

**SURAT EDARAN MENTERI PEKERJAAN UMUM
DAN PERUMAHAN RAKYAT
NOMOR : 12/SE/M/2015
TANGGAL 23 APRIL 2015**

TENTANG

**PEDOMAN PENENTUAN BEBAN IMPAK BANGUNAN
PELINDUNG PILAR JEMBATAN**



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DAN PERUMAHAN RAKYAT**



MENTERI PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
REPUBLIK INDONESIA

Kepada Yth.:

Para Pejabat Eselon I di lingkungan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

**SURAT EDARAN
NOMOR : 12 /SE/M/2015**

TENTANG

**PEDOMAN PENENTUAN BEBAN IMPAK BANGUNAN PELINDUNG PILAR
JEMBATAN**

A. Umum

Pedoman ini dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam perencanaan bangunan pelindung pilar jembatan. Analisis untuk menentukan beban yang digunakan berdasarkan statistik dengan data tahunan. Contoh yang digunakan dalam pedoman ini berupa tipe sistem penyangga tiang pancang/*pile supported system*.

B. Dasar Pembentukan

- 1) Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2006 Nomor 86, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4655);
- 2) Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2007 tentang Pembagian Urusan Pemerintahan antara Pemerintah, Pemerintahan Provinsi, Pemerintahan Daerah Kabupaten/Kota (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2007 Nomor 82, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4737);
- 3) Peraturan Presiden Nomor 7 Tahun 2015 tentang Organisasi Kementerian Negara;
- 4) Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2015 tentang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 16);
- 5) Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 121/P Tahun 2014 tentang Pembentukan Kementerian dan Pengangkatan Menteri Kabinet Kerja Periode Tahun 2014-2019;

- 6) Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 07/PRT/M/2012 tentang Penyelenggaraan Penelitian dan Pengembangan di Bidang Jalan.

C. Maksud dan Tujuan

Surat Edaran ini dimaksudkan sebagai acuan bagi Pejabat Eselon I di Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, perencana, pelaksana dan pengawas dalam menentukan beban dampak sebagai masukan data perencanaan bangunan pelindung pilar jembatan.

D. Ruang Lingkup

Pedoman ini menetapkan ketentuan-ketentuan tentang beban dampak bangunan pelindung pilar jembatan, terutama akibat tumbukan kapal. Pedoman ini mencakup penjelasan umum tentang berbagai macam jenis bangunan pelindung pilar dan langkah penentuan beban dampak yang digunakan sebagai data untuk analisis struktur.

E. Penutup

Ketentuan lebih rinci mengenai Pedoman Penentuan Beban Dampak Bangunan Pelindung Pilar Jembatan ini tercantum dalam Lampiran yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari Surat Edaran Menteri ini.

Demikian atas perhatian Saudara disampaikan terima kasih.

Ditetapkan di Jakarta
pada tanggal 23 April 2015

**MENTERI PEKERJAAN UMUM
DAN PERUMAHAN RAKYAT,**



M. BASUKI HADIMULJONO

Tembusan disampaikan kepada Yth.:
Plt. Sekretaris Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

LAMPIRAN
SURAT EDARAN MENTERI PEKERJAAN
UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
NOMOR : 12/SE/M/2015
TENTANG
PEDOMAN PENENTUAN BEBAN IMPAK
BANGUNAN PELINDUNG PILAR JEMBATAN

PEDOMAN

Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil

**Penentuan beban impak bangunan pelindung pilar
jembatan**



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DAN PERUMAHAN RAKYAT**

Daftar isi

Daftar isi	i
Prakata	iii
Pendahuluan	iv
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi.....	1
4 Jenis bangunan pelindung pilar jembatan	2
4.1 <i>Fender</i>	2
4.2 Sistem penyangga tiang pancang/ <i>piled supported system</i>	6
4.3 <i>Dolphin</i>	7
4.4 Pulau buatan atau perlindungan dengan karang.....	8
5 Ketentuan	9
5.1 Jarak ruang bebas horizontal.....	9
5.1.1 Lalu lintas satu jalur.....	9
5.1.2 Lalu lintas dua jalur.....	10
5.2 Tinggi ruang bebas vertikal.....	10
5.3 Jenis kapal dan tongkang	11
6 Prosedur perencanaan.....	13
6.1 Beban kapal/tongkang rencana	14
6.1.1 Metode I	14
6.1.2 Metode II	14
6.2 Gaya akibat hanyutan batang kayu.....	19
6.3 Kecepatan rencana.....	19
6.4 Kecepatan impak rencana	19
6.5 Energi impak kapal	20
6.6 Gaya impak	20
6.6.1 Gaya impak untuk kapal	22
6.6.2 Gaya impak untuk tongkang	22
6.7 Analisis struktur	23
6.8 Keruntuhan.....	23
7 Peralatan tambahan.....	23
Lampiran A (informatif) Contoh analisis	24
Lampiran B (informatif) Rambu pada pelayaran.....	29
Bibliografi.....	36
Gambar 1 - Contoh <i>fender</i> kayu pada Jembatan Commodore John Barry, New Jersey.....	4
Gambar 2 - Contoh <i>fender</i> karet pada Jembatan Passyunk Avenue, Philadelphia.....	5
Gambar 3 - Contoh <i>fender</i> karet	5
Gambar 4 - <i>Fender</i> beton persegi yang dapat hancur pada pilar utama Jembatan Francis Scott Key, Baltimore, Maryland.....	6
Gambar 5 - <i>Fender</i> dinding dan kerangka baja pada Jembatan Bisn-Seto, Jepang.....	6

Gambar 6 - <i>Pile supported system</i> pada Jembatan Tromso, Norwegia.....	7
Gambar 7 - Sistem perlindungan <i>Dolphin</i> Jembatan Sunshine Skyway	8
Gambar 8 - <i>Dolphin</i> pada Jembatan Sunshine Skyway, Tampa Bay	8
Gambar 9 - Pulau buatan Jembatan Orwell, Inggris.....	9
Gambar 10 - Jarak ruang bebas horizontal	9
Gambar 11 - Jarak ruang bebas untuk jalur tidak terdapat gangguan	10
Gambar 12 - Jarak ruang bebas untuk jalur yang terbatas.....	10
Gambar 13 - Tinggi ruang bebas vertikal	11
Gambar 14 - Berat dan dimensi kapal.....	12
Gambar 15 - Diagram alir metode I.....	13
Gambar 16 - Wilayah jalur pelayaran untuk lokasi jembatan.....	16
Gambar 17 - Probabilitas geometri terhadap dampak pada pilar.....	18
Gambar 18 - Distribusi probabilitas keruntuhan	18
Gambar 19 - Distribusi kecepatan dampak rencana.....	20
Gambar 20 - Beban dampak kapal terpusat pada pilar (untuk desain fondasi dan stabilitas struktur)	21
Gambar 21 - Beban dampak kapal terbagi merata untuk gaya dampak lokal pada pilar (untuk desain dan memeriksa struktur)	21
Gambar 22 - Beban dampak tongkang terbagi merata untuk gaya dampak lokal pada pilar (untuk desain dan memeriksa struktur)	21
Gambar 23 - Beban dampak sisi tongkang terbagi merata pada pilar	22
Gambar A.1 - Sketsa bangunan pelindung pilar.....	27
Gambar A.2 - Model struktur bangunan pelindung pilar	27
Gambar A.3 - Keluaran analisis struktur bangunan pelindung pilar (tampak atas)	28
Gambar A.4 - Keluaran analisis struktur bangunan pelindung pilar (3 dimensi).....	28
Gambar B.1 - Sketsa hubungan dimensi rambu berdasarkan jarak pandang.....	29
Gambar B.2 - Contoh penempatan rambu dan penempatan lampu isyarat.....	30
Gambar B.3 - Rambu larangan	31
Gambar B.4 - Rambu wajib.....	32
Gambar B.5 - Rambu peringatan	33
Gambar B.6 - Rambu petunjuk/penuntun.....	34
Tabel 1 - Klasifikasi tongkang di Indonesia	12
Tabel A.1 - Data lalu lintas tongkang	24
Tabel B.1 - Dimensi rambu berdasarkan jarak pandang	29

Prakata

Pedoman penentuan beban dampak bangunan pelindung pilar jembatan disusun merujuk pada *Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges*, Volume I: Final Report, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Pedoman ini dipersiapkan oleh Panitia Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil pada Subpanitia Teknis Rekayasa Jalan dan Jembatan 91-01/S2 melalui Gugus Kerja Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan.

Tata cara penulisan disusun mengikuti Pedoman Standardisasi Nasional (PSN) 08:2007 dan dibahas dalam rapat konsensus yang diselenggarakan pada tanggal 15 Juli 2013 di Bandung oleh Subpanitia Teknis, yang melibatkan para narasumber, pakar dan lembaga terkait.

Pendahuluan

Pedoman ini dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam perencanaan bangunan pelindung pilar jembatan. Perencanaan beban impact mengikuti AASTHO *Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges*. Analisis untuk menentukan beban yang digunakan berdasarkan statistik dengan data tahunan. Contoh yang digunakan dalam pedoman ini berupa tipe sistem penyangga tiang pancang/*pile supported system*.

Penentuan beban dampak bangunan pelindung pilar jembatan

1 Ruang lingkup

Pedoman penentuan beban dampak bangunan pelindung pilar jembatan menetapkan ketentuan-ketentuan tentang beban dampak bangunan pelindung pilar jembatan, terutama akibat tumbukan kapal. Pedoman ini mencakup penjelasan umum tentang berbagai macam jenis bangunan pelindung pilar dan langkah penentuan beban dampak yang digunakan sebagai data untuk analisis struktur.

2 Acuan normatif

--

3 Istilah dan definisi

Untuk tujuan penggunaan dalam pedoman ini, istilah dan definisi berikut digunakan.

3.1

beban dampak

beban tumbukan kapal terhadap pilar atau bangunan pelindung pilar

3.2

bidang bumper/bumper area

bidang yang ditempati kapal pada jalur pelayaran termasuk zona di sekitar kapal dimana tidak diijinkan tumpang tindih/*overlap*

3.3

Dolphin

sekelompok tiang atau turap baja berisi batu pecah dan pada bagian atasnya ditutup oleh beton bertulang yang berada di dekat pilar. Tujuan pemasangan *Dolphin* untuk mencegah kerusakan yang parah atau keruntuhan yang mungkin terjadi pada pilar akibat tumbukan kapal atau tongkang

3.4

draft/sarat air kapal

jarak vertikal antara garis air sampai dengan lunas kapal, semakin banyak muatan kapal semakin dalam kapal masuk kedalam air. *Draft* digunakan untuk menetapkan kedalaman alur pelayaran yang dilewati kapal serta kolam pelabuhan termasuk kedalaman air di dermaga

3.5

DWT (bobot mati/*deadweight tonnage*)

jumlah bobot/berat yang dapat ditampung oleh kapal untuk membuat kapal terbenam sampai batas yang diizinkan dinyatakan dalam long ton atau metrik ton. Batas maksimum yang diizinkan ditandai dengan plimsol mark pada lambung kapal

3.6

fender

elemen di sekitar pilar jembatan yang berfungsi sebagai pengaman yang menyerap energi benturan kapal atau tongkang

3.7

LOA (panjang total/length over all)

panjang keseluruhan kapal yang diukur dari ujung haluan kapal terdepan sampai pada ujung belakang buritan kapal. Merupakan ukuran utama yang diperlukan dalam kaitannya dengan panjang dermaga, muatan, semakin panjang LOA semakin besar kapal berarti semakin besar daya angkut kapal tersebut

3.8

lunas kapal

bagian terbawah dari kapal, lunas terdiri dari berbagai jenis yaitu lunas dasar, lunas tegak dan lunas lambung. Lunas dasar merupakan lajur kapal pada dasar yang tebalnya +/- 35 % dari pada kulit kapal lainnya. Sedangkan lunas tegak ialah lunas yang tegak sepanjang kapal, tebalnya 5/8 lebih besar daripada lunas dasar pada 4/10 bagian lunas tegak di tengah-tengah kapal. Kapal besar pada umumnya memiliki lunas lambung yang berfungsi untuk melindungi kapal bila kandas. Lunas lambung ini biasanya terdapat 1/4 - 1/3 dari panjang kapal pada bagian tengah yang berfungsi juga untuk mengurangi olengan kapal

3.9

metode I

metode analisis konservatif dalam menentukan beban impact yang hanya memperhitungkan frekuensi lalu lintas pelayaran tahunan

3.10

metode II

metode analisis yang digunakan untuk menentukan beban impact akibat lalu lintas pelayaran berdasarkan analisis probabilitas dan analisis resiko dalam frekuensi tahunan

3.11

sistem penyangga tiang pancang/*pile supported system*

struktur tiang tunggal atau kelompok tiang pancang dari kayu, besi atau beton yang didesain untuk menyerap gaya dalam batas elastis

4 Jenis bangunan pelindung pilar jembatan

4.1 *Fender*

Pada awalnya *fender* merupakan elemen pada dermaga yang digunakan sebagai pengaman terhadap benturan yang terjadi antara kapal dengan dermaga, biasanya menggunakan kayu atau karet ban. Berbagai macam sistem *fender* secara historis dikembangkan untuk menyerap energi pada saat menambatkan kapal dan tongkang ke dermaga.

Adapun beberapa tipe *fender* yang masih digunakan sebagai perlindungan pilar adalah sebagai berikut:

a. *Fender* kayu, seperti pada Gambar 1

Fender kayu sering digunakan sebagai pelindung jembatan karena karakteristik penyerapan energi yang bagus. *Fender* kayu juga ditempatkan pada sebagian besar sistem pelindung yang lain seperti sistem tumpuan pilar (*pile supported system*) dan *Dolphin*. Permukaan kayu digunakan sebagai pelindung terhadap gesekan dan mencegah timbulnya percikan api akibat benturan material baja dengan lambung kapal yang terbuat dari baja. Penggunaan permukaan kayu sangat penting terutama pada struktur pelindung yang menggunakan material baja yang terekspos seperti pelat dan baut.

b. *Fender* karet, seperti pada Gambar 2 dan Gambar 3

Elastisitas yang tinggi merupakan bagian yang melekat pada karet yang menghasilkan karakteristik penyerapan energi yang relatif tinggi yang kemudian digunakan sebagai sistem *fender* karet. Jika dibandingkan dengan kayu, *fender* karet memiliki keunggulan antara lain:

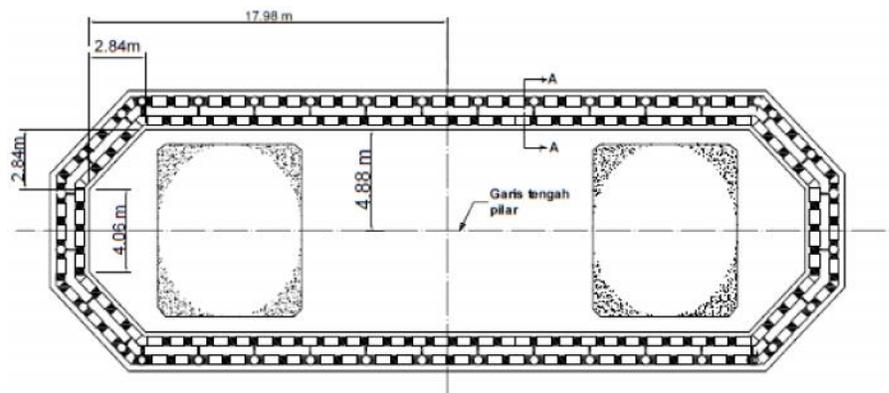
- Biaya perawatan yang rendah,
- Durabilitas yang tinggi (memiliki umur beberapa kali lipat dari *fender* kayu),
- Lebih unggul secara fisik,
- Lebih unggul secara kimia (tahan terhadap cuaca, oli, gesekan pada permukaan, koyakan dan serangan air).

c. *Fender* beton, seperti pada Gambar 4

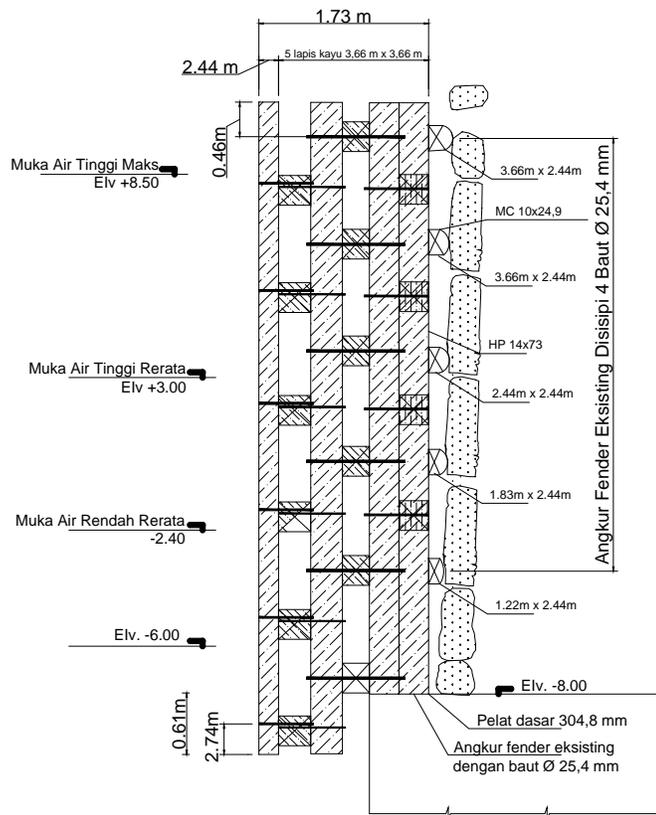
Fender boks beton yang dapat hancur merupakan salah satu metode efektif dalam menyerap energi impact kapal. *Fender* boks beton menjadi efektif karena dapat diperoleh banyak variasi kemampuan menyerap energi yaitu dengan mengubah dimensi boks, ketebalan dinding, jumlah tulangan baja, lay out geometri dinding, dan diafragma. Kendala utama yang ditemui dalam *fender* boks beton adalah kesulitan dalam menganalisa karakteristik energi yang diserap oleh struktur pada saat kondisi deformasi plastis

d. *Fender* baja, seperti pada Gambar 5

Fender kerangka baja memberikan efisiensi yang berarti dalam menyerap energi impact yang relatif tinggi karena properti elastis dan plastis yang dimiliki oleh baja. Kerugian yang utama dari *fender* baja adalah kerentanan terhadap korosi pada lingkungan air asin dan kemungkinan kontak baja dengan lambung kapal yang terbuat dari baja terutama yang mengangkut muatan mudah terbakar. Akan tetapi masalah tersebut dapat diminimalisir secara signifikan dengan memasang kayu pada permukaan, membungkus dengan beton atau lapisan khusus pada permukaan baja. *Fender* baja terdiri dari membran yang tipis dan elemen pengaku yang disusun seperti susunan boks dan dipasang pada pilar jembatan. Energi impact diserap dengan menekan, membengkokkan dan menekuk elemen baja di dalam *fender*. Pada bagian dalam kerangka *fender* dapat diisi dengan busa padat untuk lebih meningkatkan penyerapan energinya.

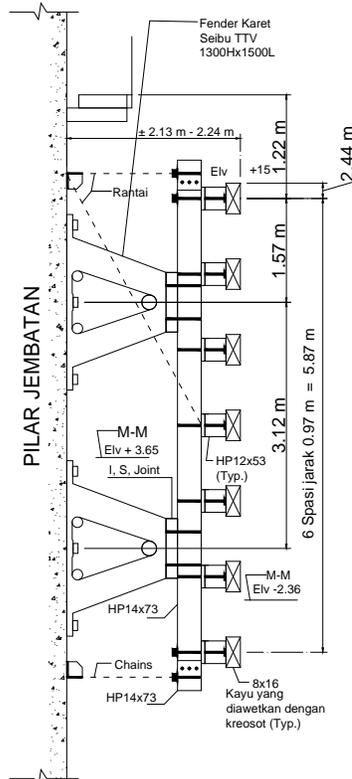


Rencana Pilar Utama pada Elevasi +12 meter



Potongan A-A

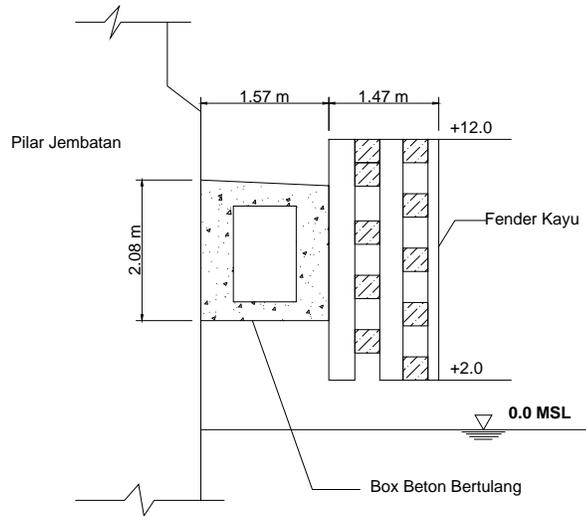
Gambar 1 - Contoh *fender* kayu pada Jembatan Commodore John Barry, New Jersey



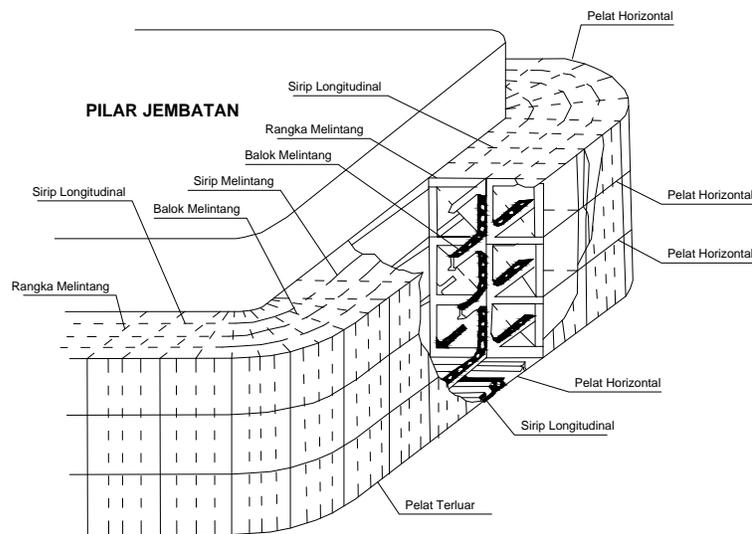
Gambar 2 - Contoh *fender* karet pada Jembatan Passyunk Avenue, Philadelphia



Gambar 3 - Contoh *fender* karet



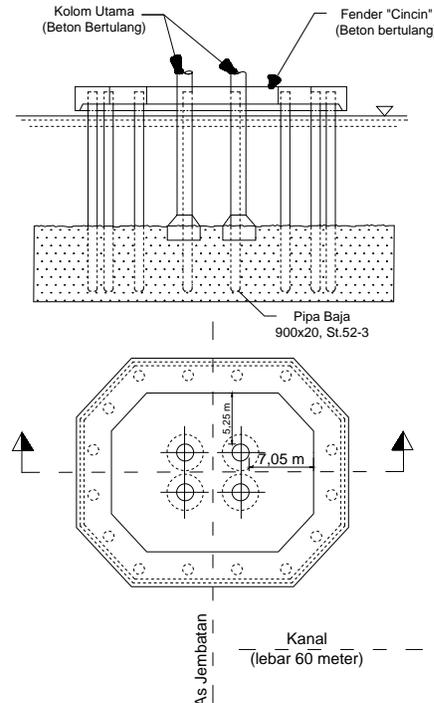
Gambar 4 - Fender beton persegi yang dapat hancur pada pilar utama Jembatan Francis Scott Key, Baltimore, Maryland



Gambar 5 - Fender dinding dan kerangka baja pada Jembatan Bisn-Seto, Jepang

4.2 Sistem penyangga tiang pancang/*pile supported system*

Tiang tunggal atau kelompok tiang dari kayu, besi atau beton telah lama digunakan untuk menambatkan kapal. Struktur tersebut didesain untuk menyerap gaya tahanan dan berlabuh kapal dalam batas elastis. Pada saat berlabuh atau menambatkan kapal, energi impact yang bekerja pada struktur relatif kecil dan dapat diserap oleh pilar dalam batas elastis. Prinsip yang sama diterapkan untuk perlindungan pilar jembatan, tetapi apabila energi impact yang dihasilkan lebih besar dari energi impact kapal rencana maka energi tersebut hanya dapat diserap oleh deformasi plastis berupa hancurnya struktur tiang. Setelah impact, seluruh atau sebagian elemen struktur yang rusak biasanya memerlukan perbaikan atau penggantian. Sistem struktur ini dapat juga dipasang *fender* yang terbuat dari kayu, karet, baja atau beton tergantung dari kondisi lapangan, beban impact dan biaya. Contoh pelindung sistem penyangga tiang pancang dapat dilihat pada Gambar 6.

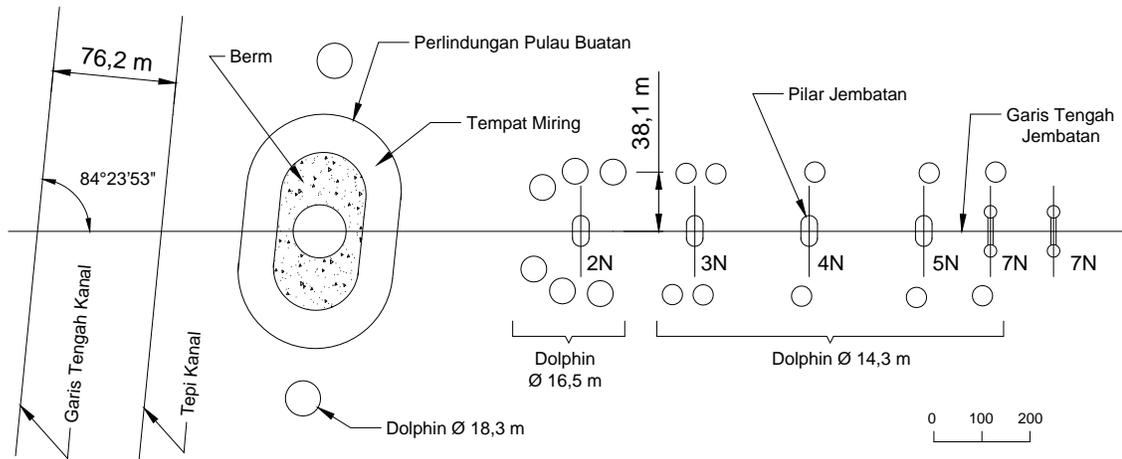


Gambar 6 - *Pile supported system* pada Jembatan Tromsø, Norwegia

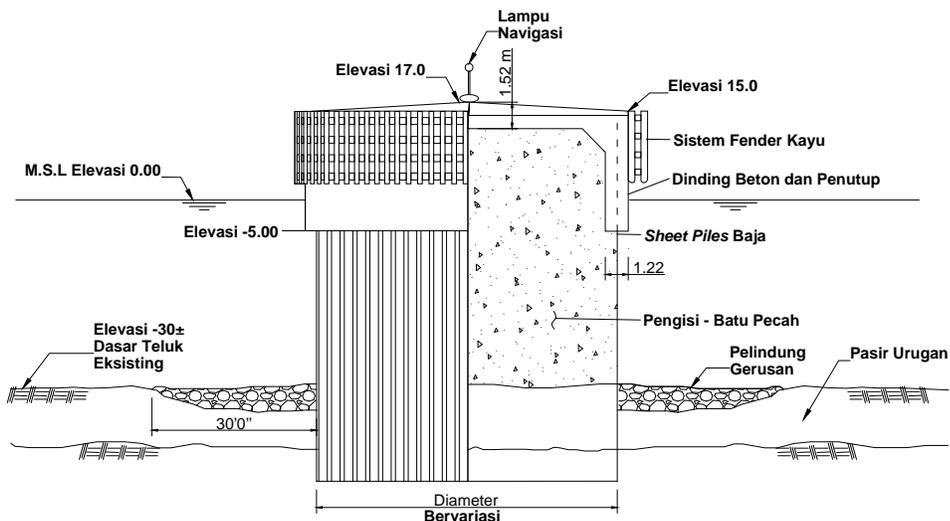
4.3 *Dolphin*

Dolphin merupakan lapisan melingkar yang umumnya terbuat dari *sheet pile* baja yang dipancangkan, kemudian diisi batuan atau pasir pada bagian dalamnya dan bagian atasnya dicor beton. *Fender* kayu atau karet biasanya dipasang pada sisi luar *Dolphin* yang digunakan sebagai permukaan anti percikan api untuk menghindari kontak baja dengan lambung kapal yang membawa bahan yang mudah terbakar seperti terlihat pada Gambar 8. Pada umumnya *Dolphin* memiliki diameter yang besar seperti terlihat pada Gambar 7.

Bentuk lingkaran dari *Dolphin* dapat membantu menyimpangkan kapal untuk bergerak menjauh dari pilar. Lapisan luar harus didesain untuk beban maksimum dari impact langsung (*head on impact*). Jika *Dolphin* lebih kuat dari kapal maka kapal akan menyerap beban sebagian besar energi impact melalui haluan yang hancur. Tetapi jika *Dolphin* lebih lemah dari kapal maka *Dolphin* akan menyerap sebagian besar energi dengan translasi yang besar (bergeser) dan deformasi rotasi. Oleh karena itu energi impact harus dapat diserap baik oleh kapal dan *Dolphin*.



Gambar 7 - Sistem perlindungan *Dolphin* Jembatan Sunshine Skyway

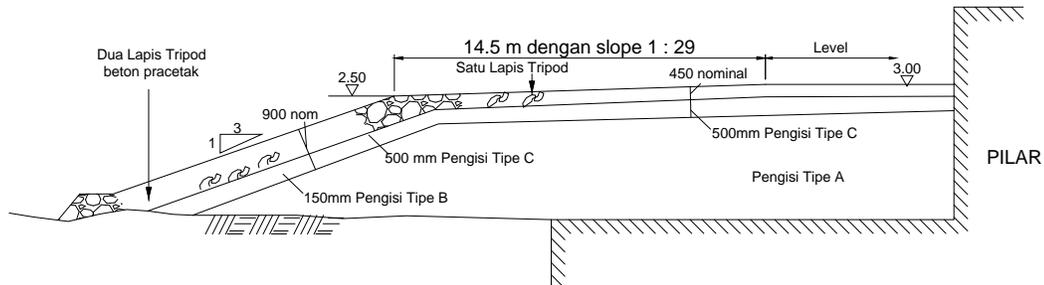


Gambar 8 - *Dolphin* pada Jembatan Sunshine Skyway, Tampa Bay

4.4 Pulau buatan atau perlindungan dengan karang

Konstruksi dari perlindungan dengan pulau buatan disekitar pilar jembatan yang rentan dianggap memenuhi level tertinggi perlindungan pilar terhadap dampak kapal. Pulau terdiri dari pasir atau inti batuan yang dilindungi oleh lapisan luar batuan berat untuk memberikan perlindungan pulau terhadap ombak dan arus seperti terlihat pada Gambar 9. Berdasarkan literatur metodologi desain untuk perlindungan dengan pulau biasanya melibatkan kombinasi dari model matematika dan pengujian model fisik yang terskala yang hanya digunakan untuk jembatan tertentu. Hasil dari pengujian model fisik yang terskala digunakan untuk mengkalibrasi asumsi model matematika mengenai hubungan interaksi kapal yang menumbuk dan pulau. Geometri pulau dikembangkan untuk memenuhi dua kondisi sebagai berikut:

- Gaya dampak kapal yang disalurkan melalui pulau ke pilar jembatan tidak boleh melebihi kapasitas desain lateral dari pilar dan fondasi pilar,
- Dimensi pulau sedemikian rupa sehingga penetrasi kapal ke pulau pada saat dampak tidak akan menghasilkan kontak fisik antara kapal dengan bagian apapun dari pilar jembatan.



Gambar 9 - Pulau buatan Jembatan Orwell, Inggris

5 Ketentuan

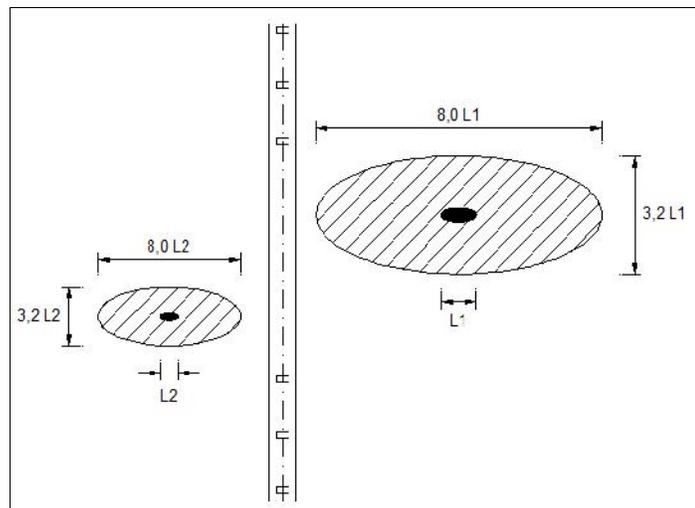
5.1 Jarak ruang bebas horizontal

Jarak ruang bebas horizontal digunakan untuk memberikan batasan letak pilar jembatan terhadap lalu lintas di perairan. Pada jembatan eksisting, jarak ruang bebas horizontal dapat digunakan untuk menentukan batasan kecepatan lalu lintas di perairan. Jarak ruang horizontal dapat dilihat pada Gambar 10.

5.1.1 Lalu lintas satu jalur

Lebar jalur pelayaran dipengaruhi oleh bidang bumper kapal, sehingga kapal yang melintasi bentang utama jembatan sangat menentukan panjang bentang jembatan utama. Lalu lintas kapal dengan bidang bumper yang tumpah tindih mengakibatkan kapal sering melakukan manuver mengelak yang menyebabkan peningkatan resiko kecelakaan. Bidang bumper dibagi menjadi dua, yaitu:

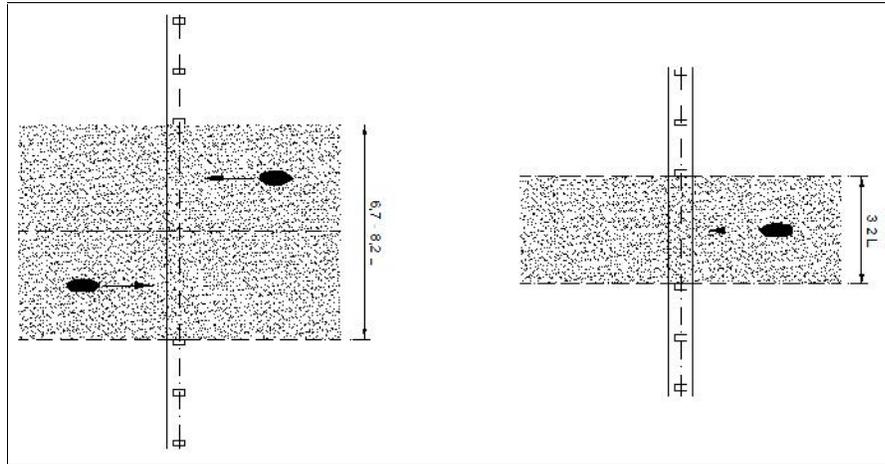
- Bidang bumper kapal adalah $8,0 L$ (L =panjang kapal) pada arah perjalanan dan $3,2 L$ pada arah samping.
Jalur kapal harus cukup lebar untuk mengakomodasi navigasi bebas pada kecepatan (5 – 8) m/dt atau (9,72 – 15,55) knot dan tidak terdapat gangguan berupa pulau, perairan dangkal dll.
- Bidang bumper kapal adalah $6,0 L$ pada arah perjalanan dan $1,6 L$ pada arah samping.
Jalur kapal yang sempit dan di wilayah pelabuhan dengan kecepatan (3 – 4) m/dt atau (5,83 – 7,78) knot dan tanpa mendahului atau mengalami persilangan.



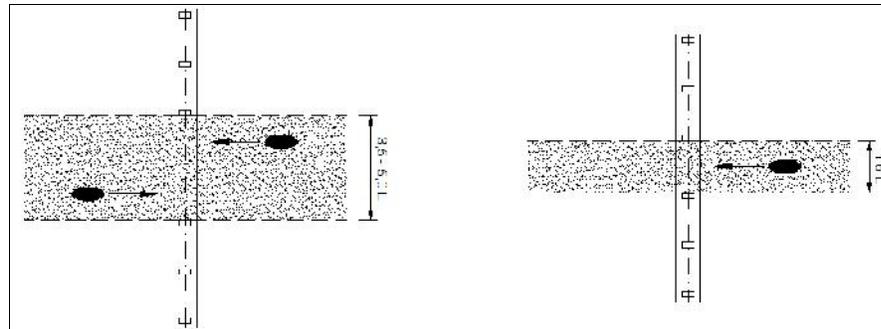
Gambar 10 - Jarak ruang bebas horizontal
9 dari 36

5.1.2 Lalu lintas dua jalur

Untuk lalu lintas dua jalur, jarak ruang bebas horizontal adalah jumlah dari kedua lebar bidang bumper ditambah zona pemisah sebesar $0,3 L - 1,8 L$. Sehingga jarak ruang bebas horizontal untuk jalur kapal yang tidak terdapat gangguan adalah $6,7 L - 8,2 L$, sedangkan jarak ruang bebas horizontal untuk jalur kapal yang terbatas adalah $3,5 L - 5,0 L$ seperti dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.



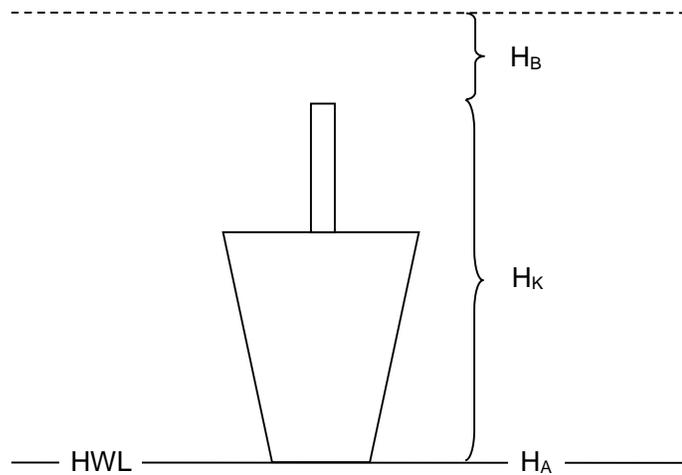
Gambar 11 - Jarak ruang bebas untuk jalur tidak terdapat gangguan



Gambar 12 - Jarak ruang bebas untuk jalur yang terbatas

5.2 Tinggi ruang bebas vertikal

Jarak ruang vertikal pada bentang jembatan yang digunakan sebagai jalur pelayaran harus direncanakan untuk dapat dilalui oleh bagian tertinggi dari kapal (misalnya: antena, tiang kapal atau cerobong asap). Jarak ruang bebas harus memungkinkan lewatnya kapal dalam kondisi tidak bermuatan pada saat muka air tinggi dan terdapat ruang yang cukup untuk pergerakan kapal secara vertikal, seperti terlihat pada Gambar 13.



Gambar 13 - Tinggi ruang bebas vertikal

$$H_V = H_K + H_A + H_B \quad (1)$$

Keterangan:

H_V adalah tinggi ruang bebas vertikal

H_K adalah tinggi kapal kosong dan antena/cerobong

H_A adalah tinggi muka air tertinggi pada saat pasang/*high water level* (HWL)

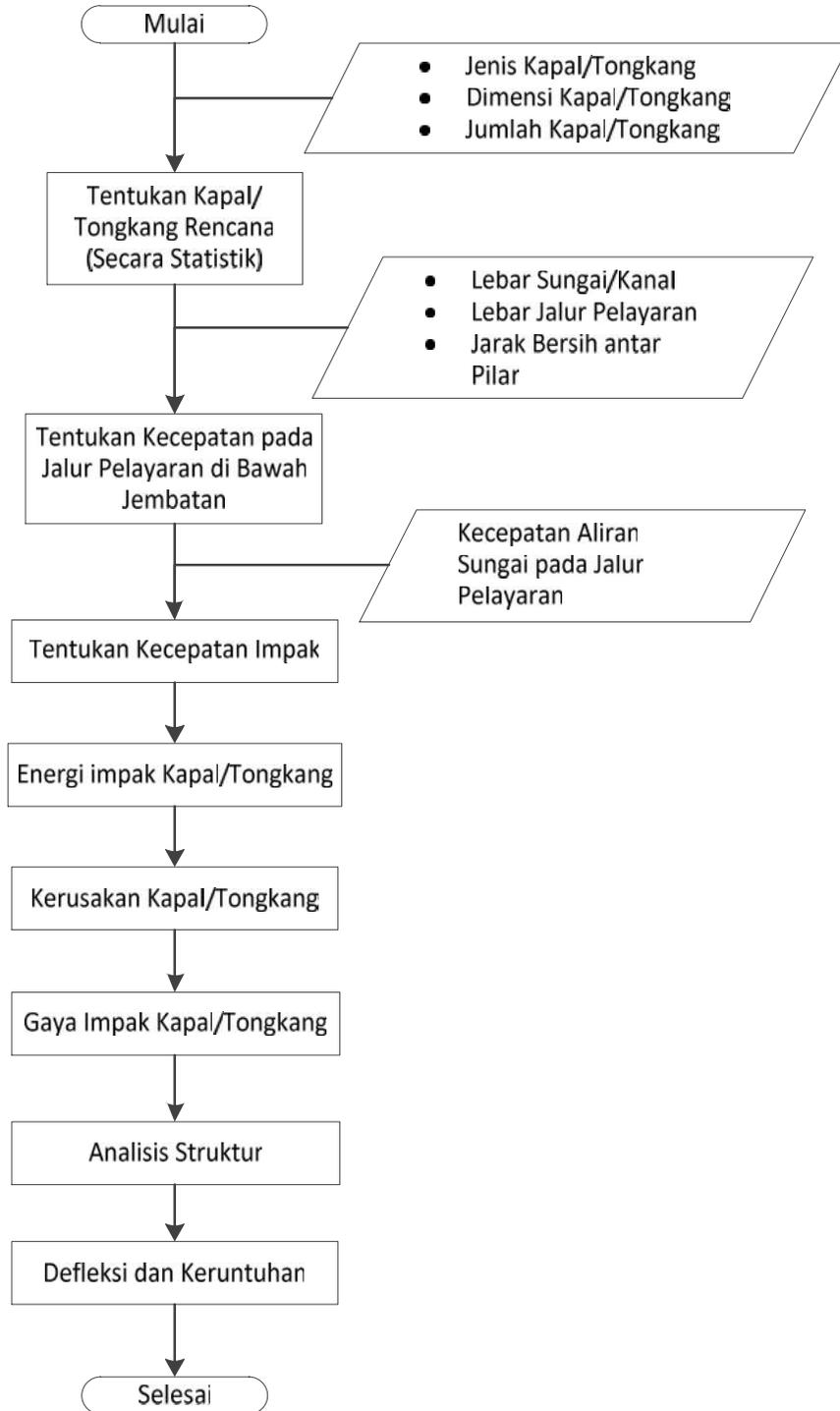
H_B adalah ruang bebas (1,0 m – 2,0 m)

5.3 Jenis kapal dan tongkang

Terdapat banyak jenis kapal yang digunakan di jalur pelayaran internasional dan nasional, dimulai dengan berat GRT 100 jenis Cutter sampai dengan berat DWT 565 000 ton jenis Ultra Large Crude Carrier. Jenis kapal yang digunakan dalam dunia transportasi air diklasifikasikan sesuai dengan Gambar 14.

6 Prosedur Perencanaan

Prosedur perencanaan dengan menggunakan metode I dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15 - Diagram alir metode I

6.1 Beban kapal/tongkang rencana

Pemilihan desain kapal/tongkang rencana dapat dilakukan dengan menggunakan dua buah metode yaitu metode I dan metode II.

6.1.1 Metode I

Syarat yang harus dipenuhi dalam analisis dengan menggunakan metode I adalah:

a. Jembatan kelas I atau Jembatan Penting

Desain ukuran kapal harus sedemikian sehingga jumlah tahunan kapal yang lebih besar dari kapal desain maksimal 5 % dari total jumlah tahunan seluruh kapal yang dapat menumbuk elemen jembatan, akan tetapi jumlah kapal yang lebih besar tidak boleh lebih dari 50 buah.

b. Jembatan Kelas II atau Jembatan Biasa

Desain ukuran kapal harus sedemikian sehingga jumlah tahunan kapal yang lebih besar dari kapal desain maksimal 10 % dari total jumlah tahunan seluruh kapal yang dapat menumbuk elemen jembatan, akan tetapi jumlah kapal yang lebih besar tidak boleh lebih dari 200 buah.

6.1.2 Metode II

Metode II merupakan metode analisis probabilitas dan analisis resiko frekuensi tahunan jembatan mengalami keruntuhan akibat dampak kapal. Metode ini membutuhkan jumlah data yang signifikan antara lain karakteristik kapal/tongkang (ukuran, kecepatan, berat bermuatan dan berat kosong), geometri jembatan, karakteristik lintasan air (geometri lintasan, geometri lintasan yang dapat dilalui, kedalaman air), dan kondisi lingkungan.

Syarat yang harus dipenuhi dalam analisis dengan menggunakan metode II adalah:

a. Jembatan kelas I atau Jembatan Penting

Frekuensi keruntuhan tahunan maksimum/*maximum annual frequency* (AF_{max}) harus sama dengan atau lebih kecil dari 0,01 dalam 100 tahun ($AF = 0,0001$).

b. Jembatan kelas II atau Jembatan Biasa

Frekuensi keruntuhan tahunan maksimum/*maximum annual frequency* (AF_{max}) harus sama dengan atau lebih kecil dari 0,1 dalam 100 tahun ($AF = 0,001$).

Frekuensi tahunan maksimum keruntuhan untuk seluruh jembatan seperti diatas harus didistribusikan pada seluruh pilar dan elemen bentang yang terletak pada jalur pelayaran atau pada jarak tiga kali panjang kapal total dari desain kapal ($3xLOA$) pada setiap sisinya dari jalur keluar dan masuk pada jalur pelayaran yang lebar. Analisis ini menghasilkan kriteria resiko yang dapat diterima untuk setiap pilar dan elemen bentang pada seluruh jembatan.

Desain kapal untuk setiap pilar atau elemen bentang harus dipilih sehingga frekuensi keruntuhan tahunan disebabkan oleh kapal memiliki ukuran yang sama atau lebih besar dari desain kapal menjadi lebih kecil dari kriteria resiko yang diterima.

6.1.2.1 Frekuensi keruntuhan tahunan

Frekuensi tahunan dari keruntuhan jembatan akibat dampak kapal sesuai Persamaan 2.

$$AF = (N)(PA)(PG)(PC) \quad (2)$$

Keterangan:

AF adalah frekuensi tahunan dari keruntuhan jembatan akibat dampak kapal;

- N adalah jumlah tahunan dari kapal yang diklasifikasikan berdasarkan tipe, kelas, dan kondisi muatan yang melalui jalur pelayaran;
- PA adalah probabilitas kapal yang menyimpang;
- PG adalah probabilitas akibat geometrik antara kapal yang menyimpang dengan pilar;
- PC adalah probabilitas keruntuhan jembatan akibat dampak dengan kapal yang menyimpang.

AF harus dihitung untuk setiap elemen jembatan dan klasifikasi kapal. Penjumlahan dari seluruh AF sama dengan frekuensi keruntuhan tahunan untuk seluruh struktur jembatan.

6.1.2.1.1 Probabilitas penyimpangan

Probabilitas dari kapal yang menyimpang dari jalur kapal dapat ditentukan berdasarkan analisis statistik berdasarkan data seluruh kapal yang melintas atau menggunakan metode pendekatan sesuai Persamaan 3.

$$PA = (BR)(R_B)(R_C)(R_{XC})(R_D) \tag{3}$$

Keterangan:

- PA adalah probabilitas kapal yang menyimpang;
- BR adalah nilai dasar penyimpangan (umumnya digunakan $0,6 \times 10^{-4}$ untuk kapal dan $1,2 \times 10^{-4}$ untuk tongkang);
- R_B adalah faktor koreksi untuk lokasi jembatan;
- R_C adalah faktor koreksi untuk arus dengan arah paralel terhadap arah kapal;
- R_{XC} adalah faktor koreksi untuk arus dengan arah tegak lurus terhadap arah kapal;
- R_D adalah faktor koreksi untuk kepadatan lalu lintas kapal

6.1.2.1.1.1 Faktor koreksi untuk lokasi jembatan

Lokasi jembatan dapat dipilih salah satu dari tiga kriteria yaitu: lurus, wilayah transisi, dan wilayah tikungan dan belokan sesuai dengan

Gambar 16. Adapun perhitungan faktor koreksi sesuai dengan Persamaan 4 hingga Persamaan 6.

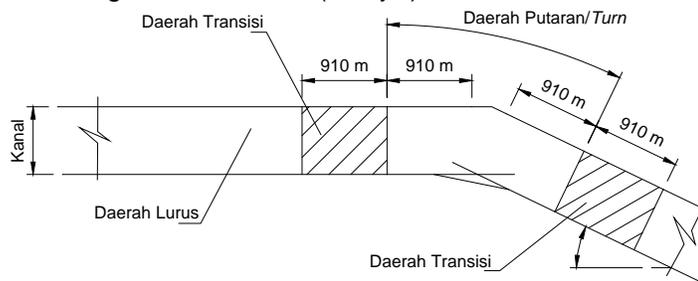
a) Untuk daerah lurus $R_B = 1,0;$ (4)

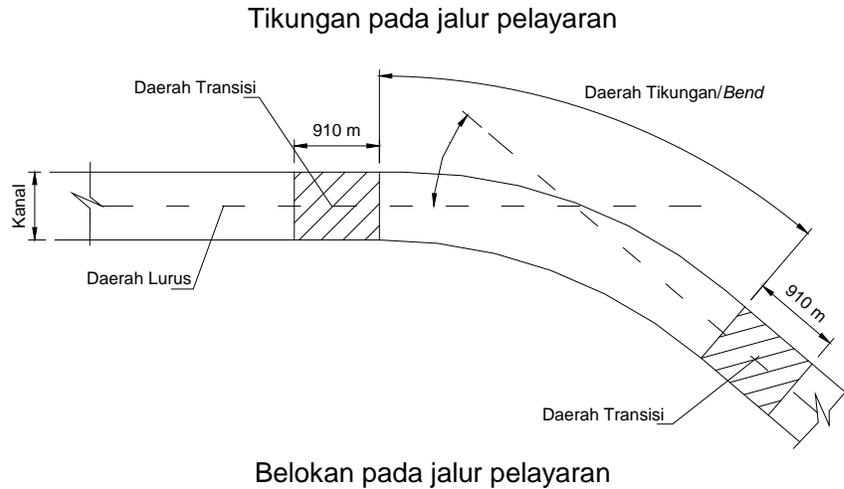
b) Untuk daerah peralihan $R_B = 1,0 + \frac{\theta}{90^\circ}$ (5)

c) Daerah tikungan dan belokan $R_B = 1,0 + \frac{\theta}{45^\circ}$ (6)

Keterangan:

- R_B adalah faktor koreksi untuk lokasi jembatan; adalah sudut tikungan dan belokan (derajat).





Gambar 16 - Wilayah jalur pelayaran untuk lokasi jembatan

6.1.2.1.1.2 Faktor koreksi untuk arus paralel

Apabila terdapat arus yang bergerak sejajar terhadap arah kapal pada jalur pelayaran, maka faktor koreksi harus diperhitungkan sesuai dengan Persamaan 7.

$$R_C = 1,0 + \frac{V_C}{5} \tag{7}$$

Keterangan:

- R_C adalah faktor koreksi untuk arus paralel;
- V_C adalah kecepatan arus sejajar arah kapal (m/dt);

6.1.2.1.1.3 Faktor koreksi untuk arus yang menyilang

Apabila terdapat arus yang bergerak tegak lurus terhadap arah kapal pada jalur pelayaran, maka faktor koreksi harus diperhitungkan sesuai dengan Persamaan 8.

$$R_{XC} = 1,0 + \frac{V_{XC}}{2} \tag{8}$$

Keterangan:

- R_{XC} adalah faktor koreksi untuk arus yang menyilang;
- V_{XC} adalah kecepatan arus tegak lurus arah kapal (m/dt);

6.1.2.1.1.4 Faktor untuk kepadatan lalu lintas kapal

Kepadatan lalu lintas kapal pada jalur pelayaran mempengaruhi probabilitas penyimpangan yang terjadi, sehingga ditentukan nilai faktor untuk kepadatan di sekitar jembatan.

- a. Untuk lalu lintas rendah, dimana kapal jarang bertemu, melewati, dan mendahului di sekitar jembatan ($R_D = 1,0$);
- b. Untuk lalu lintas sedang, dimana kapal kadang bertemu, melewati, dan mendahului di sekitar jembatan ($R_D = 1,3$);
- c. Untuk lalu lintas padat, dimana kapal sering bertemu, melewati, dan mendahului di sekitar jembatan ($R_D = 1,6$).

6.1.2.1.2 Probabilitas geometri

Probabilitas geometri merupakan probabilitas bersyarat dimana kapal di sekitar jembatan akan menyimpang dan menumbuk pilar akibat kehilangan kontrol. Analisis dapat dilakukan

dengan menggunakan distribusi normal (persamaan 9) untuk memodelkan kapal yang menyimpang dengan lintasan pelayaran dekat dengan jembatan sesuai dengan Gambar 17 atau dengan menggunakan metode pendekatan sesuai dengan Persamaan 10 dan Persamaan 11. Probabilitas geometri diperoleh dari luasan daerah arsiran (antara x_1 dan x_2).

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (9)$$

Keterangan:

σ adalah standar deviasi (untuk PG, $\sigma = L$);
 μ adalah rerata (untuk PG, $\mu = 0$)

$$x_1 = x - \frac{\frac{B_p + B_m}{2}}{L} \quad (10)$$

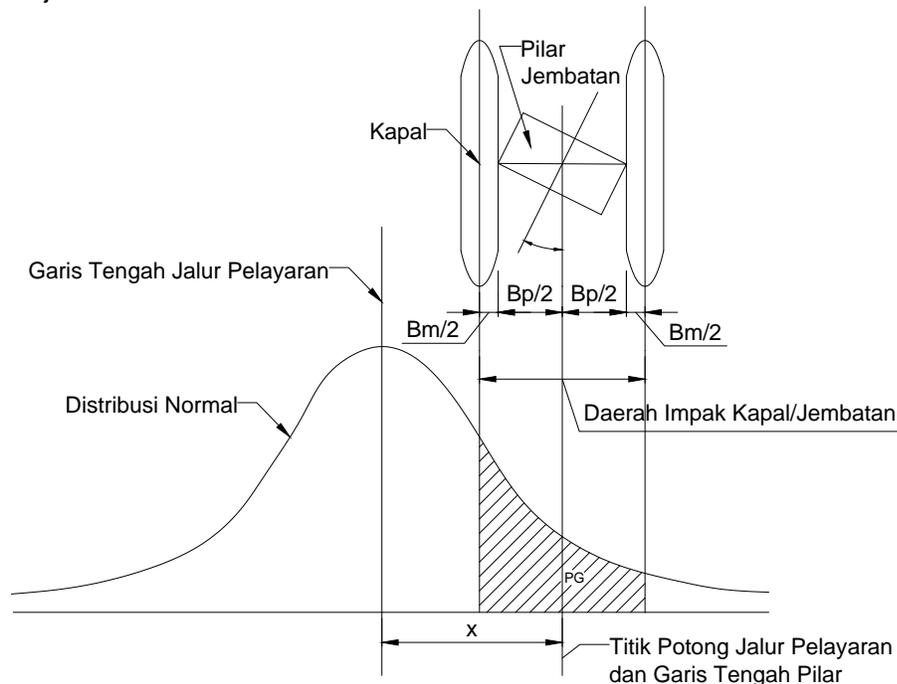
$$x_2 = x + \frac{\frac{B_p + B_m}{2}}{L} \quad (11)$$

Keterangan:

x_1 adalah batas bawah kapal dapat menabrak pilar (m);
 x_2 adalah batas atas kapal dapat menabrak pilar (m);
 x adalah jarak garis tengah jalur pelayaran terhadap garis tengah pilar (m);
 B_p adalah lebar perspektif pilar terhadap jalur pelayaran (m);
 B_m adalah lebar kapal (m);
 L adalah panjang total kapal (m).

PG=distribusi normal x_2 – distribusi normal x_1

Untuk wilayah dan jarak antar pilar yang sama probabilitas geometri harus dihitung untuk setiap kategori kapal. Persamaan yang sama dapat digunakan untuk menghitung probabilitas geometri vertikal terhadap dampak bagian atas kapal terhadap bentang jembatan berdasarkan jarak bersih vertikal.



Gambar 17 - Probabilitas geometri terhadap impact pada pilar

6.1.2.1.3 Probabilitas keruntuhan

Probabilitas keruntuhan jembatan ketika elemen jembatan ditumbuk oleh kapal yang menyimpang dihitung berdasarkan rasio tahanan lateral ultimit dari pilar atau bentang terhadap gaya impact kapal sesuai dengan

Gambar 18 atau menggunakan Persamaan 12 hingga Persamaan 14.

a. Apabila $0 < \frac{H}{P} < 0,1$

$$PC = 0,1 + 9 \left(0,1 - \frac{H}{P} \right) \quad (12)$$

b. Apabila $0,1 < \frac{H}{P} < 1,0$

$$PC = \frac{1 - \frac{H}{P}}{9} \quad (12)$$

c. Apabila $\frac{H}{P} > 1,0$

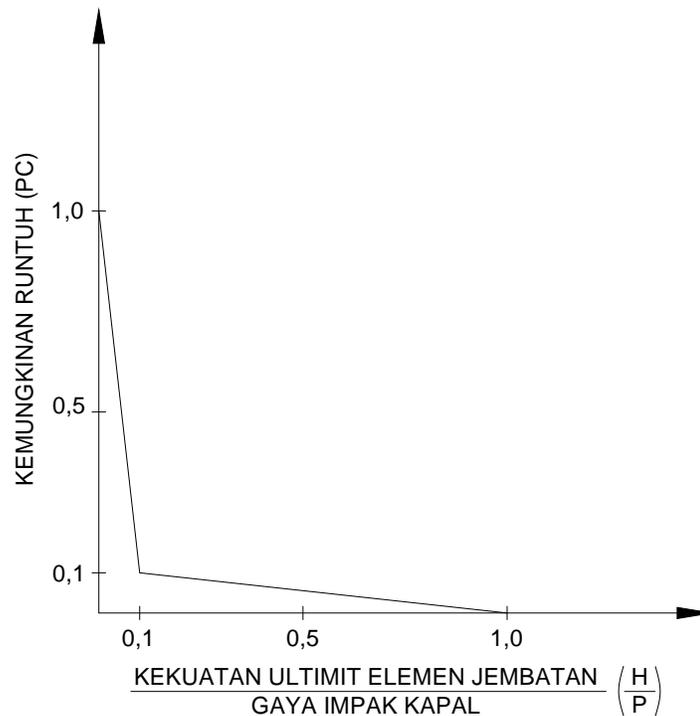
$$PC = 0 \quad (14)$$

Keterangan:

PC adalah probabilitas keruntuhan jembatan;

H adalah kekuatan ultimit elemen jembatan (MN);

P adalah gaya impact kapal atau tongkang (MN).



Gambar 18 - Distribusi probabilitas keruntuhan

6.2 Gaya akibat hanyutan batang kayu

Gaya pada struktur tiang pancang akibat impact batang kayu pada saat terjadi banjir, dengan berat batang kayu diasumsikan 2 ton. Gaya impact sesuai Persamaan 15.

$$F_k = 26,67 V^2 \quad (15)$$

Keterangan:

F_k adalah gaya impact batang kayu yang hanyut (kN)

V adalah kecepatan air rata-rata (m/detik)

6.3 Kecepatan rencana

Pemilihan kecepatan impact rencana merupakan salah satu parameter desain yang paling signifikan dalam analisis impact kapal atau tongkang. Pemilihan kecepatan rencana harus mencerminkan kecepatan transit dari kapal rencana pada kondisi alam dalam kondisi normal (angin, arus, jarak pandang, lalu lintas yang berlawanan, geometri jalur pelayaran, dan lain-lain). Kecepatan rencana tidak boleh berdasarkan nilai yang ekstrim yang menggambarkan kejadian alam yang ekstrim, misalnya banjir, badai, dan sebagainya.

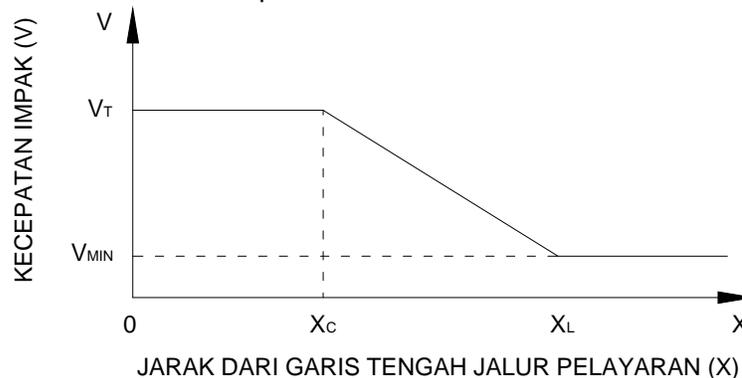
Kecepatan impact rencana minimum yang digunakan adalah kecepatan arus air dimana kapal atau tongkang tidak menambah kecepatan akibat penyimpangan jalur pelayaran. Batas jarak antara kapal terhadap bangunan pengaman untuk kecepatan impact rencana minimum adalah 3 kali panjang kapal (3L). Apabila jarak antara kapal terhadap bangunan pengaman sama dengan atau lebih kecil dari setengah lebar jalur pelayaran, maka kecepatan impact rencana sama dengan batas kecepatan kapal pada saat melewati jembatan. Batasan kecepatan rencana sesuai dengan butir 5.1.1.

6.4 Kecepatan impact rencana

Berdasarkan data kecelakaan yang terjadi, kecepatan impact diluar wilayah jalur pelayaran berbentuk segitiga. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa kapal dan tongkang yang berjalan menyimpang dan menabrak pilar yang jauh dari jalur pelayaran bergerak lebih lambat dari pada menabrak pilar yang lebih dekat dengan jalur pelayaran.

Batas kecepatan rencana dengan nilai sama dengan kecepatan arus sejauh tiga kali panjang total kapal (3 LOA). Pemilihan kecepatan impact rencana merupakan salah satu parameter desain yang sangat penting. Kecepatan rencana harus mencerminkan tipikal kecepatan dari kapal rencana pada jalur pelayaran dengan kondisi lingkungan yang tipikal. Kecepatan rencana tidak boleh berdasarkan nilai ekstrim berdasarkan kejadian ekstrim seperti banjir dan kondisi alam yang ekstrim lainnya. Kapal yang berlayar pada kondisi tersebut tidak mencerminkan situasi rerata tahunan. Kecepatan impact rencana dapat ditentukan berdasarkan

Gambar 19 atau Persamaan 16 sampai Persamaan 18.



Gambar 19 - Distribusi kecepatan impact rencana

Untuk $X < X_c$
 $V = V_T$ (16)

Untuk $X_c < X < X_L$
$$V = V_T - \left[X - X_c \left(\frac{V_T - V_{MIN}}{X_L - X_c} \right) \right]$$
 (17)

Untuk $X > X_L$
 $V = V_{MIN} = 0,25 \text{ m/dt}$ (18)

Keterangan:

- V adalah kecepatan impact rencana (m/dt);
 V_T adalah tipikal kecepatan pelayaran pada jalur pelayaran dengan kondisi lingkungan normal tetapi digunakan lebih dari V_{min} (m/dt);
 V_{MIN} adalah kecepatan impact rencana minimum, lebih besar dari kecepatan arus rerata tahunan pada lokasi jembatan (m/dt);
 X adalah jarak terhadap pilar dari garis tengah jalur pelayaran (mm);
 X_c adalah jarak terhadap tepi jalur pelayaran (mm);
 X_L adalah jarak 3 kali panjang total kapal rencana (mm).

6.5 Energi impact kapal

Energi kinetik yang diserap dari kapal yang bergerak pada impact tidak eksentrik dengan memperhitungkan koefisien massa hidrodinamik sesuai Persamaan 19.

$$KE = 500 C_H M V^2 \quad (19)$$

Keterangan:

- KE adalah energi impact kapal (J, Nm);
 M adalah massa kapal (Mg);
 C_H adalah koefisien massa hidrodinamik;
 V adalah kecepatan impact kapal (m/dt).

Massa kapal harus berdasarkan kondisi kapal bermuatan dan termasuk massa kosong kapal dan memperhitungkan massa kargo untuk kapal bermuatan (DWT).

Nilai koefisien massa hidrodinamik untuk jarak bersih sedang dapat diinterpolasi dari nilai dibawah ini:

- untuk jarak bersih dasar jalur pelayaran terhadap bagian bawah kapal lebih dari 0,5 draft ($0,5 \times \text{draft}$), $C_H = 1,05$.
- untuk jarak bersih dasar jalur pelayaran terhadap bagian bawah kapal kurang dari 0,1 draft ($0,1 \times \text{draft}$), $C_H = 1,25$.

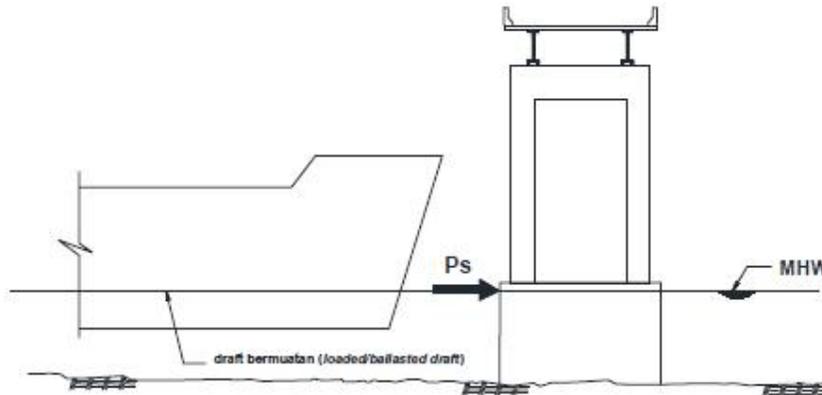
6.6 Gaya impact

Gaya impact yang bekerja pada struktur pada umumnya digunakan sebagai berikut:

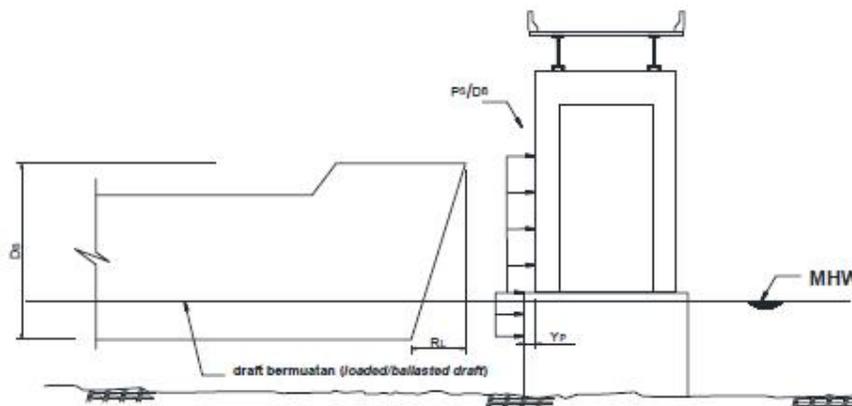
- Beban desain 100 % apabila arah impact sejajar dengan arah pergerakan kapal.
- Beban desain 50 % apabila arah impact tegak lurus dengan arah pergerakan kapal.
- Untuk kestabilan secara keseluruhan, beban impact yang digunakan berupa beban terpusat pada muka air tinggi rata-rata sesuai Gambar 20.
- Untuk gaya impact lokal, beban impact yang digunakan berupa beban terbagi merata setinggi haluan kapal sesuai Gambar 21 atau setinggi bidang kontak untuk tongkang sesuai Gambar 22 dan Gambar 23.
- Untuk desain bangunan atas, desain beban impact diterapkan secara transversal dengan arah sejajar arah kapal.

Terdapat beberapa model pembebanan terhadap impact kapal terhadap struktur pilar yang dapat digunakan dalam analisis. Pemodelan pembebanan tersebut adalah sebagai berikut:

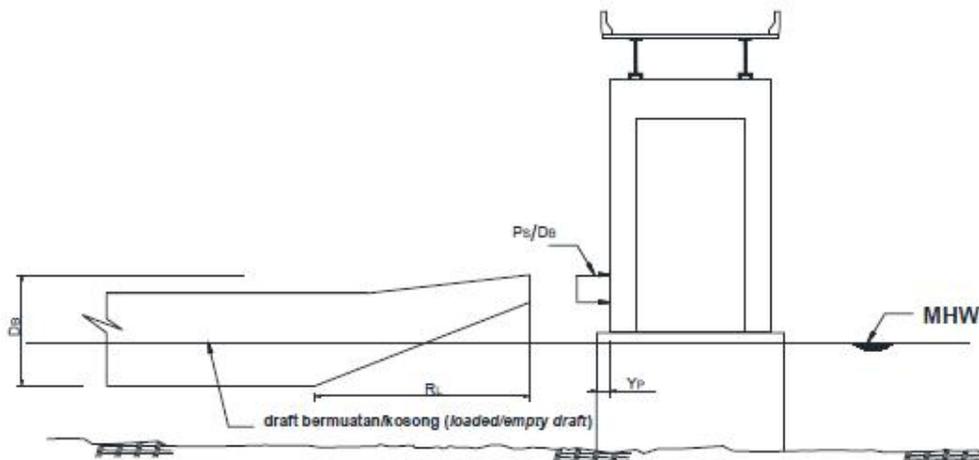
1. Beban impact kapal terpusat
2. Beban impact kapal terbagi merata
3. Beban impact tongkang terpusat
4. Beban impact tongkang terbagi merata



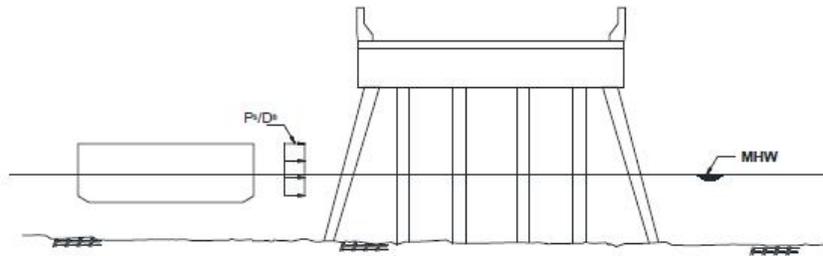
Gambar 20 - Beban impact kapal terpusat pada pilar (untuk desain fondasi dan stabilitas struktur)



Gambar 21 - Beban impact kapal terbagi merata untuk gaya impact lokal pada pilar (untuk desain dan memeriksa struktur)



Gambar 22 - Beban impact tongkang terbagi merata untuk gaya impact lokal pada pilar (untuk desain dan memeriksa struktur)



Gambar 23 - Beban impact sisi tongkang terbagi merata pada pilar

6.6.1 Gaya impact untuk kapal

Untuk kapal curah/*bulk carrier* dengan berat lebih dari 40 000 DWT dan memiliki kecepatan antara 8 knot sampai dengan 16 knot dapat menggunakan persamaan gaya impact kapal pada pilar sesuai Persamaan 20.

$$P_s = 0,98(DWT)^2 \left[\frac{V}{16} \right] \quad (20)$$

keterangan:

- P_s adalah gaya impact statik ekuivalen kapal (MN)
- DWT adalah bobot mati kapal (ton)
- V adalah kecepatan impact kapal (knot)

Apabila kapal memiliki beban lebih kecil dari 40 000 DWT dan memiliki kecepatan kurang dari 8 knot, direkomendasikan untuk menggunakan ekstrapolasi hingga diperoleh hasil penelitiannya.

6.6.2 Gaya impact untuk tongkang

Gaya impact untuk tongkang yang digunakan dalam analisis berdasarkan tongkang standar Amerika jenis Jumbo Hopper dengan dimensi panjang 60,96 m (200 kaki), lebar 10,67 m (35 kaki) dan tinggi 3,66 (12 kaki). Gaya impact tongkang ditentukan berdasarkan kerusakan yang terjadi pada lambung tongkang seperti terlihat pada Persamaan 21 dan Persamaan 22.

Untuk $a_B < 0,1$ m

$$P_B = 60(a_B)(R_B) \quad (21)$$

Untuk $a_B > 0,1$ m

$$P_B = [6 + 1,6(a_B)](R_B) \quad (22)$$

keterangan:

- P_B adalah gaya impact statik ekuivalen tongkang (MN)
- R_B adalah rasio $B_B/10,67(m)$
- B_B adalah lebar tongkang (m)
- a_B adalah kerusakan lambung tongkang (m)

R_B merupakan rasio yang digunakan untuk menyetarakan lebar tongkang (B_B) menjadi 10,67 m karena persamaan di atas merupakan hasil penelitian Meir-Dornberg dengan menggunakan tongkang dengan lebar 10,67 m.

Hubungan antara kerusakan lambung tongkang dengan energi impact yang menyebabkan kerusakan dapat dilihat pada Persamaan 23.

$$a_B = \left(\left[1 + 1,3 \cdot 10^{-7} KE \right]^{\frac{1}{2}} - 1 \right) \left(\frac{3,1}{R_B} \right) \quad (23)$$

Keterangan:

KE adalah energi kinetik akibat impact (J atau Nm)

6.7 Analisis struktur

Analisis struktur dilakukan untuk mengetahui dimensi dan bentuk struktur pengaman pilar. Analisis dapat dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ataupun menggunakan metoda iterasi.

6.8 Keruntuhan

Desain keruntuhan dari bangunan pengaman berupa keruntuhan plastis mengingat struktur bangunan pengaman tidak boleh menyentuh atau menumbuk pilar karena dapat menyebabkan gaya horizontal tambahan yang tidak direncanakan pada desain pilar. Letak sendi plastis ditentukan berdasarkan jarak struktur bangunan pengaman terhadap pilar jembatan. Sendi plastis didesain dengan mengurangi jumlah tulangan pada titik sendi plastis.

7 Peralatan tambahan

Pada jalur pelayaran yang ramai, apabila diperlukan dapat dipasang kamera pengawas CCTV/*closed circuit television* pada pilar untuk memantau kondisi bangunan pelindung.

Lampiran A
(informatif)
Contoh analisis

Studi kasus bangunan pengaman Jembatan Kutai Kertanegara. Jembatan Kutai Kertanegara merupakan jembatan biasa.

A.1 Karakteristik tongkang

Data yang diperoleh dari lapangan selama satu tahun adalah sebagai berikut:

Tabel A.1 - Data lalu lintas tongkang

LOA	Draft	Jumlah tongkang
(kaki)	(m)	(buah)
330	5,3	96
300	4,8	251
270	4,5	486
230	3,06	187
180	2,75	120
jumlah		1 140

A.2 Tongkang rencana

Untuk jembatan biasa desain tongkang sedemikian sehingga jumlah tahunan tongkang 10% dari total jumlah tongkang tahunan.

$$10\% \times 1140 = 114 \text{ buah} < 200 \text{ bh}$$

Karena kriteria 10% dari total jumlah tongkang tahunan lebih kecil dari jumlah maksimum 200 buah, maka tongkang yang digunakan adalah tipe 300 kaki. Jenis tongkang ditentukan dari jumlah kumulatif tongkang yang ke 114.

A.3 Karakteristik jalur pelayaran

Lebar total Sungai Mahakam 370 meter, dengan lebar jalur pelayaran 250 meter. Jarak antar pilar pada jalur pelayaran adalah 270 meter.

A.4 Kecepatan impak rencana

Kecepatan pelayaran untuk lalu lintas dua jalur dengan kecepatan 5 – 8 m/dt memiliki lebar minimum 6,7 LOA. Dalam analisis digunakan tongkang terbesar yaitu panjang tongkang 330 kaki (100,584 m).

$$6,7 \times 100,58 = 673,91 \text{ meter}$$

Karena lebar minimum tidak terpenuhi maka kecepatan yang melintasi diperkecil. Kecepatan pelayaran 3 – 4 m/dt untuk dua lajur pelayaran memiliki lebar minimum 3,5 LOA.

$$3,5 \times 100,58 = 352,04 \text{ meter}$$

Karena lebar minimum jalur pelayaran untuk lalu lintas dua lajur lebih besar dari lebar jalur pelayaran di sekitar jembatan, maka jalur pelayaran hanya dapat digunakan untuk satu lajur. Kecepatan pelayaran 5 – 8 m/dt untuk satu lajur pelayaran memiliki lebar minimum 3,2 LOA.

$$3,2 \times 100,58 = 321,87 \text{ meter}$$

Lebar minimum untuk kecepatan 5 – 8 m/dt > lebar jalur pelayaran (270 m), maka kecepatan kapal yang melintas diperkecil.

Kecepatan pelayaran 3 – 4 m/dt untuk satu lajur pelayaran memiliki lebar minimum 1,6 LOA.

$$1,6 \times 100,58 = 160,93 \text{ meter}$$

Untuk lebar jalur pelayaran 270 m, maka kecepatan maksimum tongkang 330 ft pada saat melalui jembatan adalah 4 m/dt.

Kecepatan arus sungai pada jalur pelayaran adalah 0,25 m/dt.

Untuk analisis kecepatan dampak rencana sesuai dengan Gambar 16.

X_C sesuai dengan lebar jalur pelayaran dari as jalur pelayaran yaitu $250/2 = 125 \text{ m}$

X_L merupakan 3 kali LOA yaitu $3 \times 100,58 = 301,75$.

V_T merupakan kecepatan maksimum pada jalur pelayaran yaitu 4 m/dt.

V_{MIN} merupakan kecepatan arus sungai yaitu 0,25 m/dt.

Untuk $X < 175 \text{ m}$

$$V = V_T = 4 \text{ m/dt}$$

Untuk $175 \text{ m} < X < 301,75 \text{ m}$

$$V = 4 - \left[X - 125 \left(\frac{4 - 0,25}{301,75 - 125} \right) \right]$$

Untuk $X > 301,75 \text{ m}$

$$V = V_{MIN} = 0,25 \text{ m/dt}$$

A.5 Energi dampak tongkang

Tongkang yang melalui jembatan selalu dalam kondisi penuh, total berat yang digunakan sebesar berat penuh tongkang. Berat penuh tongkang 300 ft adalah 7500 ton. Kedalaman sungai 15 meter.

$$KE = 500 C_H M V^2$$

M adalah massa kapal dalam satuan Mg, sehingga massa kapal sebesar 7,5 Mg;

C_H adalah koefisien massa hidrodinamik.

Jarak bersih dasar jalur pelayaran terhadap bagian bawah kapal adalah

$$15 - 4,8 = 10,2 \text{ meter} > 0,5 \times 4,8 = 2,4 \text{ meter}$$

Untuk jarak bersih > 2,4 meter, maka $C_H = 1,05$

Jarak pilar terhadap as jembatan adalah $270/2 = 135 \text{ meter}$. Kecepatan tongkang pada jarak 135 meter sebagai berikut:

$$V = 4 - \left[X - 125 \left(\frac{4 - 0,25}{301,75 - 125} \right) \right]$$

$$V = 4 - \left[135 - 125 \left(\frac{4 - 0,25}{301,75 - 125} \right) \right]$$

$$V = 3,79 \text{ m/dt}$$

Energi impact kapal pada pilar jembatan adalah sebagai berikut:

$$KE = 500 C_H M V^2$$

$$KE = 500 \times 1,05 \times 7,5 \times 3,79^2$$

$$KE = 56\,558,64 \text{ Joule}$$

$$KE = 56\,558,64 \text{ Nm}$$

A.6 Kedalaman atas kerusakan pada tongkang

Kerusakan yang terjadi pada tongkang tergantung dari energi kinetik dan lebar relatif tongkang rencana. Tongkang dengan panjang 300 ft (100,58 meter) memiliki lebar 80 ft (24,38 meter).

Kedalaman terhadap kerusakan pada tongkang adalah sebagai berikut:

$$a_B = \left(\left[1 + 1,3 \cdot 10^{-7} KE \right]^{\frac{1}{2}} - 1 \right) \left(\frac{3,1}{R_B} \right)$$

R_B adalah rasio lebar tongkang, $B_B/10,67$

$$R_B = 24,38/10,67$$

$$R_B = 2,285 \text{ meter}$$

$$a_B = \left(\left[1 + 1,3 \times 10^{-7} \times 56\,558,64 \right]^{\frac{1}{2}} - 1 \right) \left(\frac{3,1}{2,285} \right)$$

$$a_B = 0,00498 \text{ m}$$

A.7 Gaya impact pada tongkang

Gaya impact yang terjadi pada tongkang tergantung dari kerusakan yang terjadi dan rasio lebar tongkang.

Gaya impact untuk $a_B < 0,1 \text{ m}$

$$P_B = 60(a_B)(R_B)$$

$$P_B = 60(0,00498)(2,285)$$

$$P_B = 0,68259 \text{ MN}$$

$$P_B = 682,59 \text{ kN}$$

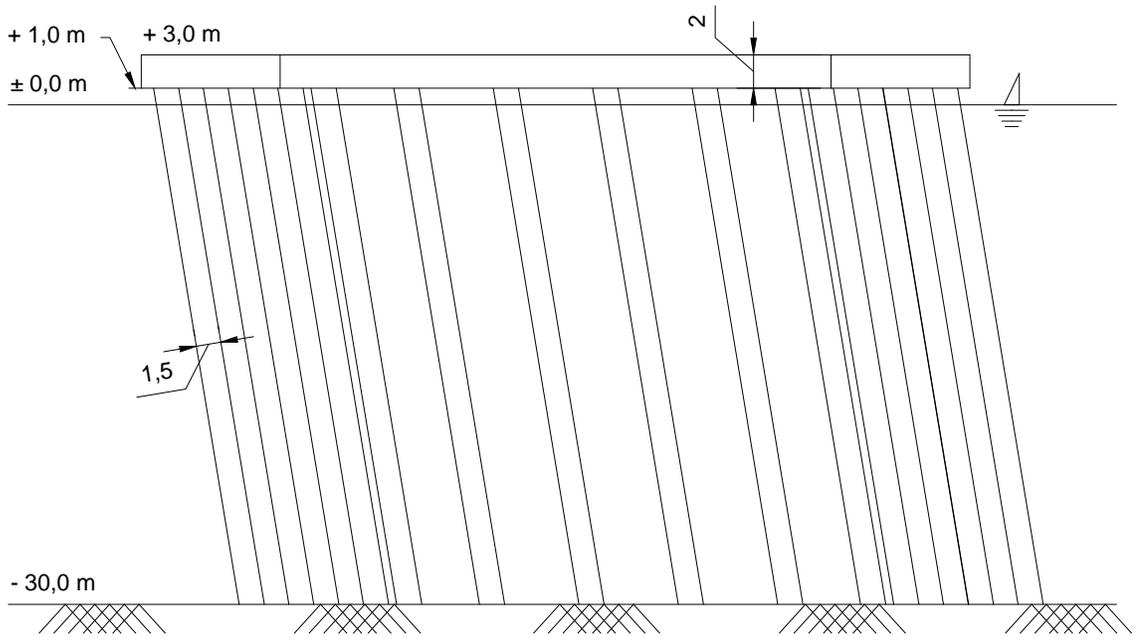
Besar gaya impact yang diterima oleh struktur sebesar 682,59 kN (searah dengan jalur pelayaran). Sedangkan gaya tegak lurus terhadap jalur pelayaran sebesar $682,59/2 = 341,295 \text{ kN}$.

A.8 Analisis struktur

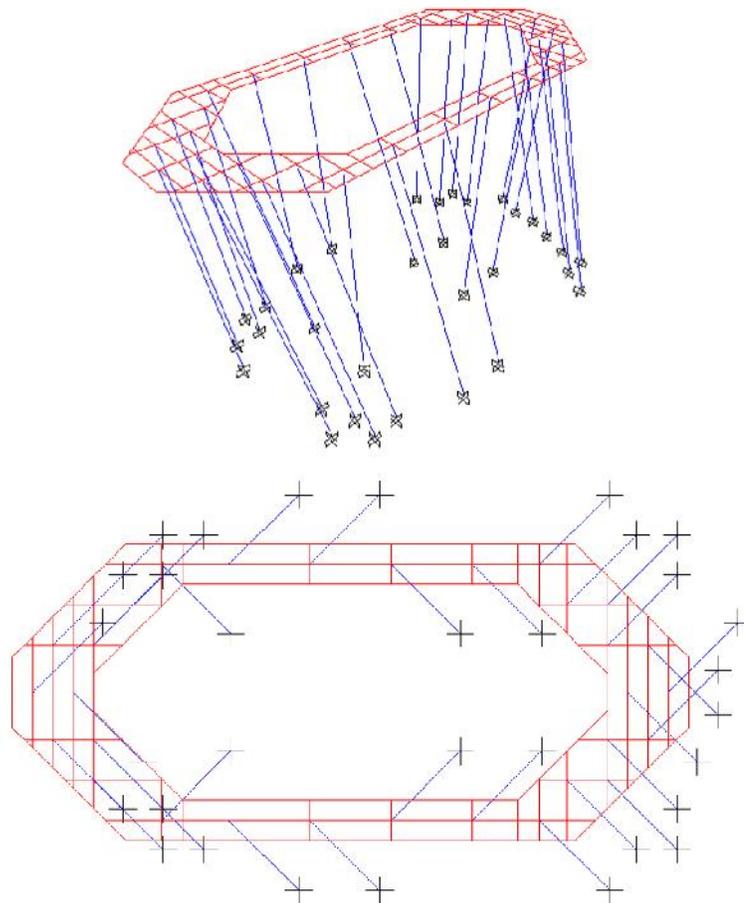
Gaya impact yang bekerja pada struktur digunakan untuk menganalisis struktur. Struktur pelindung menggunakan sistem penyangga tiang pancang sesuai dengan desain Jembatan Kutai Kartanegara.

Asumsi:

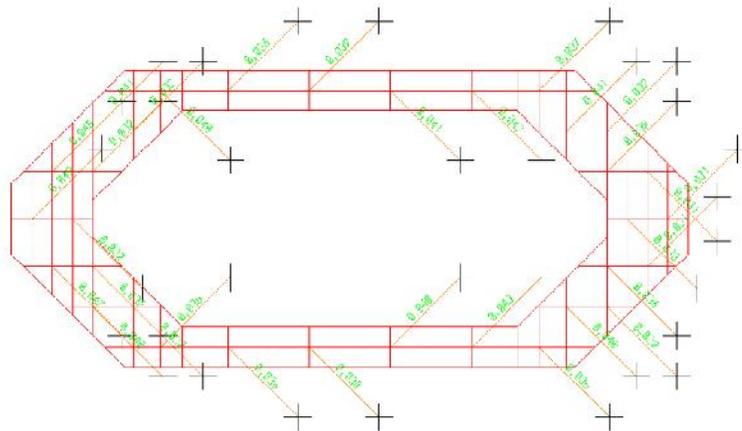
- Tebal pelat pengaku 2,0 m;
- Diameter pipa 1,5 m;
- Tulangan tiang pancang: utama 32D32, sengkang D16-200;
- Berat volume beton bertulang 2,4 ton/m³;
- Mutu beton pelat pengaku $f_c' 30 \text{ MPa}$;
- Mutu beton tiang pancang $f_c' 30 \text{ MPa}$;
- Jepit berada pada kedalaman 31 meter dari pangkal tiang;
- Jepit berada pada kedalaman 30 meter dari muka air;
- Kemiringan tiang 1:8;
- Pemasangan tiang pancang 45° terhadap arah aliran.



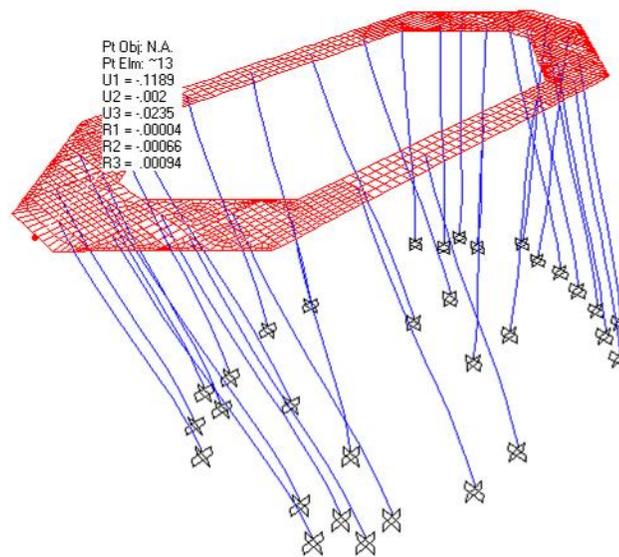
Gambar A.1 - Sketsa bangunan pelindung pilar



Gambar A.2 - Model struktur bangunan pelindung pilar



Gambar A.3 - Keluaran analisis struktur bangunan pelindung pilar (tampak atas)



Gambar A.4 - Keluaran analisis struktur bangunan pelindung pilar (3 dimensi)

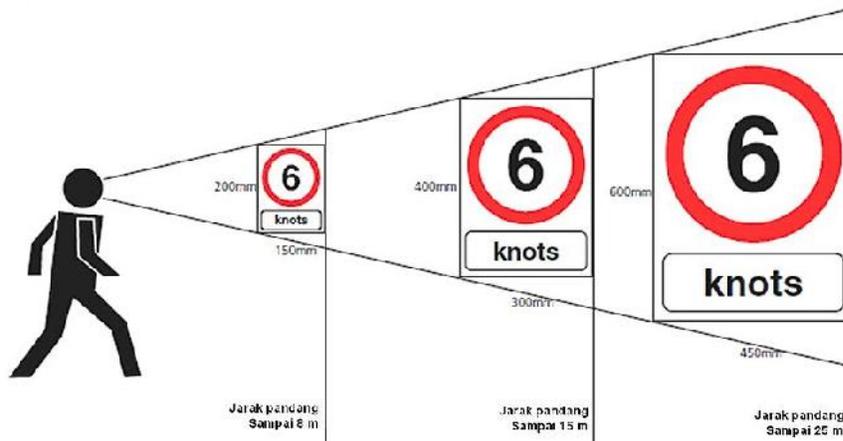
Defleksi maksimum pada bangunan pengaman berdasarkan analisa menggunakan perangkat lunak sebesar 0,1189 m atau 118,9 mm.

Lampiran B
(informatif)
Rambu pada pelayaran

Skala prioritas pengadaan/pemasangan rambu berdasarkan pada tingkat keselamatan, keamanan, ketertiban dan kelancaran lalu lintas pelayaran. Skala prioritas pengadaan/pemasangan rambu adalah sebagai berikut :

1. Prioritas pertama, keselamatan dan keamanan penumpang;
2. Prioritas kedua, keselamatan kapal;
3. Prioritas ketiga, ketertiban pelayaran;
4. Prioritas keempat, kelancaran lalu lintas

Dimensi rambu harus disesuaikan terhadap jarak pandang, semakin jauh jarak pandang ke suatu rambu dibutuhkan dimensi yang lebih besar agar bisa terbaca dengan jelas sesuai dengan Gambar B.1. Adapun ukuran rambu yang disarankan berdasarkan jarak pandang dapat dilihat pada Tabel B.1.

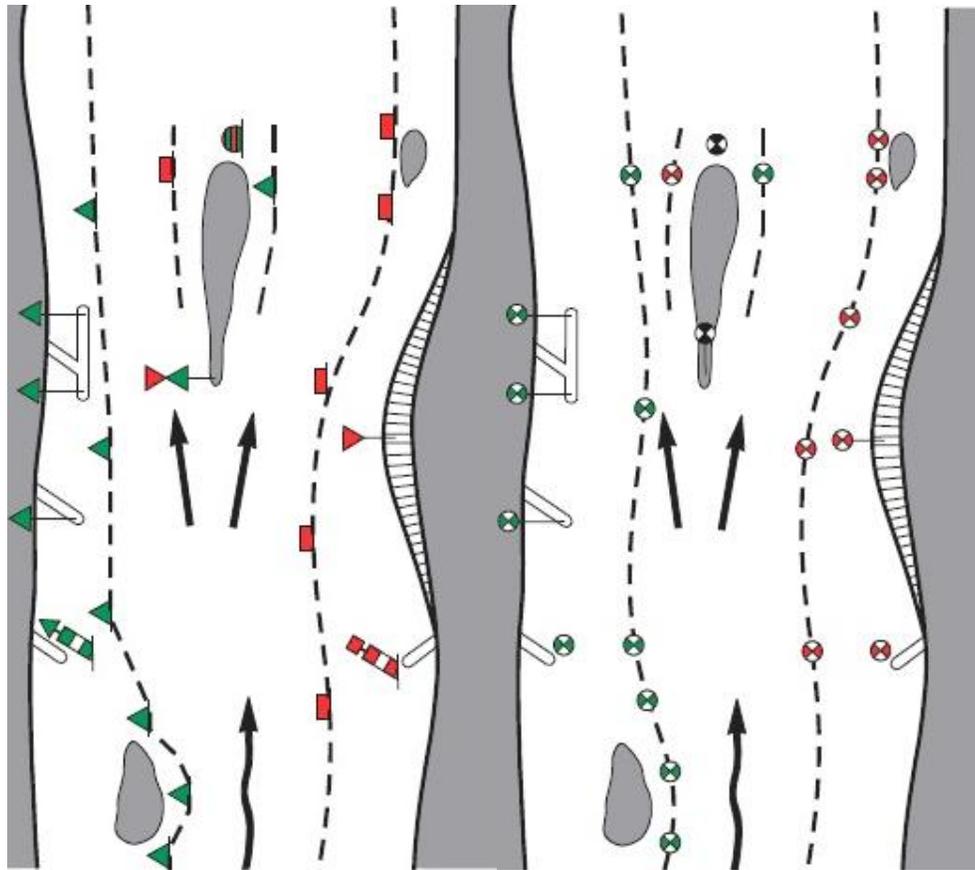


Gambar B.1 - Sketsa hubungan dimensi rambu berdasarkan jarak pandang

Tabel B.1 - Dimensi rambu berdasarkan jarak pandang

Jarak pandang (m)	Tinggi rambu (mm)	Lebar rambu (mm)
30	800	600
50	1 300	1 000
100	2 600	1 950
200	5 200	3 900

Penempatan rambu sedapat mungkin dekat dengan alur pelayaran baik pada sisi kiri dan/atau sisi kanan dari kapal yang bergerak menuju muka rambu. Rambu ditempatkan sedemikian rupa sehingga memperhatikan kondisi tepi sungai sehingga keberadaannya aman dari gangguan alam. Rambu harus bebas dari daun dan/atau ranting pepohonan atau benda lain yang menghalangi pandangan dari setiap titik di sepanjang alur yang berada pada jarak sampai dengan 200 meter. Lampu isyarat dapat dipasang untuk membantu navigasi pada malam hari. Contoh pemasangan rambu dan lampu isyarat dapat dilihat pada Gambar B.2.



Gambar B.2 - Contoh penempatan rambu dan penempatan lampu isyarat

Rambu larangan ditempatkan sebelum tempat yang dimaksud atau pada awal bagian alur dimana larangan itu dimulai dengan jarak maksimum 30 meter. Rambu larangan ditempatkan pada sisi sebelah kanan sebelum tempat yang dimaksud dengan jarak 2 meter dari tepi sungai dimana berlakunya rambu tersebut. Penempatan daun rambu tegak lurus terhadap alur dan dapat kelihatan dengan jelas dari jarak 200 meter.

Rambu wajib ditempatkan sedekat mungkin dimana rambu tersebut berlaku dengan jarak maksimum 20 meter. Rambu wajib pelampung ditempatkan pada jarak 100 meter di depan lokasi sebelum berlakunya rambu tersebut.

Rambu peringatan ditempatkan pada sisi kanan pada jarak 100 meter sebelum tempat atau lokasi yang dinyatakan berbahaya. Apabila diperlukan penegasan atau pengulangan rambu peringatan dapat digunakan papan tambahan yang menyatakan jarak.

Rambu petunjuk/penuntun ditempatkan pada sisi kanan dengan jarak minimum 100 meter sebelum tempat atau lokasi yang ditunjuk. Rambu petunjuk dapat ditambah dengan papan tambahan yang menyatakan jarak lokasi.

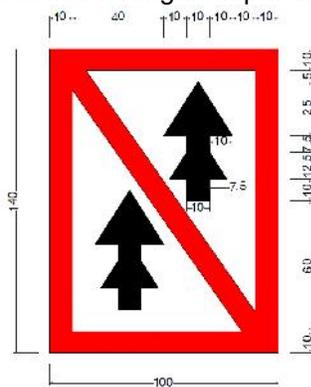
Papan nama daerah dapat dipasang pada lokasi tertentu untuk mengetahui nama daerah yang dilalui. Patok kilometer ditempatkan pada sisi kiri apabila posisi pandangan menghadap ke arah kearah hilir, perhitungan jarak kilometer dimulai dari muara sungai ke arah hulu. Papan nama daerah dan patok kilometer dibuat dengan lembaran pelat aluminium tebal minimum 2 mm atau pelat besi galvania tebal minimum 2 mm dengan ukuran 100 x 40 cm. Cara pemasangan/penempatan papan nama daerah dan patok kilometer sama dengan pemasangan/penempatan rambu pada umumnya.

Rambu yang berlaku pada alur pelayaran sungai dan danau sebagaimana diatur dalam Keputusan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No. 52 tahun 2012 tanggal 30 Oktober

2012 tentang Alur Pelayaran Sungai dan Danau dibagi menjadi empat macam yaitu rambu larangan, rambu wajib, rambu peringatan dan rambu petunjuk/penuntun.

B.1 Rambu larangan

Rambu ini digunakan untuk melarang kapal untuk melakukan sesuatu. Rambu larangan berbentuk empat persegi panjang dengan ukuran 100 x 140 cm warna dasar putih dengan sebuah garis diagonal dan garis tepi warna merah setebal 10 cm, sedang petunjuk berwarna hitam dan angka-angka di dalam rambu berukuran tinggi 60 cm dan tebal 10 cm. Rambu larangan berbentuk lingkaran dengan ukuran diameter 100 cm, warna dasar putih dengan sebuah garis diagonal dan garis tepi lingkaran berwarna merah dengan ketebalan 10 cm. Bentuk dari rambu larangan dapat dilihat pada Gambar B.3.



I.03 – Dilarang menyalip oleh konvoi terhadap konvoi



I.09 – Dilarang membuang jangkar/berlabuh dimana rambu dipasang

Gambar B.3 - Rambu larangan

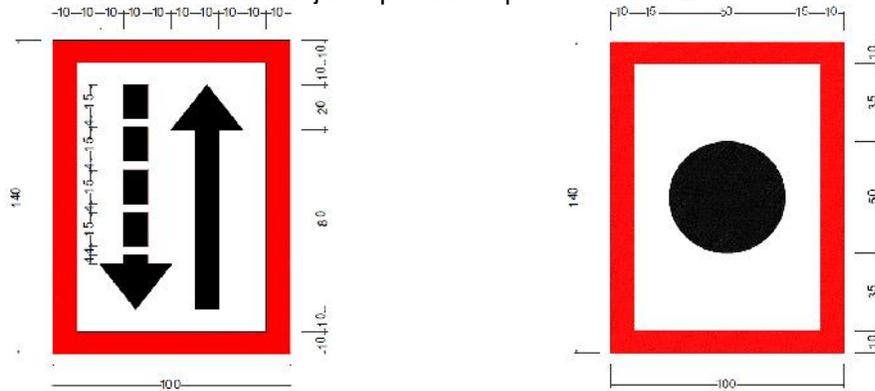
Adapun rambu-rambu larangan yang diatur pada Keputusan Menteri Perhubungan adalah sebagai berikut:

- a) I.01 – Dilarang masuk
- b) I.02 – Dilarang menyalip
- c) I.03 – Dilarang menyalip oleh konvoi terhadap konvoi
- d) I.04 – Dilarang berpapasan dan atau melewati
- e) I.05 – Dilarang bertambat di tepi air dimana rambu dipasang
- f) I.06 – Dilarang bertambat sejauh 60 m, diukur dari letak rambu
- g) I.07 – Dilarang memasuki kapal
- h) I.08 – Dilarang merokok
- i) I.09 – Dilarang membuang jangkar/berlabuh dimana rambu dipasang
- j) I.10 – Dilarang menambatkan kapal dimana rambu dipasang
- k) I.11 – Dilarang berputar
- l) I.12 – Dilarang berlayar hingga menimbulkan gelombang
- m) I.13 – Dilarang menebang kayu, di sepanjang angka yang tertera di rambu (dalam satuan kilo meter)
- n) I.14 – Dilarang mengulit kayu
- o) I.15 – Dilarang membakar hutan
- p) I.16 – Kapal motor dilarang memasuki areal perairan
- q) I.17 – Semua kegiatan olah raga dan rekreasi dilarang
- r) I.18 – Kegiatan ski air dilarang
- s) I.19 – Kapal penangkap ikan dilarang masuk ke areal perairan
- t) I.20 – Kecuali kapal bermotor atau perahu layar dilarang beroperasi
- u) I.21 – Penggunaan papan layar (*sailboard*) dilarang
- v) I.22 – Perahu rekreasi dan olah raga berkecepatan tinggi dilarang masuk
- w) I.23 – Dilarang meluncurkan atau menaikkan kapal dari dan ke darat

- x) I.24 – Dilarang mengendarai sepeda air
- y) I.25 – Dilarang melintas di luar daerah yang diperkenankan
- z) I.26 – Dilarang masuk, tetapi bersiap untuk bergerak maju
- aa) I. 27 – Jarak dilarang berlabuh

B.2 Rambu wajib

Rambu ini digunakan untuk mewajibkan kapal untuk melakukan sesuatu. Rambu wajib berbentuk empat persegi panjang dengan ukuran 100 x 140 cm dengan warna dasar putih, garis tepi warna merah, warna petunjuk hitam dengan ketebalan 10 cm. ketinggian angka 50 cm. Bentuk dari rambu wajib dapat dilihat pada Gambar B.4.



II.01 – Kapal tetap berjalan mengikuti haluannya pada sisi arah panah yang bergaris tebal/penuh

II.04 – Supaya mengeluarkan tanda isyarat bunyi (pluit)

Gambar B.4 - Rambu wajib

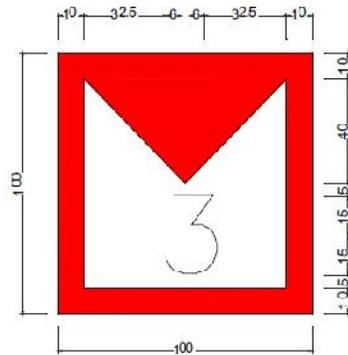
Adapun rambu-rambu wajib yang diatur pada Keputusan Menteri Perhubungan adalah sebagai berikut:

- a) II.01 – Kapal tetap berjalan mengikuti haluannya pada sisi arah panah yang bergaris tebal/penuh
- b) II.02 – Kapal harus berhenti untuk suatu keperluan yang ditunjukkan pada papan yang tertera di bawahnya
- c) II.03 – Kecepatan yang diijinkan
- d) II.04 – Supaya mengeluarkan tanda isyarat bunyi (pluit)
- e) II.05 – Supaya berlayar hati-hati
- f) II.06 – Daerah yang diawasi
- g) II.07 – Bahaya
- h) II.08 – Kapal harus menjauhi (menghindari)
- i) II.09 – Penerangan
- j) II.10 – Untuk menunjukkan tanda-tanda pengaturan bahaya-bahaya tetap (bendungan, tempat pemandian, batu dan sebagainya)
- k) II.11 – Kapal dilarang berlayar antara pelampung dan daratan terdekat
- l) II.12 – Terus berjalan ke arah yang ditunjukkan oleh anak panah
- m) II.13 – Bergerak ke sisi yang ditunjukkan anak panah
- n) II.14 – Persilangan alur
- o) II.15 – Jangan mengganggu alur utama
- p) II.16 – Wajib masuk ke jaringan radio dengan channel yang tercantum.

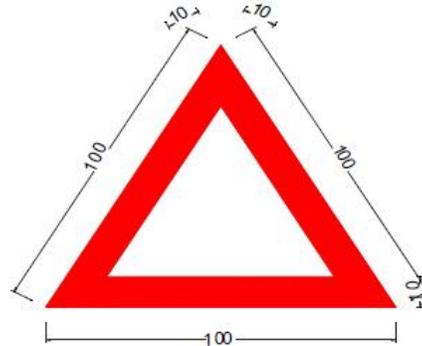
B.3 Rambu peringatan

Rambu ini digunakan untuk memperingatkan kapal atas sesuatu. Rambu peringatan berbentuk bujur sangkar dengan ukuran 100 x 100 cm, warna dasar putih, garis tepi warna

merah, warna petunjuk hitam dengan ketebalan 10 cm. Rambu peringatan berbentuk empat persegi panjang dengan ukuran 100 x 140 cm, warna dasar putih, garis tepi warna merah, warna petunjuk hitam dengan ketebalan 10 cm. Rambu peringatan berbentuk segi tiga sama sisi, panjang sisi 100 cm, warna dasar putih, garis tepi warna merah dengan ketebalan 10 cm. Bentuk dari rambu peringatan dapat dilihat pada Gambar B.5.



III.01 – Tinggi maksimum ruang bebas dari permukaan air



III.11 – Rambu pengarah alur

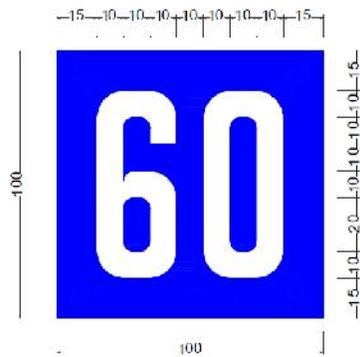
Gambar B.5 - Rambu peringatan

Adapun rambu-rambu peringatan yang diatur pada Keputusan Menteri Perhubungan adalah sebagai berikut:

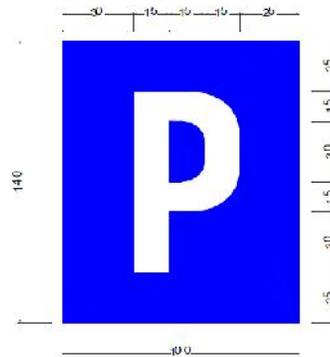
- a) III.01 – Tinggi maksimum ruang bebas dari permukaan air
- b) III.02 – Kedalaman maksimum di bawah permukaan air
- c) III.03 – Lebar dari alur atau batas alur
- d) III.04 – Rambu untuk menempatkan suatu pembatasan/peringatan pelayaran
- e) III.05 – Alur pelayaran sebelah kanan menyempit
- f) III.06 – Supaya memberikan semboyan bunyi
- g) III.07 – Agar berlayar dengan jarak tertentu dari tepi alur
- h) III.08 – Rambu pengarah
- i) III.09 – Terus berlayar mengikuti pinggiran sungai pada arah yang ditunjukkan arah panah
- j) III.10 – Berlayar di tepi alur sesuai dengan arah yang ditunjuk anak panah
- k) III.11 – Rambu pengarah alur
- l) III.12 – Pusaran air

B.4 Rambu penuntun atau petunjuk

Rambu ini digunakan untuk memberikan petunjuk atau penuntun kapal atas sesuatu. Rambu petunjuk/penuntun berbentuk bujur sangkar, ukuran 100 x 100 cm, warna dasar biru warna petunjuk putih. Rambu petunjuk berbentuk persegi panjang dengan ukuran 140 x 100 cm dengan warna dasar biru. Bentuk dari rambu petunjuk dapat dilihat pada Gambar B.6.



IV.09 – Lebar dari tempat (dalam satuan meter) yang dapat dipergunakan untuk berlabuh



IV.08 – Diiijinkan untuk berlabuh di pinggiran dalam perairan dimana rambu dipasang

Gambar B.6 - Rambu petunjuk/penuntun

Adapun rambu-rambu petunjuk/penuntun yang diatur pada Keputusan Menteri Perhubungan adalah sebagai berikut:

- a) IV.01 – Alur (channel) yang direkomendasikan untuk kedua arah
- b) IV.02 – Alur (channel) yang direkomendasikan dalam daerah yang diindikasikan
- c) IV.03 – Berlayarlah pada arah panah
- d) IV.04 – Diperkenankan memasuki daerah dimaksud (umum)
- e) IV.05 – Melintasi saluran listrik dengan tegangan tinggi
- f) IV.06 – Pintu air
- g) IV.07 – Kapal ferry
- h) IV.08 – Diiijinkan untuk berlabuh di pinggiran dalam perairan dimana rambu dipasang
- i) IV.09 – Lebar dari tempat (dalam satuan meter) yang dapat dipergunakan untuk berlabuh
- j) IV.10 – Jumlah maksimum kapal yang dapat saling bertambat, lambung ke lambung
- k) IV.11 – Daerah sandar untuk kapal yang membawa barang berbahaya
- l) IV.12 – Diperkenankan untuk berlabuh atau menarik jangkar
- m) IV.13 – Diperkenankan bertambat pada tepi alur perairan dimana rambu dipasang
- n) IV.14 – Daerah sandar kapal untuk memuat dan membongkar kendaraan
- o) IV.15 – Daerah untuk berputar
- p) IV.16 – Alur pelayaran bercabang dan dapat dilayari
- q) IV.17 – Akhir dari larangan atau juga keharusan untuk lalu lintas satu arah, atau akhir dari suatu daerah terbatas
- r) IV.18 – Tempat suplai air minum (air bersih)
- s) IV.19 – Tempat telepon umum
- t) IV.20 – Kapal motor diperkenankan
- u) IV.21 – Kapal untuk olah raga atau rekreasi/permainan diperkenankan
- v) IV.22 – Ski air diperkenankan
- w) IV.23 – Kapal layar diperkenankan
- x) IV.24 – Bukan kapal bermotor atau kapal layar diperkenankan
- y) IV.25 – Papan layar diperkenankan
- z) IV.26 – Daerah yang diperbolehkan untuk perahu olah raga atau permainan berkecepatan tinggi
- aa) IV.27 – Diperkenankan meluncurkan dan atau menarik kapal dari dan ke darat
- bb) IV.28 – Kemungkinan untuk mendapatkan informasi nautika melalui radio telpon pada channel yang ditunjukkan
- cc) IV.29 – Sepeda air diperkenankan
- dd) IV.30 – Penerangan
- ee) IV.31 – Pada arah bagian merah/hitam dari papan/tanda ini akan terdapat rambu merah atau hitam

- ff) IV.32 – Menunjukkan adanya rambu yang hanya dapat dilihat satu jurusan
- gg) IV.33 – Supaya mendekati tikungan/belokan sungai pada jarak kurang lebih $\frac{1}{3}$ dari lebar sungai tersebut dan langsung menuju tanda/rambu yang berikutnya
- hh) IV.34 – Tikungan ke kiri atau tikungan ke kanan
- ii) IV.35 – Tikungan tajam ke kiri atau tikungan tajam ke kanan
- jj) IV.36 – Tikungan ganda
- kk) IV.37 – Banyak tikungan
- ll) IV.38 – Penyempitan alur perairan daratan
- mm) IV.39 – Jembatan angkat
- nn) IV.40 – Persimpangan

Bibliografi

Canadian Design Highway Bridge Design Code, A National Standard of Canada, Canadian Standards Association.

Ship Collision With Bridges, The Interaction between Vessel Traffic and Bridge Structures, Ole Damgaard Larsen, International Association for Bridge and Structural Engineering.

Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges, Volume I: Final report, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), America, Februari 1991.

Keputusan Menteri Perhubungan RI No. 52 Tahun 2012 tanggal 30 Oktober 2012 tentang Alur Pelayaran Sungai dan Danau.

Bridge Management System Tahun 1992, Bridge Design Manual, Section 2: Design Methodology.

A Probabilistic Analysis of the Frequency of Bridge Collapses due to Vessel Impact, CTR Technical Report No.0-4650-1, Center for Transportation Research at The University of Texas, Texas Department of Transportation and The Federal Highway Administration, 2007.

Daftar nama dan lembaga

1. Pemrakarsa

Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

2. Penyusun

Nama	Lembaga
Bagus Aditya, ST, M.Eng	Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
Agung Wahyudi, A.Md	Pusat Litbang Jalan dan Jembatan

Ditetapkan di Jakarta
pada tanggal 23 April 2015

**MENTERI PEKERJAAN UMUM
DAN PERUMAHAN RAKYAT,**



M. Basuki Hadimuljono
M. BASUKI HADIMULJONO