

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka memberikan ringkasan definisi teori-teori serta konsep metode yang digunakan pada penelitian ini. Juga, disajikan tinjauan penelitian terdahulu yang terkait atau relevan guna menjadi acuan penelitian ini.

2.1 Definisi dan Terminologi

a. Dermaga

Dermaga adalah suatu bangunan pelabuhan yang digunakan untuk merapat dan menambatkan kapal dan melakukan bongkar muat barang dan menaik-turunkan penumpang (Bambang Triatmodjo, 2015).

b. Dolphin

Dolphin merupakan konstruksi pendukung pada dermaga jetty. Ada 2 tipe dolphin yaitu *breasting dolphin* dan *mooring dolphin*. *Breasting dolphin* merupakan konstruksi yang dirancang untuk menahan tubrukan kapal saat proses berlabuh. *Mooring dolphin* dirancang untuk tempat menambat tali kapal (Bambang Triatmodjo, 2015).

c. Berthing Energy

Berthing energy merupakan energi yang ditransfer kapal saat menubruk struktur berlabuh; sebagian besar bergantung pada kapasitas dan kecepatan kapal (Carbonari dkk., 2019).

d. Risiko

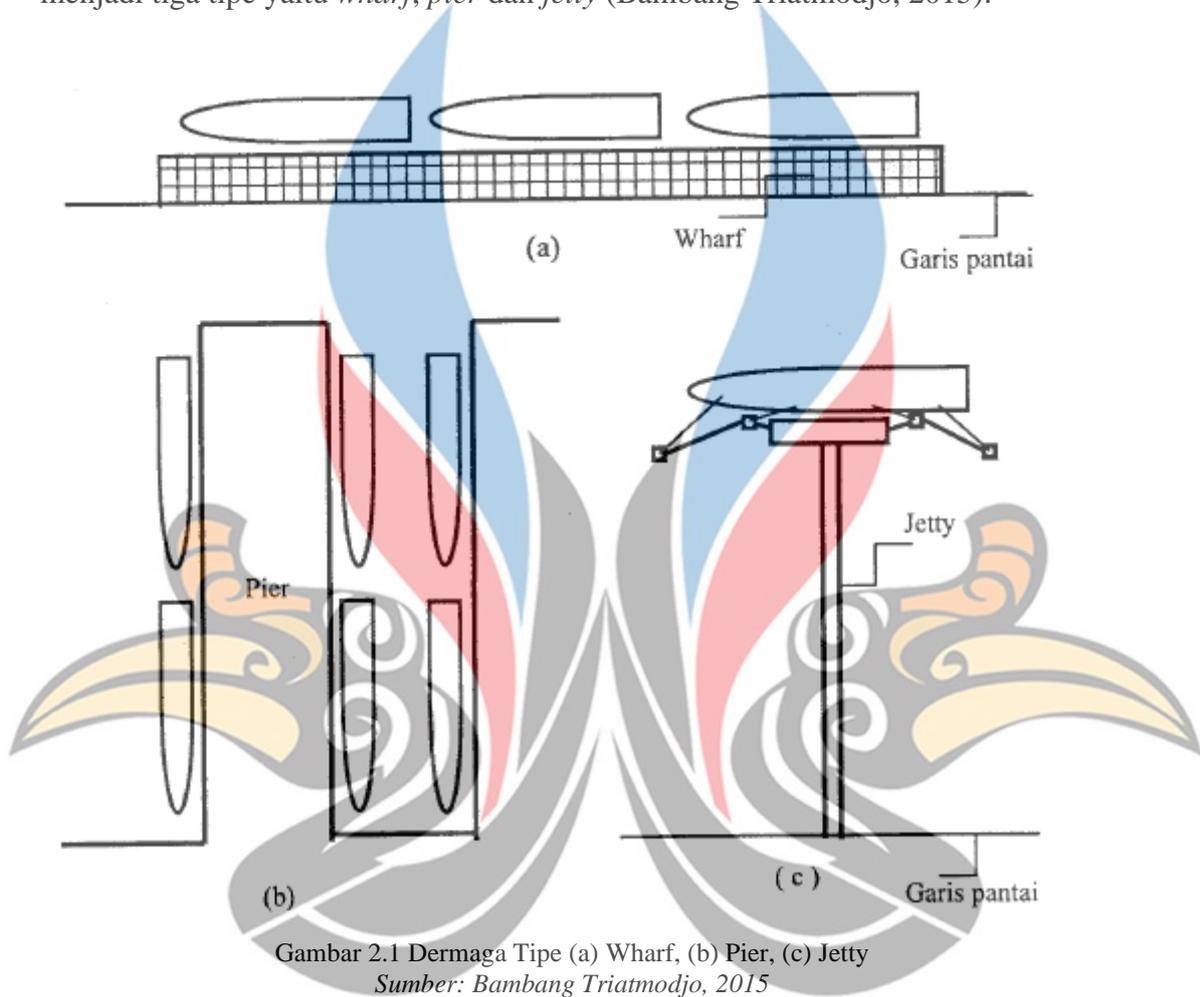
Risiko adalah penyimpangan dari normal atau yang diharapkan. Secara numerik, ini adalah produk probabilitas dari suatu peristiwa yang terjadi dan konsekuensi dari peristiwa tersebut (Bharadwaj dkk., 2012).

2.2 Literature Review

2.2.1 Dermaga Jetty

www.itk.ac.id

Berdasarkan tipe struktur, terbuka atau tertutup, dermaga dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu *wharf*, *pier* dan *jetty* (Bambang Triatmodjo, 2015).

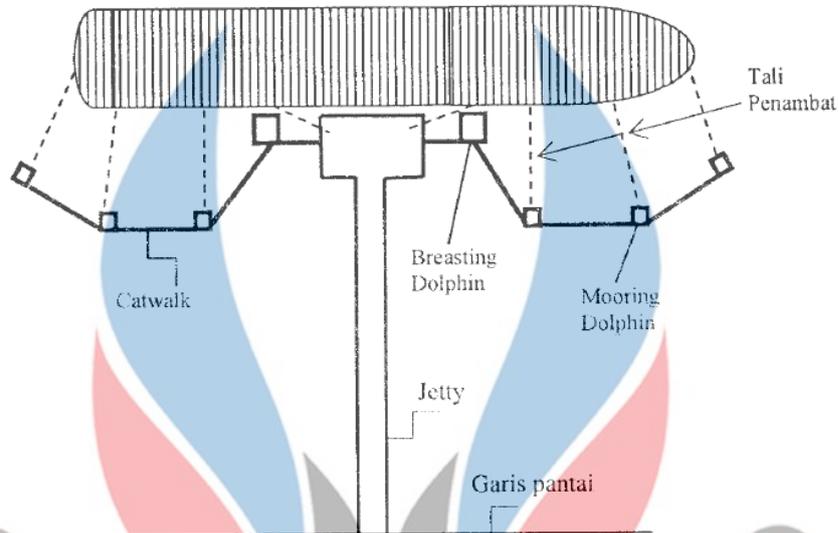


Gambar 2.1 Dermaga Tipe (a) Wharf, (b) Pier, (c) Jetty
Sumber: Bambang Triatmodjo, 2015

Dermaga tipe jetty adalah dermaga yang menjorok ke laut sedemikian sehingga sisi depannya berada pada kedalaman yang cukup untuk merapat kapal. Konstruksi *dolphin* dapat digunakan untuk menghemat biaya pembangunan dermaga tipe jetty, karena dengan adanya *dolphin*, luasan jetty untuk menahan beban kapal saat berlabuh dapat dikurangi.

Konstruksi dermaga tipe jetty dilengkapi dengan *breasting dolphin* dan *mooring dolphin*. *Breasting dolphin* dilengkapi dengan komponen *fender* dan *bollard*. *Fender* berbentuk seperti bantalan yang berfungsi sebagai tempat kapal menubruk sewaktu berlabuh. *Bollard* merupakan komponen yang berfungsi tempat tali kapal yang menambat. Berbeda dengan *breasting dolphin*, *mooring dolphin*

konstruksi ini dirancang khusus untuk tempat menambat tali kapal saja, sehingga hanya dilengkapi dengan komponen *bollard*.



Gambar 2.2 Layout Dermaga Jetty
Sumber: Bambang Triatmodjo, 2015



Gambar 2.3 Fender
Sumber: Bridgestone, 2011



Gambar 2.4 Bollard
Sumber: Trelleborg, 2018

2.2.2 Berthing Energy Calculation

Gaya benturan kapal (*berthing forces*) bekerja secara horizontal dan dihitung berdasarkan energi benturan. Energi ini akan diserap oleh *fender* dan diteruskan ke struktur. Besar energi benturan kapal ditentukan dengan persamaan berikut.

$$E = \frac{WV^2}{2g} C_m C_e C_s C_c \quad (2.1)$$

dengan:

E : energi benturan (ton meter)

V : komponen tegak lurus sisi dermaga dari kecepatan kapal pada saat membentur dermaga (m/d)

W : *mass of the vessel / displacement in tonnes* (ton)

g : percepatan gravitasi (9,81 m/d²)

C_m : koefisien massa

C_e : koefisien eksentrisitas

C_s : koefisien kekerasan (diambil nilai = 1)

C_c : koefisien bentuk dari tambatan (diambil nilai = 1)

Berdasarkan standar BS 6349-1:2013 nilai berat kapal dihitung menggunakan DWT-nya dan bergantung pada jenis kapal. Nilai berat kapal W diestimasi sebagai berikut.

Tabel 2.1 *Approximate Values of Displacement from Nominal Ship Capacity*

Vessel Class	Approximate estimate of displacement, in tonnes (t)	
	Liquid and dry bulk carriers, container and general cargo ships	Gas carriers
	From deadweight tonnage (DWT), in tonnes (t)	From nominal gas capacity in cubic metres (m ³)
General cargo ships	$2,1 \times (DWT)^n$, where $n = 0.9531$	-
Dry bulk carriers	$2,1 \times (DWT)^n$, where $n = 0.9475$	-
Container ships	$2,1 \times (DWT)^n$, where $n = 0.9605$	-
Liquid bulk tankers (oil, oil products, chemicals)	$2,1 \times (DWT)^n$, where $n = 0.9505$	-
Refrigerated gas carriers – LNG	-	$20\,000 + 0.6 \times (\text{nom. gas capacity})$
Refrigerated gas carriers – LPG	-	$5\,000 + 0.9 \times (\text{nom. gas capacity})$

Sumber: BS 6349, 2013

Koefisien massa C_m , tergantung pada gerakan air di sekeliling kapal dihitung dengan persamaan berikut.

www.itk.ac.id

$$C_m = 1 + \frac{\pi}{2C_b} \frac{D}{B} \quad (2.2)$$

dimana:

$$C_b = \frac{W}{L_{pp} B d \gamma_0} \quad (2.3)$$

dengan:

C_b : koefisien blok kapal

D : draft kapal (m)

B : lebar kapal (m)

L_{pp} : panjang garis air (m)

γ_0 : berat jenis air laut (1,025 t/m³)

Koefisien eksentrisitas C_e , adalah perbandingan antara energi sisa dan energi kinetik kapal yang merapat dihitung dengan persamaan berikut.

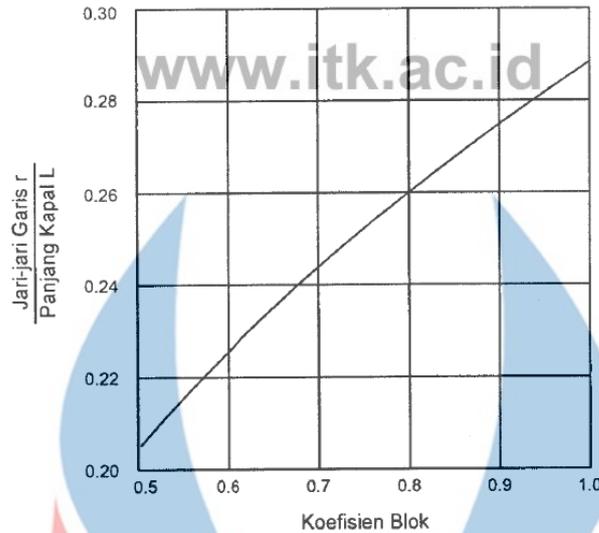
$$C_e = \frac{1}{1 + \left(\frac{l}{r}\right)^2} \quad (2.4)$$

dengan:

l : jarak sepanjang permukaan air dermaga dari pusat berat kapal sampai titik sandar kapal

r : jari-jari putaran di sekeliling pusat berat kapal pada permukaan air

Nilai r dapat ditentukan berdasarkan grafik berikut.



Gambar 2.5 Grafik Nilai $\frac{r}{L_{oa}}$

Sumber: Bambang Triatmodjo, 2015

Panjang garis air L_{pp} , dapat dihitung dengan persamaan berikut.

- Untuk kapal barang

$$L_{pp} = 0,846L_{oa}^{1,0193} \quad (2.5)$$

- Untuk kapal tanker

$$L_{pp} = 0,852L_{oa}^{1,0201} \quad (2.6)$$

Titik kontak pertama antara kapal dan dermaga l , ditentukan dengan persamaan berikut.

Untuk dermaga

$$l = 1/4 L_{oa} \quad (2.7)$$

Untuk dolphin

$$l = 1/6 L_{oa} \quad (2.8)$$

Dalam operasionalnya, tidak menutup kemungkinan terjadi beban berthing energy dalam kondisi abnormal. Penyebabnya dapat berupa human error, kerusakan mesin kapal, kondisi cuaca ataupun kombinasi dari faktor ini. Maka dalam perencanaannya dapat digunakan faktor keamanan sebagai berikut.

Tabel 2.2 Factors of Safety

Vessel Type	Size	F_s
Tanker, Bulk, Cargo	Largest	1,25

Vessel Type	Size	F _s
	Smallest	1,75
Container	Largest	1,5
	Smallest	2,0
General Cargo	-	1,75
Roro, Ferries	-	≥ 2,0
Tugs, Workboats, etc	-	2,0

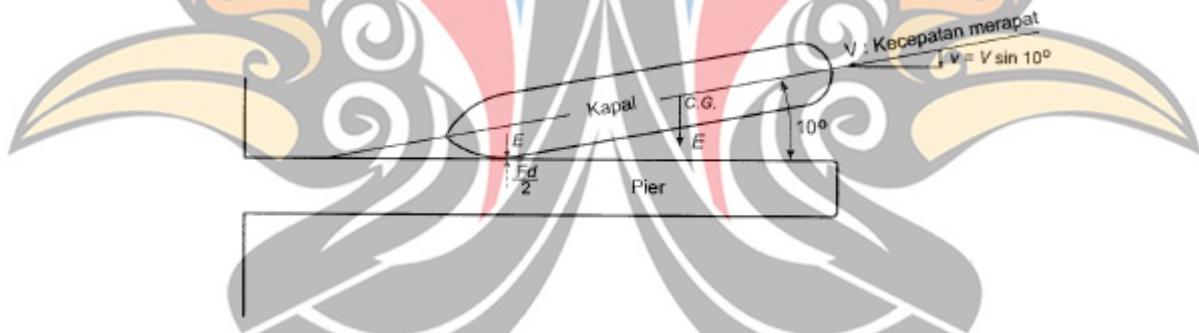
Sumber: PIANC, 2002

Abnormal *berthing energy* dihitung sebagai berikut.

$$E_A = E \times F_s \quad (2.9)$$

2.2.3 Gaya Reaksi *Fender*

Menurut energi benturan kapal tidak seluruhnya diserap oleh *fender*. Sebagian energi tersebut diserap oleh dermaga.



Gambar 2.6 Benturan Kapal Pada Dermaga
Sumber: Bambang Triatmodjo, 2015

Kemudian untuk menghitung gaya reaksi fender F , akibat energi yang diserap fender dihitung dengan persamaan berikut.

$$\frac{1}{2} \frac{WV^2}{g} C_m C_e C_s C_c = \frac{1}{2} Fd \quad (2.10)$$

$$E = \frac{1}{2} Fd \quad (2.11)$$

$$F = \frac{2E}{d} \quad (2.12)$$

dengan:

F : gaya reaksi fender (ton)

d : defleksi fender (mm)

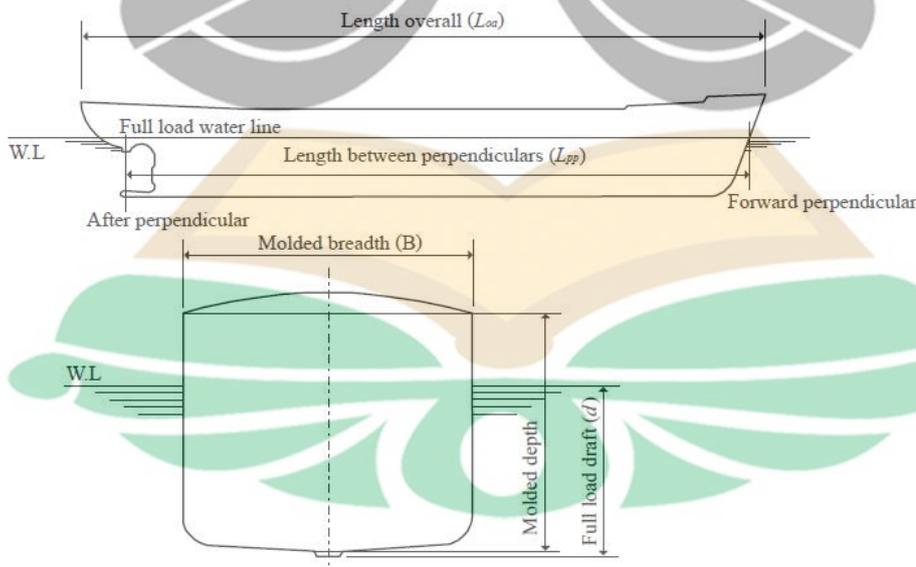
2.2.4 Jenis Kapal

Ukuran dan massa kapal mempengaruhi perencanaan struktur baik pada dermaga maupun *dolphin*. Ukuran dan massa kapal ini bermacam-macam dan diklasifikasikan berdasarkan fungsinya. Berikut ini data dimensi variasi kapal tanker diambil dari OCDI (2009) dengan penyesuaian.

Tabel 2.3 Dimensi Kapal Tanker

DWT	LOA	LPP	Molded Breadth, B	Full Load Draft, d
t	m	m	m	m
3.000	86	82	14,7	5,5
5.000	100	97	16,7	6,4
6.000	108	104	17,5	6,6
7.000	116	111	18,3	6,9
8.000	123	117	19,0	7,1
9.000	131	124	19,8	7,4
10.000	139	131	20,6	7,6
15.000	154	146	23,4	8,6
20.000	166	157	25,6	9,3

Sumber: OCDI, 2009



Gambar 2.7 Dimensi Kapal

Sumber: OCDI, 2009

Berikut ini beberapa definisi yang digunakan dalam karakteristik kapal.

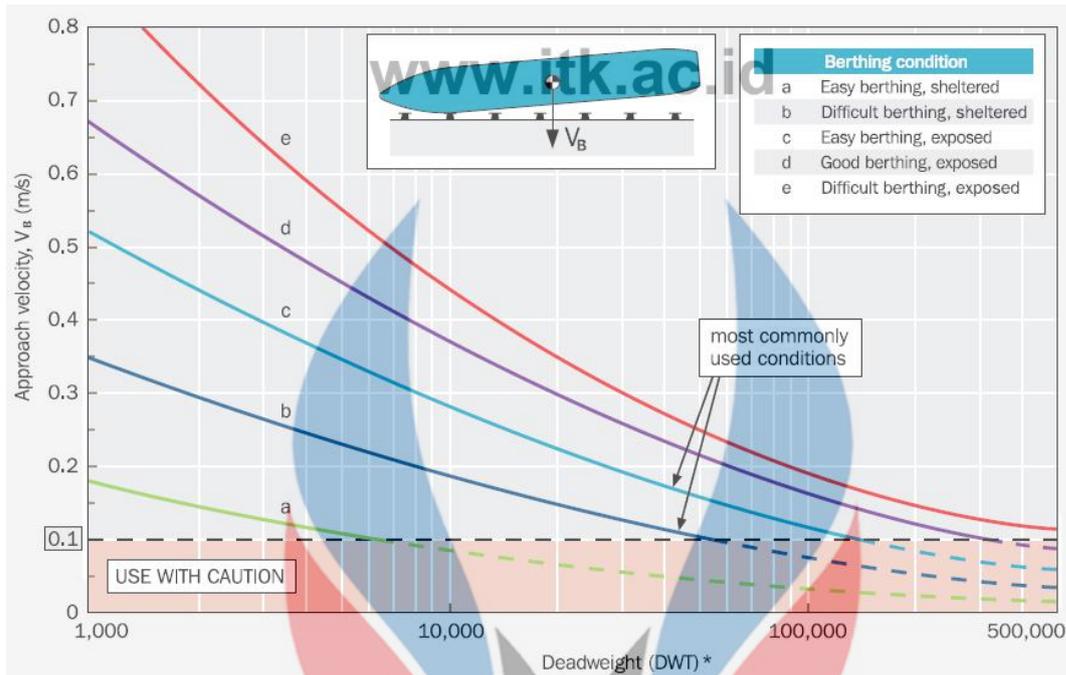
- a. Lpp (Length between perpendicular)
Panjang antara kedua ujung *design load water line*.
- b. Loa (Length overall)
Panjang kapal dihitung dari ujung depan (*haluan*) sampai ujung belakang (*buritan*).
- c. B (*Molded Breadth* / Lebar kapal)
Jarak maksimum antara dua sisi kapal
- d. D (Full Load Draft / Sarat)
- e. Displacement Tonnage (W_t)
Volume air yang dipindahkan kapal, disebut juga berat kapal.
- f. Deadweight Tonnage (DWT)
Berat muatan yang dapat diangkut kapal, disebut juga kapasitas kapal.
- g. Light Weight Tonnage (LWT)
Berat kapal tanpa muatan.

2.2.5 Kecepatan Berlabuh (*Berthing Velocity*)

Kecepatan kapal bersandar merupakan salah satu variabel yang berpengaruh pada perhitungan *berthing energy*. Berdasarkan tingkat kemudahan-kesulitannya berlabuh, kecepatan berlabuh diklasifikasikan menjadi 5 oleh PIANC (2002).

- a. Easy berthing, sheltered
- b. Difficult berthing, sheltered
- c. Easy berthing, exposed
- d. Good berthing, exposed
- e. Difficult berthing, sheltered

Klasifikasi kecepatan berlabuh ini digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.8 Kecepatan Berlabuh
 Sumber: PIANC, 2002

Berdasarkan Gambar 2.8 tersebut didapatkan nilai kecepatan berlabuh sebagai berikut. Nilai kecepatan dengan kecepatan di bawah 0,1 m/s ditandai dengan warna merah digunakan pada kondisi khusus, sehingga tidak digunakan pada penelitian ini.

Tabel 2.4 Kecepatan Berlabuh (*Berthing Velocity*)

DWT	Velocity, V_B (m/s)				
	a	b	c	d	e
1.000	0,179	0,343	0,517	0,669	0,865
2.000	0,151	0,296	0,445	0,577	0,726
3.000	0,136	0,269	0,404	0,524	0,649
4.000	0,125	0,250	0,374	0,487	0,597
5.000	0,117	0,236	0,352	0,459	0,558
6.000	0,112	0,227	0,339	0,443	0,536
7.000	0,108	0,218	0,326	0,426	0,514
8.000	0,103	0,210	0,313	0,410	0,492
9.000	0,099	0,201	0,300	0,393	0,470
10.000	0,094	0,192	0,287	0,377	0,448
20.000	0,074	0,153	0,228	0,303	0,355
30.000	0,064	0,133	0,198	0,264	0,308

DWT	Velocity, V_B (m/s)				
	a	b	c	d	e
40.000	0,057	0,119	0,178	0,239	0,279
50.000	0,052	0,110	0,164	0,221	0,258
100.000	0,039	0,083	0,126	0,171	0,201
200.000	0,028	0,062	0,095	0,131	0,158
300.000	0,022	0,052	0,080	0,111	0,137
400.000	0,019	0,045	0,071	0,099	0,124
500.000	0,017	0,041	0,064	0,090	0,115

Sumber: PIANC, 2002

2.2.6 Beban Mati

Pada *breasting dolphin*, beban mati selain berat struktur sendiri yaitu berat *walkway* yang menumpu pada *breasting dolphin*, *fender*, dan *bollard*. Berat beban mati merupakan hasil dari perkalian berat jenis material dengan volume material.

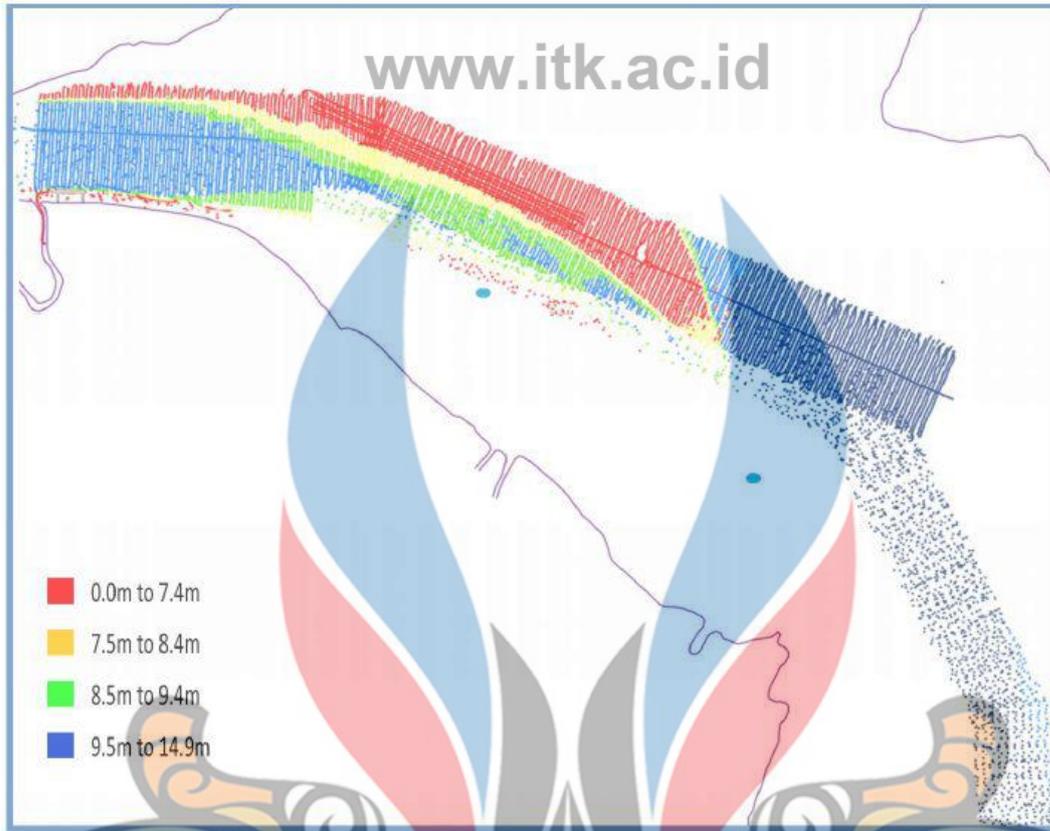
Pada penelitian ini perhitungan beban mati secara manual digunakan sebagai validasi terhadap permodelan. Dimana nilai beban mati perhitungan manual dibandingkan dengan berat struktur hasil permodelan. Dengan nilai yang sama atau mendekati, maka model dapat dianggap telah menggambarkan kondisi eksisting. Batas toleransi yaitu 5% (Sari, 2015).

2.2.7 Beban Hidup

Beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan. Pada *breasting dolphin* ini beban hidup sesuai SNI 1727:2020 yang dihitung yaitu untuk beban manusia sebesar $4,79 \text{ kN/m}^2$ atau setara dengan 479 kg/m^2 .

2.2.8 Data Batimetri (*Bathymetry*)

Data batimetri biasanya direpresentasikan berupa peta. Peta ini memberikan informasi mengenai kedalaman perairan lokasi yang ditinjau. Berikut ini contoh peta batimetri.



Gambar 2.9 Peta Batimetri Sungai Riko
 Sumber: PT. Davidi International, 2020

Berdasarkan Gambar 2.9 dapat diketahui kedalaman dasar sungai berdasarkan notasi warna. Contohnya untuk warna merah, elevasi dasar sungai berada di kedalaman 0,0 – 7,4 m.

2.2.9 Data Pasang Surut

Pasang surut adalah naik atau turunnya permukaan air laut yang disebabkan oleh pengaruh gaya gravitasi bulan dan matahari. Data pasang surut memberikan informasi mengenai ketinggian air pada kondisi rendah (LWL), rata-rata (MSL), dan tinggi (HWL). Berikut ini definisi dari istilah yang digunakan pada data pasang surut.

- a. Muka Air Tinggi (*High Water Level (HWL)*)

Muka air tertinggi yang dicapai pada saat kondisi pasang dalam satu siklus pasang surut.

- b. Muka Air Rendah (*Low Water Level (LWL)*)

Muka air tertinggi yang dicapai pada saat kondisi surut dalam satu siklus pasang surut. www.itk.ac.id

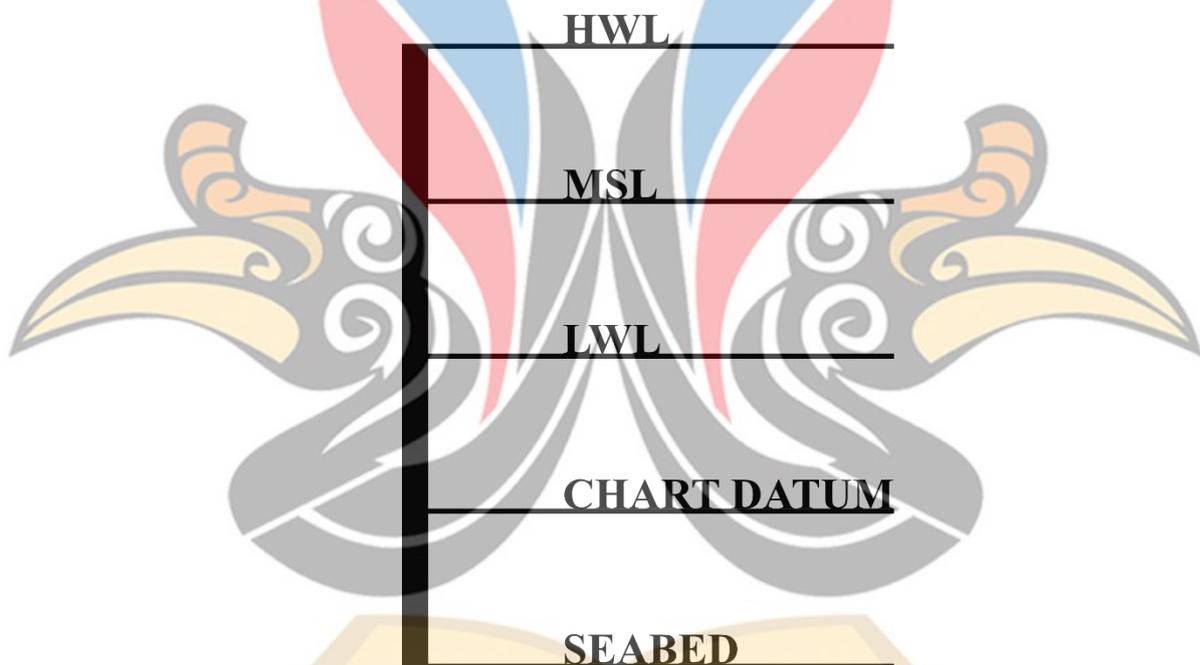
c. Muka Air Rerata (*Mean Sea Level* (MSL))

Muka air rerata antara muka air tinggi dan muka air rendah.

d. Chart Datum

Merupakan nilai referensi elevasi kedalaman yang digunakan pada peta navigasi. Memberikan informasi elevasi yang posisinya berada di bawah muka air rendah.

Hubungan antara HWL, MSL, LWL, dan Chart Datum digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.10 Hubungan HWL, MSL, LWL, dan Chart Datum

Sumber: Penulis, 2021

Pemilihan kapal rencana pada desain dermaga perlu memperhitungkan data pasang surut, dimana harus ada jarak aman antara *draft* kapal dan kedalaman dasar laut (*seabed*). Pada penelitian ini variasi kapal operasional ditentukan dengan berdasar data MSL.

2.2.10 Interaksi Tanah-Struktur

Interaksi antara struktur atas dan struktur bawah pada sebuah bangunan akan sangat mempengaruhi perilaku struktur secara keseluruhan. Interaksi tanah-tiang-struktur tidak dapat diabaikan karena akan mengakibatkan desain struktur yang kurang tepat (Simatupang dkk., 2019). Interaksi tanah-struktur dilakukan dengan metode permodelan tanah sebagai *spring* (pegas) dengan kekakuan (k). Berikut ini tahapan permodelan kekakuan tanah terhadap pondasi.

1. Menghitung daya dukung ijin, Q_a (kN/m^2)

$$Q_a = \frac{Q_b}{SF} + \frac{Q_s}{SF} \quad (2.13)$$

dengan:

Q_b : daya dukung ujung tiang (kN/m^2)

Q_s : tahanan gesek tiang (kN/m^2)

SF : 3, faktor keamanan (*safety factor*)

Nilai daya dukung ujung tiang dan tahanan gesek tiang ditentukan sebagai berikut.

a. Tanah Non-Kohesif

- Daya dukung ujung tiang

$$A_b (40\bar{N})(L_b / d) \leq 400\bar{N}A_b \quad (2.14)$$

dengan:

A_b : luas penampang tiang (m^2)

\bar{N} : nilai N rata-rata

(dari $8d$ di atas dasar tiang s/d $4d$ di bawah dasar tiang)

L_b : panjang lapisan daerah pengaruh ($3d$ di bawah titik tiang) (m)

d : diameter tiang (m)

- Tahanan gesek tiang

$$2\bar{N}pL_i \quad (2.15)$$

dengan:

A_b : luas penampang tiang (m^2)

\bar{N} : nilai N rata-rata

(dari $8d$ di atas dasar tiang s/d $4d$ di bawah dasar tiang)

p : keliling tiang (m)

L_i : panjang lapisan tanah yang ditinjau (m)

b. Tanah Kohesif

- Daya dukung ujung tiang

$$N_c c_u A_b \quad (2.16)$$

dengan:

N_c : 9, faktor kapasitas dukung

c_u : kohesi tanah (kN/m^2)

$$\frac{2}{3} N$$

A_b : luas penampang tiang (m^2)

- Tahanan gesek tiang

$$c_d p L_i \quad (2.17)$$

$$\alpha c_u p L_i \quad (2.18)$$

dengan:

c_d : adhesi *ultimate* (kN/m^2)

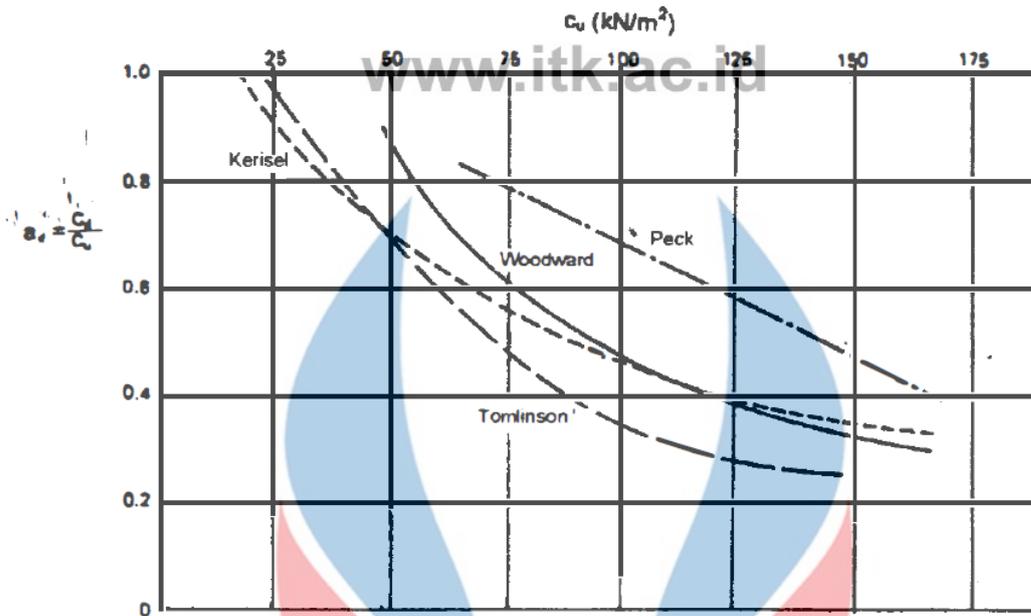
α : faktor adhesi

c_u : kohesi tanah (kN/m^2)

p : keliling tiang (m)

L_i : panjang lapisan tanah (m)

Nilai α ditentukan menurut McClelland (1974) ditunjukkan sebagai berikut.



Gambar 2.11 Faktor Adhesi (α) untuk Tiang Pancang dalam Tanah Lempung (McClelland, 1974)
 Sumber: Hardiyatmo, 2008

2. Menghitung nilai kekakuan tanah, k_s (kN/m³)

Nilai k_s didapatkan berdasarkan kapasitas daya dukung tanah (Q_a) menurut Bowles (1993).

$$k_{sv} = 40 SF Q_a \quad (2.19)$$

dengan menggunakan *safety factor* (SF) 3 maka k_s dihitung:

$$k_{sv} = 120 Q_a \quad (2.20)$$

Nilai k_{sv} merupakan nilai kekakuan tanah arah vertikal. Untuk arah horizontal Bowles (1993) menentukan,

$$k_{sh} = 2k_{sv} \quad (2.21)$$

3. Menghitung nilai kekakuan pondasi, k_v dan k_h (kN/m)

Nilai k_v ditentukan sebagai berikut.

$$k_v = k_{sv} A_b \quad (2.22)$$

$$k_h = k_{sh} A_h \quad (2.23)$$

dengan:

k_v : nilai kekakuan tanah arah vertikal (kN/m)

k_h : nilai kekakuan tanah arah horizontal (kN/m)

A_b : luas penampang dasar tiang (m²)

A_h : luas selimut daerah tiang yang ditinjau (m^2)

www.itk.ac.id

2.2.11 Permodelan dan Analisis Struktur

Model *Finite Element Method* (FEM) dikembangkan untuk mensimulasikan perilaku struktur dari linear melalui respons nonlinear dan hingga kegagalan, menggunakan program bantu (Kachlakev dkk., 2001). Untuk kepentingan struktur, penentuan kekuatan internal maksimum dan minimum harus dibuat dengan metode yang menjamin bahwa kekhasan struktur dapat dipertimbangkan, tentang geometri, perilaku bahan, beban eksternal dan dukungan. Untuk mencapai tujuan ini, perlu diperkenalkan metode yang kuat, seperti *Finite Element Method* (FEM) (Lopes dkk., 2019). Metode ini digunakan secara luas karena insinyur dan ilmuwan dapat secara matematis memodelkan dan secara numerik memecahkan masalah yang sangat kompleks. Analisis dalam teknik dilakukan untuk menilai desain, dan analisis di berbagai bidang ilmiah dilakukan sebagian besar untuk mendapatkan wawasan dan idealnya untuk memprediksi fenomena alam. Prediksi bagaimana desain akan tampil dan apakah dan bagaimana fenomena alam akan terjadi bernilai banyak: Desain dapat dibuat lebih aman dan lebih hemat biaya, sementara wawasan tentang dan prediksi alam dapat membantu, misalnya, untuk mencegah bencana. Dengan demikian, penggunaan metode elemen hingga sangat efektif (Klaus-Jurgen Bathe, 2008).

Menurut standar rekomendasi praktis struktur yang dibangun lepas pantai, API RP 2A, penilaian struktur dapat dilakukan dengan analisis kapasitas level desain dan analisis kekuatan *ultimate*, dimana analisis ini dilakukan dalam metode elemen hingga dengan program bantu. Analisis kapasitas dilakukan dengan menggunakan beban desain dan mengkombinasikan beban-beban yang bekerja. Untuk kombinasi beban *Ultimate Limit State* (ULS) dengan pengaruh beban tubrukan kapal digunakan kombinasi berikut.

(ABNT, 2014)

1. $1,4DL + 1,4(BL + 0,6LL)$
2. $1,4DL + 1,4(LL + 0,6BL)$

(IS, 2007)

3. $1,5DL + 1,5LL + 1,5BL$

www.itk.ac.id

Kombinasi ULS pada kedua standar tersebut digunakan pada penelitian terkait (Belagavi & Rugi, 2019; Lopes dkk., 2019) dan telah dibuktikan dapat memberikan hasil yang diharapkan untuk analisis kapasitas *breasting dolphin*.

2.2.12 Reserve Strength Ratio (RSR)

Ketika beban yang diterima struktur melebihi kapasitas desain, struktur tidak langsung mengalami kegagalan struktur seketika, ada tahapan sebelum mencapai kegagalan struktur yang diindikasikan dengan terjadi dan bertambahnya member yang mengalami kondisi plastis. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur memiliki cadangan kekuatan (*reserve strength*) di atas kapasitas desain.

Penelitian ini menggunakan program bantu dalam menentukan RSR. Dalam penentuan RSR perlu didefinisikan terlebih dahulu indikator yang akan digunakan untuk menentukan beban maksimum sesaat sebelum *collapse*. Pada penelitian ini indikator yang digunakan untuk menentukan beban maksimum yaitu beban terbesar yang menyebabkan member struktur mencapai plastis namun tidak seluruhnya, karena ketika seluruh member telah mencapai kondisi plastis maka struktur telah masuk dalam kondisi *collapse*.

Nilai *reserve strength ratio* (RSR) berfungsi sebagai estimasi kemampuan struktur untuk menahan beban melebihi nilai yang dirancang (Tawekal & Tawekal, 2018). Nilai RSR dihitung dengan persamaan berikut.

$$RSR = \frac{\text{Beban pada saat struktur collapse}}{\text{Beban kondisi awal}} \quad (2.24)$$

$$RSR = \frac{P_{collapse}}{P_{awal}} \quad (2.25)$$

Nilai P_{awal} didapatkan dari perhitungan beban lateral yang bekerja pada kondisi awal dan $P_{collapse}$ didapatkan dari hasil analisis kapasitas *ultimate* saat struktur mencapai tahap *collapse*. Kriteria penilaian ditentukan berdasarkan API RP 2A. Level konsekuensi ditentukan berdasarkan ada tidaknya potensi bahaya kerusakan pada lingkungan ketika terjadi kegagalan struktur.

Tabel 2.5 Kriteria Penilaian

<i>Level</i>	<i>Exposure Category</i>	<i>Design Level Analysis</i>	<i>Ultimate Strength Analysis</i>
L-1	<i>High Consequence</i>	<i>Manned-Nonevacuated Unmanned</i>	<i>85% of lateral loading caused by 100-year environmental conditions</i> <i>Reserve Strength Rasio (RSR) ≥ 1,6</i>
L-3	<i>Low Consequence</i>	<i>Unmanned</i>	<i>50% of lateral loading caused by 100-year environmental conditions</i> <i>Reserve Strength Rasio (RSR) ≥ 0,8</i>

Sumber: API, 2007

2.2.13 Moda Kegagalan

Moda kegagalan ditentukan berdasarkan kontrol kapasitas dari kombinasi beban aksial dan momen lentur. Adapun kombinasi tersebut berdasarkan API RP 2A LRFD adalah sebagai berikut.

$$MK = 1 - \cos \left[\frac{\pi P}{2 P_n} \right] + \frac{\sqrt{M_y^2 + M_z^2}}{M_n} \leq 1,0 \quad (2.26)$$

dengan:

P : Axial load pada elemen member (Kips)

P_n : Ultimate axial capacity pada elemen member (Kips)

M_y : Bending moment pada elemen member arah sumbu-y (Kips in)

M_z : Bending moment pada elemen member arah sumbu-z (Kips in)

M_n : Bending moment capacity pada elemen member (Kips in)

Hasil kontrol dinilai dengan apabila nilai $MK \leq 1$ maka dianggap tidak menyebabkan kegagalan struktur, dan sebaliknya apabila hasil kontrol > 1 maka dianggap menyebabkan kegagalan struktur.

2.2.14 Analisis Keandalan

Keandalan (definisi umum): "Kemungkinan bahwa sistem, peralatan, atau komponen akan beroperasi dengan sukses untuk periode waktu yang ditentukan dalam kondisi operasi dan lingkungan yang dinyatakan". Prediksi reliabilitas adalah alat untuk menentukan sedini mungkin apakah alat akan cukup andal atau apakah perlu perbaikan lebih lanjut agar berfungsi dengan baik bagi perusahaan. Alasan paling jelas untuk melakukan prediksi keandalan adalah untuk menentukan apakah desain yang diusulkan akan memenuhi numerik, atau pernyataan lain yang setara,

persyaratan keandalan (Düpow & Blount, 1997). Keandalan sistem dihitung dengan persamaan berikut.

www.itk.ac.id

$$K = 1 - PoF \quad (2.27)$$

2.2.15 Simulasi Monte Carlo

Sebuah model atau sistem atau kondisi kehidupan nyata dikembangkan, dan model ini berisi variabel-variabel tertentu. Variabel ini memiliki kemungkinan nilai yang berbeda, yang diwakili oleh fungsi distribusi probabilitas dari nilai untuk setiap variabel. Simulasi Monte Carlo mensimulasikan sistem penuh berkali-kali (ratusan atau bahkan ribuan kali), setiap kali secara acak memilih nilai untuk setiap variabel dari distribusi probabilitasnya. Simulasi Monte Carlo pasti bisa menjadi alat terbaik manajer proyek untuk menganalisis risiko proyek. Ini adalah alat yang sangat kuat yang memungkinkan manajer proyek untuk memasukkan ketidakpastian dan risiko dalam rencana proyek mereka dan menetapkan harapan yang masuk akal pada proyek mereka, sehubungan dengan jadwal dan anggaran (Kwak & Ingall, 2009). Simulasi Monte Carlo adalah tahap lanjutan dalam kompleksitas analisis dan komprehensif. Ini menggunakan distribusi probabilitas dan terutama distribusi beta untuk mewakili variabel, dalam hal ini, durasi aktivitas (Adedokun dkk., 2013).

Berdasarkan (Doltsinis, 2012) prosedur simulasi Monte Carlo terdiri dari tiga langkah utama:

1. pembuatan n unit **sampling** untuk input;
2. solusi dari masalah deterministik utama untuk n varian masukan; dan
3. sintesis statistik dan evaluasi sampel keluaran.

Unsur utama dalam simulai Monte Carlo adalah nilai acak dari variabel dalam moda kegagalan. Nilai acak didapatkan dari rata-rata sampel dan standar deviasinya, kemudian dengan distribusi normal atau lognormal dicari nilai acak sebanyak 10, 100, 1.000, 10.000, 100.000 atau 1.000.000. Kemudian rata-rata dari nilai acak hasil distribusi tersebut dimasukkan ke fungsi peluang kegagalan.

www.itk.ac.id

2.2.16 Peluang Kegagalan (*Probability of Failure*)

Analisis keandalan struktur digunakan untuk mengevaluasi kegagalan suatu struktur terkait dengan probabilitas sistem beban gaya. Informasi parameter statistik rata-rata, jenis distribusi, dan ketidakpastian variabel acak diperlukan untuk menentukan probabilitas kegagalan struktur. Kerusakan struktur terjadi ketika efek beban melebihi tahanan struktur, yang mengindikasikan bahwa PoF, P_f , dapat dirumuskan sebagai:

$$P_f = P \{g(R, Q) < 0\} \quad (2.28)$$

dimana R adalah tahanan atau kapasitas struktur platform dan Q adalah efek beban yang dapat menyebabkan kegagalan struktur. Menurut Tawekal & Tawekal (2018) kinerja atau fungsi kegagalan, $g(R, Q)$, didefinisikan sebagai:

$$g(R, Q) = R - Q \quad (2.29)$$

Misal peluang kegagalan adalah $F(x)$. Ditentukan parameter dari fungsi $F(x)$. Misal apabila $F(x) < 0$, maka dianggap gagal. Sebaliknya, apabila $F(x) > 0$ maka dianggap berhasil. Jika jumlah sampel tersebut adalah N, maka dicatat jumlah kejadian $FK(x) < 0$ sejumlah n kali. Dengan demikian maka peluang kegagalan sistem/komponen yang sedang ditinjau adalah perbandingan antara jumlah kejadian gagal dengan jumlah kejadian yang dilakukan. Secara matematis, peluang kegagalan dituliskan sebagai berikut.

$$P_g = \frac{n}{N} \quad (2.30)$$

dengan:

P_g : Peluang gagal

n : Banyaknya kejadian gagal

N : Jumlah sampel

Kode Det Norske Veritas (2010) memberikan skala peringkat yang dapat digunakan untuk menentukan penilaian PoF secara kuantitatif dan kualitatif.

Tabel 2.6 PoF Ranking Scale

Tabel 4-1 Probability of failure description			
Cat.	Annual failure probability		Description
	Quantitative	Qualitative	
A	$> 10^{-2}$	Failure expected	In a small population*, one or more failures can be expected annually. Failure has occurred several times a year in location.

Tabel 4-1 Probability of failure description

Cat.	Annual failure probability		Description
	Quantitative	Qualitative	
B	10^{-3} to 10^{-2}	High	In a large population**, one or more failures can be expected annually. Failure has occurred several times a year in operating company.
C	10^{-4} to 10^{-3}	Medium	Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising Failure has occurred in operating company.
D	10^{-5} to 10^{-4}	Low	Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising Failure has occurred in industry.
E	$< 10^{-5}$	Negligible	Failure is not expected. Failure has not occurred in industry.

Notes:
 * Small population = 20 to 50 components.
 ** Large population = More than 50 components

Sumber: Det Norske Veritas, 2010

Pada penelitian ini analisis probabilitas kegagalan dilakukan pada struktur yang memiliki member plastis namun tidak seluruhnya. Member plastis yang dimaksud merupakan member yang mengalami tegangan di atas tegangan leleh. Pertimbangan yang diambil yaitu ketika tegangan yang terjadi pada member telah melewati titik leleh atau tegangan leleh maka member tersebut sudah memiliki potensi kegagalan.

2.2.17 Konsekuensi Kegagalan (*Consequence of Failure*)

Konsekuensi kegagalan dievaluasi sebagai hasil dari kegagalan mengingat kegagalan tersebut akan terjadi. Ini didefinisikan untuk tiga jenis konsekuensi: Keselamatan Personil, Lingkungan dan Ekonomi. Berikut ini skala peringkat CoF menurut kode Det Norske Veritas, 2010.

Tabel 2.7 CoF Ranking Scale

Tabel 4-2 Consequence of failure qualitative ranking user

Rank	CoF Personal Safety	CoF Environment	CoF Economic
A	Tidak signifikan	Tidak signifikan	Tidak signifikan
B	Luka ringan	Ringan	Ringan
C	Luka berat	Lokal	Lokal
D	Kematian	Besar	Besar
E	Banyak kematian	Sangat besar	Sangat besar

Sumber: Det Norske Veritas, 2010

Berikut ini deskripsi dari CoF untuk tiap kategori.

www.itk.ac.id

Tabel 2.8 Deskripsi CoF Aspek *Personal Safety*

Rank	Consequence of failure	
	Personal Safety	Deskripsi
A	Tidak signifikan	Tidak ada yang terluka (tidak ada kejadian terhadap pekerja)
B	Luka ringan	Terjadi sedikit luka (pekerja tidak hadir < 2 hari karena luka)
C	Luka berat	Terjadi banyak luka (pekerja tidak hadir > 2 hari karena luka)
D	Kematian	Terjadi kematian (meninggal 1 orang pekerja)
E	Banyak kematian	Terjadi banyak kematian (banyak pekerja yang meninggal)

Sumber: Det Norske Veritas, 2010

Tabel 2.9 Deskripsi CoF Aspek *Environment*

Rank	Consequence of failure	
	Environment	Deskripsi
A	Tidak signifikan	Tidak terjadi pencemaran lingkungan
B	Ringan	Pencemaran kecil (dapat dinetralisir dengan mudah)
C	Lokal	Pencemaran sekitar (butuh waktu 1 minggu/orang untuk menetralisir)
D	Besar	Pencemaran besar (pencemaran hingga pada ekosistem sehingga sulit untuk menetralisir)
E	Sangat besar	Terjadi pencemaran sangat besar (pencemaran pada ekosistem pada tahap tidak dapat dinetralisir)

Sumber: Det Norske Veritas, 2010

Tabel 2.10 Deskripsi CoF Aspek *Economic*

Rank	Consequence of failure	
	Economic	Deskripsi
A	Tidak signifikan	Tidak terjadi kerugian apapun
B	Ringan	Kerugian kecil (kerugian \leq € 10.000 atau penghentian selama satu kali operasi)
C	Lokal	Kerugian sedang (kerugian \leq € 100.000 atau penghentian selama 4 kali operasi)
D	Besar	Kerugian besar (kerugian \leq € 1.000.000 atau penghentian selama 1 bulan)
E	Sangat besar	Kerugian sangat besar (kerugian \leq € 10.000.000 atau penghentian selama 1 tahun)

Sumber: Det Norske Veritas, 2010

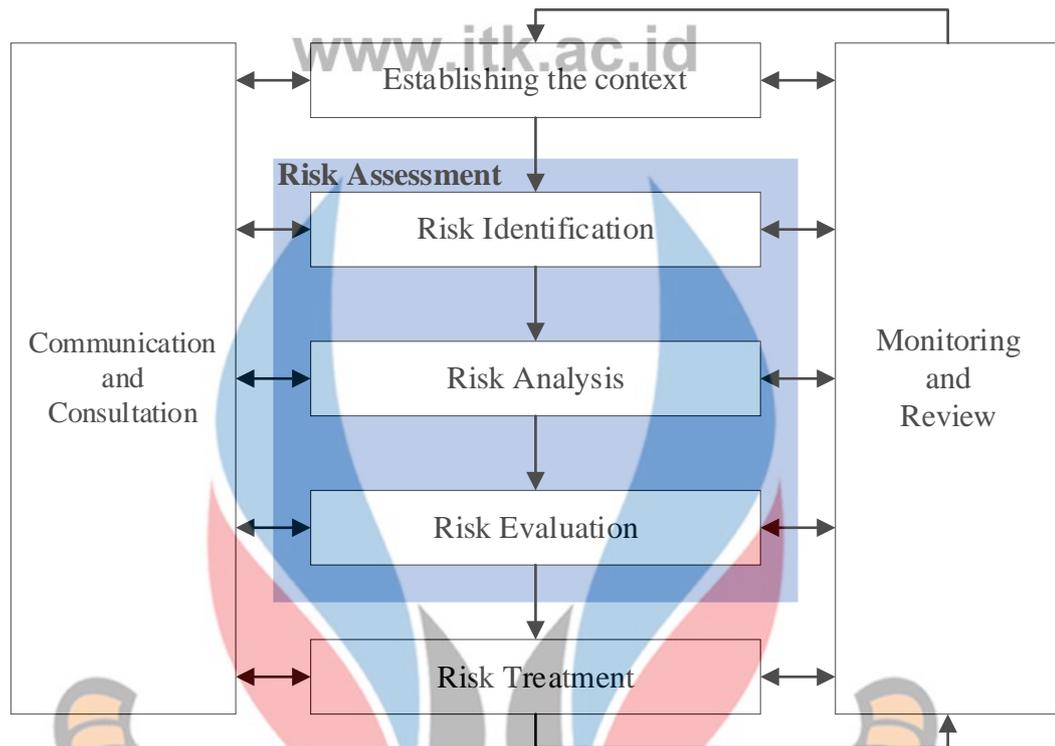
2.2.18 Analisis Risiko (*Risk Analysis*)

Proses manajemen risiko bertujuan untuk mengidentifikasi dan menilai risiko agar dapat dipahami dengan jelas dan dikelola secara efektif. Langkah kunci yang menghubungkan identifikasi/penilaian risiko dengan manajemennya adalah pemahaman. Namun, ini adalah area di mana manajer atau praktisi risiko mendapat bantuan paling sedikit dari pedoman atau standar praktik saat ini (Hillson, 2003).

Penilaian risiko mencakup identifikasi bahaya dan estimasi probabilitas serta konsekuensi yang diharapkan dari bahaya yang teridentifikasi (Salla Lind & Nenonen, 2008). Penilaian risiko secara tradisional didasarkan pada identifikasi bahaya di tempat kerja (S. Lind dkk., 2008). Menurut (Booty, 2009), penilaian risiko bukan hanya alat untuk menghitung probabilitas dan konsekuensi yang diharapkan dari suatu bahaya; ini juga merupakan fase di mana tindakan yang tepat untuk meminimalkan kemungkinan terjadinya risiko ditentukan dan biaya alokasi sumber daya untuk mengelola dampak bahaya, jika terjadi, ditetapkan (Wijeratne dkk., 2014). Fungsi analisis risiko adalah untuk menentukan pengaruh faktor risiko pada sistem secara keseluruhan. Peristiwa risiko membentuk efek kumulatif pada satu atau lebih aspek proyek dan lebih mudah untuk mengurangi peristiwa risiko jika mereka dapat dikelompokkan dalam kelompok dan lebih memilih menangani tingkat yang lebih tinggi dalam jangka panjang daripada berfokus pada satu peristiwa risiko tertentu, dalam hal ini proyek cenderung dikelola mikro. Beberapa teknik dalam literatur yang saat ini diterapkan untuk analisis proyek juga dapat diterapkan untuk analisis risiko (A. Ahmed dkk., 2007).

Penelitian yang dilakukan ini dibatasi hanya pada analisis risiko. Analisis risiko merupakan bagian tahapan dalam penilaian risiko serta dalam proses manajemen risiko. Berikut ini letak analisis risiko dalam proses manajemen risiko berdasarkan ISO 31000:2009.





Gambar 2.12 Risk Management Process
Sumber: ISO, 2009

Analisis risiko melibatkan pengembangan pemahaman tentang risiko. Analisis risiko memberikan masukan untuk evaluasi risiko dan keputusan tentang apakah risiko perlu diperlakukan, dan pada strategi dan metode perawatan risiko yang paling tepat. Analisis risiko juga dapat memberikan masukan untuk membuat keputusan di mana pilihan harus dibuat dan opsinya melibatkan berbagai jenis dan tingkat risiko.

Secara umum, kejadian tak terduga terjadi dalam proyek dan dapat mengakibatkan hasil positif atau negatif yang merupakan penyimpangan dari rencana proyek. Hasil positif adalah peluang sedangkan hasil negatif menghasilkan kerugian. Risiko berfokus pada penghindaran kerugian dari kejadian yang tidak terduga (Williams, 1995). Menurut (Q. Ahmed dkk., 2014) risiko dinyatakan sebagai fungsi dari frekuensi atau probabilitas kejadian dan konsekuensi dari kejadian, ditunjukkan sebagai:

$$Risk = Probability\ of\ Failure \times Consequence \quad (2.31)$$

$$R = P \times C \quad (2.32)$$

Penelitian ini menganalisis risiko menggunakan alat matriks risiko berdasarkan standar DNV G101. Risiko yang diidentifikasi meliputi keselamatan, lingkungan, dan bisnis, telah diplot dalam matriks. Analisis risiko dilakukan berdasarkan peluang kegagalan dan penilaian konsekuensi. Berdasarkan penelitian Tawekal & Tawekal (2018) konsekuensi kegagalan dihitung secara kualitatif tetapi kriteria tersebut dimodifikasi sebagai penyesuaian dengan penambahan dan kombinasi informasi produksi dan keandalan konstruksi yang dianalisis. Sehingga risiko untuk setiap platform dapat ditentukan tanpa membandingkan parameter kegagalan berdasarkan justifikasi ahli.

2.2.19 Matriks Risiko

Menurut (Dumbravă & Vladut-Severian, 2013), menilai faktor risiko utama disarankan menggunakan metode evaluasi kuantitatif yang memberikan perkiraan akurat tentang kemungkinan konsekuensi. Metode perhitungan dapat dilakukan dengan metode kuantitatif, kualitatif, dan semi-kuantitatif. Penilaian faktor risiko adalah pendekatan dua dimensi: di satu sisi, dari kejadian ketidakpastian (probabilitas) dan di sisi lain, dari sudut pandang efek hasil (dampak) (A. Kassem dkk., 2019). Pada kenyataannya, ketika faktor risiko berdampak tinggi, sedangkan probabilitas kemunculannya sangat rendah, jarang diperhitungkan bahkan ada yang diabaikan. Oleh karena itu terletak pentingnya analisis dalam matriks probabilitas dan dampak karena bergantung pada keseimbangan antara dampak dan probabilitas kejadian untuk risiko dan memberikan gambaran yang jelas tentang semua risiko menurut prioritas yang berpengaruh pada keberhasilan proyek (A. Kassem dkk., 2019).

Penelitian ini menyajikan risiko dalam bentuk matriks. Ini memungkinkan kontribusi relatif dari kedua faktor untuk dilihat (*Consequence of Failure* dan *Probability of Failure*). Matriks risiko memberikan gambaran statis dari analisis faktor risiko. Berikut ini adalah matriks risiko yang digunakan berdasarkan standar analisis risiko untuk struktur yang dibangun lepas pantai, Det Norske Veritas (2010), yang diadopsi dari ISO 2000.

PoF Ranking	PoF Description	A	B	C	D	E
5	{1} In a small population, one or more failures can be expected annually. {2} Failure has occurred several times a year in the location.	YELLOW	RED	RED	RED	RED
4	{1} In a large population, one or more failures can be expected annually. {2} Failure has occurred several times a year in operating company.	YELLOW	YELLOW	RED	RED	RED
3	{1} Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a small number of components. {2} Failure has occurred in the operating company.	GREEN	YELLOW	YELLOW	RED	RED
2	{1} Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a large number of components. {2} Failure has occurred in industry.	GREEN	GREEN	YELLOW	YELLOW	RED
1	{1} Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a large number of components. {2} Failure has occurred in industry.	GREEN	GREEN	GREEN	YELLOW	YELLOW
CoF Types	Safety	No Injury	Minor Injury / Absence < 2 days	Major Injury / Absence > 2 days	Single Fatality	Multiple Fatalities
	Environment	No pollution	Minor local effect. Can be cleaned up easily.	Significant local effect. Will take more than 1 man week to remove.	Pollution has significant effect upon the surrounding ecosystem (e.g. population of birds or fish).	Pollution that can cause massive and irreparable damage to ecosystem.
	Business	No downtime or asset damage	< € 10,000 damage or downtime < one shift	< € 100,000 damage or downtime < 4 shifts	< € 1,000,000 damage or downtime < one month	< € 10,000,000 damage or downtime one year
CoF Ranking		A	B	C	D	E

Gambar 2.13 Matriks Risiko ISO 2000
Sumber: Det Norske Veritas, 2010

Matriks risiko menunjukkan tiga tingkat risiko, yang diidentifikasi melalui warna:

1. Hijau - Risiko rendah - Risiko dapat diterima. Umumnya, tindakan perlu diambil untuk memastikan bahwa risiko tetap ada di wilayah ini; biasanya ini melibatkan keliling operator, pembersihan, inspeksi visual umum (GVI) untuk memastikan bahwa tidak ada perubahan dalam kondisi peralatan.
2. Kuning - Risiko sedang - Risiko dapat diterima. Tindakan (seperti NDT, uji fungsional, dan aktivitas pemantauan kondisi lainnya) harus diambil untuk mengukur tingkat degradasi sehingga tindakan dapat diambil untuk memastikan risiko tidak meningkat ke wilayah berisiko tinggi merah.
3. Merah - Risiko tinggi - Tingkat risiko tidak dapat diterima. Tindakan harus diambil untuk mengurangi probabilitas, konsekuensi atau keduanya, sehingga risiko berada dalam wilayah yang dapat diterima.

2.2.20 Penelitian Terdahulu

Berikut ini adalah hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang dilakukan.

Tabel 2.11 Kajian Literatur Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Tahun Publikasi	Hasil
1	F. Tahmasebinia	2008	<p>Judul: <i>Finite Element Simulation of Reinforced Concrete Structures Under Impact Accident</i></p> <p>Model Penelitian: FEM (<i>Finite Element Method</i>)</p> <p>Temuan: FEM dapat membuat estimasi untuk menentukan moda peluang kegagalan beton yang mengalami beban benturan (<i>impact load</i>).</p> <p>Hasil: Meningkatkan pembagian jumlah elemen pada simulasi akan meningkatkan akurasi hasil.</p>
2	Jui-Sheng Chou dan Wan-Ting Tu	2011	<p>Judul: <i>Failure Analysis and Risk Management of a Collapsed Large Wind Turbine Tower</i></p> <p>Model Penelitian: FEM (<i>Finite Element Method</i>), <i>case study</i></p> <p>Temuan: Penelitian ini mengidentifikasi angin kencang, kekuatan baut yang tidak mencukupi, dan kontrol kualitas baut yang buruk selama konstruksi sebagai kemungkinan penyebab runtuhnya menara.</p> <p>Hasil: Dengan menganalisis prosedur konstruksi, spesifikasi desain dan sistem manajerial, tingkat keparahan kegagalan serupa atau kerusakannya di masa depan dapat diminimalkan secara efektif.</p>
3	Bunga Septya Winata Sari	2015	<p>Judul: Analisis Kekuatan <i>Ultimate</i> Berbasis Resiko pada Struktur <i>Jacket Wellhead Tripod Platform</i> Akibat Terjadinya <i>Scouring</i></p> <p>Model Penelitian: FEM (<i>Finite Element Method</i>), <i>Ultimate strength analysis</i>, <i>Risk matrix</i></p> <p>Temuan: Probabilitas kegagalan struktur didapatkan dengan moda kegagalan dan simulasi Monte Carlo. Identifikasi 3 kategori konsekuensi yaitu keselamatan (<i>human safety</i>), lingkungan (<i>environment</i>), dan bisnis (<i>bussiness</i>).</p> <p>Hasil: Berbagai level risiko pada matriks risiko dengan variabel <i>scouring</i>. Didapatkan cadangan kekuatan struktur (<i>Reserve Strength Ratio</i>) pada kondisi <i>scouring</i> dan <i>non-scouring</i>.</p>
4	Andrew John, Zaili Yang, Ramin Riahi, dan Jin Wang	2016	<p>Judul: <i>A Risk Assessment Approach to Improve The Resilience of A Seaport System Using Bayesian Networks</i></p> <p>Model Penelitian: <i>Bayesian Belief Networks</i>, <i>Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)</i></p> <p>Temuan: Implementasi metodologi yang diusulkan menunjukkan bahwa pengembangan model memerlukan pertimbangan yang cermat dari masalah organisasi yang relevan, faktor teknis, operasional,</p>

No	Penulis	Tahun Publikasi	Hasil
			keamanan dalam pemodelan kolaboratif kelompok, dan sintesis kombinasi data kualitatif dan kuantitatif ke dalam kerangka model tunggal. Hasil: Model yang diusulkan dapat membantu para ilmuwan dan pembuat keputusan untuk memahami proses operasional yang kompleks untuk mengembangkan strategi yang diperlukan yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan sistem mereka dalam lingkungan yang dinamis.
5	José Luis Fuentes-Bargues, M ^a Carmen González-Cruz, Cristina González-Gaya dan M ^a Piedad Baixauli-Pérez	2017	Judul: <i>Risk analysis of a fuel storage terminal using HAZOP and FTA</i> Model Penelitian: HAZOP (<i>HAZard and OPerability analysis</i>), FTA (<i>Fault Tree Analysis</i>) Temuan: Analisis HAZOP menunjukkan bahwa area bongkar muat adalah area yang paling sensitif dari pabrik dan di mana bahaya yang paling signifikan adalah tumpahan bahan bakar. Analisis FTA menunjukkan bahwa kejadian yang paling mungkin adalah tumpahan bahan bakar di area pemuatan truk tangki. Hasil: Hasil menunjukkan pentingnya faktor manusia dalam semua urutan kemungkinan kecelakaan, sehingga harus wajib untuk meningkatkan pelatihan staf tanaman.
6	Petros L. Pallis	2017	Judul: <i>Port Risk Management in Container Terminals</i> Model Penelitian: PRM (<i>Port Risk Management</i>), FSA (<i>Formal Safety Assessment</i>) framework, case study Temuan: Metodologi PRM, telah dikembangkan untuk memodelkan semua risiko pelabuhan yang mungkin, dengan mempertimbangkan berbagai faktor dan pengaruh bersama mereka. Hasil: Metodologi yang diusulkan membangun struktur dan fungsionalnya sesuai dengan <i>Formal Safety Assessment</i> (FSA) dan diadaptasi melalui penilaian ahli pelabuhan dan literatur yang ada untuk menyesuaikan penerapannya dalam domain pelabuhan.
7	Sunaryo dan Mochamad Aditya Hamka	2017	Judul: <i>Safety Risks Assessment on Container Terminal Using Hazard Identification and Risk Assessment and Fault Tree Analysis Methods</i> Model Penelitian: HIRA (<i>Hazard Identification and Risk Assessment</i>), FTA (<i>Fault Tree Analysis</i>), Risk matrix Temuan: 5 potensi risiko yang diidentifikasi yaitu slip pekerja, perjalanan atau jatuh; truk terkena <i>quay crane</i> , pekerja terkena truk, pekerja terkena <i>hatch</i> yang jatuh atau kontainer, dan pekerja terjebak di antara kontainer.

No	Penulis	Tahun Publikasi	Hasil
			Hasil: Penyebab utama potensi kecelakaan adalah kesalahan manusia, pemeliharaan peralatan, dan lingkungan.
8	Hadi Faghihmaleki, Elmira Khaksar Najafi dan Ali Hooshmand Aini	2017	<p>Judul: <i>Seismic Rehabilitation Effect in a Steel Moment Frame Subjected to Two Critical Loads</i></p> <p>Model Penelitian: FEM (<i>Finite Element Method</i>), <i>Limit state analysis</i></p> <p>Temuan: Tingkat probabilitas kegagalan struktur diperoleh untuk <i>frame</i> sesaat sebelum dan sesudah memodifikasi dengan penyangga baja konvergen (CBF). Tujuannya untuk menyelidiki apakah skema perbaikan seismik dapat mengurangi risiko runtuhnya peristiwa kritis yang berbeda atau tidak.</p> <p>Hasil: Probabilitas keruntuhan progresif dihitung menggunakan simulasi Monte Carlo. Probabilitas keruntuhan yang disebabkan oleh peristiwa gempa bumi dapat dihitung dengan mengintegrasikan kerapuhan seismik struktur dan bahaya seismik untuk situs.</p>
9	Son Nguyen dan Hai Yan Wang	2018	<p>Judul: <i>Prioritizing Operational Risks in Container Shipping Systems by Using Cognitive Assessment Technique</i></p> <p>Model Penelitian: FRBN (<i>Fuzzy Rules Bayesian Network</i>), FMEA (<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>)</p> <p>Temuan: Hasil dari studi kasus dengan kepuasan semua asumsi yang telah ditentukan membuktikan kelayakan dan menggambarkan fungsionalitas dari penilaian risiko yang diusulkan dan teknik prioritas.</p> <p>Hasil: Mekanisme evaluasi risiko yang diusulkan dan daftar CSOR yang diidentifikasi dapat bermanfaat dalam manajemen sistem, pengambilan keputusan, dan kinerja keandalan.</p>
10	Jessica Rikanti Tawekal dan Ricky Lukman Tawekal	2018	<p>Judul: <i>Risk Reliability-Based Underwater Inspection Method for Jacket Platforms in Indonesia</i></p> <p>Model Penelitian: RReBUI (<i>Risk Reliability-Based Underwater Inspection</i>), FEM (<i>Finite Element Method</i>), <i>Risk matrix</i></p> <p>Temuan: Hasil analisis RReBUI menunjukkan bahwa termasuk karakteristik lingkungan dalam penilaian risiko menghasilkan rencana interval inspeksi yang lebih dapat diandalkan.</p> <p>Hasil: Metode RReBUI menentukan risiko setiap platform secara kuantitatif tanpa harus membandingkan parameter kegagalan berdasarkan pendapat ahli. Penerapan RReBUI untuk platform <i>jacket</i> belum pernah dikembangkan di Indonesia.</p>
11	Hani Alyami, Zaili Yang, Ramin Riahi,	2019	<p>Judul: <i>Advanced Uncertainty Modelling for Container Port Risk Analysis</i></p>

No	Penulis	Tahun Publikasi	Hasil
	Stephen Bonsall, dan Jin Wang		<p>Model Penelitian: FRBN (<i>Fuzzy Rule-Based Bayesian Network</i>), ER (<i>Evidential Reasoning</i>)</p> <p>Temuan: Metode analisis sensitivitas baru dikembangkan dan dilakukan untuk memberi peringkat pada <i>hazardous events</i> (Hes) dengan mempertimbangkan estimasi risiko spesifik (lokal) dan <i>Risk Influence</i> (RI) ke sistem keselamatan pelabuhan (global).</p> <p>Hasil: Metode yang diusulkan mampu menyajikan hasil risiko yang sensitif dan fleksibel dalam situasi nyata dengan menyederhanakan deskripsi informasi kegagalan, meningkatkan akurasi dan visibilitas FMEA, dan menyediakan alat evaluasi risiko yang kuat untuk manajemen keselamatan pelabuhan.</p>
12	Debrina Puspita Andriani, Vina Dwi Novianti, Rheza Adnandy, dan Qurrota A'yunin	2019	<p>Judul: <i>Quantitative Risk Modelling of Occupational Safety in Green Port</i></p> <p>Model Penelitian: <i>Literature review</i>, FMEA (<i>Failure Mode Effect Analysis</i>)</p> <p>Temuan: Pada tahap identifikasi risiko, terdapat 19 risiko kecelakaan kerja di <i>green-port</i>, terutama di dermaga kontainer.</p> <p>Hasil: Dengan salah satu pendekatan risiko kuantitatif, <i>fuzzy logic</i> dan FMEA, diperoleh prioritas kecelakaan kerja dengan risiko tertinggi adalah kontainer gagal diangkat selama proses bongkar muat, sementara risiko terendah adalah lampu jembatan rusak.</p>
13	Francis Guédé	2019	<p>Judul: <i>Risk-Based Structural Integrity Management for Offshore Jacket Platforms</i></p> <p>Model Penelitian: <i>Global Risk Assessment, Local Risk Assessment</i></p> <p>Temuan: Metode penilaian risiko terdiri dari tingkat penilaian semi-kuantitatif dan kuantitatif, yang dapat dipilih dalam hal data platform yang tersedia dan tingkat akurasi penilaian yang diperlukan. Pendekatan penilaian yang digunakan untuk penilaian risiko semi-kuantitatif sederhana dan mencakup semua pengemudi yang mempengaruhi kerentanan kegagalan platform.</p> <p>Hasil: Metode diterapkan pada 10 platform dan didapatkan matriks risiko pada tiap platform dengan data tahun dibangun, jumlah kaki dan konfigurasi pengaku, fungsi dan level layanan.</p>
14	Sassan Eshghi dan Mohammad Mahdi Maddah	2019	<p>Judul: <i>A Study on Influencing Factors for Simplified Seismic Collapse Risk Assessment of Steel Moment-Resisting Frames with Intermediate Ductility</i></p> <p>Model Penelitian: SPO2IDA (<i>Static Pushover 2 Incremental Dynamic Analysis</i>)</p> <p>Temuan: Memperkirakan parameter risiko keruntuhan menunjukkan bahwa metode yang</p>

No	Penulis	Tahun Publikasi	Hasil
			digunakan disederhanakan menyajikan akurasi yang sesuai dan dapat menjadi pendekatan yang dapat diterima untuk runtuhnya penilaian risiko MRF baja menengah. Hasil: Hubungan yang dimodifikasi dikembangkan untuk mempertimbangkan efek kerusakan pada parameter ESDoF yang digunakan dalam proses penilaian risiko keruntuhan. Menyajikan <i>framework</i> untuk metodologi yang digunakan.
<p><i>Sumber: Alyami dkk., 2019; Andriani dkk., 2019; Chou & Tu, 2011; Eshghi & Maddah, 2019; Faghihmaleki dkk., 2017; Fuentes-Bargues dkk., 2017; Guédé, 2019; John dkk., 2016; Nguyen & Wang, 2018; Pallis, 2017; Sari, 2015; Sunaryo & Hamka, 2017; Tahmasebinia, 2008; Tawekal & Tawekal, 2018</i></p>			

Berdasarkan kajian literatur dari penelitian terdahulu tersebut, maka pada penelitian ini menggabungkan tiga kriteria yaitu probabilitas-dampak, beban *impact*, dan *risk rating*. Kemudian dengan pendekatan tiga kriteria itu, dilakukan pengembangan metode untuk penyelesaian permasalahan serta meningkatkan akurasi dalam probabilitas terjadinya risiko menggunakan simulasi Monte Carlo. Berikut ini posisi penelitian terhadap penelitian terdahulu yang diajikan dalam bentuk tabel.

Tabel 2.12 Letak Penelitian Terhadap Penelitian Terdahulu

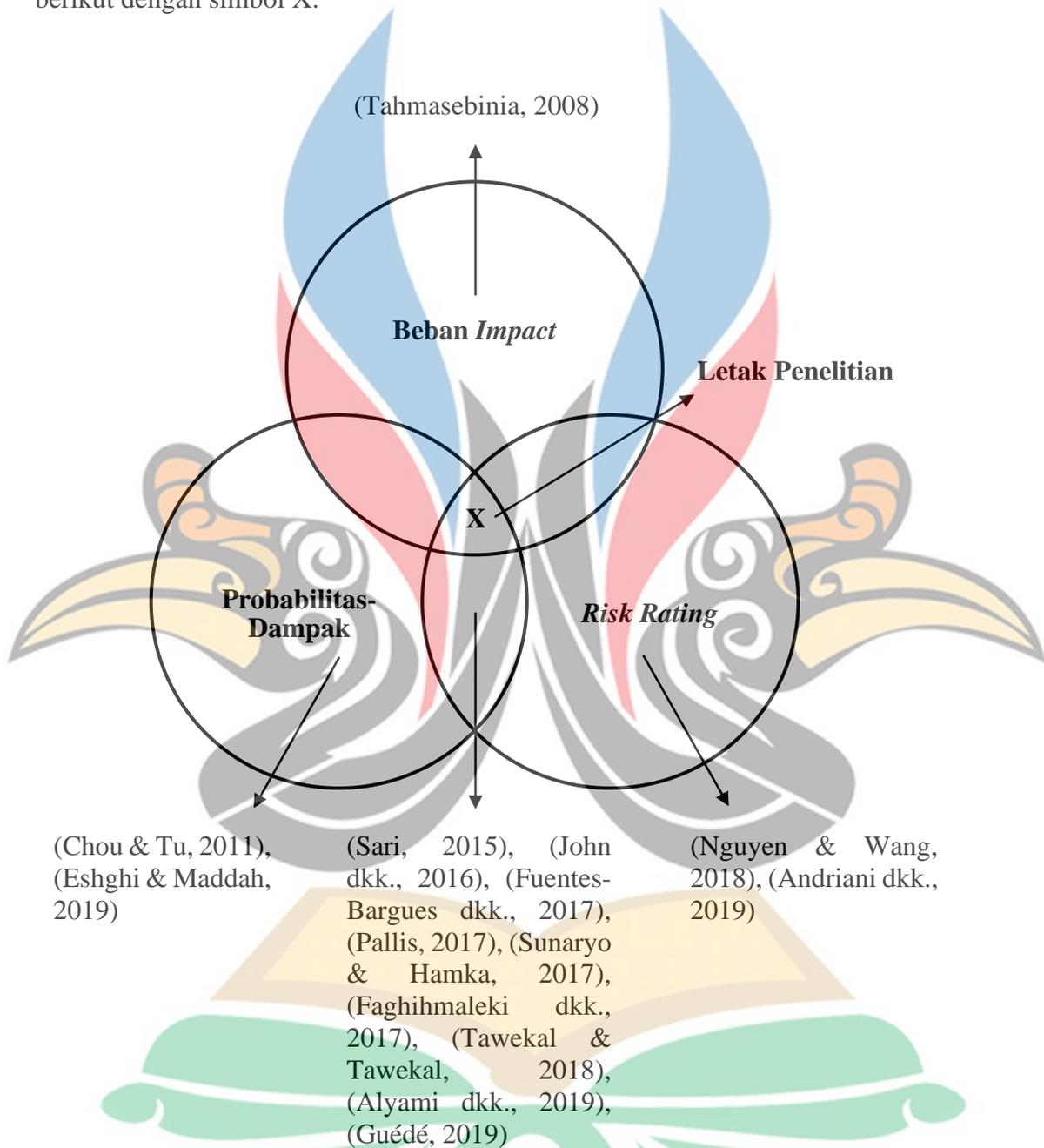
Sumber	Probabilitas-Dampak	Beban Impact	Risk Rating	Model Penelitian
(Tahmasebinia, 2008)	-	✓	-	FEM
(Chou & Tu, 2011)	✓	-	-	FEM, <i>case study</i>
(Sari, 2015)	✓	-	✓	FEM, <i>Ultimate strength analysis, Risk matrix</i>
(John dkk., 2016)	✓	-	✓	<i>Bayesian Belief Networks, Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)</i>
(Fuentes-Bargues dkk., 2017)	✓	-	✓	HAZOP (<i>HAZard and OPerability analysis</i>) FTA (<i>Fault Tree Analysis</i>)
(Pallis, 2017)	✓	-	✓	PRM (<i>Port Risk Management</i>), FSA (<i>Formal Safety</i>)

Sumber	Probabilitas-Dampak	Beban Impact	Risk Rating	Model Penelitian
				Assessment) framework, case study
(Sunaryo & Hamka, 2017)	✓	-	✓	HIRA (Hazard Identification and Risk Assessment), FTA (Fault Tree Analysis), dan Risk matrix
(Faghihmaleki dkk., 2017)	✓	-	✓	FEM, Limit state analysis
(Nguyen & Wang, 2018)	-	-	✓	FRBN (Fuzzy Rules Bayesian Network), FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)
(Tawekal & Tawekal, 2018)	✓	-	✓	RReBUI (Risk Reliability-Based Underwater Inspection), FEM, Risk matrix
(Alyami dkk., 2019)	✓	-	✓	FRBN (Fuzzy Rule-Based Bayesian Network), ER (Evidential Reasoning)
(Andriani dkk., 2019)	-	-	✓	Literature review, FMEA (Failure Mode Effect Analysis)
(Guédé, 2019)	✓	-	✓	FEM (Finite Element Method), Global Risk Assessment, Local Risk Assessment
(Eshghi & Maddah, 2019)	✓	-	-	FEM (Finite Element Method), SPO2IDA (Static Pushover 2 Incremental Dynamic Analysis)
Letak Penelitian	✓	✓	✓	Risk-Based Ultimate Capacity Analysis

Sumber: Penulis, 2021

Berdasarkan letak penelitian yang disintesis dari ketiga kriteria yang telah ditentukan, pada penelitian ini akan dilakukan analisis kapasitas dengan meningkatkan beban dari hasil perhitungan (*gradually load*) hingga mendapatkan member yang mengalami *overstressed* atau tegangan berlebih, kemudian dihitung sebagai probabilitas kegagalan. Selanjutnya, dengan menilai konsekuensi

kemudian melakukan penilaian level risiko lebih detail dengan memberikan urutan probabilitasnya (*risk rating*). Hasil analisis dan sintesis kajian literatur tersebut digambarkan sebagai irisan dari ketiga kriteria, ditunjukkan pada Gambar 2.14 berikut dengan simbol X.



Gambar 2.14 Letak Penelitian Terhadap Penelitian Terdahulu
 Sumber: Penulis, 2021