

ARAH PERGERAKAN KAPAL DENGAN SUDUT KEDATANGAN GELOMBANG YANG MENGHASILKAN AMPLITUDO *ROLLING* MINIMUM

The Direction of Ship Movement at The Arrival Angle of Which Resulted in A Minimum Rolling Amplitude

Yopi Novita^{1*}, Yoga Nugraha², Prihatin Ika Wahyuningrum¹, Tri Nanda
Citra Bangun¹, Dwi Putra Yuwandana¹

¹ Departemen Teknologi dan Manajemen Perikanan Tangkap, Fakultas Perikanan
dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Dramaga, Bogor, Jawa Barat

² PT. Rantai Pasok Teknologi, Jakarta Selatan, Jakarta

*Corresponding author, e-mail : yopi_novita@apps.ipb.ac.id

Diterima : 02 Juni 2023 / Disetujui : 24 Januari 2024

ABSTRACT

Fishing boats have different shapes and size. Fishing boats in Puger Coastal Fishing Port are dominated by small vessels <5 GT. The purpose of this research is firstly, to calculate rolling amplitude minimum of the ship, based on the variation of wave direction towards ship movement. Secondly, to recommend the save direction of the ships respect to the angle of the wave. This study was carried out to a ship made of woods with dimention $l \times b \times d$ is $12 \times 1.3 \times 1$ m. The research method used in this research was simulation with variations of encounter angle when ship out the fishing port are 90° , 135° , 150° and 165° . While the ship returned to the fishing port the variations were 15° , 30° , 45° and 90° . Based on the result, the angles that produced the minimum rolling amplitude when the ship goes in and out of the port were 165° and 15° with rolling amplitude 8.012° and 12.287° . The recommendation of this research is the safest angle when east season for the ships when entry or exit the fishing port is 165° and 15° .

Keywords: *accident, encounter angle, puger coastal fishing port, rolling amplitude, variation angel*

ABSTRAK

Kapal perikanan memiliki bentuk dan ukuran yang berbeda. Kapal perikanan di Pelabuhan Perikanan Pantai Puger didominasi oleh kapal-kapal berukuran kecil yang berukuran <5 GT. Tujuan penelitian ini adalah menghitung besar amplitudo rolling minimum berdasarkan variasi arah kedatangan gelombang terhadap arah pergerakan kapal dan merekomendasikan arah keberangkatan kapal dan arah kepulangan kapal terhadap sudut kedatangan gelombang yang aman. Penelitian dilakukan terhadap kapal jukung berukuran $p \times l \times t$ yaitu $12 \times 1,3 \times 1$ m berbahan kayu. Metode penelitian yang digunakan adalah simulasi dengan variasi sudut encounter saat kapal keluar adalah 90° , 135° , 150° dan 165° , sedangkan variasi sudut encounter saat kapal masuk adalah 15° , 30° , 45° dan 90° . Berdasarkan hasil penelitian, sudut yang menghasilkan amplitudo rolling minimum pada saat kapal keluar dan masuk pelabuhan yaitu sudut 165° dan 15° dengan nilai amplitudo rolling sebesar $8,012^\circ$ dan $12,287^\circ$. Rekomendasi dari penelitian ini adalah pada saat musim timur, kapal keluar dan masuk pelabuhan dengan sudut yang paling aman berhadapan dengan gelombang secara berurut adalah sudut 165° dan 15° .

Kata kunci: *amplitudo rolling, kecelakaan, pelabuhan perikanan pantai puger, sudut encounter, variasi sudut*

PENDAHULUAN

Kapal perikanan memiliki bentuk dan ukuran yang berbeda. Kapal perikanan di Indonesia didominasi oleh kapal skala kecil berukuran <5 GT (*Gross Ton*) (Suwardjo *et al.* 2010). Pelabuhan Pelabuhan Perikanan Pantai (PPP) Puger, Kabupaten Jember, Jawa Timur merupakan salah satu pelabuhan di Indonesia yang didominasi oleh kapal berukuran kecil. Jumlah kapal yang berukuran <5 GT di PPP Puger pada tahun 2019 mencapai 2.237 unit, ukuran 6-10 GT berjumlah 364 unit dan kapal berukuran 11-20 GT berjumlah 484 unit. Kasus kecelakaan kapal seringkali terjadi pada kapal skala kecil, salah satunya kasus kecelakaan kapal nelayan di PPP Puger, Kabupaten Jember, Jawa Timur.

Akses keluar masuk PPP Puger yang melewati celah sempit (Pantai Plawangan) serta gelombang yang cukup tinggi menyebabkan kasus kecelakaan kapal sering terjadi. Total terdapat 26 kasus kecelakaan saat berangkat melaut serta 35 kasus kecelakaan saat pulang melaut selama periode tahun 2014-2019. Kecelakaan banyak terjadi pada kapal berukuran <5 GT (Polairud PPP Puger 2019). Kasus kapal terbalik menjadi kecelakaan kapal yang sering terjadi di PPP Puger terutama pada pintu keluar masuk pelabuhan. Kasus kecelakaan kapal terbalik dapat terjadi saat adanya interaksi antara kapal dengan arah kedatangan sudut gelombang atau sudut *encounter* kapal yang akan mempengaruhi unjuk kerja kapal (*seakeeping*) yang dihasilkan. Unjuk gerak kapal (*seakeeping*) adalah gerakan kapal yang dipengaruhi oleh gaya-gaya luar yang disebabkan oleh kondisi air laut (Rudiansyah *et al.* 2013). Unjuk gerak kapal yang buruk akan mempengaruhi efektivitas pengoperasian kapal yang berdampak pada *seaworthiness* (kemampuan kapal untuk tetap selamat dalam segala bahaya di laut) dan *seakindlines* (indikasi mengenai karakteristik yang menekankan pada respon kapal terhadap kondisi lingkungan laut) terlebih saat terjadi gerakan *rolling* (terutama berdampak pada amplitudo *rolling*) (Bhattacharyya 1978). Terbaliknyanya kapal diduga akibat terjadinya gerakan oleng yang cukup besar diakibatkan berhadapan dengan gelombang.

Hal ini menyebabkan informasi mengenai arah keberangkatan kapal dan arah kepulangan kapal terhadap sudut kedatangan gelombang yang aman diperlukan untuk meminimalisir terjadinya kecelakaan di PPP Puger. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menghitung besar amplitudo *rolling* minimum berdasarkan variasi arah kedatangan gelombang terhadap arah pergerakan kapal dan merekomendasikan arah keberangkatan kapal dan arah kepulangan kapal terhadap sudut kedatangan gelombang yang aman.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada 12-18 Juni 2019 berlokasi di Pelabuhan Perikanan Pantai Puger, Kabupaten Jember, Jawa Timur (Gambar 1)

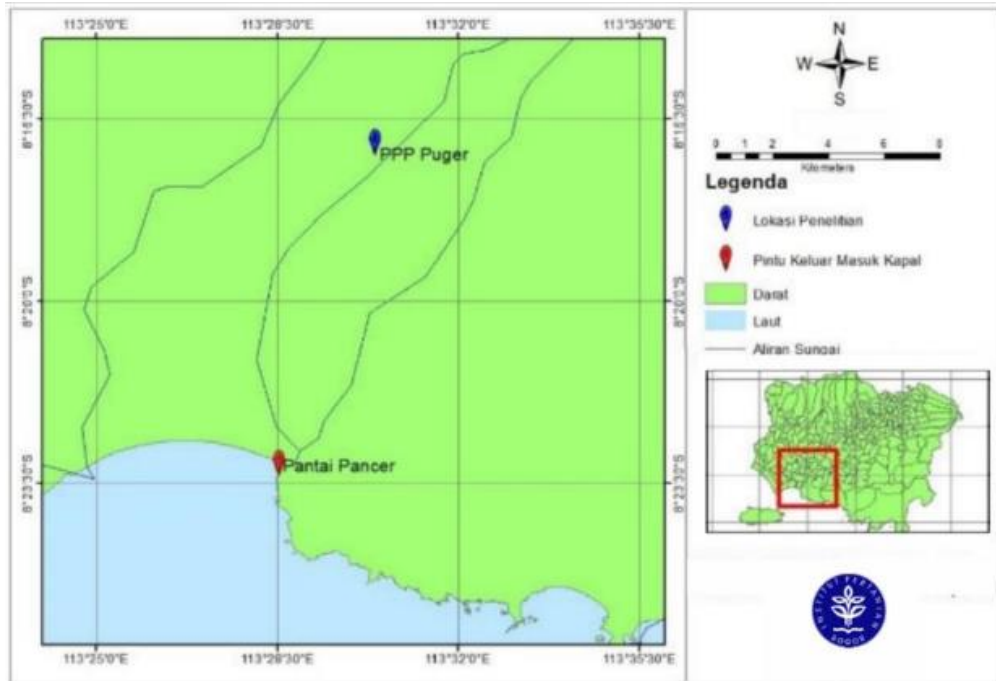
Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian meliputi alat ukur panjang untuk mengukur dimensi kapal, *waterpass* untuk memastikan pengukuran kapal dilakukan pada kondisi rata air, tali sebagai alat bantu ukur, alat tulis untuk

mencatat, kamera untuk mendokumentasikan serta laptop untuk melakukan pengolahan data.

Jenis dan Metode Pengumpulan Data

Subyek penelitian yang digunakan adalah kapal jukung berukuran <5 GT berbahan kayu yang memiliki ukuran dimensi utama berupa panjang × lebar tinggi yaitu 12 m × 1,30 m × 1 m (Gambar 2). Penentuan sampel kapal dilakukan berdasarkan metode *accidental sampling*. Jenis dan metode pengumpulan data dalam penelitian disajikan pada Tabel 1 sementara rancangan penelitian disajikan pada Tabel 2.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Tabel 1. Jenis dan metode pengumpulan data

Tujuan	Jenis data	Pengumpulan data
Menghitung besar amplitudo <i>rolling</i> berdasarkan variasi arah kedatangan gelombang terhadap pergerakan kapal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dimensi utama kapal ▪ Tinggi dan periode gelombang ▪ Amplitudo maksimal, panjang, frekuensi dan kecepatan gelombang serta frekuensi papasan 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pengukuran kapal ▪ Perhitungan matematik ▪ Studi literatur ▪ Observasi
Merekomendasikan arah keberangkatan kapal dan arah kepulangan kapal terhadap sudut kedatangan gelombang yang aman	Sudut keberangkatan dan kepulangan kapal dengan amplitudo <i>rolling</i> minimum	Membandingkan sudut yang menghasilkan amplitudo <i>rolling</i> minimal saat kapal berangkat dan pulang

Tabel 2. Rancangan penelitian

Perlakuan	Karakteristik gelombang	Kapal berangkat		Kapal datang	
		Amplitudo <i>rolling</i>	Frekuensi <i>encounter</i>	Amplitudo <i>rolling</i>	Frekuensi <i>encounter</i>
P1 = 15°	Lw = 4 m				
P2 = 30°	$\zeta_a = 2$ m				
P3 = 45°	$\rho = 1.025$ ton/m ³				
P4 = 90°					
P5 = 135°					
P6 = 150°					
P7 = 165°					

Keterangan:

P1 = Perlakuan dengan simulasi sudut kedatangan gelombang sebesar 15°

P2 = Perlakuan dengan simulasi sudut kedatangan gelombang sebesar 45°

P3 = Perlakuan dengan simulasi sudut kedatangan gelombang sebesar 30°

P4 = Perlakuan dengan simulasi sudut kedatangan gelombang sebesar 90°

P5 = Perlakuan dengan simulasi sudut kedatangan gelombang sebesar 135°

P6 = Perlakuan dengan simulasi sudut kedatangan gelombang sebesar 150°

P7 = Perlakuan dengan simulasi sudut kedatangan gelombang sebesar 165°

Pengolahan Data

1) Menghitung dan membandingkan nilai titik berat (KG) kapal saat keluar dan masuk pelabuhan. Untuk menentukan titik berat (G) pada kapal, akan dilakukan dengan 2 perlakuan muatan, yaitu muatan palka kosong (saat kapal keluar pelabuhan) dan muatan palka penuh (saat kapal kembali ke pelabuhan). Data yang dibutuhkan untuk mengestimasi titik G pada kapal adalah berat muatan serta titik berat muatan di kapal. Jenis muatan yang terdapat di atas kapal adalah mesin, hasil tangkapan, alat tangkap, BBM, oli, es, air bersih dan ABK. Berat setiap jenis muatan didapatkan dari hasil wawancara dengan nelayan di PPP Puger. Berat hasil tangkapan diasumsikan adalah hasil

tangkapan maksimum rata-rata yang dapat diangkut diatas kapal, sedangkan berat muatan mesin, alat tangkap, ABK, BBM, oli, es dan air diasumsikan adalah berat muatan rata-rata yang digunakan nelayan dalam melakukan operasi penangkapan ikan.

- 2) Nilai moment setiap muatan didapatkan dari perkalian antara berat setiap muatan dengan nilai kg setiap muatan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Moment} = w \times d$$

dimana :

W = berat setiap muatan (kg)

D = jarak titik berat setiap muatan ke baseline

$$KG = \frac{\sum \text{moment}}{\sum \Delta}$$

dimana:

KG = Jarak antara titik berat (G) dengan keel (K) (m)

$\sum \text{moment}$ = Jumlah displasemen (ton)

$\sum \Delta$ = Jumlah moment (ton.m)

- 3) Amplitudo rolling kapal menurut Battacharyya (1978) didapat dengan mencari nilai sebagai berikut.

Innertial moment (Bhattacharyya 1978).

$$M_a = \alpha \phi$$

Damping moment (Bhattacharyya 1978).

$$M_b = b \phi$$

Restoring moment (Bhattacharyya 1978).

$$M_c = c \phi$$

Exciting (encountering) moment (Bhattacharyya 1978).

$$M = M_o \cos \omega_e t$$

Static rolling amplitude (ϕ_{st}) (Bhattacharyya 1978).

$$\phi_{st} = M_o / M_c$$

Rolling frequency (ω_z) (Bhattacharyya 1978).

$$\omega_\phi = \frac{\sqrt{Fc}}{(m + a_z)}$$

Natural rolling period (T_ϕ) (Bhattacharyya 1978)

$$T_\phi = (2 \times \pi) / \omega_\phi$$

Tunning factor (Λ) (Bhattacharyya 1978)

$$\Lambda = \omega_e / \omega_\phi$$

Magnification factor for rolling (μ_ϕ) (Bhattacharyya 1978)

$$\mu_\phi = 1 / \sqrt{(1 - \Lambda^2)^2 + (4 + K^2 + \Lambda^2)}$$

Rolling amplitudo (ϕ_a) (Bhattacharyya 1978).

$$\phi_a = \mu_\phi \times \phi_{st}$$

Analisis Data

Analisis data yang digunakan adalah analisis komparatif secara numerik dan deskriptif. Berdasarkan tujuan menghitung besar amplitudo *rolling* berdasarkan variasi arah kedatangan gelombang terhadap arah pergerakan kapal, amplitudo *rolling* dianalisis dengan analisis komparatif secara numerik, sehingga didapatkan nilai amplitudo *rolling* minimum saat kapal keluar dan masuk pelabuhan, sedangkan tujuan penelitian untuk merekomendasikan arah keberangkatan kapal dan kepulauan terhadap sudut kedatangan gelombang yang aman, dianalisis dengan menggunakan analisis komparatif secara numerik deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dimensi Utama Kapal

Hasil pengukuran dimensi utama dan rasio dimensi utama kapal di sajikan pada Tabel 3. Berdasarkan Tabel 3, kapal penelitian memiliki *Length Over All (LOA)* sebesar 12 m, *Length Per Pendicular (LPP)* sebesar 10 m, *Breath (B)* sebesar 1,3 m, *Depth (D)* sebesar 1 m, *draft (d)* sebesar 1 m dan rasio dimensi utama kapal L/B, L/D dan B/D secara berurut sebesar 9,23 m, 12 m dan 1,3 m. Rasio dimensi utama kapal penelitian jika dibandingkan dengan nilai rasio dimensi utama kapal hasil penelitian Iskandar dan Pujiati (1995), menunjukkan bahwa nilai rasio dimensi utama kapal penelitian masih berada pada kisaran nilai acuan hasil penelitian Iskandar dan Pujiati (1995). Hal ini mengartikan bahwa nilai L/B kapal penelitian termasuk kedalam kategori nilai L/B yang tinggi. Nilai L/B yang tinggi akan menyebabkan tahanan gerak yang kecil sehingga berdampak positif terhadap kecepatan kapal, akan tetapi menurunkan stabilitas kapal (Palembang *et al.* 2013).

Tabel 3 Dimensi utama dan rasio dimensi utama kapal terhadap nilai acuan kapal *static gear*

Dimensi utama	Ukuran (m)	Nilai acuan (Iskandar dan Pujiati 1995)
<i>Length Overl All (LOA)</i>	12	
<i>Length Per Pendicular (LPP)</i>	10	
<i>Breath (B)</i>	1,3	
<i>Depth (D)</i>	1	
<i>Draft (d)</i>	0,82	
L/B	7,69	2,83-11,12
L/D	10	4,58-17,28
B/D	1,3	0,96-4,68

Nilai L/D kapal penelitian termasuk kedalam kategori nilai L/D yang tinggi. Nilai L/D yang tinggi akan menunjukkan kekuatan memanjang atau longitudinal kapal menjadi semakin buruk namun olah gerak kapal akan semakin baik (Fyson 1985 dalam Putra 2019). Nilai rasio B/D sebesar 1,3 termasuk kedalam kategori nilai B/D yang rendah atau mendekati 1. Nilai B/D mendekati nilai 1 artinya kapal penelitian memiliki stabilitas yang baik. Menurut Novita *et al.* (2014) nilai B/D yang mendekati nilai 1 memiliki stabilitas dan olah gerak

yang lebih baik, akan tetapi memberikan dampak yang buruk terhadap *propulsive ability* (Istiqomah *et al.* 2014).

Kondisi Muatan Kapal

Kondisi muatan kapal yaitu pada saat kapal keluar dari pelabuhan dan pada saat kapal masuk pelabuhan. Kondisi muatan kapal dapat dilihat pada Tabel 4. Jenis dan berat muatan yang terdapat di atas kapal saat kapal keluar dari pelabuhan adalah alat tangkap sebesar 0,1 ton, bahan bakar sebesar 0,034 ton, mesin sebesar 0,0234 ton, es sebesar 0,012 ton, ABK sebesar 0,21 ton, oli sebesar 0,002 ton, air tawar sebesar 0,027 ton dan berat kapal sebesar 2 ton. Sehingga total berat muatan saat kapal keluar dari pelabuhan sebesar 2,408 ton, moment sebesar 1,2016 m.ton dan KG sebesar 0,5 m, sedangkan jenis dan berat muatan yang terdapat di atas kapal saat kapal masuk ke pelabuhan adalah alat tangkap sebesar 0,1 ton, mesin sebesar 0,0234 ton, hasil tangkapan sebesar 2 ton, ABK sebesar 0,21 ton, es sebesar 0,012 dan berat kapal sebesar 2 ton. Sehingga total berat muatan saat kapal pulang sebesar 4,333 ton, moment sebesar 1,9157 m.ton dan KG sebesar 0,5 m.

Tabel 4. Kondisi muatan saat kapal keluar dan masuk pelabuhan

Jenis muatan	Kapal keluar			Kapal masuk		
	Berat (w) (ton)	Kg (d) (m)	Moment (m.ton)	Berat (w) (ton)	Kg (d) (m)	Moment (m.ton)
Kapal	2	0,5	1	2	0,5	1
Alat tangkap	0,1	0,5	0,05	0,1	0,5	0,05
Bahan bakar	0,034	0,3	0,0102	0	0	0
Mesin	0,023	0,9	0,0207	0,023	0,9	0,0207
Hasil tangkapan	0	0	0	2	0,37	0,74
Es	0,012	0,15	0,0018	0,012	0,15	0,018
ABK	0,21	0,5	0,105	0,21	0,5	0,105
Oli	0,002	0,3	0,0006	0	0	0
Air tawar	0,027	0,49	0,01323	0	0	0
	$\Sigma\Delta = 2,41$		$\Sigma = 1,21$	$\Sigma\Delta = 4,35$		$\Sigma = 1,92$
	KG = 0,5 m			KG = 0,5 m		

Terdapat perbedaan nilai KG atau titik berat saat kapal keluar dan masuk pelabuhan. Hal ini dikarenakan perbedaan berat muatan saat kapal keluar dan masuk pelabuhan. Letak perbedaan muatan saat kapal keluar dan masuk pelabuhan adalah muatan hasil tangkapan, bahan bakar, es, oli dan air tawar. Saat kapal keluar pelabuhan terdapat muatan bahan bakar, es, oli dan air tawar namun tidak terdapat hasil tangkapan, sedangkan saat kapal masuk pelabuhan muatan kapal terdapat hasil tangkapan dan diasumsikan tidak terdapat bahan bakar, oli dan air tawar.

Perubahan letak titik berat pada kapal disebabkan oleh adanya penambahan dan pengurangan muatan diatas kapal (Novita *et al.* 2014). Perubahan posisi muatan akan berpengaruh terhadap titik berat kapal baik secara vertikal (KG) maupun secara horisontal (LCG). Titik berat (G) adalah titik khayal

yang merupakan resultan dari seluruh gaya berat yang menekan ke bawah. Titik G sangat bergantung dari posisi muatan. Jarak KG adalah jarak titik berat (G) terhadap titik keel (K) pada kapal secara vertikal. Nilai KG akan berpengaruh terhadap stabilitas kapal (Hind 1982).

Stabilitas merupakan kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak setelah menjadi miring akibat bekerjanya gaya-gaya, baik gaya dari dalam maupun dari luar (Nomura dan Yamazaki 1977). Nilai KG pada saat kapal keluar sebesar 0,5 m, sedangkan pada saat kapal masuk nilai KG sebesar 0,45 m. Nilai KG saat kapal masuk lebih kecil dibandingkan saat kapal keluar dengan selisih nilai KG sebesar 0,05 m. Semakin rendah titik G pada kapal, maka energi yang hilang untuk mengembalikan kapal keposisi semula akan semakin kecil. Hal ini menunjukkan juga semakin kecil nilai KG artinya titik pusat gaya berat (G) semakin mendekati lunas kapal atau semakin ke bawah, sehingga stabilitas kapal akan semakin baik. Hal ini diperkuat dengan pernyataan Hind (1982), bahwa letak titik berat kapal berada di bawah menghasilkan KG yang semakin kecil yang dapat meningkatkan stabilitas kapal.

Pelabuhan Perikanan Pantai (PPP) Puger terletak di muara Sungai Besini. Sehingga untuk mencapai laut atau *fishing ground*, kapal nelayan harus melewati Sungai Besini dan melewati celah sempit sebagai pintu keluar masuk kapal dengan lebar celah sebesar 90 meter (Gambar 3). Di pintu keluar masuk ini lah banyak terjadi kecelakaan kapal. Beberapa kasus kecelakaan kapal penangkap ikan umumnya terjadi dikarenakan kapal terbalik saat terjadi gerakan *rolling* yang diakibatkan oleh hempasan gelombang. Kondisi ini diperkuat dari hasil penelitian Rahmawati (2016); Hakim (2007); Suseno (2007); Fahrur (2006) yang menyatakan bahwa gerakan *rolling* kapal yang terjadi dengan sudut oleng besar berpotensi untuk membalikan kapal (*capsizing*). Menurut Bhattacharya (1978), menyatakan bahwa interaksi gelombang yang paling berpotensi mengakibatkan kapal terbalik adalah pada saat kapal berhadapan dengan gelombang yang berasal dari samping kapal yaitu gelombang *beam seas*, *quartering seas* dan *bow seas*.

Berdasarkan pengamatan kondisi di lapang, nelayan di PPP Puger melakukan operasi penangkapan ikan pada pagi hari. Pada pagi hari, arah gelombang adalah menuju ke arah pantai (Gambar 3). Apabila kapal keluar dari pelabuhan, kapal akan berhadapan dengan gelombang *head seas*, *bow seas*, *quartering seas* dan *beam*. Ilustrasi saat kapal keluar dari pelabuhan disajikan pada Gambar 3.

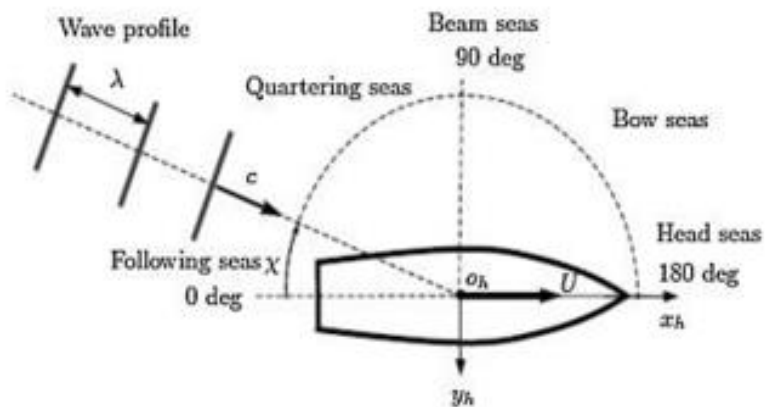
Saat kapal berhadapan dengan gelombang, maka akan terbentuk sebuah sudut yang disebut sudut *encounter*. Sudut *encounter* adalah sudut kedatangan gelombang terhadap arah gerakan kapal, yang diukur dari arah gelombang searah dengan jarum jam (Bhattacharyya 1978). Lebih lanjut, Bhattacharyya (1978) menyebutkan terdapat lima sudut *encounter* yaitu *head seas*, *quartering seas*, *beam seas*, *bow seas* dan *following seas* dengan besar sudut yang berbeda. Ilustrasi sudut *encounter* disajikan pada Gambar 4.

Saat kapal berinteraksi dengan gelombang laut, maka akan mempengaruhi unjuk kerja kapal yang dihasilkan. Menurut Rudiansyah *et al.* (2013), unjuk kerja kapal (*seakeeping*) adalah gerakan kapal yang dipengaruhi oleh gaya-gaya luar yang disebabkan oleh kondisi air laut. Unjuk gerak kapal yang buruk akan mempengaruhi efektivitas pengoperasian kapal yang berdampak pada *seaworthiness* (kemampuan kapal untuk tetap selamat dalam segala bahaya di

laut) dan *seakindlines* (indikasi mengenai karakteristik yang menekankan pada respon kapal terhadap kondisi lingkungan laut) terlebih saat terjadi gerakan *rolling* (terutama berdampak pada amplitudo *rolling*) (Bhattacharyya 1978).



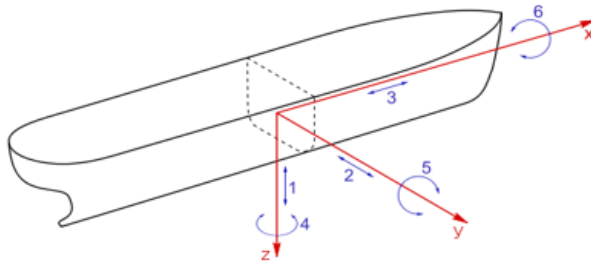
Gambar 3. Ilustrasi saat kapal keluar pelabuhan



Sumber: www.nor-mar-eng.org

Gambar 4. Ilustrasi sudut *encounter* kapal

Unjuk kerja kapal di atas perairan bergelombang memiliki enam derajat kebebasan yang dibedakan atas gerakan rotasi dan gerakan translasi (Hakim 2007). Gerakan rotasi merupakan gerakan berputar kapal dengan sumbu x atau y atau z berfungsi sebagai porosnya. Gerakan rotasi terdiri dari gerakan *rolling*, *pitching* dan *yawing*. Gerakan translasi merupakan gerakan yang menyusuri atau sejajar dengan sumbu x, y dan z. Gerakan translasi terdiri dari *heaving*, *surging* dan *swaying* (Zarma *et al.* 2015). Ilustrasi gerak enam derajat kebebasan kapal disajikan pada Gambar 5.



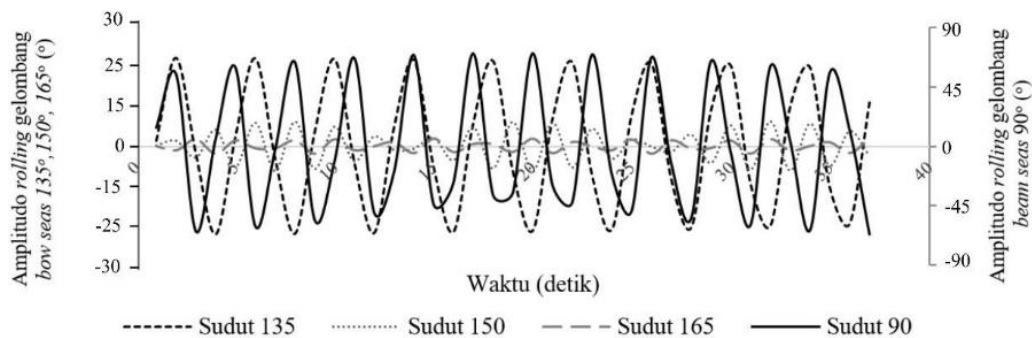
Keterangan:

- 1 = heaving
- 2 = Swaying
- 3 = Surging
- 4 = Yawing
- 5 = Pitching
- 6 = Rolling

Sumber: commons.wikimedia.org

Gambar 5. Ilustrasi gerak enam derajat kebebasan kapal

Kajian ini dilakukan dengan membuat simulasi gerakan kapal. Dimana kecepatan rata-rata kapal saat melewati pintu keluar masuk pelabuhan berdasarkan wawancara dengan nelayan di PPP Puger adalah sebesar 10m/s. Tinggi dan amplitudo gelombang berdasarkan data BMKG adalah sebesar 4 meter dan 2 meter (Tabel 6). Hasil simulasi gerakan *rolling* kapal pada dua sudut *encounter* saat kapal keluar dari PPP Puger disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Profil gerakan *rolling* kapal saat kapal keluar

Berdasarkan Gambar 6, nilai amplitudo *rolling* maksimal sudut 90° sebesar $65,7142^\circ$, nilai amplitudo *rolling* maksimal sudut 135° sebesar $24,72^\circ$, nilai amplitudo *rolling* maksimal sudut 150° sebesar $22,035^\circ$ dan nilai amplitudo *rolling* maksimal sudut 165° sebesar $20,012^\circ$. Berdasarkan hasil simulasi saat kapal keluar dari pelabuhan yang berhadapan dengan gelombang *beam seas* dengan variasi sudut kedatangan gelombang terhadap kapal sebesar 135° , 150° , 165° dan gelombang *beam seas* sudut 90° , dapat disimpulkan bahwa sudut 165° adalah sudut yang paling aman, karena memiliki nilai amplitudo *rolling* yang lebih kecil dibandingkan dengan sudut lainnya. Besar nilai amplitudo *rolling* dapat dipengaruhi oleh frekuensi *encounter* (ω_e).

Berdasarkan hasil simulasi gerakan *rolling* kapal terhadap dua sudut *encounter* yaitu gelombang *bowseas* dan *beam seas* dengan besar sudut yang berbeda, panjang gelombang (L_w) dan amplitudo gelombang (ζ_a) sama akan mempengaruhi nilai frekuensi *encounter* (ω_e) yang akan berdampak pada besarnya amplitudo *rolling* kapal yang terjadi. Besar frekuensi *encounter* (ω_e) dan amplitudo *rolling* (ϕ_a) hasil simulasi disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai frekuensi *encounter* dan amplitudo *rolling* saat kapal keluar dari pelabuhan

Gelombang	Besar sudut (°)	Lw (m)	ζ_a (m)	ω_e (rad/det)	μ (°)
<i>Bow seas</i>	165	4	2	19,088	12,012
	150	4	2	17,519	22,035
	135	4	2	15,024	24,172
<i>Beam seas</i>	90	4	2	3,922	65,714

Berdasarkan Tabel 5, dapat diketahui bahwa gelombang *bow seas* dengan besar sudut 165°, menghasilkan nilai frekuensi *encounter* sebesar 19,088 rad/det dan nilai amplitudo *rolling* maksimal sebesar 12,012°. Sudut 150° menghasilkan nilai frekuensi *encounter* sebesar 17,519 rad/det dan nilai amplitudo *rolling* maksimal 22,035°. Sudut 135° menghasilkan nilai frekuensi *encounter* sebesar 15,024 rad/det dan nilai amplitudo *rolling* maksimal sebesar 24,172°, sedangkan gelombang *beam seas* dengan besar sudut 90° menghasilkan nilai frekuensi *encounter* sebesar 3,922 rad/det dan nilai amplitudo *rolling* maksimal sebesar 65,714°. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut *encounter*, maka frekuensi papasan akan semakin besar sehingga nilai amplitudo *rolling* akan semakin kecil. Berdasarkan hasil penelitian Brillin *et al.* (2016), bahwa semakin besar sudut *encounter* maka semakin besar pula frekuensi *encounter* yang terjadi. Lebih lanjut Bhattacharyya (1978) mengatakan bahwa semakin besar frekuensi *encounter*, maka amplitudo *rolling* akan semakin kecil.

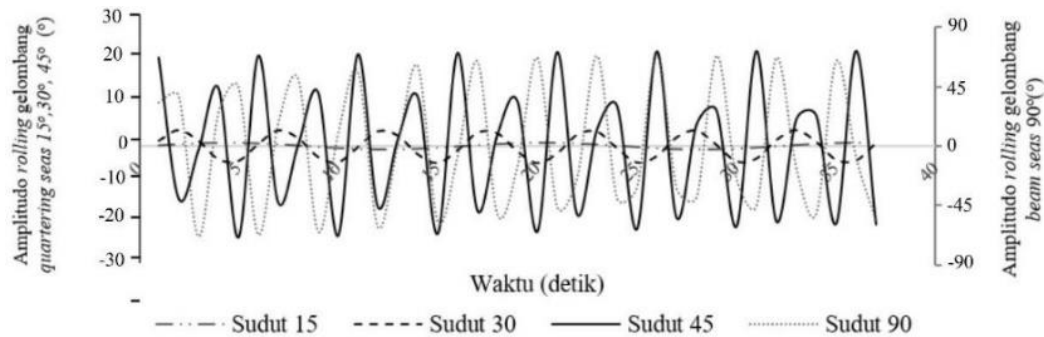
Amplitudo *Rolling* saat Kapal Masuk Pelabuhan

Nelayan di PPP Puger yang menggunakan kapal jukung melakukan operasi penangkapan ikan dengan sistem *one day fisihing*, artinya nelayan berangkat pagi hari untuk melakukan operasi penangkapan ikan dan nelayan kembali ke pelabuhan saat sore hari. Pada sore hari, arah gelombang adalah menuju ke arah pantai (Gambar 7). Apabila kapal masuk menuju pelabuhan, kapal akan berhadapan dengan gelombang *following seas*, *quartering seas*, *bow seas* dan *beam seas*. Ilustrasi saat kapal masuk menuju pelabuhan disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Ilustrasi saat kapal masuk pelabuhan

Seperti halnya kapal keluar dari pelabuhan, kajian saat kapal masuk menuju pelabuhan dilakukan dengan membuat simulasi gerakan kapal. Dimana berdasarkan wawancara dengan nelayan di PPP Puger, kecepatan rata-rata kapal saat melewati pintu keluar masuk pelabuhan adalah sebesar 10 m/s. Tinggi dan amplitudo gelombang berdasarkan data BMKG adalah sebesar 4 meter dan 2 meter (Tabel 7). Hasil simulasi gerakan *rolling* kapal pada dua sudut encounter yaitu gelombang *quartering seas* dan *beam seas* saat kapal masuk menuju PPP Puger disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Profil gerakan *rolling* kapal saat kapal masuk

Berdasarkan Gambar 8, nilai amplitudo *rolling* maksimal sudut 15° sebesar 20,287°, nilai amplitudo *rolling* maksimal sudut 30° sebesar 23,72°, nilai amplitudo *rolling* maksimal sudut 45° sebesar 29,453° dan nilai amplitudo *rolling* maksimal sudut 90° sebesar 65,141°. Berdasarkan hasil simulasi saat kapal masuk pelabuhan yang berhadapan dengan gelombang *quartering seas* dengan variasi sudut 15°, 30°, 45° dan gelombang *beam seas* dengan besar sudut 90°. Dapat disimpulkan bahwa gelombang *quartering seas* dengan sudut 15° adalah sudut yang paling aman, karena memiliki nilai amplitudo *rolling* yang lebih kecil dibandingkan dengan sudut lainnya.

Berdasarkan hasil simulasi gerakan *rolling* kapal terhadap dua sudut *encounter* yaitu gelombang *quartering seas* dan *beam seas* dengan besar sudut yang berbeda, panjang gelombang (L_w) dan amplitudo gelombang (ζ_a) sama, akan mempengaruhi nilai frekuensi *encounter* (ω_e) yang akan berdampak pada besarnya amplitudo *rolling* kapal yang terjadi. Besar frekuensi *encounter* (ω_e) dan amplitudo *rolling* (μ) hasil simulasi disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai frekuensi *encounter* dan amplitudo *rolling* saat kapal masuk ke pelabuhan

Gelombang	Besar sudut (°)	L_w (m)	ζ_a (m)	ω_e (rad/det)	μ (°)
<i>Quartering seas</i>	15	4	2	11,243	8,287
	30	4	2	9,674	23,72
	45	4	2	7,179	29,453
<i>Beam seas</i>	90	4	2	3,922	65,141

Berdasarkan Tabel 6, dapat diketahui bahwa gelombang *quartering seas* dengan besar sudut 15°, menghasilkan nilai frekuensi *encounter* sebesar 11,243 rad/det dan nilai amplitudo *rolling* sebesar 8,287°. Sudut 30° menghasilkan nilai frekuensi *encounter* sebesar 9,674 rad/det dan nilai amplitudo *rolling* sebesar 23,72°. Sudut 45° menghasilkan nilai frekuensi *encounter* sebesar 7,179 rad/det

dan nilai amplitudo *rolling* sebesar $29,453^\circ$, sedangkan gelombang *beam seas* dengan besar sudut 90° menghasilkan nilai frekuensi *encounter* sebesar $3,922$ rad/det dan nilai amplitudo *rolling* sebesar $65,141^\circ$. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut *encounter*, maka frekuensi papasan akan semakin besar sehingga nilai amplitudo *rolling* akan semakin kecil. Menurut Bhattacharyya (1978) bahwa semakin besar frekuensi *encounter*, maka amplitudo *rolling* semakin kecil.

Simulasi dilakukan pada kapal dengan sudut kedatangan gelombang *quartering sea*, *bow sea* dan *beam seas*. Saat kapal masuk ke pelabuhan, variasi sudut *quartering seas* yang digunakan adalah 15° , 30° , 45° dan sudut *beam seas* 90° sebagai pembandingan. Saat kapal keluar dari pelabuhan, variasi sudut *bow seas* yang digunakan adalah 135° , 150° , 165° dan sudut *beam seas* 90° sebagai pembandingan. Sudut *quartering seas* terjadi pada saat kapal masuk pelabuhan karena gelombang (*following seas*) berasal dari belakang kapal yang langsung berhadapan dengan buritan kapal, sedangkan sudut *bow seas* terjadi pada saat kapal keluar pelabuhan karena gelombang (*head seas*) berasal dari depan kapal yang langsung berhadapan dengan haluan kapal. Sudut pada *quartering seas* sama dengan sudut pada *bow seas*, artinya sudut 15° pada *quartering seas* sama dengan sudut 135° pada *bow seas*, sudut 30° pada *quartering seas* sama dengan sudut 150° pada *bow seas* dan sudut 45° pada *quartering seas* sama dengan sudut 165° pada *bow seas*, sehingga dari persamaan sudut ini akan dibandingkan sudut *quartering seas* dengan sudut *bow seas*.

Ampitudo *rolling* maksimum sudut 15° pada *quartering seas* sebesar $8,287^\circ$, sedangkan amplitudo *rolling* maksimum sudut 135° pada *bow seas* sebesar $24,172^\circ$. Ampitudo *rolling* maksimum sudut 30° pada *quartering seas* sebesar $23,72^\circ$, sedangkan amplitudo *rolling* maksimum sudut 150° pada *bow seas* sebesar $22,035^\circ$. Ampitudo *rolling* maksimum sudut 45° pada *quartering seas* sebesar $29,453^\circ$, sedangkan amplitudo *rolling* maksimum sudut 165° pada *bow seas* sebesar $12,012^\circ$ dan amplitudo *rolling* maksimum sudut 90° saat kapal keluar sebesar $65,714^\circ$ dan saat kapal masuk sebesar $65,141^\circ$. Perbedaan antara amplitudo *rolling* pada sudut 90° saat kapal masuk dan keluar pelabuhan, diduga adanya perbedaan nilai KG. Nilai KG pada saat kapal keluar lebih besar dibandingkan nilai KG saat kapal masuk. Hal ini berpengaruh terhadap stabilitas kapal, karena semakin besar nilai KG maka akan menurunkan stabilitas kapal dan mengakibatkan nilai amplitudo *rolling* semakin besar.

Berdasarkan perbandingan amplitudo *rolling* saat kapal masuk dengan amplitudo *rolling* saat kapal keluar, dapat disimpulkan bahwa amplitudo *rolling* saat kapal masuk lebih besar dibandingkan saat kapal keluar. Hal ini diduga karena pada saat kapal masuk, kapal mendapat pengaruh dari gelombang *following sea*. Gelombang *following seas* lebih berbahaya dibandingkan gelombang *head seas* karena gelombang *following seas* berasal dari belakang kapal, sehingga nakhoda tidak bisa mengendalikan kapalnya dengan baik, akibatnya kapal mengalami oleng dan kapal terbalik. Menurut Rafni (1999) bahwa gelombang *following seas* merupakan gelombang reguler yang datang dari arah belakang. Bagi seorang nakhoda kapal yang sedang menghadapi gelombang seperti *following seas* umumnya kapl sulit dikendalikan dan membahayakan kapal dan ABK. Hal ini dibuktikan dengan kecelakaan di PPP Puger lebih tinggi pada saat kapal masuk pelabuhan dibandingkan kapal keluar pelabuhan. Berdasarkan

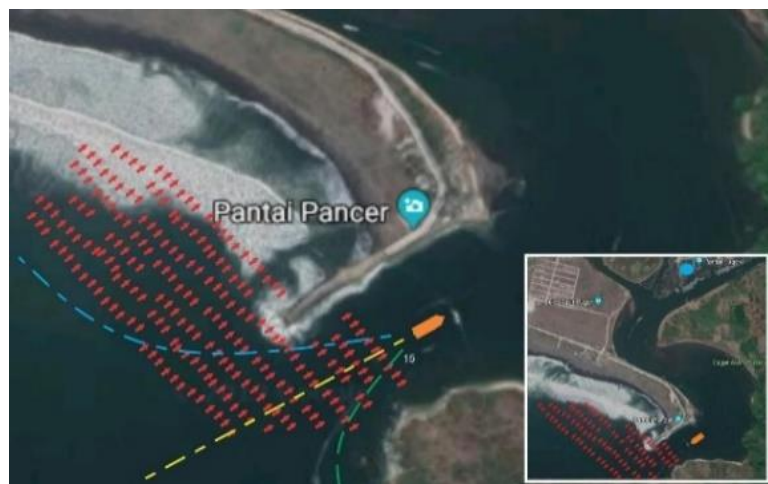
data kecelakaan kapal yang terjadi di PPP Puger tahun 2014 - April 2019, jumlah kecelakaan saat kapal masuk pelabuhan sebanyak 35 kasus dan saat kapal keluar pelabuhan sebanyak 26 kasus kecelakaan.

Rekomendasi Arah Keberangkatan Kapal dan Arah Kepulangan Kapal terhadap Sudut Gelombang yang Aman

Kasus kecelakaan kapal jukung di Pelabuhan Perikanan Pantai Puger (PPP) Puger, Kabupaten Jember Jawa Timur adalah berupa kasus kapal terbalik. Terbaliknya kapal menurut Bhattacharyya (1978), dapat terjadi saat adanya interaksi antara kapal dengan arah kedatangan sudut gelombang atau sudut *encounter* kapal yang akan mempengaruhi unjuk kerja kapal (*seakeeping*) yang dihasilkan. Unjuk gerak kapal yang buruk akan mempengaruhi efektivitas pengoperasian kapal yang berdampak pada *seaworthiness* dan *seakindlines* terlebih saat terjadi gerakan *rolling*, terutama berdampak pada amplitudo *rolling*. Gerakan *rolling* adalah gerakan oleng kapal ke kanan dan kiri pada sumbu x jika berada di atas perairan bergelombang (Bhattacharyya 1978). Gerakan *rolling* dapat terjadi saat kapal berhadapan dengan gelombang *quartering seas*, *bow seas* dan *beam seas*.



Gambar 9. Ilustrasi rekomendasi saat kapal keluar dari pelabuhan



Gambar 10 Ilustrasi rekomendasi saat kapal keluar dari pelabuhan

Nahkoda harus menghindari gelombang yang berpotensi menimbulkan gerakan *rolling* yang besar pada kapal. Meminimalisir gerakan *rolling* yang besar saat kapal keluar pelabuhan dapat dilakukan dengan cara nahkoda merubah arah haluan kapal. Berdasarkan hasil simulasi, didapatkan sudut yang paling aman saat kapal keluar dari pelabuhan adalah pada saat posisi kapal tidak tegak lurus dengan arah gelombang dari samping kapal. Saat kapal berpapasan dengan gelombang, nelayan harus menghindari gelombang dari arah samping yang tegak lurus dengan lunas kapal, kemudian haluan kapal diarahkan pada gelombang yang tegak lurus dengan gelombang head seas. Ilustrasi rekomendasi saat kapal keluar dari pelabuhan perikanan pantai puger, studi kasus pada bulan Juni yaitu pada musim timur disajikan pada Gambar 9.

Sementara itu, saat kapal masuk pelabuhan, nahkoda harus merubah arah haluan kapal dengan sudut yang paling aman adalah pada saat posisi kapal tidak tegak lurus dengan arah gelombang dari samping kapal. Saat kapal berpapasan dengan gelombang, nelayan harus menghindari gelombang dari arah samping yang tegak lurus dengan lunas kapal, kemudian haluan kapal diarahkan pada gelombang yang tegak lurus dengan gelombang *following seas*. Ilustrasi rekomendasi saat kapal masuk menuju pelabuhan, studi kasus pada bulan Juni yaitu pada musim timur disajikan pada Gambar 10. Selain merubah arah haluan kapal untuk meminimalisir gerakan *rolling*. Nelayan dapat merubah kecepatan kapal, dengan demikian akan mengubah frekuensi sudut *encounter* atau periode *encounter* yang juga merupakan faktor yang mempengaruhi gerakan *rolling* (Hakim 2007).

KESIMPULAN

1. Nilai amplitudo *rolling* saat kapal keluar dari pelabuhan dengan sudut 135° sebesar $24,172^\circ$, sudut 150° sebesar $22,035^\circ$, sudut 165° sebesar $8,012^\circ$ dan sudut 90° sebesar $65,714^\circ$, sedangkan nilai amplitudo *rolling* saat kapal masuk menuju pelabuhan dengan sudut 15° sebesar $12,287^\circ$, sudut 30° sebesar $23,72^\circ$, sudut 45° sebesar $29,435^\circ$ dan sudut 90° sebesar $65,141^\circ$.
2. Berdasarkan hasil simulasi dapat direkomendasikan bahwa pada saat kapal keluar dari pelabuhan sudut yang paling aman berhadapan dengan gelombang adalah sudut 165° dan pada saat kapal masuk sudut yang paling aman adalah sudut 15° .

SARAN

Perlu adanya penelitian lanjutan untuk mengkaji gerakan *rolling* kapal saat menghadapi gelombang yang tidak beraturan (irregular) dan mengkaji pengaruh kecepatan kapal yang berbeda terhadap amplitudo *rolling* kapal.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayodhya. 1972. *Suatu Pengenalan Fishing Gear*. Bogor (ID): Fakultas Perikanan, Institut Pertanian Bogor.
- Bhattacharyya R. 1978. *Dynamics of Marine Vehicle*. John Wiley and Sons. New York, USA.

- Brilliant DB, Santoso A, Arief IS,. 2016. Analisa *Seakeeping* pada *Offshore Supply Vessel* 56 Meter. *Jurnal Teknik ITS*. 1(2): 039-050. <http://dx.doi.org/10.12962/j23373539.v4i2.13431>
- Dohri N, Soedjana N. 1983. *Kecakapan Bahari 1*. Proyek Pengadaan Buku Pendidikan Menengah Kejuruan Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah. Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Jakarta, Indonesia.
- Fahrum SA. 2006. *Kajian Stabilitas dan Keselamatan Operasional Kapal Pole and Line Sulawesi Selatan pada Gelombang Beam Seas*. [Disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Fyson J. 1985. *Design of Small Fishing Vessels*. Surrey. Fishing News (Books) Ltd. United Kingdom, England.
- Gillmer TC, Johnson B. 1982. *Introduction to Naval Architecture*. Naval Institut Press. Maryland, USA.
- Hakim MS. 2007. *Simulasi Gerakan Rolling pada Bentuk Kasko Round Bottom dan Round Flat Bottom dengan Gelombang Reguler Beam Seas*. [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Hind JA. 1982. *Stability and Trim of Fishing Vessels*. Second edition. Fishing News Books Ltd. Farnham, England.
- Iskandar BH, Pujiati S. 1995. *Keragaan Teknis Kapal Perikanan di Beberapa Wilayah di Indonesia (laporan penelitian)*. Bogor: Jurusan Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan, Institut Pertanian Bogor.
- Iskandar BH, Novita Y. 1997. *Penuntun Praktikum Kapal Perikanan*. Jurusan Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan FPIK IPB. Bogor, Indonesia.
- Mudhoffar MA. 2015. *Studi Pemanfaatan Skeg Aktif Sebagai Anti Rolling pada Kapal Cepat*. [Tesis]. Surabaya (ID): Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nomura M, Yamazaki T. 1977. *Fishing Techniques I*. Japan International Cooperation Agency. Tokyo, Japan.
- Novita Y, Ramadhan AD, Imron M,. 2013. Efek Perbedaan *Free Surface* Muatan Cair Terhadap Gerakan *Rolling* Model Kapal. *Jurnal Saintek Perikanan*. 8(2):44-51. <https://doi.org/10.14710/ijfst.8.2.44-51>
- Novita Y, Martiyani N, Ariyani RE,. 2014. Kualitas Stabilitas Kapal Payang Palabuhanratu Berdasarkan Distribusi Muatan. *Jurnal IPTEKS PSP*. 1(1): 28-39. <https://doi.org/10.20956/jipsp.v1i1.58>
- Putra PK. 2019. *Desain Kapal Penangkapan Ikan Berdasarkan Kearifan Lokal di Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Jawa Timur*. [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Rahmawati I. 2016. *Distribusi Muatan dan Pengaruhnya Terhadap Stabilitas Kapal*. [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Rudiansyah H, Sulisetyono A, Ali B. 2013. Analisis Pengaruh *Seakeeping* Terhadap Kinerja dan Kenyamanan Kapal Ro-Pax Berbasis Uji Model di Perairan Laut Jawa. *Jurnal Teknik Pomits*. 2(1): 1-6.
- Saputra D. 2007. *Kajian Ukuran dan Posisi Pemasangan Bilge Keel pada Kasko Model Kapal Bentuk Round Bottom terhadap Tahanan Gerak* [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Suseno SB. 2007. *Kajian Perbedaan Bentuk Kasko Akatsuki dan U-Bottom Terhadap Gerakan Rolling pada Gelombang Reguler Beam Seas*. [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.

- Suwardjo, John H, Indra J, Poernomo SH. 2010. Keselamatan Kapal Penangkap Ikan, Tinjauan dari Aspek Regulasi Nasional dan Internasional. Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan. 1 (1): 1-13. <https://doi.org/10.24319/jtpk.1.1-13>
- Undang-Undang Republik Indonesia No. 45 tahun 2009 Tentang Perikanan.
- Wijaya A. 2017. Bentuk Kasko Akatsuki dan Round Bottom Pengaruhnya Terhadap Gaya Redam (Damping Force) pada Saat Gerakan Heaving Kapal. [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Zarna N, Zakki AF, Trimulyono A. 2015. Studi Karakteristik Seakeeping Kapal Ikan Tradisional dan Modern. Jurnal Teknik Perkapalan. 3(1): 173-183.

