



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Desain dan Analisis Pengaruh Penggunaan Variasi Bentuk *Ballast* untuk Meningkatkan Performa pada *Navigation Buoy*

Evi Handayani¹⁾, Berlian Arswendo A.¹⁾, Wilma Amiruddin^{1)*}

¹⁾Laboratorium Perencanaan Kapal dibantu Komputer

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*e-mail : evihandayani@students.undip.ac.id

Abstrak

Navigation Buoy atau pelampung adalah struktur yang melayang di permukaan laut sebagai alat petunjuk tentang adanya keberadaan terumbu karang, laut dangkal serta menunjukkan arah rute laut untuk kapal selama berlayar. Berkaitan dengan sistem operasinya, performa stabilitas dari *Navigation Buoy* perlu diperhatikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai *stability* dan analisa perbedaan biaya produksi pada *navigation buoy* sesudah di desain ulang. Perlakuan yang di berikan adalah penggunaan variasi bentuk *ballast* dan material *ballast*. Hasil perhitungan stabilitas nilai *GZ max* terdapat pada variasi *ballast* persegi dengan material *steel* memiliki sudut 85,9 derajat sebesar 4,566 m dengan luas area senilai 4,796 m.deg. Pada penelitian ini, dapat disimpulkan variasi *ballast* persegi dengan material *steel* memiliki hasil stabilitas yang lebih baik karena menghasilkan performa yang lebih baik.

Kata Kunci : *Navigation Buoy*, stabilitas, mooring, variasi *ballast*

1. PENDAHULUAN

Kepulauan Natuna merupakan kepulauan paling utara Indonesia yaitu di selat Karimata. Kepulauan Natuna merupakan sebuah pulau yang terletak di ujung utara dengan jarak lebih dari 1.250 km dari kota Jakarta. Kepulauan Natuna terkenal memiliki cadangan gas alam yang tersimpan sebesar 112.356.680 barel, dengan volume sebesar 222 trillion cubic feet (TCT) [1]. Hal ini menjadikan jalur pelayaran di Kepulauan Natuna ramai dilalui oleh kapal yang melakukan kegiatan eksplorasi hidrokarbon di lepas pantai. Keamanan jalur pelayaran menjadi salah satu hal yang harus diperhatikan, seperti tersedianya rambu-rambu pelayaran atau *navigation buoy*.

Navigation Buoy atau pelampung adalah struktur yang melayang di permukaan laut sebagai alat petunjuk tentang adanya keberadaan terumbu karang, laut dangkal serta menunjukkan arah rute laut untuk kapal selama berlayar. Bahan pelampung konvensional yang biasa digunakan adalah baja, namun baja memiliki beberapa masalah yang sering ditimbulkan, karena pelampung dengan berbahan baja akan memiliki

tingkat risiko keselamatan yang lebih kecil apabila terjadi tabrakan antara kapal dengan pelampung baja. Banyak negara telah mengakui masalah dan keterbatasan pada pelampung baja.

Penelitian sebelumnya telah mempelajari dan menganalisis tren bahan pelampung dengan melakukan penelitian perubahan desain yang mempertimbangkan biaya produksi yang tetap rendah serta pengembangan pelampung yang ramah lingkungan. Penelitian ini melakukan perubahan terhadap bahan pelampung, yang mana pelampung yang terbuat dari bahan baja konvensional diubah menjadi pelampung dengan bahan *polymer*. *Polymer buoy body* yang telah dirancang dengan bagian tipe modul memiliki berat yang lebih ringan, dimana hal ini dapat mengurangi berat float dan *ballast* masing-masing berkurang 32,8% dan 63,7%, sehingga berat total berkurang 44,1% dan rasio berat total antara baja dan pelampung polimer adalah 55,9% [2].

Evaluasi kekuatan yang dilakukan pada bagian *body* pelampung menghasilkan maksimum tegangan $1,66714 \times 10^7$ N / m² dan hal itu merupakan 25% dari tegangan leleh bahan dasar. Perpindahan dan regangan maksimum adalah

3,16441 mm dan 0,00433353 nilai yang dihasilkan terlalu kecil, namun masih dalam kisaran nilai yang aman dibandingkan dengan total panjang *body*. Perbandingan antara stabilitas *polymer buoy body* dengan pelampung konvensional telah didapatkan hasil nilai stabilitas, dimana hasil dari perbandingan bahwa *new polymer buoy body* dapat membuktikan keamanan dan stabilitas yang lebih baik.

Penelitian tentang *Navigation Buoy* yang dilakukan dengan menggunakan variasi pada *ballast*, hal ini dapat digunakan untuk mencapai stabilitas *Navigation Buoy* yang lebih baik. Sistem pada *ballast* yang dapat disesuaikan menyediakan kemampuan untuk mengoptimalkan kinerja dalam berbagai kondisi operasional dan lingkungan. *Ballast* harus diamankan ditempat jika *ballast* akan dipasangkan secara permanen [3].

Faktor paling penting dalam stabilitas *Navigation Buoy* adalah dengan mengetahui karakteristik gerakan struktur terapung yang diakibatkan oleh beban lingkungan yang berpengaruh kepada *Navigation Buoy* [4].

Karakteristik gerakan struktur terapung dapat diketahui, yaitu dengan menggunakan analisa *software*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui performa stabilitas yang lebih baik sesuai dengan kondisi lingkungan yang di butuhkan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yakni membuat perlakuan berupa variasi pada *ballast navigation buoy*. Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah diperolehnya performa stabilitas *navigation buoy* yang lebih untuk area laut lepas pantai.

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

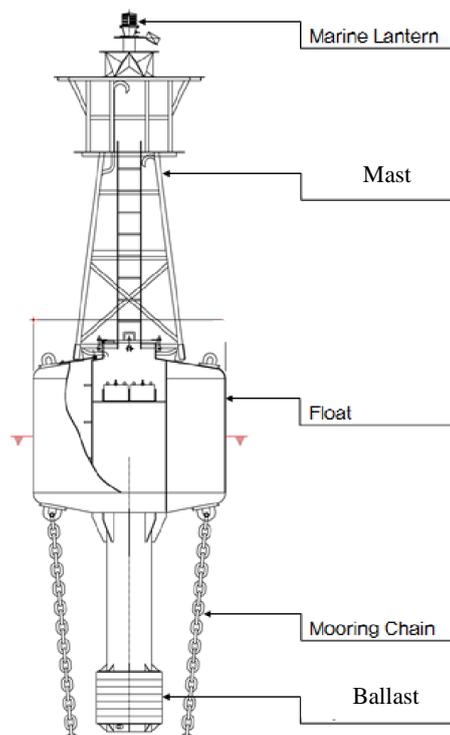
Objek pada penelitian ini menggunakan model *Buoy Polyethylene LL-26M*. Evaluasi dan mengkonfirmasi keamanan benda apung yang sedang di rancang, dilakukan dengan mensimulasikan berdasarkan analisis struktur. Sebelum memasuki tahap analisa, maka di perlukan adanya rancangan awal desain *Buoy* dengan *Principle Dimention*, dan kondisi lingkungan yang berlokasi di *Natuna Sea – Block B*.

Tabel 1 merupakan data lingkungan dengan kondisi *operating condition* dengan rentang waktu 10 tahun pada perairan Natuna dengan kecepatan angin mencapai 18 m/s, ketinggian gelombang rata-rata $\pm 8,1$ meter, variasi ketinggian air karena gelombang badai dan pasang surut mencapai ± 1

meter, (referensi ke MSL), dan kedalaman laut ± 80 meter.

Tabel 1. Data Lingkungan 10 Tahun RP
Conditions

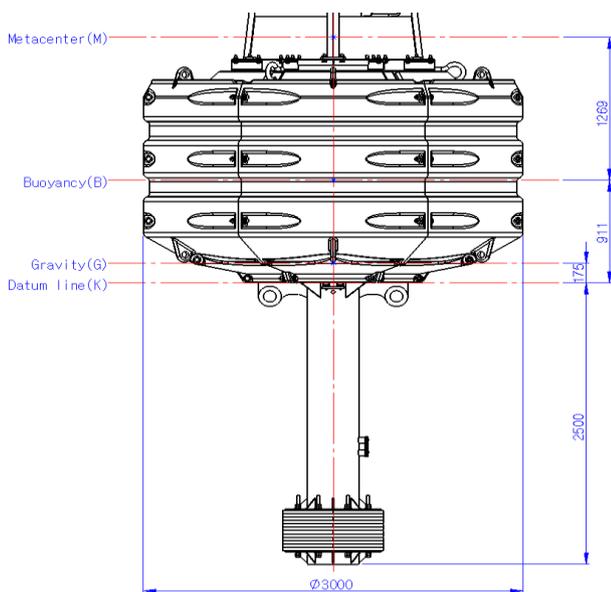
TN	-	N	NE	E	SE	S	SW	W	N W
Deg	-	225	180	135	90	45	0	315	270
Vw	m/ s	18	18	11	10	13	13	13	13
Hs	m	4	4.4	2.0	1.8	2.0	2.0	2.6	2.9
Tp	s	9.7	9.9	8.6	8.5	8.6	8.6	9.0	9.1
Tz	s	7.2	7.4	6.4	6.3	6.4	6.4	6.7	6.8
Hma	m	7.2	8.1	3.6	3.2	3.6	3.6	4.8	5.2
x									
Tma	s	8.9	9.2	7.9	7.8	7.9	7.9	8.2	8.4
x									
Vc1	m/ s	0.8	0.8	0.8	0.6	0.6	0.7	0.8	0.7
			9		2	2	6	5	6
Vc2	m/ s	0.6	0.8	0.6	0.4	0.4	0.5	0.6	0.5
		2	9	2	8	8	9	6	9
Vc3	m/ s	0.4	0.6	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
		5	9	5	5	5	3	8	3
h	m					1.3			
						3			



Gambar 1. Part of *Buoy Polyethylene*

Gambar 1 merupakan bagian-bagian dari model *Buoy Polyethylene*, yang mana secara garis besar terdiri dari penanda navigasi, *marine lantern*, *mast*, *float*, *mooring chain*, *ballast* dan *sinker* sebagai pemberat.

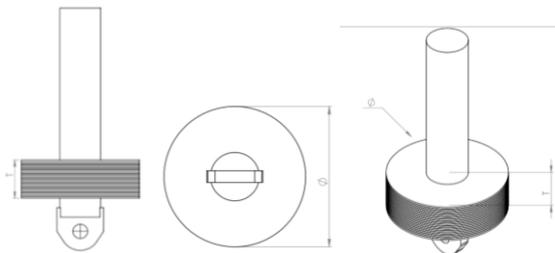
Gambar 2 merupakan ukuran utama dari model *Buoy Polyethylene* yang digunakan sebagai acuan dalam desain baru pada *navigation buoy*.



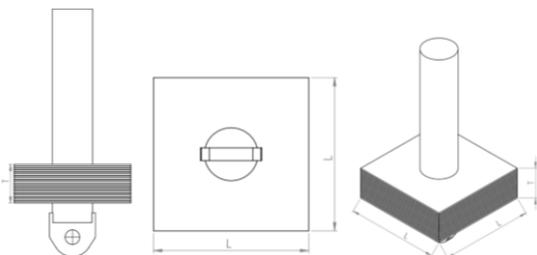
Gambar 2. Dimensi Model Buoy Polyethylene

2.2 Perlakuan pada objek penelitian

Proses analisa di penelitian ini dilakukan dengan melihat pengaruh penggunaan variasi *ballast* setelah dilakukan redesain pada *navigation buoy*. Pengaruh yang dimaksud adalah pengaruh terhadap performa stabilitas. Aspek stabilitas yang akan dimasukkan dalam desain *navigation buoy* ini adalah stabilitas bentuk yakni dengan variasi *Ballast* berbentuk lingkaran dan *Ballast* berbentuk kotak [4].



Gambar 3. Variasi Ballast Berbentuk Lingkaran



Gambar 4. Variasi Ballast Berbentuk Persegi

Gambar 3. dan gambar 4. Menjelaskan bentuk pada variasi ballast yang digunakan yakni ballast dengan variasi bentuk lingkaran dan variasi bentuk persegi. Variasi ballast di presentasikan dari tampak samping, tampak atas, dan secara 3D.

Gambar ditunjukkan dengan tinggi (T), lebar (L), dan Diameter (D).

Berikut dimensi pada variasi yg digunakan:

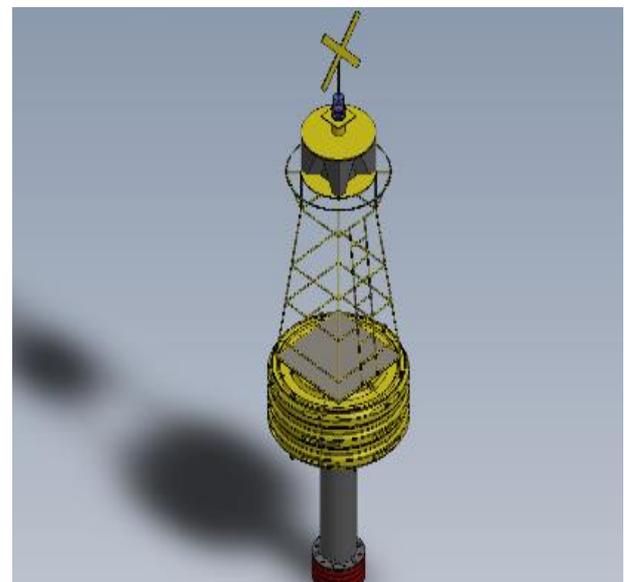
Tabel 2. Dimensi Variasi Ballast

No	Variasi	Tinggi (mm)	Lebar (mm)	Diameter (mm)
1.	Lingkaran	660	-	1500
2.	Persegi	660	1500	-

2.3 Pemodelan 3D

Pembuatan desain baru *navigation buoy* dilakukan dengan bantuan *software Solidwork 3D* untuk mendapatkan data ukuran utama yang baru. Data ukuran utama dari desain baru *navigation buoy* selanjutnya akan di masukkan pada *software* untuk melakukan perhitungan analisis stabilitas.

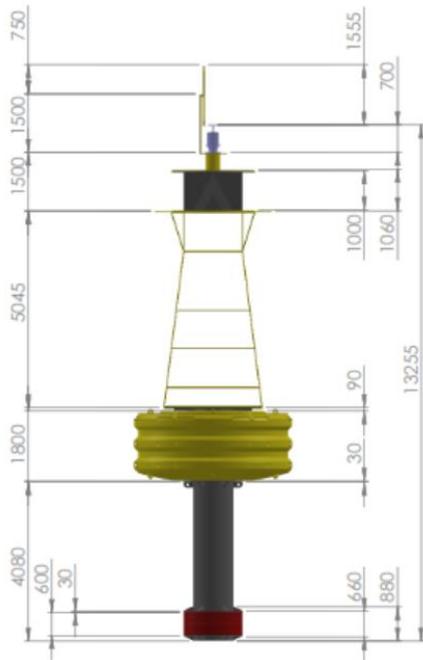
Rancangan desain baru *navigation buoy* yang dilakukan adalah dengan memberikan perubahan pada diameter serta tinggi tambahan pada bangunan atas *navigation buoy*, dimana dimaksudkan sebagai perubahan pada desain utama *navigation buoy* pada penelitian sebelumnya.



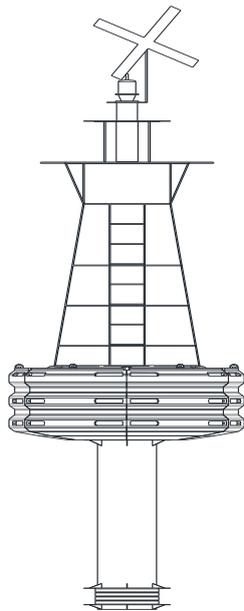
Gambar 5. Permodelan Buoy 3D pada *solidwork*.

Gambar 5. Menunjukkan model 3D *navigation buoy* pada *solidwork* yang akan digunakan untuk menentukan titik berat pada *navigation buoy*. Titik berat yang sudah di tentukan kemudian di inputkan pada *software* moses.

Gambar 6 Menunjukkan ukuran utama pada model *navigation buoy* yang baru. Gambar 7 Menunjukkan rencana garis untuk desain baru pada *navigation buoy*.



Gambar 6. *New Design Buoy 3D*



Gambar 7. *Lines plan New Design Buoy*

2.4 Stabilitas Buoy

Stabilitas *navigation buoy* adalah kemampuan *navigation buoy* untuk kembali ke posisi tegak atau posisi semula, ketika mendapatkan tindakan eksternal seperti angin, ombak, dan arus. Ada dua aspek stabilitas yang akan dimasukkan dalam desain *Buoy*. Aspek stabilitas yang dimaksudkan adalah stabilitas bentuk dan berat [5].

Stabilitas bentuk adalah stabilitas yang diakibatkan oleh bentuk pada bagian *navigation buoy* yang terendam. Ukuran diameter silinder *navigation buoy* dalam keadaan normal apabila

semakin besar diameter *Buoy* maka akan semakin stabil.

2.4.1. Perhitungan Stabilitas Buoy

2.4.1.1. Centre of Buoyancy

Pusat daya apung didefinisikan sebagai pusat volume pelampung yang terendam. Volume pelampung yang terendam sama dengan perpindahan yang merupakan volume air yang didorong oleh pelampung. Untuk menghitung pusat daya apung, perpindahan dan momen pertama volume air drainase harus diketahui.

$$KB = M_B/V \quad (1)$$

2.4.1.2. Centre of gravity

Pusat gravitasi pelampung yang dirancang baru dapat dihitung dengan distribusi berat untuk semua bingkai elemen. Pusat gravitasi dapat diperoleh dengan Persamaan

$$KG = M_C/W \quad (2)$$

2.4.1.3. Height of metacenter

BM sebagai jarak dari pusat daya apung ke ketinggian metacenter. Ini mempengaruhi periode gerakan bergulir dan kekuatan restitusi benda apung. Karena nilai BM lebih tinggi, pelampung lebih stabil. BM dihitung dengan Persamaan:

$$BM = I_x/V \quad (3)$$

dimana, I_x adalah momen inersia untuk draft float body. GM juga didefinisikan sebagai jarak dari pusat gravitasi ke ketinggian metacenter. Karena nilai GM lebih besar, pelampung lebih stabil. GM dihitung dengan Persamaan.

$$GM = BM + KB - KG \quad (4)$$

2.4.2. Intact Stability

Kriteria stabilitas yang tercantum pada *IMO MSC.267(85) Adoption of The International Code on Intact Stability 2008*, mensyaratkan ketentuan-ketentuan sebagai berikut.

Tabel 3. Kriteria *Intact Stability buoy*

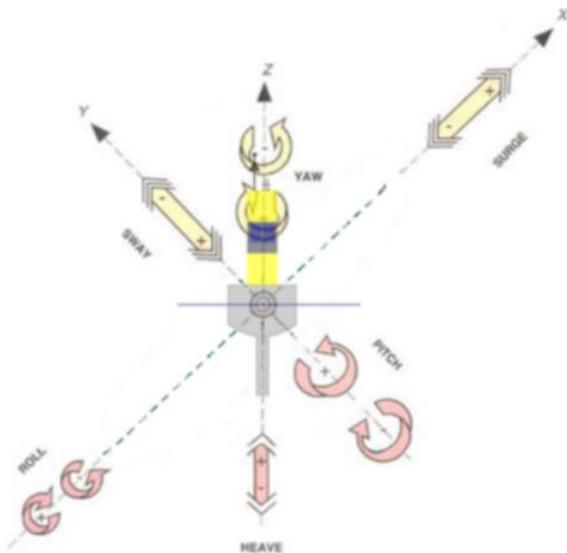
Code	Criteria	Limit	Unit
267 (85) CH2	Area 0 to 30	> 3.151	m.deg

267 (85) CH2	Max GZ at 30 or greater	≥ 0.30	m
267 (85) CH2	Angle of maximum GZ	≥ 30.00	deg
267 (85) CH2	Initial GMt	≥ 0.5	m

2.5 Gerakan Buoy

Gambar 8 menjelaskan berbagai gerakan pelampung. Gerakan pelampung tersebut adalah gerakan yang digunakan dalam Naval Architecture [5]. Garis tengah horizontal suatu kapal akan sesuai dengan arah air mengalir melewati pelampung.

Variasi pada *ballast* tersebut mempengaruhi titik beratnya pada *navigation buoy*. Secara teori, perubahan titik berat dapat mempengaruhi nilai radius girasi yang fungsinya memperoleh momen inersia pada *navigation buoy* terutama gerakan yang sifatnya rotasi seperti gerakan *roll*, *pitch*, dan *yaw*.



Gambar 8. Pergerakan Pelampung (IALA *Guideline 1065*)

2.6 Desain mooring

Desain mooring membutuhkan perhitungan tambatan, perlu mengetahui detail fisik *navigation buoy* yang akan ditambatkan dan kondisi lingkungan di lokasi tambat. Prosedur perawatan juga harus dipertimbangkan sebagai pelampung mungkin perlu menyediakan platform kerja yang aman untuk personel servis [6].

Perhitungan dibutuhkan untuk melakukan perbaikan, hal yang harus diketahui yaitu ukuran dan kekuatan rantai tambatan yang ada tersedia, detail *sinkers* yang tersedia dan kapasitas peralatan pengangkat pada kapal servis.

Table 4. Data Rantai R3

No.	Type	Stud Less	
1	QUALITIES	R3	
2	CLASS.SOCIETY	GL-R3	
3	DIAMETER	42 mm	
4	WEIGHT IN AIR	3,1 Kg	6,9 LBS
5	SUBMERGED WEIGHT	2,7 Kg	6 LBS
6	PROOF LOAD	105 Kn	24 Kips

2.6.1 Transitional moorings Loads

Transisi Muatan Mooring (*Transitional moorings Loads*) adalah kondisi tambatan yang sangat ideal, dimana *mooring chain catenary* bertemu dengan dasar laut secara tangensial yang berada persis pada sinker ketika ada angin dan pasang maksimum (atau arus) yang menyebabkan beban pada *Navigation buoy*. Hal ini menjadikan beban tambatan akan dipindahkan secara horizontal ke sinker, yang mana dapat bekerja lebih efektif [7].

Beban yang disebabkan oleh angin dan pasang surut dihitung dari rumus berikut:

$$T_{ho} = F_w / W_d \quad (5)$$

Dimana T_{ho} adalah beban horizontal yang disebabkan oleh angin dan pasang surut dalam Newton (N), F_w adalah beban angin maksimum pada pelampung (N), F_d adalah beban pasang maksimum (atau arus) pada pelampung (N).

$$F_w = 1/2 \rho_a V_w^2 A C_w \quad (6)$$

Dimana ρ_a satuan massa udara dalam kilogram per meter kubik Kg/m^3 , V_w kecepatan angin maksimum dalam meter per detik m/s , A luas penampang bagian pelampung yang terpapar angin dalam meter persegi m^2 , C_w koefisien hambatan aerodinamik dari bagian-bagian yang relevan dari pelampung yang terpapar oleh beban angin.

$$F_d = 1/2 \rho_a V_w^2 S C_d \quad (7)$$

Dimana C_d Koefisien drag hidrodinamik dari berbagai bagian pelampung yang terbenam. Nilai umum untuk C_d adalah 0,55-0,65 (tanpa fouling) tergantung pada jenis pelampung. Contoh ditunjukkan pada ANNEX A, dimana percobaan telah menetapkan koefisien hambatan 0,55 untuk pelampung jenis rok konvensional.

Panjang rantai untuk tambatan transisi (*Chain length for transitional moorings*) dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$L = \sqrt{H \left(H + \frac{2T_{ho}}{pg} \right)} \quad (8)$$

$$Rc \geq 5 (p g H + T_{Ho}) \quad (9)$$

Dimana H adalah kedalaman air maksimum di stasiun dalam meter. Ini harus termasuk ketinggian gelombang, p adalah massa rantai yang direndam linear (massa dikurangi daya apung rantai) dalam kilogram per meter Kg/m. g adalah akselerasi karena gravitasi dalam meter per detik kuadrat (m/s^2), Rc adalah *Proof Load* rantai (N).

2.6.2 *Swinging Radius for transitional mooring*

$$R_m = \frac{T_{ho}}{pg} \cosh^{-1} \left(\frac{pgHm}{T_{ho}} + \frac{\sqrt{T_{ho}^2 + T_{ho}^2}}{T_{ho}} \right) - \frac{T_{ho}}{pg} \sinh^{-1} \left(\frac{T_{vo}}{T_{ho}} \right) \quad (10)$$

Dimana R_m adalah *maximum swinging* dalam meter (m).

Swinging radius digunakan untuk melihat apakah tambatan yang dirancang telah memenuhi persyaratan untuk navigasi dan kebutuhan operasional, *Swinging radius* tidak dapat diterima apabila *navigation buoy* menandai adanya sebuah saluran navigasi, maka *Swinging Radius* perlu dilakukan pengurangan agar dapat memenuhi kriteria. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan rantai tambatan dengan ukuran yang lebih besar. Efek yang ditimbulkan yaitu dapat dilakukan dengan cara menghitung kembali desain tambatan dengan ukuran rantai yang semakin besar.

2.6.3 *Sinker Weight*

Perhitungan sederhana untuk mendesain bobot sinker hanya dengan memperhitungkan efek gesekan dengan dasar laut (efek '*burying*' dan rock *stopping*' tidak diperhitungkan).

Di bawah hipotesis ini, berat minimum pemberat disediakan oleh rumus.

$$M = K \frac{T_{ho} \delta}{g(\delta - \rho_w) \tan \phi} \quad (11)$$

Dimana M adalah massa *sinker* dalam Kg, K adalah *safety coefficient* (umumnya diambil sama dengan 1,5), δ adalah densitas rata-rata dari *sinker* (kg / m^3) (Umumnya diambil sama dengan $2.400 kg / m^3$ untuk beton bertulang pemberat dan $7800 kg / m^3$ untuk besi cor), ρ_w adalah densitas air (kg / m^3) (Diambil sama dengan $1024 kg / m^3$ untuk air garam), ϕ adalah sudut gesekan internal dari dasar laut (tergantung pada jenis tanah di stasiun), 45° ($0,7855$ in *radian*) adalah perkiraan praktis yang dapat digunakan dalam banyak kasus.

Kapur dan beberapa dasar kerikil mungkin memberikan sudut gesekan yang lebih rendah.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis *Stability* pada *Polymer Buoy* sebelum Redesain

Penelitian pada analisis stabilitas *polymer buoy* perlu dilakukan, sebelum merancang desain baru *navigation buoy*. Hal ini dimaksudkan agar hasil analisa dapat dijadikan sebagai acuan dasar nilai stabilitas *navigation buoy*. Evaluasi stabilitas *navigation buoy* yang dirancang dengan *body polymer buoy* mempunyai karakteristik tersendiri [8]. Karakteristik pada *navigation buoy* yang menjadi acuan dalam stabilitas *navigation buoy* mempunyai parameter yang terdiri dari *center of gravity*, *center of buoyancy*, *metacenter*, *period of motion*, dan *inclination angle*. Sebagai parameter input, dengan mengasumsikan kondisi alam yang ekstrim dengan kedalaman laut 20 m, periode gelombang laut adalah 10 detik, ketinggian gelombang laut adalah 5 m, dan arus pasang surut adalah 5 kts.

Hasil akhir dan perhitungan dimaksud untuk buku pegangan dari itu navigasi suar.

Tabel 5. Hasil Analisis Stabilitas *Polymer Buoy*

Criteria	Limit	Unit	Actual	Status
Area 0 to 30 (>)	3.151	m.de g	18.97	Pass
Max GZ at 30 or greater (\geq)	0.20	m	0.911	Pass
Angle of maximum GZ (\geq)	30.00	deg	60.8	Pass
Initial GMt (\geq)	0.5	m	2.005	Pass
Angle of equilibrium Wind Heeling	12	deg	7.7	Pass

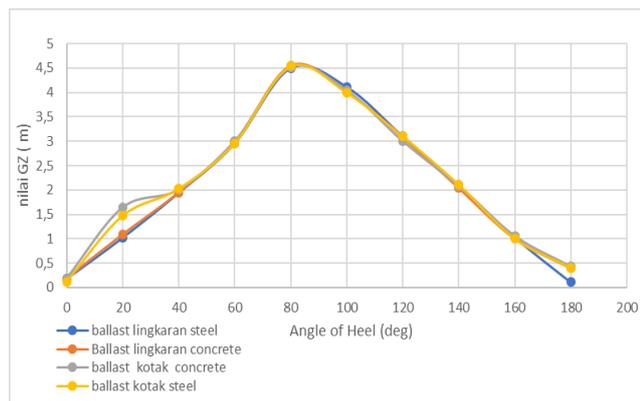
Tabel 5. Menunjukkan hasil analisis *intact stability navigation buoy* sebelum dilakukan redesain yang telah sesuai dengan kriteria analisis yang digunakan. Kriteria tersebut menetapkan bahwa area dibawah kurva GZ (*righting lever curve*) tidak kurang dari 30° . Nilai GM yang semakin besar dapat menyebabkan *navigation buoy* menjadi lebih stabil.

Desain dari kriteria stabilitas dipilih untuk skenario kasus yang terburuk pada *navigation buoy* yakni tanpa stabilisasi pengaruh kabel dan rantai gantung (*mooring*). Hal tersebut mengharuskan pelampung tetap tegak dan platform tetap stabil untuk dapat memastikan komunikasi dalam tujuan pelacakan dan pemulihan. Perancangan pelampung dengan karakteristik ini mendapatkan hasil dari analisis lingkungan gelombang sejarah Teluk

Maine menggunakan arsip data NDBC selama tahun 1979 hingga 1993. Ditentukan bahwa periode gelombang rata-rata tahunan yang dominan adalah sekitar 6 hingga 7 detik dengan maksimal 34 detik dan tinggi gelombang signifikan rata-rata per tahun adalah 2 meter dengan maksimum 10 meter [9]. *Near-resonant respons* harus dihindari karena periode *rolling* pelampung harus lebih pendek dari periode gelombang dominan.

3.4 Analisis Stability pada New Design Buoy

Navigation Buoy harus mempunyai stabilitas yang baik, *Navigation Buoy* secara terus menerus akan dipaksa keluar dari posisi lurusnya melawan gaya eksternal yang ditimbulkan pada saat dioperasikan dilaut lepas dengan berbagai cuaca. Analisa stabilitas yang digunakan pada disain baru *Navigation Buoy* ini yakni pada kondisi *Operating condition* (10 year – RP) untuk arah beban lingkungan dibuat searah yakni *current*, *wave* dan *wind* dengan delapan arah mata angin yang berbeda. Hind (1982) menyatakan bahwa terdapat tiga titik konsentrasi yang memegang peranan penting dalam peninjauan stabilitas yaitu titik G (*centre of gravity*), B (*centre of bouyancy*), dan M (*metacentre*). Perubahan pada desain baru *Navigation Buoy* dengan variasi bentuk *ballast* dan perbedaan material *ballast* akan mempengaruhi stabilitas pada *Navigation Buoy* sehingga perlu dianalisa performa stabilitas *Navigation Buoy*. Perhitungan ini akan membandingkan performa *polymer Buoy* dengan *Navigation Buoy* hasil redesain dengan *software moses*. [10].



Grafik 1. Kurva Lengan GZ Hasil Analisis

Tabel 6. Hasil Analisis *Stability New Designed* dengan Variasi *Ballast Persegi* Menggunakan Material *Concrete*

Criteria	Limit	Unit	Actual	Status
Area 0 to 30 (>)	3.151	m.de g	9.899	Pass
Max GZ at 30 or greater (\geq)	0.20	m	4.336	Pass

Angle of maximum GZ (\geq)	30.00	deg	84.6	Pass
Initial GM (\geq)	0.5	m	0.87	Pass
Angle of equilibrium Wind Heeling	12	deg	0.2	Pass

Tabel 6 Menunjukkan hasil analisis stabilitas *Navigation Buoy* dengan variasi *ballast* persegi menggunakan material *concrete* memiliki berat total seluruh struktur yakni 3330,14 kg dengan di dapatkan nilai *draft* 3,29 m, nilai titik pusat gravitasi yakni sebesar 0,55 m, dan jarak dari titik pusat gravitasi ke metacenter GM sebesar 0.87 m.

Hasil perhitungan stabilitas menunjukkan sudut kemiringan terbesar pada variasi *ballast concrete* berbentuk persegi terdapat pada sudut 84,6 derajat sebesar 4,336 m dengan luas area senilai 9,899 m.deg.

Tabel 7. Hasil Analisis *Stability New Designed* dengan Variasi *Ballast Persegi* Menggunakan Material *Steel*

Criteria	Limit	Unit	Actual	Status
Area 0 to 30 (>)	3.151	m.de g	4.566	Pass
Max GZ at 30 or greater (\geq)	0.20	m	4.796	Pass
Angle of maximum GZ (\geq)	30.00	deg	85.9	Pass
Initial GM (\geq)	0.5	m	1.89	Pass
Angle of equilibrium Wind Heeling	12	deg	0.2	Pass

Tabel 7 Menunjukkan hasil analisis stabilitas *Navigation Buoy* dengan variasi *ballast* persegi menggunakan material *steel* memiliki berat total seluruh struktur yakni 4144,18 kg di dapatkan nilai *draft* 4,04 m, nilai titik pusat gravitasi sebesar 0,55 m, dan jarak dari titik pusat gravitasi ke metacenter GM sebesar 1.89 m.

Sudut kemiringan terbesar pada variasi *ballast steel* berbentuk persegi terdapat pada sudut sudut 85,9 derajat sebesar 4,566 m dengan luas area senilai 4,796 m.deg.

Tabel 8. Hasil Analisis *Stability New Designed* dengan Variasi *Ballast Lingkaran* Dengan Menggunakan *Concrete*

Criteria	Limit	Unit	Actual	Status
Area 0 to 30 (>)	3.151	m.de g	9.766	Pass
Max GZ at 30 or greater (\geq)	0.20	m	4.131	Pass
Angle of maximum GZ (\geq)	30.00	deg	83.1	Pass
Initial GM (\geq)	0.5	m	0.73	Pass

Angle of equilibrium Wind Heeling	12 deg	0.15	Pass
-----------------------------------	--------	------	------

Tabel 8 Menunjukkan hasil analisis stabilitas Navigation Buoy dengan variasi *ballast* lingkaran menggunakan material *concrete* memiliki berat total seluruh struktur yakni 3371,7 kg di dapatkan nilai *draft* 3,00 m, titik pusat gravitasi sebesar 0,56 m, dan jarak dari titik pusat gravitasi ke metacenter GM sebesar 0,73 m.

Sudut kemiringan terbesar pada variasi *ballast concrete* berbentuk lingkaran terdapat pada 83,1 derajat sebesar 4,131 m dengan luas area senilai 9,766 m.deg.

Tabel 9. Hasil Analisis Stability New Designed dengan Variasi Ballast Lingkaran Menggunakan Material Steel

Criteria	Limit	Unit	Actual	Status
Area 0 to 30 (>)	3.151	m.de g	9.881	Pass
Max GZ at 30 or greater (\geq)	0.20	m	4.455	Pass
Angle of maximum GZ (\geq)	30.00	deg	85.7	Pass
Initial GM (\geq)	0.5	m	0.87	Pass
Angle of equilibrium Wind Heeling	12	deg	0.2	Pass

Tabel 9. Menunjukkan hasil analisis stabilitas Navigation Buoy dengan variasi *ballast* persegi menggunakan material *concrete* memiliki berat total seluruh struktur yakni 3095,45 kg di dapatkan nilai *draft* 3,34 m, titik pusat gravitasi sebesar 0,55 m, dan jarak dari titik pusat gravitasi ke metacenter GM sebesar 0,89 m.

Hasil perhitungan stabilitas menunjukkan sudut kemiringan terbesar pada variasi *ballast steel* berbentuk lingkaran terdapat pada sudut 85,7derajat sebesar 4,455 m dengan luas area senilai 9,881 m.deg.

Perhitungan stabilitas *navigation buoy* pada beberapa tabel yang telah tersaji, menunjukkan jarak antara titik berat (G) dan titik metasentra (M) mengecil. Nilai GM berbanding lurus dengan nilai GZ dan momen penagak *navigation buoy*. factor tersebut mempengaruhi terjadinya penurunan pada tinggi titik metasentris GM dan nilai lengan penagak GZ *navigation buoy*. Hal ini juga mempengaruhi penyebab stabilitas dari *navigation buoy* menjadi kecil karena moment penagak yang relative kecil, moment penagak yang kecil tersebut dikarenakan nilai titik berat terhadap titik metasentra bernilai kecil [5].

Keseluruhan hasil analisis *intact stability navigation buoy* setelah dilakukan redesain telah

sesuai dengan kriteria analisis yang digunakan, sama seperti kondisi *navigation buoy* sebelum dilakukan redesain. Hasil dari beberapa penelitian lain yang menganalisis *intact stability* pada *navigation buoy* juga menunjukkan bahwa nilai *angle max of GZ* lebih dari 30⁰ telah memenuhi standar kriteria.

Pelampung telah menunjukkan, dengan beberapa modifikasi, bahwa desain serupa dapat menggabungkan kebutuhan muatan untuk *navigation buoy* dan memenuhi persyaratan umum kriteria desain stabilitas. Langkah pertama dalam proses analisis adalah mengembangkan *spreadsheet* untuk menghitung berat berbagai komponen dari *navigation buoy*, yang diterjemahkan menjadi system koordinat pada titik massa pada pelampung, dengan memperkirakan ukuran dan bentuk flotasi serta menghitung *center of gravity*, *center of buoyancy*, *righting moment*[11].

Penelitian sebelumnya tentang desain stabilitas pelampung Gomoos menunjukkan hasil yakni pada saat terjadinya *righting moment* membutuhkan sejumlah energi yang digunakan untuk membalik pelampung. Berdasarkan analisis ini, pelampung menghasilkan *angle max of GZ* sebesar 103^o [12].

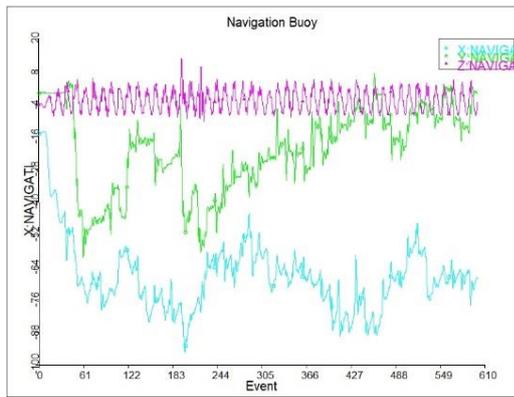
3.3 Perhitungan Desain Mooring

Tabel 10 hasil perhitungan desain mooring

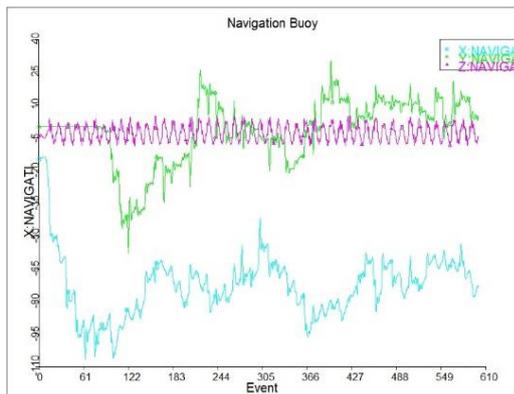
No.	Desain Mooring		Hasil
1.	Transitional moorings Loads	T_{ho}	304,9 N
2.	Chain length for transitional moorings	L	120 m
3.	chain size for a transitional mooring	Rc	105 N
4.	Swinging radius	Rm	31,3 m
5.	Sinker Weight for Transitional and Slack Moorings	M	1 ton

Tabel 9. Menunjukkan hasil perhitungan desain mooring yang digunakan yang memiliki panjang 120 meter dengan berat sinker 1 ton. Ukuran untuk *transitional mooring* sebesar 105N.

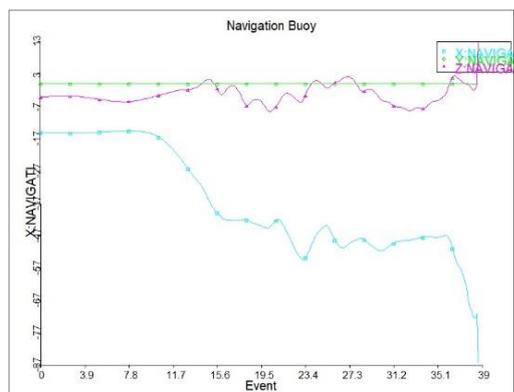
Ukuran rantai, Panjang, dan pemberat dapat dihitung untuk memenuhi persyaratan radius *swinging* pada suatu buoy tertentu. Pengecekan harus dilakukan sekali lagi agar buoy memiliki daya apung yang cukup baik, dimana hal ini dilakukan untuk mendukung pada saat di lakukan perbaikan dalam kondisi lingkungan yang parah atau ekstrim.



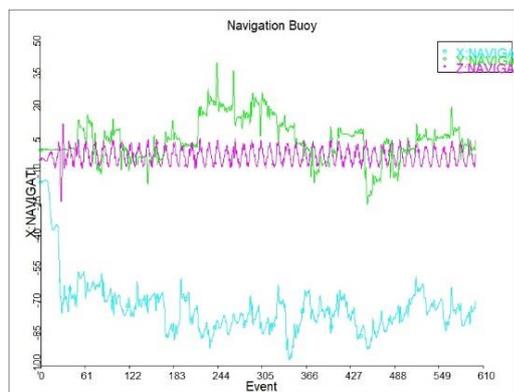
(a)



(b)



(c)



(d)

Grafik 2 *swinging radius navigation buoy*.
 grafik (a) Ballast lingkaran dengan *steel*, (b)
 Ballast lingkaran dengan *concrete*, (c) Ballast

persegi dengan *concrete*, (d) Ballast persegi dengan *steel*

Swinging radius merupakan jari-jari gerakan melingkar pelampung tentang posisi sinker pada kondisi air yang rendah. Maka digunakan untuk melihat apakah tambatan yang dirancang memenuhi persyaratan navigasi dan operasional. *Swinging radius* maksimum yang di dapatkan yaitu sebesar 31,3 m akibat kondisi beban arus dan gelombang.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan serta analisis yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

Hasil perhitungan analisis *stability Navigation Buoy* sebelum dan setelah modifikasi telah memenuhi kriteria yang disyaratkan dalam semua kondisi dengan nilai sudut maksimal GZ tidak kurang dari atau sama dengan 30^0 .

Hasil perhitungan stabilitas nilai GZ *max* terdapat pada variasi ballast material *steel* sudut $85,9$ derajat sebesar $4,566$ m dengan luas area senilai $4,796$ m.deg. Hasil tersebut telah memenuhi kriteria desain untuk kondisi laut ekstrim seperti pada penelitian lainnya yang digunakan sebagai referensi desain pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Purwatiningsih, "Eksplorasi Dan Eksploitasi Pertambangan Minyak Dan Gas Bumi Di Laut Natuna Bagian Utara Laut Yuridiksi Nasional Untuk Meningkatkan Kesejahteraan Masyarakat Di Kepulauan Natuna," Vol. 2, Pp. 59–67, 2012.
- [2] J. E. Park, I. K. Kim, T. W. Kim, K. H. Ha, Y. W. Park, And J. S. Kwak, "Design Of Korean Standard Modular Buoy Body Using Polyethylene Polymer Material For Ship Safety," *J. Mater. Sci. Chem. Eng.*, Vol. 04, No. 01, Pp. 65–73, 2016.
- [3] P. Y. Murah And H. D. A. N. Mandiri, "Merancang Sistem Buoy Dan Sensor Sebagai Perangkat Pemantauan Lingkungan," Pp. 287–295, 2000.
- [4] Dnv, "Dnvgl-Os-C301, *Stability And Watertight Integrity*," Juli. 2015.
- [5] C. B. Barrass And D. R. Derrett, "*Ship Stability For Masters And Mates*". 2012.
- [6] IALA, "*The Design of Floating Aid To*," Pp. 1–58, Juni. 2010.
- [7] B. Tenders, "*Iala Model Course*," Pp. 1–8, Juni. 2016.
- [8] S. Germain And F. Telephone, "*Iala*

Guideline No. 1099 On The Hydrostatic Design Of Buoys Edition 1 May,” No. 1099, 2013.

- [9] R. Dewey, “*Mooring Design & Dynamics. Marine Models Online*”, Vol. 1, pp 103-157, 1999.
- [10] S. Clara, “*Reference Manual for Moses,*” pp. 1–4, August, 2003.
- [11] J. Irish, W. Paul, J. Shaumeyer, and C. Gaither III, “*Next-Generation Ocean Observing Buoy. Sea Technology*”. Vol. 40, No. 5, pp. 37-43, 1999.
- [12] P. John Wallinga, R. Neal Pettirew, and D. James Irish “*The GoMOOS Moored Buoy Design*”, 2003.