai yang bagian hulunya mempunyai potensi yang besar untuk pertanian dan pertambakan sehingga diperlukan adanya kelancaran aliran air di sungai tersebut;
- 4) muara sungai yang selalu berpindah-pindah dan merusak daerah sekitar yang telah dikembangkan menjadi daerah pariwisata atau daerah industri.

Dalam menentukan langkah-langkah perbaikan muara sungai, perlu dipertimbangkan cara yang paling tepat dan yang paling ekonomis. Dalam kaitannya dengan desain bangunan jeti, yang sangat menentukan dalam penentuan biaya adalah jenis konstruksi jeti dan panjang jeti. Oleh karena itu, agar biaya pembuatan jeti dapat ditekan, perlu ditetapkan dengan jelas fungsi bangunan jeti yang akan dibuat tersebut. Dengan demikian, panjang jeti dapat disesuaikan dengan maksud tersebut. Sebagai contoh, untuk keperluan stabilisasi muara sungai, tidak perlu dibangun jeti yang panjang. Pembuatan bangunan jeti yang terlalu panjang justru dapat menimbulkan permasalahan di tempat yang lain dan hal ini perlu dihindarkan. Di samping itu, perlu ditekankan bahwa ada jenis konstruksi tertentu yang biaya pembangunannya murah, tetapi biaya perawatannya tinggi sehingga perlu dipertimbangkan dalam desainnya.

4.4 Kriteria stabilitas muara sungai

Stabilitas muara menurut Per Bruun merupakan refleksi dari perbandingan volume prisma pasang surut (P) dibagi dengan volume angkutan sedimen menyusur pantai (S). Nilai tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. $P/S \geq 150$: Kondisi muara baik, terdapat sedikit tumpukan pasir dan penggelontoran baik.
2. $100 \leq P/S < 150$: Kondisi muara kurang baik, formasi tumpukan pasir terlihat di mulut sungai.
3. $50 \leq P/S < 100$: Tumpukan pasir membesar, tetapi alur muara masih dapat menerobos tumpukan pasir.
4. $20 \leq P/S < 50$: Mulut muara sudah dipenuhi tumpukan pasir, tetapi muara masih berfungsi karena adanya aliran air tawar dari sungai.
5. $P/S < 20$: Mulut muara sudah tidak stabil sama sekali.

4.5 Tingkat kerusakan dan bobot

Dengan dana yang relatif terbatas, sementara permasalahan yang dihadapi cukup banyak, usaha penanggulangan dilakukan secara bertahap. Untuk prioritas penanganannya, perlu dilakukan pembobotan. Tingkat kerusakan dan tingkat kepentingan diberi bobot antara 20 sampai dengan 100. Berikut ini penjelasan mengenai penentuan bobot dalam permasalahan penutupan mulut muara.

- 1) Penentuan bobot dalam permasalahan penutupan mulut muara yang mengakibatkan kesulitan lalu lintas perahu nelayan dipengaruhi oleh
 - lamanya penutupan yang mengganggu kegiatan nelayan, disajikan pada Tabel 1,
 - jumlah nelayan yang terganggu, disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1 Tingkat kerusakan dan bobot pada lama penutupan

Lama penutupan (bulan)	Tingkat kerusakan	Bobot
0 – 1	Ringan	20
1 – 2	Sedang	40
2 – 3	Berat	60
3 – 6	Sangat Berat	80
> 6	Amat Sangat Berat	100

Tabel 2 Tingkat kerusakan dan bobot pada jumlah nelayan yang terganggu

Jumlah nelayan (orang)	Tingkat kerusakan	Bobot
< 100	Ringan	20
100 - 200	Sedang	40
200 – 300	Berat	60
300 - 400	Sangat berat	80
> 400	Amat sangat berat	100

- 2) Penentuan bobot dalam permasalahan penutupan mulut muara yang menyebabkan banjir dan penggenangan pada daerah rendah dipengaruhi oleh
- lamanya penggenangan, disajikan pada Tabel 3,
 - luas areal yang tergenang, disajikan pada Tabel 4.

Tabel 3 Bobot pada lama genangan

Lama genangan (hari)	Tingkat kerusakan	Bobot
0 – 1	Ringan	20
1 - 3	Sedang	40
3 - 5	Berat	60
5 - 7	Sangat berat	80
> 7	Amat sangat berat	100

Tabel 4 Bobot pada luas genangan

Luas genangan (ha)	Tingkat kerusakan	Bobot
0 - 500	Ringan	20
500 – 1.000	Sedang	40
1.000 – 5.000	Berat	60
5.000 – 10.000	Sangat berat	80
> 10.000	Amat sangat berat	100

- 3) Dalam penentuan bobot, tingkat kepentingan juga merupakan faktor yang sangat menentukan. Penentuan bobot tingkat kepentingan pada kerusakan muara disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Bobot pada tingkat kepentingan akibat penutupan mulut muara

No.	Tingkat kepentingan	Bobot
1	Penggenangan kota/jalan raya/jalan kereta api	100
2	Penggenangan desa /permukiman	80
3	Penggenangan sawah/tambak produktif	60
4	Penggenangan sawah/tambak tidak produktif	40
5	Penggenangan rawa tidak produktif	20
6	Gangguan terhadap nelayan	80

Penentuan bobot untuk menentukan prioritas penanganan dilakukan pada sungai-sungai bermasalah di seluruh Indonesia.

Berikut ini disajikan contoh perhitungan untuk menentukan bobot kerusakan muara.

Lokasi : Muara Eretan

Permasalahan : penutupan muara yang mengganggu lalu lintas nelayan dengan bobot pada tingkat kepentingan = 80.

Jumlah nelayan : 600, tingkat kerusakan sangat berat dengan bobot = 100.

Lama penutupan : 3 bulan, tingkat kerusakan sangat berat dengan bobot = 80.

Jumlah total bobot = 80 + 100 + 80 = 260.

Penentuan prioritas didasarkan pada urutan besarnya bobot hasil perhitungan.\

5 Tahapan penanganan perbaikan muara

Jika diperlukan penanganan terhadap suatu permasalahan muara, harus dipertimbangkan dua aspek penting, yaitu

- 1) faktor-faktor yang menjadi penyebab terjadinya permasalahan, dan
- 2) usaha-usaha yang perlu dilakukan untuk menangani permasalahan tersebut.

Kedua aspek harus dilakukan secara simultan. Jika mementingkan faktor pertama, berarti hanya mengetahui permasalahannya tetapi tidak mengerti usaha penanggulangan yang perlu dilakukan. Akan tetapi, jika mementingkan faktor kedua tanpa mempertimbangkan faktor pertama, kemungkinan hasil yang akan diperoleh tidak sesuai dengan harapan dan malahan dapat menimbulkan permasalahan baru.

Dalam penanganan permasalahan pantai diperlukan empat tahap penanganan, yaitu tahap studi, tahap desain, tahap pelaksanaan dan tahap pemeliharaan. Tahap penanganan disajikan pada Gambar 4.

5.1 Tahap studi dan kelayakan

Tahap studi dan kelayakan merupakan tahap perumusan dan penyimpulan perlunya penanganan permasalahan yang dihadapi. Aspek-aspek yang tercakup dalam tahap studi bersifat teknis dan nonteknis. Dari tahap studi akan diperoleh informasi mengenai sebab terjadinya permasalahan.

Tahap studi dan kelayakan ini mencakup

- 1) peninjauan lapangan pendahuluan untuk mengidentifikasi permasalahan yang dihadapi di lapangan,
- 2) pengumpulan data dan informasi dari instansi-instansi terkait yang dapat dilibatkan dalam usaha penanganan permasalahan yang dihadapi,
- 3) pengumpulan laporan-laporan terdahulu,
- 4) pembuatan prarencana penanganan dengan beberapa alternatif yang dikaitkan dengan tujuannya,
- 5) analisis studi identifikasi dan kelayakan.

5.2 Tahap desain

Tahap desain merupakan tahap pembahasan secara mendetail. Aspek yang tercakup pada tahap ini bersifat teknis. Dari kegiatan ini akan diperoleh informasi apa yang akan dilakukan. Tahapan desain terdiri atas desain pendahuluan dan desain detail. Tahap ini mencakup kegiatan-kegiatan

- 1) peninjauan lapangan rinci,
- 2) pengukuran topografi, batimetri dan, hidro-oseanografi,

- 3) pengumpulan data hidrologi,
- 4) pengumpulan data sosial, ekonomi, dan lingkungan,
- 5) penyelidikan geoteknik,
- 6) pembuatan prarencana (hidraulik) dengan beberapa alternatif dan pemilihan alternatif,
- 7) uji model fisik dan atau matematik,
- 8) desain detail dan *cost estimate*,
- 9) penggambaran secara detail, pembuatan RAB, dan SPEC.

5.3 Tahap pelaksanaan

Tahap pelaksanaan merupakan kegiatan implementasi dari desain yang telah dibuat. Tahap ini merupakan uraian tahapan kegiatan untuk menetapkan bahwa pekerjaan tersebut dapat dilaksanakan dengan aman dan dalam jangka waktu dan biaya yang telah ditetapkan sesuai dengan gambar rencana, spesifikasi teknis, prosedur, dan cara pelaksanaan konstruksi.

Hal-hal penting yang tercakup dalam kegiatan pelaksanaan meliputi

- 1) pembuatan program pelaksanaan dan metode pelaksanaan,
- 2) pengamanan daerah kerja,
- 3) pembuatan ruang kerja,
- 4) kegiatan pelaksanaan konstruksi,
- 5) keselamatan kerja,
- 6) penggunaan peralatan khusus,
- 7) pengorganisasian kerja,
- 8) pengontrolan kualitas.

5.4 Tahap pemantauan dan pemeliharaan

Tahap pemantauan dan pemeliharaan merupakan tahap kegiatan setelah tahap pelaksanaan selesai. Hal-hal penting yang diperlukan dalam tahap ini meliputi

- 1) ruang lingkup pemantauan dan pemeliharaan,
- 2) petugas pemantauan,
- 3) tata cara pemantauan dan pemeliharaan,
- 4) biaya pemantauan dan pemeliharaan.

Tujuan utama pemantauan dan pemeliharaan ialah

- 1) untuk mengetahui unjuk kerja bangunan jeti,
- 2) untuk menjaga agar bangunan jeti dapat selalu berfungsi seperti yang direncanakan.

6 Studi identifikasi dan kelayakan

6.1 Identifikasi permasalahan

Identifikasi permasalahan dilakukan melalui kegiatan peninjauan lapangan. Sebelum peninjauan lapangan terlebih dahulu disiapkan data sekunder seperti peta topografi dan batimetri yang ada, data pasang surut, dan laporan-laporan studi/penyelidikan terdahulu. Peninjauan lapangan tidak hanya pada lokasi yang bermasalah, tetapi juga mencakup luar lokasi yang memungkinkan dalam wilayah yang disebut Wilayah Pengaman Pantai (WPP) atau dikenal juga dengan istilah Sel Sedimen. WPP adalah wilayah pantai yang dibatasi oleh dua pembatas kegiatan yang dilakukan pada lokasi tertentu dalam WPP akan berpengaruh pada lokasi lainnya. Dalam kegiatan lapangan dilakukan wawancara dengan petugas terkait serta masyarakat setempat untuk memperoleh informasi tambahan dan pencocokan dengan laporan studi/penyelidikan terdahulu.

Dari kegiatan ini akan diketahui perkiraan sebab-sebab terjadinya permasalahan yang merupakan unsur/faktor utama dalam usaha penanganan permasalahan.

6.2 Diskusi

Untuk memperoleh hasil yang optimal dan dapat diterima, usaha penanganan permasalahan yang dihadapi perlu didiskusikan dengan institusi-institusi terkait, antara lain dengan dinas-dinas dan badan-badan yang terkait di pemerintah kotamadya, kabupaten, dan provinsi.

6.3 Pembuatan alternatif penanganan awal

Dengan diketahuinya sebab-sebab terjadinya permasalahan dan kondisi lapangan, dibuat alternatif usaha penanganan awal yang perlu dilakukan yang disertai dengan rencana anggaran biaya dan pelaksanaannya.

6.4 Analisis awal

Dari beberapa alternatif usaha penanganan permasalahan, dibuat analisis dengan mempertimbangkan faktor-faktor manfaat, sosial, ekonomi, budaya, dan lingkungan, serta kemungkinan pelaksanaannya. Dari hasil analisis dapat disimpulkan dua hal penting, yaitu

- 1) perlu dilakukan penanganan;
- 2) tidak perlu dilakukan tindakan apa pun/dibiarkan sampai tercapai keseimbangan alami.

6.5 Perhitungan biaya dan manfaat

Dari gambar pradesain dapat dihitung biaya pembangunan. Selain biaya pembangunan dalam studi kelayakan, juga harus dihitung biaya manfaat. Agar suatu kegiatan pembangunan menguntungkan, biaya manfaat harus lebih besar dari pada biaya pembangunan. Hal tersebut dapat diukur antara lain, dengan indikator kelayakan EBCR (*Economic Benefit Cost Ratio*) atau EIRR (*Economic Internal Rate of Return*). Kecuali untuk kondisi khusus, antara lain, sebagai tempat ibadah, seperti mesjid, gereja, dan candi serta permukiman penduduk yang miskin, perhitungan biaya manfaat tidak perlu dilakukan.

7 Survei

7.1 Umum

Peta topografi berskala kecil diperlukan untuk penentuan ukuran daerah aliran sungai, kemiringan sungai, dan karakteristik sungai yang lain. Informasi tentang tata guna lahan dan perubahannya serta Rencana Umum Tata Ruang Wilayah (RUTRW) sangat diperlukan untuk mengkaji manfaat dan kesesuaian pekerjaan perbaikan sungai terhadap rencana pemerintah daerah. Data yang berkaitan dengan sumber daya air beserta pengembangannya yang terdapat di Daerah Aliran Sungai (DAS) dan sekitarnya perlu diperoleh untuk dievaluasi secara terpadu dengan rencana proyek perbaikan muara sungai yang sedang dikerjakan.

7.2 Peta topografi dan batimetri

Survei topografi harus dilakukan untuk keperluan desain. Survei tersebut dipusatkan pada daerah pantai dan di sekeliling daerah pekerjaan yang diusulkan, yaitu mencakup muara sungai tersebut dan hulu sungai. Untuk muara sungai kecil, disarankan pengukuran sampai sejauh kurang lebih 1 km (kecuali prisma air pasang yang akan ditaksir dari survei ini). Peta yang didapatkan dari survei ini ialah peta dengan skala 1 : 2000.

Survei batimetri harus dilakukan paling tidak sepanjang 500 m di sebelah kanan dan kiri rencana bangunan jeti dan ke arah laut sejauh 3000 m dari ujung rencana bangunan jeti. Survei batimetri harus dilakukan cukup rinci sehingga peta kontur dasar laut yang akurat dengan interval 0,5 m dapat disajikan.

Jika terdapat perubahan lebar dan kedalaman sungai yang cukup besar, pengukuran penampang muara dan sungai sampai sejauh 1,0 km dilakukan pada setiap jarak 50 m. Akan tetapi, pada perubahan penampang sungai yang berlangsung secara berangsur-angsur, pengukuran dapat dilakukan pada setiap jarak 100 m.

Jika prisma pasang surut akan ditentukan berdasarkan survei lapangan, pengukuran penampang melintang sungai harus dilakukan sampai ke hulu di sepanjang sungai utama, semua anak sungai, dan daerah genangan air pasang, sampai sejauh pengaruh pasang surut tersebut masih terasa. Jarak penampang sungai ditentukan berdasarkan tingkat perubahan penampang alur sungai (tak beraturan atau berangsur-angsur). Namun, tidak boleh melebihi 200 m.

7.3 Foto udara dan citra *landsat*

Foto udara dengan skala yang memadai akan dapat menggambarkan kondisi pantai secara sangat jelas dan dapat membantu untuk menginterpretasikan perilaku pantai termasuk arah gerakan sedimen. Untuk tujuan tersebut, salinan foto udara historis (*historical aerial photograph*) perlu diperoleh. Jika dimungkinkan untuk membuat foto udara terkendali yang baru, foto udara tersebut dibuat dengan skala sekitar 1:10.000. Namun, jika hal ini tidak dapat dilaksanakan, perlu dipertimbangkan untuk menyewa pesawat terbang untuk melakukan pemotretan daerah muara sungai. Pengambilan foto arah vertikal dapat dilakukan melalui lubang kecil yang terdapat/disediakan pada lantai pesawat sewaan tersebut. Hasil foto tidak akan terperinci tetapi sangat bermanfaat untuk keperluan desain awal sebelum dilakukan desain terperinci. Namun, untuk pekerjaan perbaikan muara sungai yang relatif kecil, ketersediaan foto udara bukanlah suatu keharusan.

Citra *landsat* juga dapat dipergunakan untuk menunjang kegiatan desain penanggulangan muara. Sesuai dengan foto udara, dengan data citra *landsat* dapat ditentukan proses penutupan muara dan angkutan sedimen muara.

8 Data pantai dan analisis

8.1 Umum

Pengumpulan data pantai, termasuk angin, tinggi gelombang, gerakan pasang surut, arus laut, dan angkutan sedimen menyusur pantai, selain sangat mahal, juga memerlukan waktu yang sangat lama. Oleh karena itu, jika proyek muara relatif kecil, hal yang harus dilakukan ialah mengumpulkan data dasar, seperti penentuan rerata muka air laut, pasang tertinggi, surut terendah, serta prisma pasang surut. Semuanya itu merupakan parameter-parameter desain yang sangat tergantung pada kondisi setempat. Parameter desain lainnya termasuk angin, gelombang, dan arus dapat diperoleh dari informasi instansi lain.

8.2 Pasang surut

Pasang surut adalah naik turunnya muka air laut yang disebabkan oleh adanya gaya tarik antara bumi dengan benda-benda angkasa lainnya, terutama bulan dan matahari. Pasang surut merupakan salah satu parameter penting dalam kegiatan yang berkaitan dengan pekerjaan di muara. Elevasi muka air tinggi (pasang) dan rendah (surut) sangat penting untuk merencanakan bangunan di muara, sebagai contoh, elevasi puncak jeti ditentukan oleh elevasi muka air pasang, sedangkan kedalaman alur pelayaran ditentukan oleh muka air surut.

8.3 Angin

Data angin sangat diperlukan untuk mendukung keperluan desain perbaikan muara sungai, terutama apabila data gelombang tidak lengkap. Untuk keperluan perancangan muara sungai, biasanya dibutuhkan data angin pada jangka waktu yang cukup lama yaitu antara satu sampai dengan sepuluh tahun pencatatan. Hal ini dilakukan dengan harapan bahwa data tersebut sudah dapat mencakup distribusi angin beserta kecepatannya pada berbagai musim, termasuk fluktuasinya pada tiap-tiap tahun. Oleh karena itu, pencatatan data angin ini tidak mungkin dilakukan oleh proyek perbaikan muara sungai yang jangka waktu studinya relatif cukup singkat. Data angin biasanya diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) atau dari instansi lain yang mempunyai stasiun pencatatan di sekitar lokasi pekerjaan, misalnya dari Departemen Pertanian ataupun Departemen Perhubungan.

Untuk keperluan peramalan gelombang, biasanya diperlukan data angin pada ketinggian 10 meter dari permukaan tanah. Jika kecepatan angin tidak diukur pada ketinggian tersebut, kecepatan angin perlu dikoreksi dengan persamaan sebagai berikut.

$$U_{10} = U_z \left(\frac{10}{z} \right)^{1/7} \quad \text{untuk } z \text{ di bawah } 20 \text{ m} \dots \dots \dots (1)$$

dengan pengertian

U_{10} adalah kecepatan angin pada ketinggian 10 m;

U_z adalah kecepatan angin terukur pada ketinggian z;

z adalah jarak posisi pengukuran kecepatan angin dari permukaan tanah/air.

8.4 Gelombang

Angin yang berhembus di atas permukaan air (danau atau laut) akan memindahkan energinya ke air tersebut dan menimbulkan gelombang. Tempat terbentuknya gelombang dibentuk disebut daerah pembangkitan atau pembentukan gelombang (*Wave Generating Area*). Gelombang yang terjadi di daerah pembentukan gelombang disebut gelombang angin, sedangkan gelombang yang telah keluar dari daerah pembentukan disebut alun. Gelombang yang terjadi di pantai selatan Jawa atau pantai barat Sumatera sangat didominasi oleh alun. Daerah pembangkitannya sangat jauh, yaitu di tengah Samudera Indonesia, sedangkan pantai utara Jawa dan pantai timur Sumatera didominasi oleh gelombang angin.

Untuk keperluan desain perbaikan muara sungai-sungai kecil, pengukuran gelombang secara langsung sangat sulit dilakukan karena biaya pengukuran gelombang ini sangat mahal dan membutuhkan waktu yang lama. Biasanya, untuk keperluan desain muara, distribusi arah gelombang ataupun tinggi gelombang didasarkan pada data angin setempat. Namun, pengukuran gelombang pada pantai atau muara yang akan dikembangkan menjadi suatu pusat perniagaan ataupun industri sangat diperlukan, terutama pada musim gelombang besar.

Karena gelombang yang terdapat di laut adalah gelombang *irregular* (gelombang dengan bentuk yang tak teratur), untuk menyebutkan tinggi gelombang harus digunakan cara yang sama agar didapatkan persepsi yang sama terhadap keadaan yang sebenarnya. Tinggi gelombang yang biasa dipakai untuk mewakili hasil pencatatan ataupun peramalan gelombang ialah tinggi gelombang signifikan (H_s atau H_{33}), yaitu tinggi gelombang rata-rata dari 33 % gelombang-gelombang tertinggi dari suatu hasil pencatatan.

Untuk keperluan peramalan gelombang dari angin, telah disediakan beberapa grafik yang terdapat pada buku *Shore Protection Manual* (1984), cara-cara peramalan tinggi gelombang beserta penentuan kala ulang gelombang dapat dilihat pada buku *Dasar-dasar Perencanaan Bangunan Pantai* (Nur Yuwono, 1992) atau buku-buku teknik pantai yang lain.

8.5 Arus menyusur pantai

Arus menyusur pantai adalah arus yang disebabkan oleh gelombang yang datangnya menyudut terhadap pantai. Arus pantai ini terjadi terutama di daerah zone debur, yaitu daerah yang terletak di antara gelombang yang mulai pecah sampai ke garis pantai. Gelombang yang menuju pantai menyebabkan perpindahan energi dari laut ke pantai dan pada saat gelombang pecah di daerah zone debur, energi tersebut sebagian berubah menjadi arus menyusur pantai. Kombinasi antara gelombang dan arus inilah yang menyebabkan angkutan sedimen menyusur pantai.

Secara teoretis, kecepatan arus dapat dihitung dengan rumus Longuet-Higgins (1970), yaitu sebagai berikut.

$$V = 1,19 (g H_b)^{1/2} \sin (\alpha_b) \cos (\alpha_b) \dots \dots \dots (2)$$

Apabila pantai landai maka perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$V = 20,7 m (g H_b)^{1/2} \sin (2\alpha_b) \dots \dots \dots (3)$$

dengan pengertian

V adalah kecepatan rerata arus menyusur pantai, (m/sekon);

H_b adalah tinggi gelombang pecah, (m);

α_b adalah sudut datang gelombang pecah pada *breaker zone*, ($^\circ$);

g adalah percepatan gravitasi bumi, (m/sekon²);

m adalah landai pantai.

Pengukuran arus menyusur pantai sulit dilakukan. Keadaan ini disebabkan oleh adanya gabungan gerakan partikel air antara arus menyusur pantai dengan gerakan orbit partikel air akibat gelombang. Biasanya, pengukuran dilakukan dengan pelampung, yaitu mendeteksi gerakan pelampung yang ditaruh di daerah zona debur. Kecepatan arus menyusur pantai ini setiap waktu berubah, tergantung pada tinggi gelombang dan arah gelombang, sehingga pengukuran dalam waktu yang singkat kurang bermanfaat.

8.6 Angkutan sedimen menyusur pantai

Estimasi angkutan sedimen menyusur pantai biasanya tidak akurat. Hal ini selain disebabkan oleh belum memadainya akurasi rumus angkutan sedimen, juga disebabkan oleh sulitnya mengumpulkan data yang benar dalam jangka waktu yang lama (tinggi dan periode gelombang, arah gelombang, dan distribusi gelombang selama kurun waktu tertentu, yaitu minimum satu tahun). Untuk keperluan perhitungan sedimen, biasanya tinggi, periode, dan arah gelombang, serta distribusinya diprediksi dari data angin yang ada dengan mempertimbangkan proses refraksi dan konfigurasi pantai setempat.

Rumus yang paling sederhana untuk menentukan jumlah angkutan sedimen menyusur pantai adalah rumus CERC (*Coastal Engineering Research Center*), yaitu sebagai berikut.

$$S = A H_o^2 C_o (K_{rbr})^2 \sin(\alpha_{br}) \cos(\alpha_{br}) \dots \dots \dots (4)$$

dengan pengertian

- S adalah jumlah angkutan sedimen selama satu tahun, (m³/tahun);
- H_o adalah tinggi gelombang signifikan di laut dalam, H_s (m);
- C_o adalah kecepatan rambat gelombang di laut dalam, (m/sekon);
- K_{rbr} adalah koefisien refraksi di sisi luar *breaker zone*;
- α_{br} adalah sudut datangnya gelombang, (°);
- A adalah koefisien CERC = 0,61 × 10⁶ sampai dengan 0,79 × 10⁶.

Karena rumus CERC tersebut merupakan rumus yang sangat sederhana, pemakaian rumus tersebut sangat terbatas pada keadaan tertentu, yaitu jika memenuhi persyaratan sebagai berikut.

- 1) Diameter pasir berkisar antara 0,175 - 1,000 mm.
- 2) Angkutan yang terhitung adalah angkutan total di daerah zone debur.
- 3) Gaya-gaya yang dominan adalah gaya dari gelombang angin (pasang surut tidak terlalu besar, < 3,0 m).

Estimasi angkutan sedimen ini diperlukan untuk mengetahui sebab utama penutupan atau pendangkalan muara, apakah akibat angkutan sedimen menyusur pantai ataukah karena sedimen sungai. Di samping itu, estimasi ini dapat dipergunakan pula untuk memperkirakan umur ekonomis bangunan jeti dan perkembangan muara yang akan datang.

Untuk studi sedimen muara sungai, foto udara akan sangat membantu dalam memberikan indikasi pola gerakan sedimen dan pertumbuhan muara. Hal ini sangat berguna dalam menentukan sebab-sebab pendangkalan dan dalam menentukan tata letak bangunan jeti.

8.7 Angkutan sedimen tegak lurus pantai

Selain dipengaruhi oleh angkutan sedimen menyusur pantai, muara sungai juga dipengaruhi oleh angkutan sedimen tegak lurus pantai. Angkutan tersebut dapat disebabkan

- 1) aliran air sungai yang menimbulkan pendangkalan muara atau erosi setempat (*scour hole*),
- 2) angkutan sedimen yang bergerak keluar masuk muara karena pasang surut,
- 3) gerakan sedimen akibat gelombang di sekitar muara.

Sedimentasi material yang dibawa oleh aliran sungai, selain disebabkan oleh berkurangnya kecepatan aliran pembawa sedimen dasar, juga disebabkan oleh proses flokulasi sedimen suspensi yang terjadi setelah air laut dari laut bercampur dengan air tawar dari sungai yang membawa sedimen suspensi.

9 Data sungai dan analisis

9.1 Umum

Untuk keperluan perbaikan muara sungai, studi yang mendalam mengenai aliran, banjir dan angkutan sedimen diperkirakan banyak memakan biaya dan waktu. Untuk keperluan desain perbaikan muara sungai, perlu dilakukan estimasi besaran-besaran dengan data yang tersedia dan dengan rumus-rumus empiris yang tidak terlalu rumit. Jika studi sungai tersebut sudah pernah dilakukan, data dan analisis yang terdapat pada daerah studi tersebut dapat dimanfaatkan untuk keperluan desain perbaikan muara. Studi sungai lain yang berada di dekat lokasi pekerjaan dapat dipergunakan sebagai referensi dalam desain. Estimasi mengenai debit banjir, debit rendah dan angkutan sedimen sangat penting untuk penentuan sebab pendangkalan muara dan ukuran-ukuran alur sungai serta bangunan jeti yang akan direncanakan.

9.2 Estimasi banjir

Peramalan debit banjir biasanya dilakukan dari data curah hujan yang terdapat di daerah aliran sungai tersebut. Data dapat diperoleh dari instansi terkait yang melakukan kegiatan di daerah aliran sungai tersebut, misalnya dari Dinas Pertanian, Perikanan ataupun Dinas Pekerjaan Umum setempat. Untuk melengkapi data tersebut dapat pula menghubungi Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG). Untuk keperluan peramalan debit banjir, dapat dipergunakan berbagai metode, salah satu di antaranya ialah metode rasional yang dikenalkan oleh Jepang dan disajikan dalam buku Cara Menghitung Design Flood yang diterbitkan oleh Departemen Pekerjaan Umum pada tahun 1980.

9.3 Estimasi aliran rendah

Estimasi aliran rendah sungai harus dilakukan dengan cara pengukuran debit pada saat musim kemarau. Aliran rendah ini akan banyak membantu pemeliharaan alur pada saat musim kemarau, terutama pada saat pasang surut tidak begitu besar (*neap tide*). Pengukuran debit rendah sebaiknya dilakukan di bagian hulu sungai yang tidak terpengaruh oleh pasang surut. Dengan demikian, penentuan aliran rendah dapat dilakukan dengan mudah.

9.4 Angkutan sedimen sungai

Estimasi angkutan sedimen biasanya hanya dapat dilakukan secara kualitatif atau estimasi sangat kasar. Hal ini disebabkan oleh tidak tersedianya data harian debit sungai dan data sedimen untuk pekerjaan muara sungai kecil. Pengambilan contoh sedimen sungai sangat dianjurkan untuk keperluan analisis pendangkalan muara sungai. Contoh sedimen yang diambil pada saat musim penghujan dan kemarau meliputi sedimen tersuspensi dan sedimen dasar. Estimasi total angkutan sedimen dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai rumus sedimen yang ada.

10 Penyelidikan tanah

10.1 Umum

Pada proyek perbaikan muara sungai kecil penyelidikan tanah skala besar untuk keperluan desain fondasi sebaiknya dihindari karena biaya untuk keperluan ini sangat besar. Perlu disadari bahwa desain perbaikan muara sungai akan selalu berhadapan dengan lokasi, yaitu material yang ada sangat lunak atau lemah, seperti lumpur, tanah liat, pasir yang sangat halus dan semuanya merupakan timbunan material yang belum padat. Kondisi tanah dasar tersebut dapat menimbulkan berbagai masalah, selain pada penentuan bentuk dan ukuran fondasi, juga pada pelaksanaan pekerjaan.

10.2 Penyelidikan minimum

Untuk mendapatkan gambaran kondisi tanah dasar di lokasi pekerjaan sehingga pelaksanaan pekerjaan perbaikan muara sungai dapat berjalan sesuai rencana, diperlukan minimal kebutuhan penelitian tanah sebagai berikut.

10.2.1 Penyelidikan lapangan

- a) uji sondir atau dengan *hand penetrometer* jika kondisi tanah memungkinkan. sampai kedalaman paling sedikit 6 meter dari permukaan tanah dasar (kecuali jika material keras dijumpai sebelum kedalaman ini tercapai) dan pada interval kira-kira 30 m, yang tergantung pada keseragaman kondisi tanah;
- b) *test pit* di dua lokasi di atas permukaan air rendah (LWS) sampai kedalaman 2 meter dengan pengambilan contoh tanah pada kedalaman 0,5, 1,0, 1,5, dan 2,0 meter.

10.2.2 Penyelidikan laboratorium

- a) klasifikasi fisik contoh tanah dari *test pit*,
- b) analisis ukuran partikel contoh tanah dari *test pit*.

10.3 Penyelidikan khusus

Jika hasil penyelidikan minimal tersebut berkesimpulan bahwa akan timbul permasalahan yang pelik pada desain fondasi ataupun pengerukannya, disarankan untuk berkonsultasi kepada ahli pada bidang ini agar ikut membantu mengatasi permasalahan yang ada. Untuk menghindari permasalahan konstruksi akibat tidak meratanya penurunan, disarankan jenis konstruksi yang dipergunakan pada bangunan jeti ialah jenis konstruksi fleksibel. Pada konstruksi ini tidak diperlukan persyaratan fondasi yang berat, seperti pada konstruksi kaku (*Rigid Structure*).

11 Analisis dan desain hidraulik perbaikan muara sungai

Pada bagian ini akan diuraikan pedoman desain hidraulik untuk penentuan dimensi secara umum pada pekerjaan perbaikan muara sungai kecil. Dimensi ini pada umumnya dapat diterapkan pada berbagai tipe bangunan jeti walaupun tipe ini mungkin berpengaruh terhadap perilaku hidraulik. Penjelasan lebih rinci mengenai desain struktur bangunan jeti akan dijelaskan pada Pasal 13.

11.1 Persyaratan alur pelayaran

Persyaratan alur pelayaran biasanya meliputi dimensi

- 1) kedalaman minimum alur pelayaran,
- 2) lebar minimum alur pelayaran,
- 3) panjang minimum bangunan jeti tanpa pengerukan alur.

11.1.1 Kedalaman minimum alur pelayaran

Muara sungai biasanya dimanfaatkan untuk keperluan lalu lintas perahu nelayan sehingga kedalaman alur harus disesuaikan dengan kebutuhan tersebut. Oleh karena itu, jika memungkinkan (ditinjau dari segi dana), kapal terbesar yang lewat di muara tersebut akan dipergunakan sebagai referensi penentuan ukuran kedalaman alur. Rumus penentuan kedalaman alur pelayaran tersebut adalah

$$EL_{bed} = LAT - dn \dots\dots\dots (5a)$$

$$dn = df + gl + rb \dots\dots\dots (5b)$$

dengan pengertian

EL_{bed} adalah elevasi dasar alur (pada kedalaman minimum);

LAT adalah elevasi muka air pada surut terendah ($\pm 0,00$);

dn adalah kedalaman alur nominal;

df adalah draft kapal pada muatan penuh,

gl adalah gerakan kapal akibat gelombang;

rb adalah ruang bebas di bawah kapal.

Besarnya gerakan perahu/kapal akibat gelombang sangat dipengaruhi iklim gelombang di daerah lokasi, sedangkan ruang bebas di bawah kapal diberikan untuk kemudahan manuver kapal yang tergantung dari jenis kapalnya.

Berdasarkan studi literatur untuk kapal berukuran kecil (kapal nelayan), besar nilai total kedua parameter ini berkisar 20% sampai dengan 50 % dari rencana draft kapal.

11.1.2 Lebar minimum alur pelayaran

Lebar minimum alur pelayaran dapat ditentukan oleh pemakai alur, yaitu dalam kaitannya dengan kemudahan manuver kapal yang memanfaatkan alur tersebut. Lebar minimum alur ini sangat tergantung pada ukuran kapal, kecepatan arus di muara, keadaan gelombang dan kepandaian nelayan dalam melakukan manuver. Bruun (1985) memperkenalkan rumus sederhana untuk menentukan lebar alur minimum, yaitu sebagai berikut.

- Untuk lalu lintas satu jalur

$$W_n \geq 4,8 B \dots\dots\dots (6a)$$

- Untuk lalu lintas dua jalur

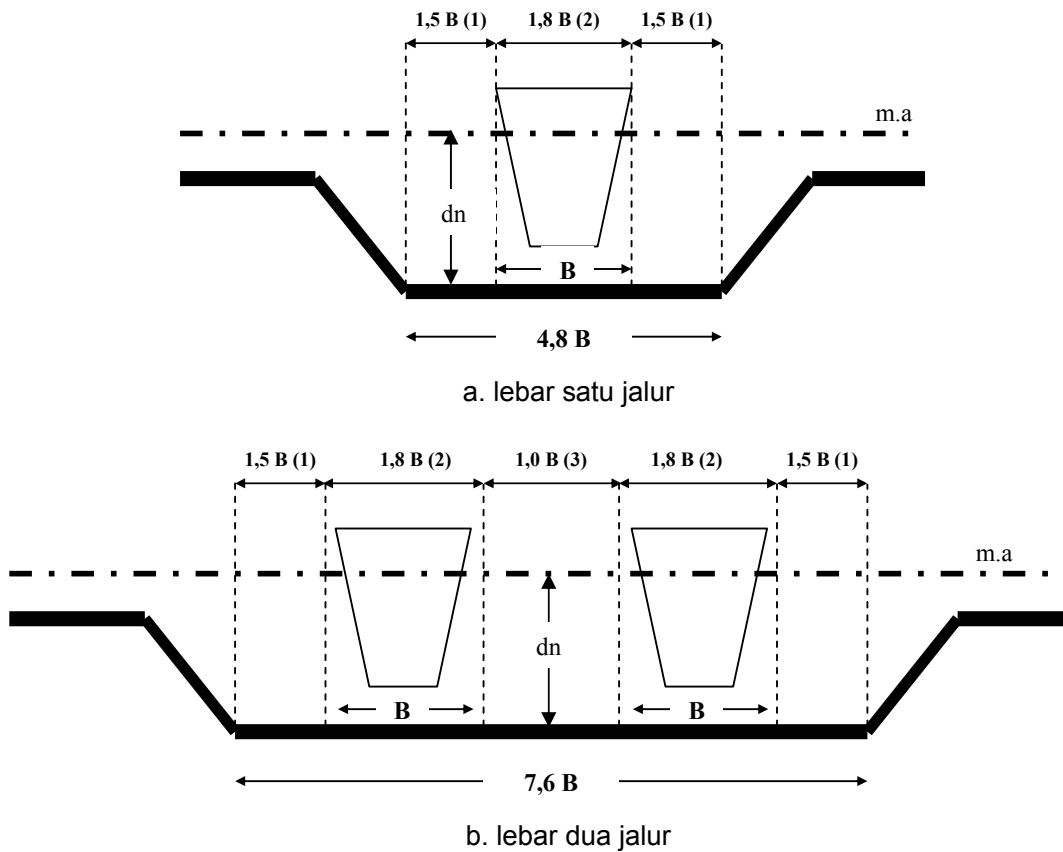
$$W_n \geq 7,6 B \dots\dots\dots (6b)$$

dengan pengertian

W_n adalah lebar alur minimum

B adalah lebar kapal (m) yang berukuran terbesar.

Pada Gambar 5 diperlihatkan sketsa penampang melintang alur.



- Catatan :
- (1) lebar keamanan 1,5 B
 - (2) jalur gerak 1,8 B
 - (3) lebar kemanan antara kapal 1,0 B

Gambar 5 Lebar alur satu jalur (a) dan dua jalur (b)

11.2 Luas penampang muara

Luas penampang muara secara alamiah tergantung pada prisma pasang surut. Lebar alur pelayaran buatan dapat ditentukan dengan rumus-rumus empiris. Berikut ini beberapa rumus empiris yang sering digunakan dalam perhitungan luas penampang muara.

11.2.1 Rumus O'Brein

Pendekatan untuk menentukan ukuran penampang muara telah diusulkan oleh O'Brien (1969) yaitu dengan membuat rumus hubungan antara prisma pasang surut (P) yang melewati muara tersebut dengan ukuran penampang muara. Rumus ini dikembangkan berdasarkan teori keseimbangan. Arus yang terjadi karena perbedaan tinggi permukaan air (karena adanya pasang surut) di teluk atau lagon dengan laut akan membentuk alur secara alamiah yang luasnya tergantung pada prisma pasang surut di lokasi tersebut. Rumus ini lalu dikembangkan lagi oleh Jarrett (1976) dengan menggunakan data inlet yang terdapat di pantai Atlantik, Gulf, dan Pasifik. Hasilnya adalah sebagai berikut.

$$A = 1,58 \cdot 10^{-4} P^{0,95} \dots\dots\dots(7)$$

dengan pengertian

A adalah luas penampang aliran minimum di muara yang diukur di bawah MSL, (m²);

P adalah prisma pasang surut, (m³).

Perlu dijelaskan disini bahwa pendekatan tersebut didasarkan pada pengukuran data inlet dan bukan pada muara sungai, sehingga aplikasinya terhadap muara sungai masih perlu diteliti lebih jauh. Berdasarkan penelitian di lima proyek percontohan perbaikan muara sungai (Indah Karya, 1992), hasil yang diperoleh tidak jauh berbeda.

11.2.2 Rumus Jepang

Pendekatan lain dalam penentuan ukuran lebar dan dalam alur pelayaran ialah dengan menggunakan cara Jepang yang menggunakan dua rumus, yaitu sebagai berikut.

$$b_2 = 0,67 b_1 \dots\dots\dots (8a)$$

$$\frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{b_1}{b_2} \right)^{-0,69} \dots\dots\dots (8b)$$

dengan pengertian

b_1 adalah lebar sungai bagian hulu, (m);

b_2 adalah lebar alur pelayaran, (m);

d_1 adalah kedalaman rerata sungai di bagian hulu, (m);

d_2 adalah kedalaman rerata di alur pelayaran, (m).

11.3 Lebar alur

Khusus untuk muara sungai yang tidak dipergunakan untuk alur pelayaran maka lebar alur antara dua jeti diusahakan sama dengan lebar normal sungai. Jika muara sungai tersebut digunakan untuk pelayaran, ukuran geometris lebar alur dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$A = Wh \{ (MSL - LAT) + dn \} \dots\dots\dots (9)$$

dengan pengertian

A adalah luas penampang aliran menurut Jarrett, (m²);

Wh adalah lebar hidraulik alur sungai, (m);

MSL adalah muka air laut rerata, (m);

LAT adalah muka air surut terendah, (m);

dn adalah kedalaman alur pelayaran nominal, (m).

Lebar hidraulik alur sungai (Wh) ini lalu dibandingkan dengan lebar alur untuk keperluan pelayaran (Wn). Bila hasilnya

a) $Wh \geq Wn$: desain lebar hidraulik alur sungai dapat dipakai sebagai lebar desain (*Final Design*);

b) $Wh \leq Wn$: perlu adanya kompromi antara pemakaian alur untuk pelayaran dengan keperluan perbaikan muara sungai. Jika hal ini terjadi perlu adanya pengetatan persyaratan pelayaran dan penggerusan yang diizinkan di antara dua bangunan jeti.

11.4 Panjang dan arah jeti

11.4.1 Panjang bangunan jeti

Panjang bangunan jeti sangat ditentukan oleh untuk tujuan apa bangunan jeti tersebut dibuat. Di bawah ini diberikan tiga jenis jeti yang disesuaikan dengan tujuan pembangunan jeti tersebut.

1) Jeti panjang

Bangunan jeti dibuat cukup panjang, menjorok ke laut sampai jauh di luar daerah gelombang pecah. Dengan bangunan sejajar ini, muara akan terlindung dari gerakan pasir/lumpur menyusur pantai. Kemungkinan pendangkalan di muara hanya dapat terjadi jika sungai membawa cukup banyak sedimen atau gerakan sedimen menyusur pantai sudah mencapai ujung bangunan jeti. Sistem ini biasanya dipakai untuk stabilisasi muara sungai yang dipergunakan untuk keperluan pelayaran atau untuk pelabuhan. Yang perlu diperhatikan pada sistem ini ialah akan terjadi perubahan garis pantai yang cukup signifikan jika angkutan sedimen menyusur pantai di pantai ini cukup besar, antara lain dengan terjadinya proses sedimentasi di udik (*updrift*) dan erosi di hilir (*downdrift*) jeti. Jika proses sedimentasi dibiarkan, majunya garis pantai akan mencapai ujung jeti dan dapat menyebabkan terjadinya penutupan mulut antara dua jeti. Sementara itu, erosi di hilir akan bertambah parah. Untuk menanggulangi permasalahan tersebut, perlu adanya pemindahan pasir dari udik ke hilir yang biasa dikenal dengan *sand bypassing*.

Selain itu, permasalahan lain yang timbul dengan selalu terbukanya mulut muara ialah terjadinya intrusi air laut ke arah darat pada musim kemarau, khususnya pada sungai-sungai yang di musim kemarau debitnya sangat kecil. Intrusi air laut ini dapat menyebabkan kerusakan bangunan-bangunan akibat korosi dan menghilangkan penyimpanan air tawar yang terbentuk semacam lagon. Padahal air tawar tersebut sangat dibutuhkan oleh para petani untuk keperluan air minum, mandi, ternak dan palawija.

Jeti kanan dan jeti kiri biasanya tidak sama panjang. Pada arah dominan datangnya sedimen dibuat jeti yang lebih panjang agar mulut jeti terlindung.

2) Jeti pendek

Bangunan jeti biasanya dibuat sampai kedalaman $\pm 0,00$ LWS. Tujuan utama sistem jeti ini ialah untuk stabilisasi muara, yaitu supaya muara tidak berpindah-pindah tempat. Pendangkalan muara masih akan terjadi, tetapi tidak separah jika tidak ada bangunan jeti tersebut. Mekanisme penggelontoran endapan dilakukan pada saat debit besar. Keuntungan utama sistem ini ialah perubahan garis pantai akibat bangunan sangat minimal dan biayanya murah. Dengan demikian, bangunan ini cocok untuk pantai yang sudah sangat berkembang (permukiman ataupun pariwisata). Bangunan jeti pendek biasanya dibuat sama panjang.

Jeti pendek ini dapat dipergunakan untuk menanggulangi muara yang menghadapi masalah banjir, tetapi untuk kepentingan lalu lintas nelayan, jeti ini tidak cocok. Keuntungan utama sistem ini ialah perubahan garis pantai akibat adanya bangunan sangat minimal karena angkutan sedimen menyusur pantai masih dapat melimpas ujung krib *updrift* melewati mulut yang selanjutnya melimpas ujung krib *downdrift*. Selain itu, keuntungan lain ialah terkendalikannya intrusi air laut ke arah darat saat musim kemarau karena terjadinya ambang di mulut jeti yang diakibatkan oleh melimpasnya sedimen melalui ujung jeti.

3) Jeti sedang

Bangunan jeti biasanya dibuat sampai batas luar daerah *breaker zone* pada saat muka air surut (LAT). Keuntungan jeti ini adalah dapat mengurangi kelemahan pada kedua bangunan jeti sebelumnya dan bangunan jeti ini sangat cocok untuk pantai dengan arah datang gelombang yang tegak lurus dengan pantai. Karena angkutan sedimen pantai berada di daerah *surf zone*, pembangunan jeti ini dapat mengurangi pendangkalan di muara, tetapi efektivitasnya dalam perlindungan muara tidak sebagus jeti panjang.

Pada Gambar 6 disajikan secara skematis denah dan potongan-potongan melintang jeti.

11.4.2 Panjang minimum bangunan jeti tanpa pengerukan alur saat surut terendah (LAT)

Panjang jeti agar tidak diperlukan perawatan atau pengerukan alur, haruslah sampai pada suatu kedalaman ketika material dasar tidak tergerakkan oleh gelombang atau arus. Namun, penentuan ini hanya cocok untuk muara yang dipergunakan untuk keperluan pelayaran. Panjang jeti yang tidak dipergunakan untuk pelayaran dapat lebih pendek dari ukuran tersebut yang disesuaikan dengan fungsi bangunan jeti yang akan dibangun. Panjang jeti arah darat minimum sampai kedudukan garis pantai yang tererosi di hilir jeti.

Sebagai pedoman awal untuk menentukan kedalaman ketika material belum bergerak atau tidak terjadi angkutan material, dapat dipergunakan kriteria gelombang pecah. Rumus yang paling sederhana untuk menentukan kedalaman saat terjadi gelombang pecah adalah

$$d_b = 0,78 H_b \dots\dots\dots (10)$$

dengan pengertian

d_b adalah kedalaman air pada saat gelombang pecah, (m);

H_b adalah tinggi gelombang pecah, (m).

Perhitungan kedalaman air pada saat gelombang pecah ini dilakukan pada saat kondisi air surut (LAT) dan tinggi gelombang pecah yang diambil sama dengan tinggi gelombang rencana. Dengan demikian, dapat ditentukan lokasi ujung bangunan jeti (bagian kepala), yaitu pada kedalaman tersebut (minimum).

11.4.3 Arah dan tata letak bangunan jeti

Dalam menentukan arah dan tata letak bangunan jeti, harus dipertimbangkan hal-hal, yaitu

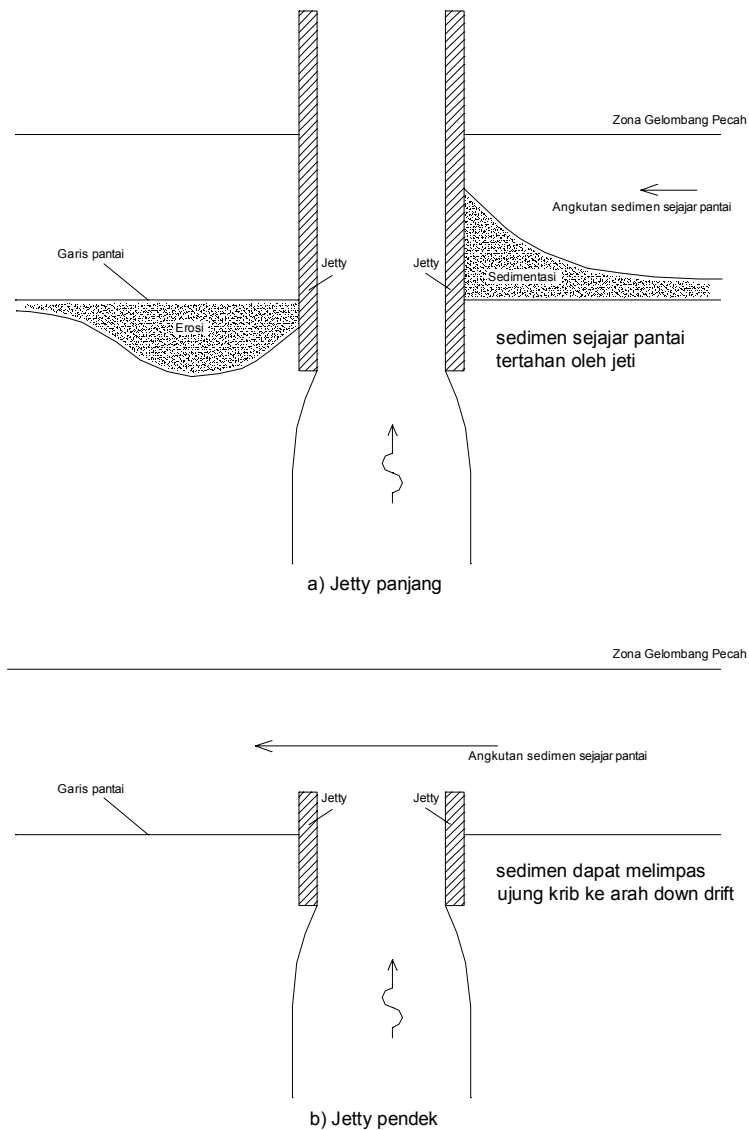
- a) konfigurasi dasar sungai, muara dan pantai di lokasi pekerjaan,
- b) alur pelayaran yang biasa digunakan oleh para nelayan,
- c) benar secara hidraulis dan tidak mengganggu aliran,
- d) biaya pembangunan jeti serendah mungkin,
- e) arah dominan datangnya gelombang,
- f) kemampuan menyalurkan debit banjir.

Hal tersebut di atas perlu dipertimbangkan masak-masak agar diperoleh tata letak dan orientasi bangunan jeti yang paling optimal.

11.5 Elevasi mercu bangunan jeti

Dalam menentukan tinggi mercu bangunan jeti, perlu dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut.

- 1) Untuk mengurangi pengaruh bangunan jeti terhadap tinggi muka air banjir di bagian hulu, elevasi mercu bangunan jeti sebaiknya dibuat tidak terlalu tinggi.
- 2) Untuk memberikan kemampuan penggelontoran endapan di antara kedua bangunan jeti, elevasi mercu bangunan jeti sebaiknya dibuat pada elevasi pasang tertinggi (HAT).



Gambar 6 Denah jeti panjang (a) dan jeti pendek (b)

- 3) Untuk keperluan navigasi, elevasi mercu bangunan jeti sebaiknya berada diatas HAT agar terlihat.
- 4) Supaya bangunan jeti berfungsi sebagai bangunan penahan pasir/lumpur, bangunan jeti harus lebih tinggi dari elevasi pasang tertinggi ditambah tinggi keamanan akibat wave *run-up*.
- 5) Bangunan jeti biasanya dibangun di atas tanah lunak yang mempunyai potensi cukup besar untuk terjadinya penurunan bangunan. Untuk mengatasi hal ini, perlu adanya pertambahan ketinggian agar bangunan jeti dapat berfungsi sesuai dengan rencana. Untuk meningkatkan daya dukung tanah, perlu dipasang cerucuk dari kayu atau bambu. Kedalaman dan jarak cerucuk tergantung dari beban jeti dan kondisi tanah.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, elevasi mercu bangunan jeti dapat ditentukan sebagai berikut.

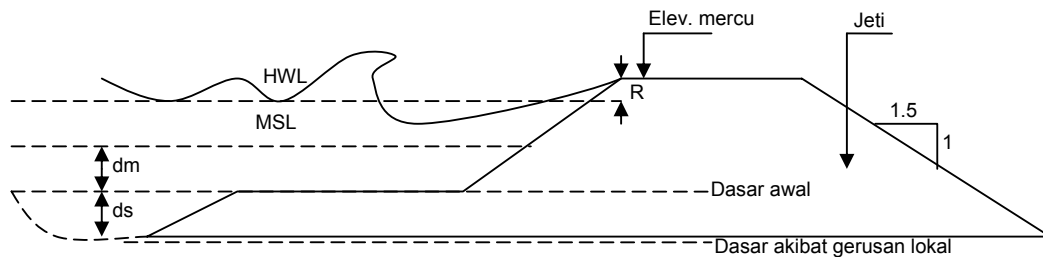
$$EL_{\text{mercu}} = \text{HAT} + R \dots\dots\dots (11)$$

dengan pengertian

- EL_{mercu} adalah elevasi mercu bangunan jeti, (m);
- HAT adalah muka air pasang tertinggi, (m);
- R adalah tambahan ketinggian yang besarnya, yaitu :
 - 1,00 meter pada bagian pangkal dan tengah;
 - 1,50 meter untuk bagian ujung (kepala).

Untuk lokasi yang mempunyai angkutan pasir sangat besar, nilai R minimum diambil sama dengan tinggi gelombang rencana (H_{rencana}). Jika R terlalu kecil, pasir akan masuk ke alur lewat mercu bangunan jeti pada saat terjadi gelombang besar (lewat proses *overtopping*) sehingga dapat menutup alur tersebut.

Untuk mengantisipasi terbentuknya *dunes* akibat pengaruh angin yang kencang, elevasi mercu diperhitungkan terhadap geomorfologi daerah dengan mengukur ketinggian *dunes* yang pernah terbentuk sehingga bangunan tidak akan tertimbun pasir. Pada Gambar 7 disajikan sketsa elevasi mercu jeti terhadap MSL.



Gambar 7 Elevasi mercu jeti dan gerusan lokal di kaki jeti

11.6 Kedalaman gerusan lokal

Bangunan jeti harus aman terhadap gerusan lokal, terutama pada saat terjadi banjir. Karena sulitnya menaksir kedalaman gerusan tersebut, bangunan pelindung kaki sangat dianjurkan untuk dibuat. Beberapa rumus yang dapat dipergunakan untuk menaksir kedalaman gerusan lokal telah disajikan dalam banyak literatur, tetapi yang sama persis dengan permasalahan yang terdapat di bangunan jeti tidaklah ada. Pada umumnya, gerusan lokal disebabkan oleh dua hal, yaitu sebagai berikut.

- 1) Gerusan akibat aliran air
 Gerusan akibat aliran air dapat diperkirakan dengan berbagai rumus dan yang paling sederhana adalah :

$$d_s = 2 d_m \dots\dots\dots (12a)$$

atau

$$\frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{b_1}{b_2} \right)^{-c} \dots\dots\dots (12b)$$

dengan pengertian

- d_s adalah kedalaman gerusan lokal di bawah MSL, (m);
- d_m adalah kedalaman alur rerata di bawah MSL, (m);
- d_1 adalah kedalaman aliran normal, (m);
- d_2 adalah kedalaman aliran di daerah penyempitan, (m);
- b_1 adalah lebar alur normal, (m);
- b_2 adalah lebar alur pada daerah penyempitan, (m);
- c adalah koefisien (0,65 - 0,86)

- 2) Gerusan akibat hempasan gelombang
Kedalaman gerusan ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$d_s = k H \dots\dots\dots(13)$$

dengan pengertian

- d_s adalah kedalaman gerusan akibat gelombang, (m);
- H adalah tinggi gelombang rencana, (m);
- k adalah koefisien yang besarnya berkisar antara 0,4 - 0,8.

Desain fondasi harus diperhitungkan dengan kedalaman gerusan yang terjadi. Untuk menghindari penggalan fondasi yang terlalu dalam, kaki bangunan jeti dapat diberi bangunan pelindung kaki. Dengan adanya bangunan pelindung kaki, jika terjadi gerusan di depan pelindung, konstruksi lapis lindung akan turun dan melindungi fondasi bangunan jeti. Pada Gambar 7 disajikan sketsa gerusan lokal yang akan terjadi di kaki jeti.

11.7 Penyaluran debit banjir

Bangunan jeti harus direncanakan dapat menyalurkan debit banjir rencana yang dipergunakan untuk pekerjaan-pekerjaan pengendalian banjir di bagian hulu sungai (*upstream*). Karena debit banjir yang dialirkan biasanya jauh lebih besar daripada kapasitas alur di antara bangunan jeti, air banjir sebagian akan melimpas lewat mercu bangunan jeti. Oleh karena itu, konstruksi mercu harus dibuat cukup kuat terhadap limpasan air banjir ini. Dalam perbaikan muara sungai kecil, debit banjir-rencana disarankan menggunakan debit banjir dengan kala ulang 20 tahunan ($Q_{20\text{th}}$).

12 Struktur bangunan *training jeti*

Jeti adalah bangunan tegak lurus dipantai yang diletakkan pada kedua sisi muara sungai yang berfungsi untuk mencegah penutupan muara dan mengurangi pendangkalan alur oleh sedimen.

Pada tahapan awal desain detail, pemilihan tipe bangunan jeti perlu dilakukan dengan mempertimbangkan :

- 1) kondisi hidro-oseanografi (iklim gelombang, pasang surut, arus laut dan banjir sungai),
- 2) angkutan sedimen,
- 3) kondisi tanah fondasi,
- 4) bahan bangunan yang tersedia,
- 5) akses ke lokasi pekerjaan,
- 6) kemampuan kontraktor pelaksana.

12.1 Tipe bangunan jeti

Tipe bangunan *training* jeti yang dipergunakan untuk perbaikan muara sangat bermacam-macam dan perlu disesuaikan dengan kondisi setempat. Berdasarkan pengalaman dan studi literatur, bangunan jeti dapat dibedakan menjadi enam tipe, yaitu

- 1) susunan tumpukan batu (*rubble mound wall*),
- 2) susunan bronjong (*gabion wall*),
- 3) susunan turap baja kantilever (*cantilevered steel sheet wall*),
- 4) susunan turap baja (*cellular steel sheet pile wall*),
- 5) susunan kaison beton (*concrete caisson wall*),
- 6) susunan pipa beton bulat.

12.1.1 Jeti tipe *rubble mound*

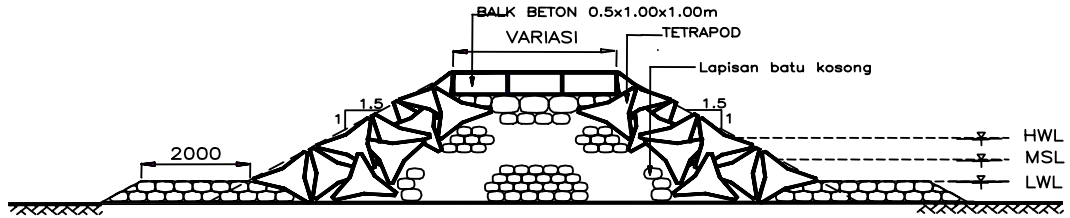
Lapisan luar/pelindung bangunan tipe *rubble mound* dikenal dengan armor. Armor dapat terdiri atas tumpukan batu atau tumpukan blok-blok beton. Dinding tumpukan batu ialah bentuk yang paling banyak dipakai dalam struktur bangunan yang menjorok ke laut, seperti halnya bangunan jeti, groin, dan pemecah gelombang. Batu pecah atau batu besar (*boulder*) dalam berbagai ukuran dan bentuk dapat dibuat konstruksi dinding dengan dituang secara acak ataupun diatur dengan rapi. Kemiringan sisi bangunan (dinding tumpukan batu) dan ukuran batu lapis lindung ditentukan berdasarkan tinggi gelombang rencana. Jika batu dengan ukuran tersebut tidak terdapat di sekitar lokasi pekerjaan dalam jarak yang ekonomis atau ukuran batu yang diperlukan terlalu besar sehingga sulit untuk mendapatkannya, dapat dipergunakan batu buatan dari konstruksi beton yang direncanakan khusus untuk keperluan tersebut.

Tipikal rencana tampang lintang bangunan jeti dari tumpukan batu disajikan pada Gambar 8. Konstruksi dinding batu ini layak (*feasible*) dipergunakan dalam berbagai kondisi tanah dasar, kedalaman, dan iklim gelombang. Keuntungan utama dari struktur ini adalah

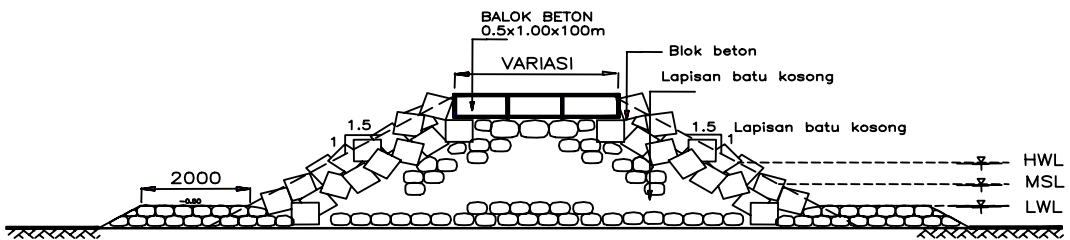
- a) fleksibilitas konstruksi untuk menyesuaikan bentuk akibat adanya penurunan fondasi akibat konsolidasi struktur tanah dasar, atau akibat adanya gerusan pada fondasi;
- b) kerusakan struktur dapat diperbaiki dengan mudah, sebagai contoh elevasi mercu bangunan dapat dikembalikan ke elevasi rencana dengan penambahan material;
- c) karena porositasnya yang cukup besar dan permukaan struktur yang sangat kasar, konstruksi ini dapat menyerap dan mematahkan energi gelombang dan tidak merefleksikannya.

Perlu dicatat disini bahwa meskipun struktur bangunan ini dibuat dari material yang relatif murah, tetapi membutuhkan volume material yang besar sehingga harga konstruksinya mahal. Demikian pula jika porositasnya terlalu besar, dapat mengakibatkan penyaluran energi gelombang lewat pori-pori bangunan tersebut. Keadaan yang demikian ini dapat menyebabkan terbawanya (tercucinya) material halus yang berada di bawah konstruksi yang pada akhirnya dapat merusak bangunan.

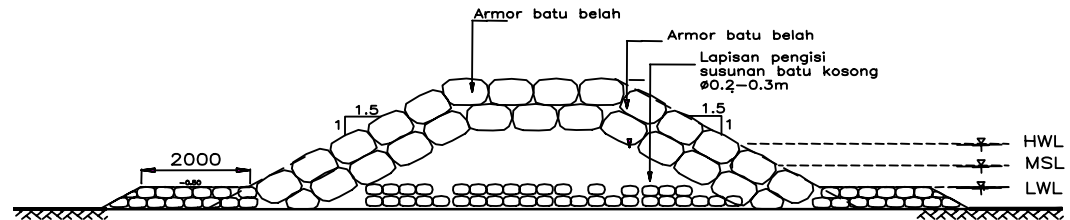
Armor dari blok-blok beton antara lain dapat berbentuk kubus, tetrapod, hexapod, quadripod, dan dolos. Blok-blok beton ini mempunyai koefisien kestabilan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan batu. Jika armor dari batu dengan diameter besar sulit diperoleh, sebagai pengantinya dapat dibuat dari blok-blok beton.



a. Armor dari tetrapod



b. Armor dari kubus beton



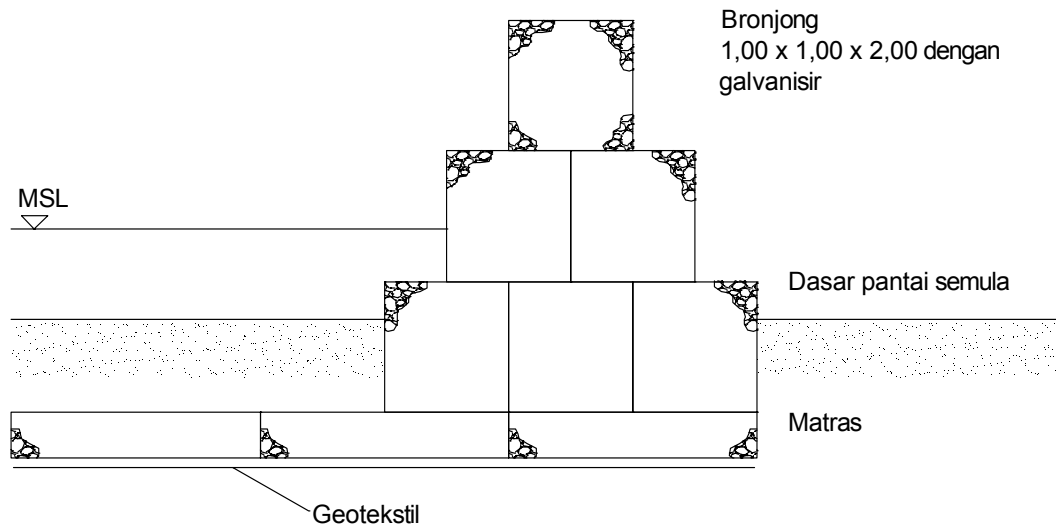
c. Armor dari batu belah

Gambar 8 Konstruksi tipe rubble

12.1.2 Jeti dari susunan bronjong

Susunan bronjong sangat populer untuk pekerjaan yang sifatnya cepat dan mendesak. Konstruksi ini sering dipergunakan untuk perlindungan tebing sungai yang terancam erosi dan masih relatif jarang dipergunakan untuk keperluan bangunan maritim karena kawat pembungkus batu mudah mengalami korosi jika berada dalam air laut. Untuk mengurangi atau memperpanjang umur ekonomis bangunan dari dinding bronjong, perlu dilakukan pemilihan material yang tahan korosi, misalnya dengan menggunakan kawat yang dilapisi bahan antikorosi (misalnya PVC).

Tipikal tampang lintang bangunan jeti dari konstruksi bronjong dapat dilihat pada Gambar 9. Lapisan matras yang terdapat pada bagian bawah struktur berguna untuk meratakan tekanan dan berfungsi sebagai konstruksi pelindung kaki.



Gambar 9 Konstruksi bronjong

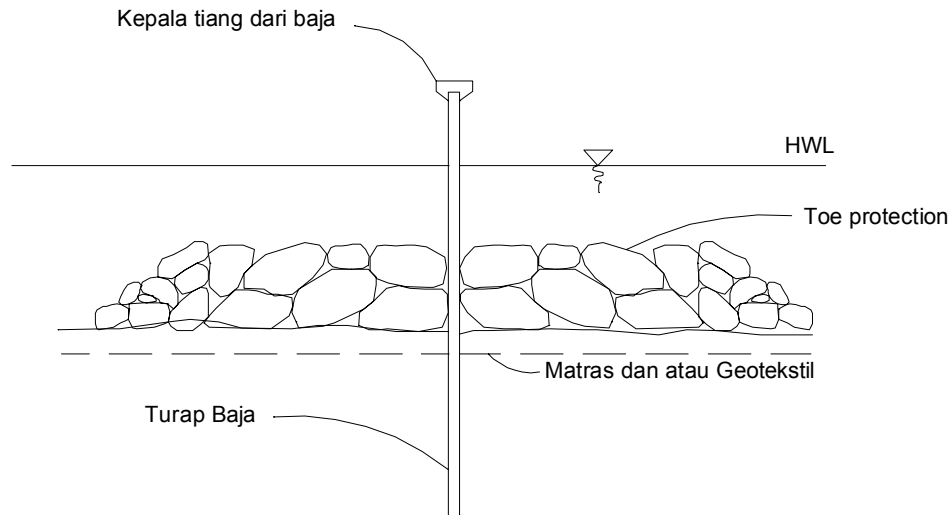
Keuntungan struktur susunan bronjong sama dengan struktur tumpukan batu. Selain itu, batu yang digunakan berukuran lebih kecil. Namun, dari pengamatan di lapangan, ada beberapa kelemahan dari konstruksi ini, di antaranya adalah

- lapisan PVC (atau lapisan tahan korosi) sering rusak sehingga menimbulkan korosi;
- belum ada rumus perhitungan untuk desain bronjong, terutama yang berkaitan dengan perhitungan gaya yang bekerja pada kawat akibat gelombang sehingga ukuran kawat yang tepat sulit ditentukan.

Struktur bagian kepala umumnya mengalami kerusakan lebih parah karena, selain adanya korosi, juga terjadinya perubahan formasi bronjong yang disebabkan oleh hempasan gelombang. Untuk menghindari kerusakan pada bagian kepala, kepala jeti dapat dibuat dengan tipe *rubble mound* dengan armor dari susunan batu atau blok beton.

12.1.3 Turap baja kantilever

Tipikal tampang lintang dari turap baja kantilever dapat dilihat pada Gambar 10. Agar konstruksi cukup stabil terhadap hempasan gelombang, turap baja harus dipancang hingga mencapai tanah fondasi yang cukup baik. Untuk menghindari kerusakan fondasi akibat gerakan struktur (yang disebabkan oleh gelombang), tanah fondasi perlu diberi lapisan batu (*toe protection*). Lapisan ini dapat pula berfungsi sebagai lapis lindung terhadap gerusan.

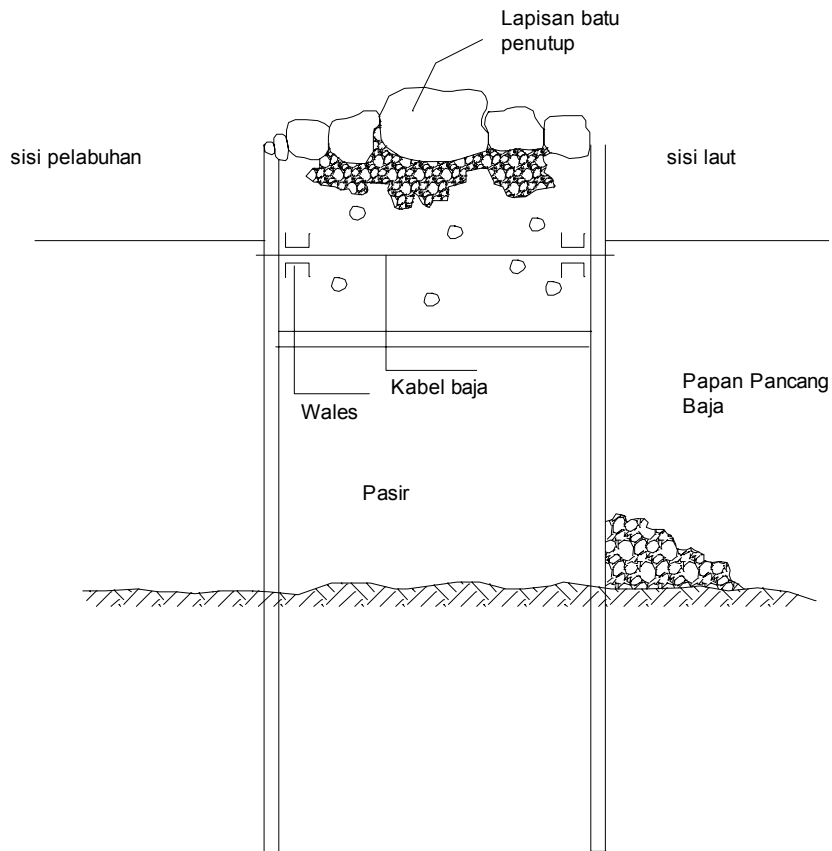


Gambar 10 Konstruksi turap baja kantilever

12.1.4 Turap baja berongga

Konstruksi turap baja berongga merupakan konstruksi turap dengan dua dinding dan merupakan perbaikan dari konstruksi turap baja kantilever. Konstruksi ini dapat dipergunakan pada gelombang yang lebih besar dan getaran akibat gempa gelombang pada struktur dapat dikurangi. Kelemahan utama yang masih terdapat pada konstruksi ini ialah bahan yang terbuat dari besi mudah terkorosi sehingga umur ekonomis bangunan masih relatif pendek. Kelemahan ini dapat dihindari dengan pemakaian turap dari bahan beton bertulang, hanya biaya konstruksi dan pelaksanaannya akan lebih mahal.

Tipikal tampang lintang dari turap baja berongga dapat dilihat pada Gambar 11. Kedua dinding (yang berupa turap) pada konstruksi tersebut dihubungkan agar bangunan tersebut menjadi satu kesatuan dan bentuknya dapat dipertahankan sesuai dengan rencana. Rongga di antara dinding biasanya diisi dengan material pasir tanah liat ataupun batu. Setelah itu, ditutup dengan beton penutup (*concrete cap*). Kelemahan konstruksi ini jika dibandingkan dengan susunan tumpukan batu hanyalah pada luas fondasi bangunan yang lebih sempit sehingga membutuhkan kualitas tanah dasar yang lebih baik. Perlu dicatat disini bahwa konstruksi ini tidak dapat meredam energi gelombang sehingga gelombang yang menghantam dinding akan dipantulkan dan dapat menyebabkan kerusakan di tempat lain.

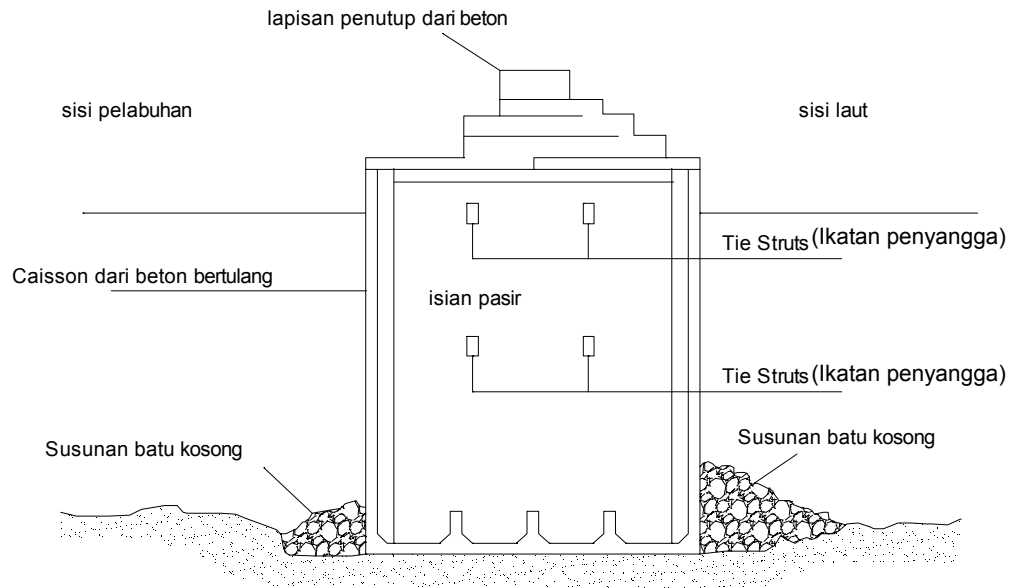


Gambar 11 Konstruksi turap baja (*flexible structure*)

12.1.5 Kaison beton

Konstruksi dinding kaison beton adalah konstruksi dinding yang terbuat dari beberapa individu kaison. Kaison terbuat dari beton bertulang (kotak yang terbuat dari beton bertulang). Kotak-kotak beton tersebut dibuat di darat, lalu diapungkan ke lokasi pekerjaan, kemudian ditenggelamkan pada posisi yang telah ditentukan dengan cara memasukkan air lewat lubang yang telah disediakan. Setelah itu, kotak tersebut diisi material (batu atau pasir) dan ditutup dengan beton penutup (*concrete cap*).

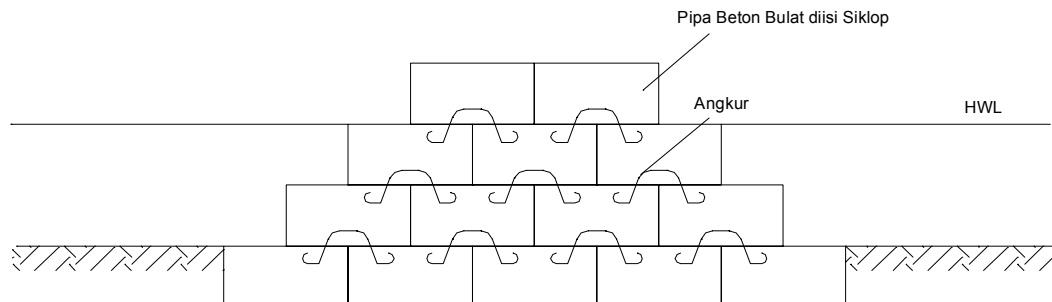
Tipikal tampang lintang dinding kaison dapat dilihat pada Gambar 12. Konstruksi ini hampir sama dengan dinding turap baja berongga, tetapi membutuhkan persyaratan fondasi yang lebih baik. Untuk desain konstruksi ini, perlu dilakukan analisis fondasi yang cermat, karena jika terjadi kerusakan akan sulit diperbaiki. Seperti halnya pada dinding turap baja, gelombang yang menghantam struktur akan dipantulkan lagi sehingga dapat membahayakan tempat lain atau mengganggu lalu lintas kapal nelayan.



Gambar 12 Konstruksi kaisan beton

12.1.6 Susunan pipa beton bulat

Pipa beton bulat dapat dipergunakan sebagai unit-unit untuk pembuatan struktur jeti. Unit-unit pipa beton disusun seperti terlihat pada Gambar 13. Pipa beton diisi *syklop*. Agar menjadi satu kesatuan yang kokoh, antara unit yang satu dengan unit lainnya diikat dengan angker. Dengan struktur yang relatif masif, akan terjadi refleksi gelombang yang menyebabkan terjadinya erosi pada kaki struktur, terutama pada bagian kepala. Untuk mencegah terjadinya kerusakan akibat erosi ini, di depan kaki struktur perlu dipasang pelindung kaki dari susunan batu kosong.



Gambar 13 Susunan pipa beton bulat

12.2 Perbandingan Beberapa Konstruksi Jeti

Tabel 6 memberikan gambaran mengenai keunggulan dan kelemahan tiap-tiap konstruksi untuk memilih tipe bangunan jeti pada suatu pekerjaan perbaikan muara sungai. Tabel tersebut dibuat secara kualitatif berdasarkan keadaan muara sungai di Indonesia pada umumnya, yaitu tanah dasar lunak/berpasir dan bagian kanan/kiri muara merupakan tanah dataran yang rendah.

Tabel 6 Matriks perbandingan antara bangunan jeti dari tumpukan batu, beronjong, dan turap baja

No	Hal yang Ditinjau	Tumpukan batu	Bronjong	Turap baja	Kaison beton	Susunan pipa beton
1	Berat struktur per unit	**	***	***	**	**
2	Ketahanan terhadap cuaca / gaya kejut / umur ekonomis	***	*	**	**	**
3	Kemampuan penyesuaian terhadap fondasi	***	***	**	*	*
4	Kemudahan mendapatkan bahan	**	***	**	**	**
5	Macam kerusakan struktur	***	*	**	*	*
6	Perawatan	***	*	*	*	*
7	Pelaksanaan	***	***	***	**	**
8	Tinggi gelombang rencana	***	**	**	**	**
9	Harga material	0	0	0	0	0
10	Tinggi run-up dan refleksi gelombang	***	**	*	*	*

dengan pengertian :

- *** : unggul (bagus, tidak parah, tidak sulit, ringan)
- ** : sedang, cukup
- * : kurang (kurang, parah, sulit, berat)
- 0 : tergantung lokasi pekerjaan

13 Pelaksanaan

13.1 Metode pelaksanaan

Sebagai bagian dari dokumen tender, pemberi tugas mempersiapkan program pelaksanaan sebagai pedoman untuk membantu para peserta tender dan pelaksana dalam mempersiapkan detail program pelaksanaan yang diajukan.

Metode pelaksanaan dilengkapi dengan data yang menerangkan deskripsi setiap pekerjaan dan lama waktu yang diperlukan

13.2 Pengamanan daerah kerja

Untuk pengamanan kerja saat pelaksanaan, pelaksana harus melakukan kegiatan-kegiatan sebagai berikut.

- 1) menghubungi aparat desa;
- 2) membuat kantor direksi;
- 3) membuat papan nama proyek;
- 4) membuat barak pekerja dan gudang;
- 5) melakukan pengukuran dan pematokan (*uitzet*);
- 6) melakukan pemasangan propil (*bowplank*);
- 7) membuat jalan angkut material dan jalan sementara;
- 8) membuat pemagaran sementara;
- 9) menyediakan air bersih/air kerja.

13.3 Tahap pelaksanaan

Tahap pelaksanaan konstruksi merupakan tahap kegiatan untuk menetapkan bahwa pekerjaan dapat dilaksanakan dengan aman, dalam waktu dan biaya yang telah ditetapkan sesuai dengan gambar rencana, spesifikasi, prosedur, dan cara pelaksanaan. Pada tahap pelaksanaan perlu dibuat

- 1) jadwal urutan pekerjaan,
- 2) rencana kerja harian,
- 3) laporan harian, mingguan dan bulanan,
- 4) pembahasan kemajuan pekerjaan, dan
- 5) foto-foto kegiatan pekerjaan.

13.4 Ruang kerja

Pelaksana harus menyediakan ruang kerja yang antara lain terdiri atas

- 1) kantor pelaksana,
- 2) barak kerja,
- 3) kantor direksi,
- 4) gudang / workshop,
- 5) laboratorium lapangan,
- 6) fasilitas pengobatan,
- 7) air bersih dan listrik, dan
- 8) sarana telekomunikasi.

13.5 Keselamatan kerja

Pelaksana berkewajiban untuk mengusahakan agar tempat kerja, peralatan, lingkungan kerja, dan tata kerja diatur sehingga tenaga kerja terlindung dari risiko kecelakaan.

13.6 Peralatan khusus

Pelaksana harus melengkapi semua peralatan yang diperlukan untuk pelaksanaan dan perawatan semua pekerjaan, kecuali yang telah disediakan oleh pemberi tugas. Peralatan harus sesuai dengan persyaratan yang dipakai dalam spesifikasi teknis.

13.7 Pengorganisasian kerja

Pihak pelaksana harus menyiapkan susunan organisasi kerja sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan sehingga dalam pelaksanaan sehari-hari dapat diketahui personal yang bertanggung jawab terhadap hasil kerjanya.

13.8 Kendali mutu

Kendali mutu dilakukan untuk membangun suatu struktur yang memenuhi persyaratan kualitas, antara lain sebagai berikut.

- 1) Produk memenuhi persyaratan kualitas.
- 2) Proses pelaksanaan pekerjaan berjalan dengan laju yang stabil.
- 3) Grafik kendali dapat dipenuhi.

14 Pemantauan dan pemeliharaan

14.1 Ruang lingkup pemantauan dan pemeliharaan

Pemantauan bertujuan untuk mengamati kerusakan bangunan dan kinerja bangunan jati setelah dibangun. Pengamatan kerusakan dilakukan untuk mengetahui seberapa parah kerusakan yang terjadi, terutama setelah terjadinya musim badai (gelombang), mengevaluasi

kerusakan, serta membuat program perbaikan agar bangunan tersebut tetap dapat berfungsi seperti pada saat direncanakan. Pengamatan kinerja bangunan ditujukan untuk mengetahui apakah bangunan jeti tersebut dapat berfungsi seperti yang diharapkan/direncanakan. Jika bangunan belum berfungsi sesuai dengan yang diharapkan, perlu diusulkan perbaikan atau penyempurnaan bangunan tersebut.

Agar bangunan pantai dapat berfungsi dengan baik, perlu adanya pemeliharaan rutin dan perbaikan bagian-bagian bangunan yang rusak sehingga kerusakan yang terjadi tidak meruntuhkan bangunan yang dapat menurunkan fungsinya. Dalam menunjang kegiatan pemeliharaan, terlebih dahulu harus dilakukan kegiatan pemantauan yang juga harus dilakukan secara rutin. Lingkup kegiatan pemantauan rutin antara lain sebagai berikut.

- 1) Pemantauan unjuk kerja bangunan dilakukan minimal dua kali setiap tahun yaitu pada akhir musim hujan dan akhir musim kemarau atau akhir musim barat dan akhir musim timur.
- 2) Pemantauan kerusakan bangunan dilakukan dua kali, yaitu pada akhir musim barat dan akhir musim timur.
- 3) Jika terjadi kondisi abnormal (badai atau tsunami), pemantauan dilakukan setelah terjadinya kondisi abnormal tersebut.
- 4) Pemantauan yang dilakukan pada bangunan meliputi
 - a) erosi di kaki bangunan,
 - b) lubang-lubang di belakang bangunan akibat terjadinya rembesan air,
 - c) abrasi pada muka bangunan,
 - d) proses sedimentasi di *updrift* dan erosi di *downdrift*,
 - e) perubahan susunan armor pada bangunan tipe *rubble mound* dan struktur pelindung kaki,
 - f) keretakan pada bangunan,
 - g) turun dan miringnya bangunan;
 - h) kerusakan bangunan, khususnya setelah terjadi kondisi abnormal.

Pemeliharaan yang dilakukan ialah memperbaiki kerusakan bangunan yang terjadi pada butir-butir tersebut. Selain itu, usaha pemantauan juga bermanfaat sebagai umpan balik untuk pembuatan rencana.

14.2 Petugas pemantauan dan pemeliharaan

Petugas pemantauan harus mempunyai pengetahuan yang cukup dalam bidang rekayasa pantai dengan tingkat pendidikan sekurang-kurangnya D3 Teknik dan telah mengikuti kursus dalam bidang rekayasa pantai. Akan lebih baik jika petugas pemantauan pernah bertindak sebagai pengawas pelaksanaan pekerjaan pengamanan pantai dan muara di lapangan serta memiliki minat dalam bidang rekayasa pantai.

14.3 Tata cara pemeliharaan

Pemeliharaan yang dilakukan ialah memperbaiki kondisi bangunan yang disesuaikan dengan rencana pada saat pelaksanaan. Oleh karena itu, kegiatan pemeliharaan harus dilengkapi gambar pelaksanaan sebagai acuan. Pemeliharaan harus dilakukan secara rutin karena gaya yang bekerja pada bangunan merupakan gaya yang dinamis. Pemeliharaan tidak boleh menunggu sampai terjadinya kerusakan yang lebih parah karena akan memerlukan biaya pemeliharaan yang lebih besar.

14.4 Biaya pemantauan dan pemeliharaan

Biaya pemantauan dan pemeliharaan disiapkan oleh pemerintah daerah melalui anggaran APBD untuk bangunan yang melindungi sarana dan prasarana umum, sedangkan untuk bangunan pengamanan pantai yang melindungi sarana dan prasarana pribadi, pemantauan dan pemeliharaannya dilakukan oleh yang bersangkutan. Untuk pengamanan pedesaan dengan teknologi sederhana yang melindungi permukiman, biaya pemantauan dan pemeliharaan diusahakan oleh penduduk setempat.

Lampiran A
Daftar nama dan lembaga

1) Pemrakarsa

Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Badan Penelitian dan Pengembangan, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah

2) Penyusun

N a m a	L e m b a g a
Dr. Ir. Syamsudin, Dipl.HE.	Pusat Litbang Sumber Daya Air
Prof. Dr. Ir. Nur Yuwono, Dipl.HE.	Universitas Gajah Mada
Ir. Hoedijatmoko, Dipl.HE.	B C E O M
Fitri Riandini, S.T., M.T.	Pusat Litbang Sumber Daya Air

Bibliografi

1. Bambang Triatmodjo. 1999. *Teknik Pantai*. ISBN 979-8541-05-7. Yogyakarta : Beta Offset.
2. Bruun, Per. 1973. *Port Engineering*. Houston, Texas : Gulf Publishing Company.
3. CERC. 1984. *Shore Protection Manual*. Washington : US Army Coastal Engineering Research Center.
4. Davis, Richard, A. Jr. 1985. *Coastal Sedimentary Environments*. New York : Springer-Verlag.
5. Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No. 9 tahun 1989 tentang Pemanfaatan Sungai.
6. Nur Yuwono. 1992. *Dasar-dasar Perencanaan Bangunan Pantai*. Vol2. Yogyakarta : Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi, PAU-IT-UGM.