
Perbandingan Desain Dermaga Terapung Pada Sistem Konstruksi Melintang dan Memanjang “Studi Kasus Dermaga Pelabuhan Tideng Pale Kabupaten Tana Tidung”

Edy Utomo

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan,
E-mail: edyutomo99@gmail.com

Received 16 April 2018; Reviewed 3 Mei 2018; Accepted 20 Mei 2018
<http://jurnal.borneo.ac.id/index.php/borneoengineering>

Abstract

Floating port is a barge made of rectangular steel or concrete that can float to adjust the water level. Barge is a cargo ship type do not have a propulsion system. So, design of floating port preferably aqual to ship design. There are 3 types of barge construction system, that are longitudinal system, transversal system and mixed construction. To get the optimal design of floating port, comparison of design based on the construction system is needed. Case study in this research ia a Tideng Pale-KTT floating port. Deformation and stress analysis using FEA method on 2 models of construction system, that are transversal and longitudinal. Based on results, both of construction system produce a good strength value. However, there are some construction component which does not match the placement of the construction system. Results of construction costs have 5,51% deviation, longitudinal sytem is more expensive. So, produce the hypotheses to do a combination for both of construction systems.

Keywords : *Barge, Construction costs, Construction system, Floating port, Plate stress.*

Abstrak

Dermaga terapung merupakan ponton yang terbuat dari kotak baja atau beton dan dapat mengapung menyesuaikan perubahan muka air. Ponton merupakan jenis kapal barang namun tidak memiliki alat penggerak, sehingga perencanaan dermaga apung sebaiknya adalah sama dengan perancangan kapal. Terdapat 3 jenis sistem konstruksi pada ponton, yaitu sistem konstruksi melintang, memanjang dan campuran. Agar mendapatkan rancangan yang optimal, maka diperlukan perbandingan desain dermaga apung berdasarkan sistem konstruksinya. Studi kasus dalam penelitian ini adalah dermaga apung pelabuhan Tideng Pale-KTT. Analisa tegangan dan deformasi dilakukan dengan metode FEA pada 2 model sistem konstruksi, yaitu melintang dan memanjang. Berdasarkan hasil penelitian, kedua sistem konstruksi menghasilkan nilai kekuatan yang baik. Namun, terdapat beberapa komponen konstruksi yang tidak sesuai penempatannya. Biaya konstruksi yang dihasilkan memiliki selisih 5,51%, dimana sistem konstruksi memanjang lebih mahal. Sehingga, menghasilkan hipotesa untuk melakukan kombinasi terhadap kedua sistem konstruksi tersebut.

Kata Kunci : *Biaya konstruksi, Dermaga terapung, Ponton, Sistem konstruksi, Tegangan pelat.*

1. Pendahuluan

Perkembangan pembangunan di daerah Kalimantan Utara yang merupakan provinsi baru di Indonesia memberikan pengaruh kehidupan perekonomian untuk daerah-daerahnya, termasuk perkembangan kehidupan ekonomi di wilayah Kabupaten Tana Tidung (KTT) dengan pusat roda pemerintahan saat ini berada di Desa Tideng Pale Kecamatan Sesayap. Perkembangan ekonomi di daerah tersebut dianggap perlu diselaraskan dengan peran infrastrukturnya terutama adalah infrastruktur transportasi sebagai penghubung kegiatan ekonomi masyarakat. Salah satu peran transportasi yang sangat berpengaruh dalam perkembangan ekonomi di KTT adalah transportasi laut. Wilayah KTT yang terletak di jalur sungai sesayap sangat memerlukan infrastruktur pendukung transportasi laut untuk menunjang kegiatan pembangunannya. Salah satunya adalah keperluan dermaga di daerah tersebut. Saat ini pelabuhan utama di KTT adalah Pelabuhan Tideng Pale yang merupakan pelabuhan dengan tipe dermaga terapung.

Dermaga terapung merupakan dermaga berupa ponton (*Barge*) terbuat dari kotak baja atau beton yang dapat mengapung menyesuaikan perubahan elevasi muka air laut. Ponton dan sisi daratan dihubungkan dengan jembatan yang kedua ujungnya ditumpu pada sendi putar, sehingga dapat menyesuaikan dengan perubahan posisi dermaga. Pada umumnya dermaga apung digunakan pada daerah perairan yang memiliki pasang surut tinggi berkisar antara 4 sampai 5 meter (Triatmojo, B, 2009). *Barge* secara harfiah merupakan jenis kapal muatan barang campuran namun tidak dilengkapi dengan sistem penggerak, sehingga perancangan konstruksi *barge* adalah sama dengan perancangan kapal, terlebih lagi pembangunan dermaga dengan *barge* umumnya tidak dilakukan di lokasi dermaga melainkan di lokasi lain misalnya galangan kapal. Hal ini akan mengakibatkan adanya pembebanan yang dihasilkan dari gerakan *barge* saat di mobilisasi. Oleh sebab itu perancangan dermaga apung lebih baik mengadopsi standar perancangan kapal yang berlaku. Perancangan struktur *barge* mencakup proses bertahap dan iteratif. Selama proses ini, perancang mengembangkan suatu konfigurasi struktur yang dapat berdasarkan pengalaman, ituisi dan imajinasi, yang selanjutnya melakukan suatu analisa struktur untuk menilai hasil rancangannya (Rosyid.D & Setyawan.D, 2000). Konfigurasi konstruksi pada suatu kapal juga sangat bervariasi, setidaknya terdapat 3 konfigurasi konstruksi pada perancangan kapal, yaitu konstruksi melintang, memanjang dan konstruksi campuran. Dimana setiap konfigurasi konstruksi tersebut tentu memiliki hasil yang berbeda baik dari segi kekuatan, ekonomis dan ketahanan (Rosyid.D & Setyawan.D, 2000).

Berdasarkan hal tersebut, dalam penelitian ini akan melakukan analisis terhadap desain dermaga terapung dengan menggunakan *barge* sebagai dermaganya pada sistem konstruksi melintang dan memanjang, serta melakukan perbandingan dari beberapa hal yang dianggap berpengaruh terhadap kekuatan konstruksi dermaga yang memberikan nilai ekonomis pada pelaksanaan pembangunannya. Desain *barge* dilakukan berdasarkan standarisasi desain menurut Biro Klasifikasi Indonesia (BKI, 2006) untuk detail desain konfigurasi sampai dengan pembebanan. Analisa struktur dari konstruksi *Barge* dilakukan dengan pendekatan menggunakan metode FEA (*Finite Element Analysis*).

2. Metode dan Studi Literatur

2.1. Data Umum Penggunaan Dermaga Dan Lingkungan Perairan Pelabuhan

Ponton yang difungsikan sebagai dermaga tentu dirancang berdasarkan kapasitas penggunaannya dan kondisi perairan di daerah operasional dermaga. Beberapa data yang telah dihimpun untuk keperluan desain ponton disajikan dalam **Tabel 1** sebagai berikut :

Tabel 1. Data umum penggunaan dermaga dan lingkungan perairan pelabuhan.

Jenis Data Penggunaan dan Lingkungan Perairan	Keterangan atau Nilai
Tinggi pasang surut	5 Meter
Kecepatan angin maksimum	25 Knots or Pa = 39,375 kg/m ²
Kecepatan arus perairan maksimum	1,00 m/s
Berat jenis air (air payau)	1,03 ton/m ³
Kapasitas muatan sementara :	
• Penumpang + Barang Bawaan	2,460 ton ; 41,00 kg/m ²
Kapal sandar pada dermaga (Speed Boat) :	
• LOA, max ; Panjang total kapal	15,00 Meter
• LWL, max ; Panjang garis air	13,00 Meter
• B, max ; Lebar total kapal	4,50 Meter
• T, max ; Draft kapal	1,00 Meter
• H, max ; Tinggi kapal	2,00 Meter
• Vs, max ; Kecepatan Rancang	12 Knots
• GT, max ; Gross Tonage kapal	28
• Cb, max ; Koeffisien blok	0,60 – 0,65
• Δ, max ; Displacement	37,16 Ton

Sumber : Hasil survey desain, CV. Graha Mitra Nusantara Konsultan.

2.2. Ukuran Utama Dermaga Terapung (*Barge*)

Ukuran utama dermaga disesuaikan dengan kebutuhan penggunaan sehari-hari. Adapun ukuran dimensional dermaga ditunjukkan pada **Tabel 2** berikut ini :

Tabel 2 : Ukuran utama dermaga terapung (*Barge*).

Item dimensional	Nilai dimensional
LOA (Panjang total dermaga)	10,00 Meter
LWL (Panjang garis air)	10,00 Meter
B (Lebar dermaga/ponton/ <i>barge</i>)	6,00 Meter
H (Tinggi dermaga/poton/ <i>barge</i>)	1,20 Meter
T (Draft dermaga/ponton/ <i>barge</i>)	0,30 Meter
Cb (Koeffisein blok dermaga/ponton/ <i>barge</i>)	1,00

Sumber : Data desain dermaga terapung, CV. Graha Mitra Nusantara Konsultan

2.3. Konfigurasi Konstruksi Ponton (*Barge*)

Ponton yang merupakan jenis kapal pada dasarnya terdiri dari komponen-komponen konstruksi yang letaknya arah melintang dan memanjang. Beberapa cara umum yang biasa digunakan dalam penyusunan komponen-komponen tersebut yaitu sistem konstruksi melintang, sistem konstruksi memanjang dan sistem konstruksi kombinasi/campuran, (Rosyid.D & Setyawan.D, 2000).

Sistem konstruksi melintang merupakan konstruksi dimana beban yang bekerja pada konstruksi diterima oleh pelat kulit dan diuraikan pada hubungan-hubungan kaku/balok memanjang dari kapal dengan bantuan balok yang melintang kapal. Sedangkan sistem konstruksi memanjang merupakan konstruksi dimana bekerja beban yang diterima oleh rangka konstruksi dan diuraikan pada hubungan-hubungan kaku melintang kapal dengan pertolongan balok memanjang. Kedua sistem konstruksi tersebut memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing, seperti yang diuraikan pada **Tabel 3**.

Adanya kekurangan pada setiap sistem konstruksi yang dijelaskan dalam **Tabel 3**, maka memunculkan penggunaan sistem konstruksi campuran. Dalam sistem konstruksi campuran penggunaan konstruksi memanjang digunakan pada geladak utama dan dasar kapal. Sedangkan pada

konstruksi bagian lain, seperti konstruksi lambung dan bagian ujung-ujung kapal menggunakan sistem konstruksi melintang (Rosyid.D & Setyawan.D, 2000).

Tabel 3 : Kekurangan dan kelebihan sistem konstruksi melintang dan memanjang.

Sistem Konstruksi	Kelebihan	Kekurangan
Sistem Konstruksi Melintang	<ul style="list-style-type: none"> Bentuk Konstruksi Sederhana Mudah dalam pembangunannya Kekuatan melintang baik 	<ul style="list-style-type: none"> Kestabilan dari pelat kulit kecil Kekuatan memanjang jelek Diperuntukkan pada kapal-kapal yang pendek
Sistem Konstruksi Memanjang	<ul style="list-style-type: none"> Kekuatan memanjang baik Kekakuan konstruksi lebih stabil 	<ul style="list-style-type: none"> Pembangunan kapal lebih sulit Konstruksi melintang jelek

Sumber : Kekuatan struktur kapal, (Rosyid.D & Setyawan.D, 2000).

2.4. Analisis Pembebanan Konstruksi

Menghitung kekuatan suatu konstruksi sangat tergantung pada beban yang bekerja di konstruksi tersebut. Terdapat beberapa cara untuk menggolongkan beban yang direncanakan sanggup ditahan oleh bagian konstruksi sebuah kapal. Beberapa beban terpenting adalah beban dinamis dalam artian bahwa bekerjanya beban tersebut berubah bersamaan dengan perubahan waktu, seperti beban gelombang. Akan tetapi beban gelombang memiliki frekuensi rendah, jika dibandingkan dengan frekuensi asli dari bagian konstruksi, sehingga biasanya beban tersebut dapat diperhitungkan sebagai beban statis. (Santosa. B, 2013).

Perhitungan beban juga perlu diperhatikan berdasarkan penggunaan konstruksi yang direncanakan. Pada suatu dermaga baik yang bersifat tetap maupun dapat bergerak dengan frekuensi yang rendah, memiliki beban-beban utama yang bekerja padanya. Beban tersebut biasanya disebut dengan istilah gaya. Gaya-gaya yang bekerja pada dermaga dapat dibedakan menjadi gaya vertikal dan horisontal. Gaya vertikal meliputi berat sendiri bangunan dermaga, beban hidup, beban peralatan bongkar muat, dll. Gaya horisontal dapat dibedakan meliputi gaya benturan kapal ketika kapal merapat ke dermaga (gaya sandar, *breathing forces*) dan gaya tambat (*mooring forces*), yaitu gaya yang ditimbulkan ketika kapal bertambat didermaga yang disebabkan oleh angin, arus dan gelombang (Triatmojo. B, 2009).

Gaya-gaya vertikal pada dermaga terapung yang paling utama selain berat sendiri konstruksi dermaga dan muatan sementara di atasnya adalah gaya tekan air ke atas. Gaya tekan ke atas merupakan reaksi massa air terhadap dermaga yang tidak lain adalah *displacement* dermaga itu sendiri. Dimana nilai *displacement* tersebut sama dengan massa total dermaga, demikian juga resultan gaya tekan ke atas tersebut harus tepat satu garis vertikal dengan resultan gaya berat, (Santosa. B, 2013). Penentuan gaya tekan ke atas ini dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$b(x) = \rho \cdot g \cdot a(x) \quad (1)$$

dimana,

$b(x)$ = gaya tekan ke atas (ton/m)

ρ = massa jenis air (1,031 ton/m³)

$a(x)$ = luas station di potongan sejauh x dari A_p (m²)

Karena gaya tekan ke atas dipengaruhi oleh *displacement* dermaga, dan *displacement* dermaga secara langsung dipengaruhi oleh dimensional dermaga beserta berat konstruksi dan muatannya,

maka pada kondisi air tenang terapungnya dermaga harus memenuhi persamaan kestabilan benda apung sebagai berikut :

$$w(x) = b(x) \quad (2)$$

dimana,

$w(x)$ = gaya tekan ke bawah akibat penyebaran berat konstruksi dan muatan (ton/m)

Selain tekanan air ke atas akibat terapungnya dermaga, beban lain yang perlu diperhitungkan adalah beban-beban pada setiap sisi dermaga yang dipengaruhi oleh arus gelombang diperairan (BKI, 2006). Beban-beban ini terdiri dari beban luar yang arah gelombangnya searah atau berlawanan dengan arah maju dermaga, jika dermaga bergerak maju dan beban luar yang arah gelombangnya melintang arah maju dermaga, jika dermaga bergerak maju, dan termasuk penambahan tekanan quasi-statis akibat kemiringan dermaga. Adapun persamaan-persamaan untuk perkiraan beban tersebut ditunjukkan sebagai berikut :

$$P_s = p_0 \cdot C_F \frac{20}{10+z-T} \quad (3)$$

$$P_{s2} = p_{01} \frac{20}{5+z-T} \cdot \frac{|y|}{B} \quad (4)$$

dimana,

- P_s = beban sisi dermaga untuk arah gelombang searah atau berlawanan dengan arah maju dermaga, jika dermaga bergerak maju, (kN/m²).
- P_{s2} = beban sisi dermaga untuk arah gelombang melintang arah maju dermaga termasuk penambahan tekanan quasi-statis akibat kemiringan dermaga, jika dermaga bergerak maju, (kN/m²).
- p_0 = beban luar dinamis untuk arah gelombang searah atau berlawanan dengan arah maju dermaga, (kN/m²), yang ditentukan dengan $[2,1 \cdot (C_B+0,7) \cdot c_0 \cdot c_L \cdot f \cdot c_{RW}]$.
- p_{01} = beban luar dinamis untuk arah gelombang melintang arah maju dermaga, (kN/m²), yang ditentukan dengan $[2,6 \cdot (C_B+0,7) \cdot c_0 \cdot c_L]$.
- z = jarak vertikal pusat beban konstruksi di atas garis dasar, (m).
- y = jarak horisontal antara pusat beban dan garis tengah, (m).
- T = draft dermaga, (m).
- C_F = faktor distribusi untuk beban laut pada sisi dermaga, = 1,0.
- C_B = koefisien blok, dimana tidak boleh diambil kurang dari 0,60.
- c_0 = koefisien gelombang, yang ditentukan dengan $[L/25 + 4,1]$, untuk $L < 90$ m.
- c_L = koefisien gelombang, yang ditentukan dengan $[(L/90)^{0,5}]$, untuk $L < 90$ m.
- c_{RW} = koefisien daerah pelayaran, diambil 0,60 (dermaga dibuat hanya disekitar pelabuhan).
- f = faktor peluang, diambil 1,0 (untuk panel pelat-pelat lambung sisi luar).

Beban-beban yang dikalkulasikan berdasarkan persamaan (3) dan (4) perlu untuk ditambahkan dengan tekanan hidrostatis pada setiap sisi dermaga, yang ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_h = \rho \cdot g \cdot T \quad (5)$$

dimana,

- P_h = tekanan hidrostatis, (N/m²) untuk sisi dermaga yang tercelup air.
- ρ = massa jenis air, (1030 kg/m³)
- g = percepatan gravitasi, (10 m/s²)
- T = draft dermaga, (meter).

Gaya akibat benturan kapal yang harus ditahan dermaga harus tergantung pada energi benturan yang diserap oleh sistem fender yang dipasang pada dermaga (Triatmojo. B, 2009). Gaya tersebut dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$E = \frac{WV^2}{2g} C_m C_e C_s C_c \quad (6)$$

dimana,

E = energi benturan kapal (ton meter)

V = kecepatan kapal saat membentur dermaga (m/s), diambil 0,25 m/s.

W = *displacement* (Δ) berat kapal, (ton)

g = percepatan gravitasi, (10 m/s²)

C_m = koefisien massa, ditentukan dengan $1 + \frac{\pi T}{2C_B B}$

C_e = koefisien eksentrisitas, ditentukan dengan $\frac{1}{1+(l/r)^2}$

l = panjang titik kontak pertama antara kapal dan dermaga, ditentukan dengan $\frac{1}{4}$ dari panjang total kapal.

r = jari-jari putaran di sekeliling pusat berat kapal pada permukaan air, diambil 0,23 untuk C_b 0,60 s/d 0,65.

C_s = koefisien kekerasan, diambil 1,00.

C_c = koefisien bentuk dari tambatan, diambil 1,00.

Gaya akibat tambat pada dermaga (*mooring forces*), terdiri dari 2 akibat gaya, yaitu gaya akibat angin dan gaya akibat arus. Perhitungan gaya juga dipengaruhi oleh arah datang angin terhadap kapal yang tertarik. $\alpha = 0^\circ$ merupakan arah angin yang datang dari arah haluan kapal, $\alpha = 180^\circ$ merupakan angin yang datang dari arah buritan kapal, $\alpha = 90^\circ$ merupakan angin yang datang dari arah lebar kapal. Kalkulasi pembebanan yang bekerja akibat angin ditentukan dengan persamaan berikut ini :

$$\alpha = 0^\circ ; R_w = 0,42 P_a A_w \quad (7)$$

$$\alpha = 180^\circ ; R_w = 0,50 P_a A_w \quad (8)$$

$$\alpha = 90^\circ ; R_w = 1,1 P_a A_w \quad (9)$$

dimana,

R_w = gaya akibat angin, (kg)

P_a = tekanan angin, ditentukan dengan $0,063 V^2$, (kg/m²)

V = kecepatan angin, (m/s)

A_w = proyeksi bidang yang tertiuip angin, ditentukan 70% dari luas bagian kapal diatas garis air, (m²)

Arus yang bekerja pada bagian kapal yang terendam air juga akan menyebabkan terjadinya gaya pada kapal yang kemudian diteruskan pada alat penambat dan dermaga. Besarnya gaya yang ditimbulkan oleh arus diberikan oleh persamaan sebagai berikut :

$$R_a = C_c \cdot \rho \cdot A_c \cdot \left(\frac{V_c^2}{2g} \right) \quad (10)$$

Dimana,

R_a = gaya akibat arus, (kg)

A_c = luas tampang kapal yang terendam air, (m²)

ρ = massa jenis air, (1030 kg/m³)

V_c = kecepatan arus, (m/s)

C_c = koefisien tekanan arus, diambil 0,20 s/d 0,60.

2.5. Pemodelan FEA Konstruksi Ponton (*Barge*)

Analisa struktur pada dermaga yang didesain menggunakan metode FEA dengan bantuan *software* FEA, dimana dermaga dimodelkan dengan menggunakan elemen *shell* pada seluruh komponen konstruksi, yang sebelumnya dibuat terlebih dahulu menggunakan *3D CAD software* dengan menggunakan bidang *surface* untuk seluruh komponen konstruksi dermaga. Kondisi batas (*Boundary condition*) yang digunakan dalam pemodelan FEA ini adalah *3-2-1 minimal supports*, yaitu suatu metode yang umum digunakan pada FEA khususnya analisa linier statis untuk mendapatkan hasil yang realistis (Pramono. DR, et.al, 2016). Tumpuan yang digunakan pada *3-2-1 minimal supports* berjumlah tiga titik. Titik pertama dan kedua diletakkan pada bagian dermaga yang terhubung dengan *movable bridge*, dalam analisis ini *movable bridge* tidak diperhitungkan. Jenis tumpuan yang digunakan adalah jepit (*fixed*) dengan derajat kebebasan yang dikunci adalah arah x, y dan z. Pada bagian sisi samping dermaga yang sejajar dengan letak *movable bridge* di berikan jenis tumpuan jepit (*fixed*) pada bagian *centerline* memanjang dermaga.

Komponen konstruksi yang digunakan dalam model FEA mengacu pada komponen konstruksi yang digunakan pada eksisting dermaga. Komponen eksisting konstruksi dermaga terdiri dari penggunaan pelat dengan ketebalan 8 dan 10 mm serta menggunakan pengaku berupa profil L. 75.75.8, hanya dalam pemodelan ini konstruksi dermaga dimodifikasi menjadi 2 jenis sistem konstruksi yaitu melintang dan memanjang. Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam setiap model seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4** berikut ini :

Tabel 4 : Kombinasi pembebanan

Kombinasi Beban	Koefisien Kombinasi Pembebanan
Comb. 1	1,2 DL + 1,6 LL + 1,0 FE + 1,0 HF + 1,0 BF
Comb. 2	1,2 DL + 1,6 LL + 1,0 FE + 1,0 HF + 1,0 MF
Comb. 3	1,4 DL
Comb. 4	1,2 DL + 1,6 LL
Comb. 5	1,2 DL + 1,6 LL + 1,0 FE
Comb. 6	1,2 DL + 1,6 LL + 1,0 FE + 1,0 HS
Comb. 7	1,2 DL + 1,6 LL + 1,0 FE + 1,0 HS + 1,0 BF + 1,0 MF

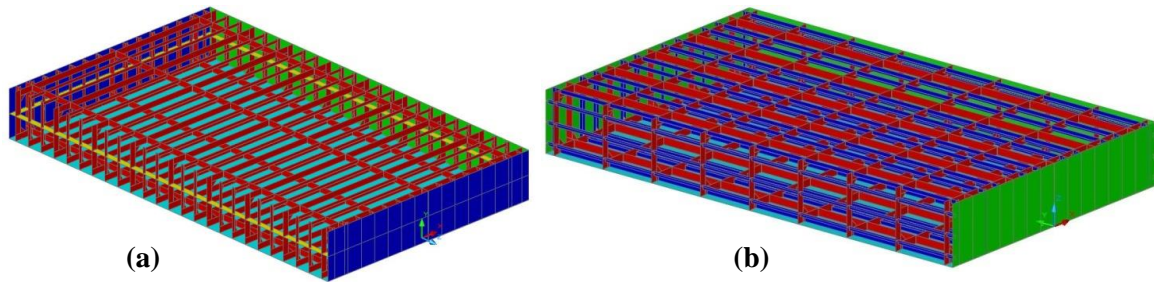
Note :
 DL = *Dead load* ; LL = *Live load* ; FE = *Floating effect* ; HF = *Hydrostatic force*
 BF = *Breathing force* ; MF = *Mooring force*

Tabel 5 : Beban-beban yang bekerja pada setiap model konstruksi dan jumlah elemen

Nama/Jenis Beban	Nilai Beban Tiap Sistem Konstruksi	
	Melintang	Memanjang
Berat konstruksi, (<i>Dead Loads</i>)	16,0799 ton	17,3661 ton
Muatan sementara, (<i>Live Loads</i>)	2,4601 ton	2,4601 ton
Gaya tekan ke atas, (<i>Floating Effect</i>)	18,54 ton	18,54 ton
Tekanan hidrostatik, (<i>Hydrostatic Force</i>)		
• <i>Longitudinal direction barge</i>	9,266 kN/m ²	9,266 kN/m ²
• <i>Transvers direction barge</i>	15,474 kN/m ²	15,474 kN/m ²
Gaya benturan kapal, (<i>Breathing Force</i>)	0,001764 ton	0,001764 ton
Gaya tarik kapal, (<i>Mooring Force</i>)		
• <i>Longitudinal direction barge</i>	201,065 kg	201,065 kg
• <i>Transvers direction barge</i>	903,12 kg	903,12 kg

Tabel 5 menunjukkan nilai beban-beban yang diinputkan pada model dermaga pada setiap sistem konstruksi. Jenis pembebanan terbagi menjadi 2, yaitu pembebanan pada bidang permukaan yang langsung bekerja pada pelat dermaga dengan satuan beban per 1 m² dan beban yang langsung bekerja sebagai beban titik, seperti gaya benturan kapal dan beban akibat *mooring*. Bentuk

pemodelan dari 2 sistem konstruksi dengan menggunakan 3D CAD ditunjukkan pada **Gambar 1** sebagai berikut :



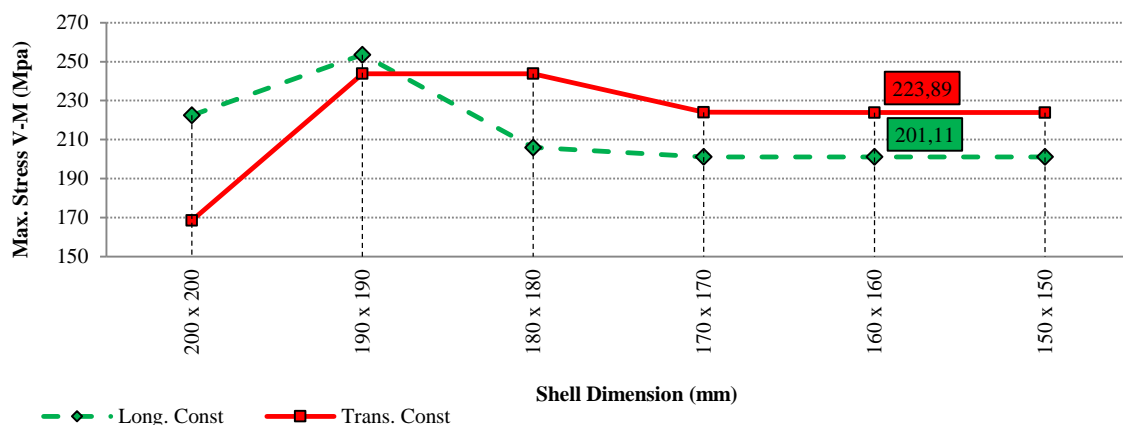
**Gambar 1 : (a) Model dermaga konstruksi melintang
(b) Model dermaga konstruksi memanjang**

Gambar 1(a) merupakan dermaga apung dengan sistem konstruksi melintang, dimana pada arah memanjang dermaga pelat lebih dominan ditopang dengan pelintang utama (*Web-Frame*) dan pelintang pembagi (Profil L 75.75.8). Sedangkan pada arah melintang dermaga hanya ditopang dengan penguat memanjang berupa pelat dengan ketebalan 8 mm dan lebar 150 mm. **Gambar 1(b)** merupakan dermaga apung dengan sistem konstruksi memanjang, dimana pada arah memanjang dermaga komponen pelat lebih dominan ditopang oleh *Web-Frame* dengan tebal 8 mm dan lebar 150 mm serta dibantu oleh pengaku memanjang menggunakan Profil L 75.75.8. Sedangkan arah melintangnya hanya di topang oleh gading-gading besar dengan jarak antar gading 1,20 meter.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Konvergensi Model FEA.

Konvergensi merupakan salah satu cara yang digunakan untuk melakukan pemilihan ukuran elemen *shell* yang tepat dalam pembuatan model FEA, sehingga model menghasilkan nilai yang valid (Pramono, DR, et.al, 2016). Konvergensi pada model dilakukan dengan membandingkan beberapa ukuran elemen *shell* pada setiap model sistem konstruksi untuk satu kombinasi pembebanan. Berikut ini ditunjukkan grafik hasil konvergensi yang dilakukan :

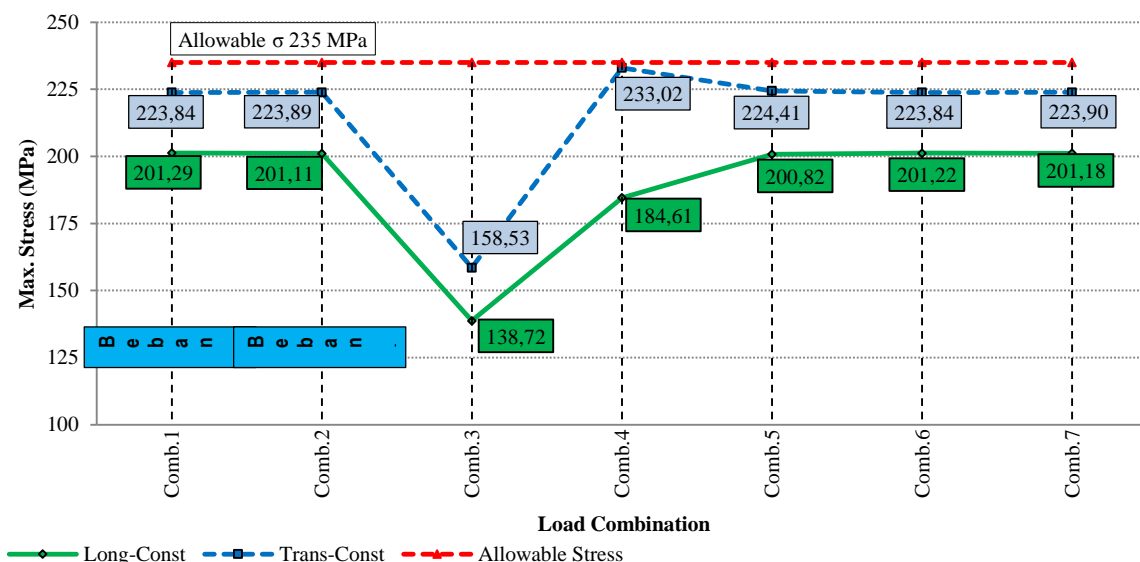


Gambar 2 : Grafik konvergensi model konstruksi memanjang dan melintang

Berdasarkan **Gambar 2**, kedua model konstruksi dermaga pada awalnya dimodelkan dengan ukuran *shell* 200 x 200 mm. Pengecilan ukuran *shell* dilakukan sampai dengan mendapatkan nilai tegangan *von-mises* yang hampir mendekati sama atau yang memiliki selisih nilai tegangan antara ukuran *shell* tidak melebihi 2%. Berdasarkan analisis konvergensi yang dilakukan dari grafik tersebut, menyatakan bahwa konvergensi model terjadi pada rentang ukuran *shell* 180x180 mm sampai dengan 150 x 150 mm dengan rata-rata persentase konvergensi untuk keseluruhan sistem konstruksi adalah 1,75 %. Sehingga pemilihan ukuran elemen *shell* yang optimal diambil pada ukuran *shell* urutan kedua dari terakhir ukuran *shell* yang dilakukan, yaitu pada ukuran *shell* 160 x 160 mm dengan masing-masing nilai tegangan maksimum untuk konstruksi memanjang 201,11 Mpa dan konstruksi melintang 223,89 Mpa. Selanjutnya analisis tegangan untuk seluruh komponen konstruksi dermaga dilakukan pada ukuran elemen *shell* 160 x 160 mm.

3.2. Tegangan Pada Setiap Kombinasi Pembebanan dan Komponen Konstruksi

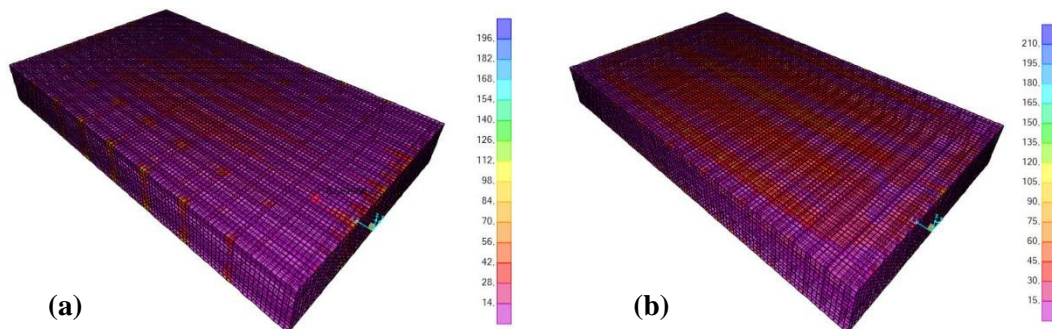
Hasil analisa tegangan yang terjadi pada model dengan ukuran *shell* 160x160 mm untuk setiap sistem konstruksi dan kombinasi pembebanan ditunjukkan pada **Gambar 3** berikut ini :



Gambar 3 : Grafik tegangan maksimum pada setiap kombinasi pembebanan

Gambar 3 menunjukkan hasil tegangan maksimum untuk setiap kombinasi pembebanan yang diasumsikan terjadi. Secara keseluruhan nilai tegangan pada setiap kombinasi pembebanan untuk sistem konstruksi memanjang dan melintang masih lebih rendah dari tegangan yang diizinkan yaitu 235 Mpa yang disyaratkan oleh BKI. Pada sistem konstruksi melintang (*Trans-Const*) tegangan maksimum terjadi pada kombinasi pembebanan ke-4 yang merupakan kondisi dermaga belum diapungkan, sehingga pada kondisi ini tidak dilanjutkan analisisnya untuk mengetahui tegangan dari setiap komponen konstruksi, karena kondisi tersebut bukan merupakan beban layan yang berlangsung lama. Kombinasi pembebanan yang menggambarkan kondisi layan dermaga sesungguhnya adalah pada kombinasi pembebanan ke-1 dan ke-2. Pada sistem konstruksi melintang beban layan kombinasi ke-2 memberikan nilai tegangan maksimum yaitu 223,89 Mpa. Sedangkan pada sistem konstruksi memanjang (*Long-Const*) maksimum tegangan ditunjukkan pada kombinasi pembebanan ke-1. Dimana pada kombinasi ke-1 beban-beban yang bekerja adalah : Berat sendiri konstruksi, Muatan di atas dermaga, Tekanan akibat pengapungan, Tekanan hidrostatis bagian sisi dermaga dan Gaya akibat benturan kapal. Sedangkan pada kombinasi ke-2 beban-beban yang bekerja adalah : Berat konstruksi, Muatan di atas dermaga, Tekanan akibat

pengapungan, Tekanan hidrostatik dan Gaya tarik akibat tambatan kapal pada dermaga. Distribusi tegangan yang terjadi pada setiap komponen konstruksi antara sistem konstruksi melintang dan memanjang juga menunjukkan perbedaan pola yang signifikan, seperti yang ditunjukkan pada



Gambar 4 berikut ini :

**Gambar 4 : (a) Distribusi tegangan pada konstruksi memanjang
(b) Distribusi tegangan pada konstruksi melintang**

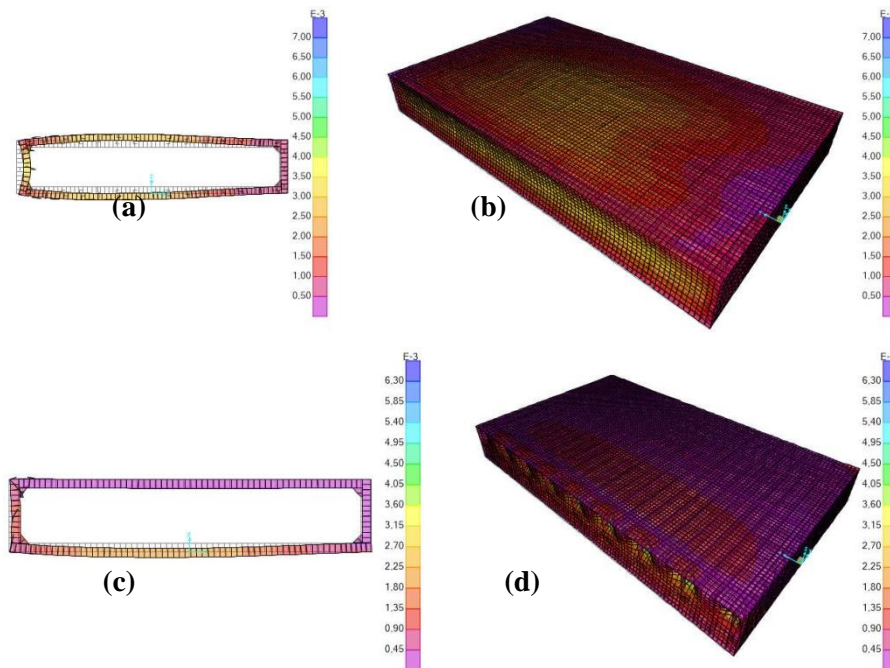
Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4** di atas, terutama pada bagian pelat atas (*Deck Plate*) dermaga apung, dimana pada sistem konstruksi memanjang penyebaran tegangan dengan rentang 0 s/d 14 Mpa lebih mendominasi di setiap elemen. Sedangkan pada sistem konstruksi melintang yang ditunjukkan pada Gambar 4(b), tegangan dengan rentang 0 s/d 15 Mpa hanya mendominasi pada elemen-elemen *shell* yang di bawahnya di topang oleh Penumpu memanjang (*Side & Center Girder*). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan konstruksi memanjang lebih baik diperuntukan pada komponen konstruksi pelat atas dermaga. Namun perlu untuk dipastikan pada keseluruhan komponen konstruksi. Berikut ini ditunjukkan hasil keseluruhan tegangan maksimum yang terjadi pada setiap komponen konstruksi untuk masing-masing sistem konstruksi yang dibandingkan pada **Tabel 6** berikut ini :

Tabel 6 : Tegangan pada setiap komponen konstruksi

Komponen Konstruksi	Nilai Tegangan Maksimum (Mpa)		Rekomendasi Konstruksi
	Konst. Memanjang	Konst. Melintang	
Pelat Atas (Lantai Dermaga)	97,196	120,104	Memanjang
Pelat Alas (<i>Bottom Plate</i>)	140,337	81,115	Memanjang/Melintang
Pelat Sisi (<i>Front</i>) – Letak Fender	113,484	72,544	Melintang
Pelat Sisi (<i>Back</i>)	112,701	72,544	Melintang
Pelat Sisi (Ap)	155,572	156,019	Melintang
Pelat Sisi (Fp)	155,632	81,824	Melintang
<i>Web-Frame</i> (t = 8 mm)	170,686	130,236	Memanjang/Melintang
<i>Longitudinal Frame</i> (L Profile)	70,664	-	-
<i>Transversal Frame</i> (L Profile)	-	92,073	-
<i>Girders</i> (<i>Long-Side & Center</i>)	159,202	200,184	Memanjang/Melintang
Penegar Sisi	82,891	65,184	Melintang

Meninjau pada nilai tegangan yang ditunjukkan pada **Tabel 6** dan geometrik dari setiap sistem konstruksi pada **Gambar 1** sebelumnya. Nilai tegangan yang sangat signifikan memiliki selisih adalah pada beberapa komponen konstruksi, seperti pada pelat lantai dermaga, pelat-pelat sisi dan penegar sisi. Dimana pada pelat lantai dermaga, penggunaan sistem konstruksi memanjang memberikan nilai tegangan yang lebih kecil, sehingga memberikan kekuatan jauh lebih baik dibandingkan menggunakan konstruksi melintang. Hal ini menunjukkan bahwa pada bagian komponen konstruksi pelat kekuatan arah memanjang dermaga menjadi faktor pengaruh yang besar untuk diperhitungkan akibat bekerjanya beban secara tegak lurus bidang permukaan pelat.

Sedangkan pada bagian komponen konstruksi untuk sisi dermaga, penggunaan sistem konstruksi melintang jauh memberikan kekuatan yang lebih baik dibandingkan dengan sistem konstruksi memanjang, seperti beberapa nilai tegangan yang jauh lebih kecil ditunjukkan dalam **Tabel 6**. Hal ini menunjukkan bahwa, absorpsi beban dari arah tegak lurus sisi pelat dan searah pelat sisi mampu diakomodir oleh sistem-sistem konstruksi melintang. Sebagai pembuktian lebih lanjut diambil pengaruh benturan kapal (*Breathing forces*) pada sisi dermaga untuk mengetahui pengaruh deformasi pada keseluruhan konstruksi dermaga, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 5** :

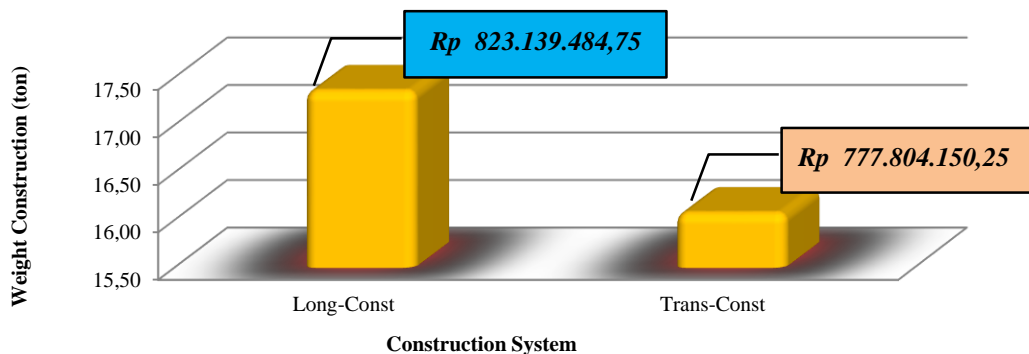


Gambar 5 : (a) Deformasi pada *Mid-Section* konstruksi memanjang; (b) Distribusi deformasi *breathing force* konstruksi memanjang; (c) Deformasi pada *Mid-Section* konstruksi melintang; (d) Distribusi deformasi *breathing force* konstruksi melintang.

Akibat adanya benturan di sisi dermaga yang menggunakan sistem konstruksi memanjang terjadi pada hampir sebagian besar komponen konstruksi yang lain, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 5(b)**. Hal ini menunjukkan bahwa sistem konstruksi memanjang pada bagian sisi dermaga akan meneruskan beban benturan keseluruhan komponen yang lain, sehingga kerusakan akibat benturan juga dimungkinkan terjadi pada konstruksi pelat atas dan bawah dermaga, hal ini sangat tidak diharapkan karena luas kerusakan dermaga akibat benturan akan sangat besar. Bentuk kerusakan yang diharapkan adalah pada kerusakan setempat di daerah benturan. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 5(d)**, dimana deformasi cenderung terjadi hanya pada sisi-sisi pelat yang mengalami benturan, walaupun konstruksi bawah dermaga juga mengalami pengaruh beban benturan, namun bentuk kerusakannya hanya terjadi pada bagian sisi dermaga yang mengalami kontak langsung, dengan demikian luas daerah yang mengalami kerusakan lebih kecil dibandingkan dengan penggunaan sistem konstruksi memanjang pada bagian sisi dermaga. Walaupun penggunaan sistem konstruksi melintang dan memanjang sama-sama memberikan nilai kekuatan yang baik dalam analisis ini, namun masih terdapat kekurangan-kekurangan yang terjadi pada setiap sistem komponen konstruksi melintang dan memanjang. Sehingga, untuk mendapatkan kekuatan yang baik, maka dapat dilakukan perubahan bentuk konstruksi dengan melakukan kombinasi antara penggunaan sistem konstruksi melintang dan memanjang.

3.3. Berat Konstruksi dan Biaya.

Salah satu faktor terpenting selain tinjauan segi kekuatan dalam pembangunan dermaga terapung adalah faktor biaya pembuatan konstruksi yang pada umumnya dihitung berdasarkan berat dari konstruksi tersebut yang dikonversi ke dalam luasan dimensional dermaga. Perbandingan berat konstruksi dan biaya pembuatan sesuai ditunjukkan pada diagram berikut ini :



Gambar 6 : Diagram perbandingan biaya konstruksi dermaga

Berdasarkan hasil perhitungan biaya konstruksi sesuai dengan data analisa harga satuan pekerjaan yang tertuang dalam dokumen kontrak kerja (Tam Berdikari. CV, 2017), didapatkan hasil perbandingan biaya pembangunan dermaga terapung seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 6** di atas. Biaya konstruksi dermaga menggunakan sistem konstruksi memanjang lebih tinggi 5,51% dibandingkan biaya konstruksi dermaga yang menggunakan sistem konstruksi melintang. Hal ini dipengaruhi oleh berat dari seluruh komponen konstruksi memanjang yang lebih besar.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dapat disimpulkan bahwa secara kekuatan menyeluruh kedua sistem konstruksi yang ditinjau memberikan kekuatan yang baik, karena nilai tegangan yang dihasilkan masih di bawah tegangan izin material yang digunakan. Namun, ditinjau dari sudut pandang kekuatan setiap komponen konstruksi, terdapat beberapa bagian konstruksi yang tidak tepat menggunakan sistem konstruksi yang diberikan, seperti pada komponen konstruksi pelat lantai dermaga pada konstruksi melintang lebih baik menggunakan sistem memanjang dan pelat-pelat sisi pada konstruksi memanjang lebih baik menggunakan sistem konstruksi melintang. Sehingga dalam hal ini menimbulkan hipotesa baru dimana konstruksi perlu ditinjau dari sistem konstruksi campuran. Selain itu faktor biaya konstruksi yang menjadi pertimbangan menunjukkan bahwa dermaga dengan sistem konstruksi memanjang membutuhkan biaya produksi yang lebih tinggi 5,51% dari biaya konstruksi melintang, diperkirakan biaya konstruksi campuran memiliki nilai diantara kedua biaya konstruksi yang ditinjau, namun diperlukan analisis lebih lanjut mengenai hal ini.

Daftar Pustaka

- Biro Klasifikasi Indonesia, 2006, *Rules for The Classification and Construction of Seagoing Steel Ships*, (Volume II, *Rules for Hull*), Indonesia, BKI, hal 2.1-4.5.
- Graha Mitra Nusantara, 2017, Laporan Desain Struktur Pekerjaan Pemasangan Ponton Dermaga Tideng Pale, Kabupaten Tana Tidung.

Pramono.DR,et.al, 2016, Analisa Kekuatan Memanjang *Floating Dock* Konversi Dari Tongkang dengan Metode Elemen Hingga, Jurnal Teknik ITS, Vol.5,No.2, hal G148-G152, ISSN : 2337-3539.

Puspita.HID, 2016, Studi Karakteristik Hidrodinamika Kapal Ikan Tradisional di Pelabuhan Puger Jember, Thesis, Surabaya, ITS, hal 25-26.

Rosyid.D dan Setyawan.D, 2000, Kekuatan Struktur Kapal, Surabaya, Pradnya Paramita Jakarta.PT, hal 11-98.

Santosa.B, 2013, Diktat Kekuatan Kapal, Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, hal 1-9.

Tam Berdikari.CV dan Pemkab KTT, 2017, Kontrak Pekerjaan Pemasangan Ponton Dermaga Tideng Pale, Kabupaten Tana Tidung.

Triatmojo.B, 2009, Perencanaan Pelabuhan, Yogyakarta, Beta Offset, hal 195-238.