

STUDI KELAYAKAN DESAIN KAPAL HISAP TAMBANG —Kajian Stabilitas dan Tegangan Geser—

Feasibility Study of Bore Hole Mining Vessel

Ahmad Syafiul Mujahid¹ dan Kusnindar Priohutomo¹

¹Balai Teknologi Hidrodinamika BPPT, Surabaya

Email: aaf2k3li@gmail.com

Diterima: 19 September 2018; Direvisi: 31 Oktober 2018; Disetujui: 11 Desember 2018

Abstrak

Studi kelayakan menjadi salah satu langkah penting di awal perencanaan pembangunan kapal. Perhitungan awal gaya-gaya yang akan bekerja pada badan kapal dapat diperoleh dengan adanya studi kelayakan. Pada *paper* ini, studi kelayakan desain dilakukan pada jenis kapal hisap tambang. Studi kelayakan kapal hisap tambang belum banyak dilakukan. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi kelayakan lebih lanjut. Studi kelayakan yang dilakukan adalah analisa stabilitas kapal dan tegangan geser yang bekerja pada kapal. Terdapat empat kondisi *load case* untuk analisa stabilitas yaitu *load case departure*, *load case full load*, *load case half load* dan *load case arrival*. Menurut International Maritime Organization (IMO), kondisi *load case* ini merupakan kondisi yang paling penting untuk dikaji stabilitasnya. Studi kelayakan stabilitas dan tegangan geser kapal dilakukan menggunakan metode numerik menggunakan *software* berbasis metode elemen hingga. Setelah dilakukan perhitungan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa kapal hisap tambang tidak memenuhi standar yang ditetapkan. Dari hasil perhitungan, didapat bahwa pada berbagai kondisi *load case*, *angle of minimum* (GZ) kurang dari standar IMO yaitu 25 derajat. *Shear stress* pada berbagai kondisi *load case* masih memenuhi kriteria yang ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) yaitu kurang dari 100 MPa.

Kata kunci: studi kelayakan, kapal hisap tambang, stabilitas, *shear stress*, IMO, BKI

Abstract

Feasibility study is one of the important steps at the beginning of ship building planning. By conducting feasibility study, information about initial forces that will work on the vessel can be obtained. In this paper, the feasibility study is conducted on Bore Hole Mining (BHM) vessels. Feasibility study about BHM vessels have not been widely carried out, therefore further feasibility study are needed. Feasibility study conducted is ship stability and shear stresses analysis. There are four loading conditions used in this analysis: departure load case, full load load case, half load load case and arrival load case. These conditions are selected because it is important according to IMO regulations. Feasibility study stability and shear stress conducted with numerical method using software FEA. From the results, it can be concluded that BHM vessel conceptual design cannot meet stability requirement in various load case condition. Its GZ angle of minimum is less than IMO's requirement, which is 25 deg. Shear stress in various load case conditions meets the BKI's criteria, which is less than 100MPa.

Keywords: *feasibility study, bore hole mining vessel, stability, shear stress, IMO, BKI*

PENDAHULUAN

Kapal hisap tambang adalah kapal khusus yang digunakan untuk menambang mineral yang terdapat di laut. Mineral yang terdapat di dasar laut dan di bawah dasar laut dihisap dengan menggunakan teknologi *Bore Hole Mining* (BHM) yang diklaim sebagai teknologi tepat guna, lebih efisien dan ramah lingkungan.

Desain kapal hisap tambang mengacu pada desain Kapal hisap Produksi (KIP) milik PT. Pusaka yang dioperasikan oleh PT. Timah, di mana kapal hisap produksi tersebut dilengkapi dengan teknologi BHM seperti tampak pada Gambar 1.



Gambar 1. Kapal hisap produksi *bore hole mining*
(Anonim, 2017)

TINJAUAN PUSTAKA

Studi kelayakan dalam menganalisa stabilitas dan tegangan geser pada kapal hisap tambang diperlukan untuk mengetahui aspek keselamatan kapal dan kekuatan kapal terhadap desain dan perencanaan kapal hisap tambang pada tahap *conceptual design*. Tahap *conceptual design* adalah tahapan awal dalam desain dan perancangan kapal di mana pada tahap ini dibutuhkan banyak sumber referensi dan adanya banyak iterasi atau optimasi dan berbagai perubahan ataupun penyempurnaan dalam desain, perancangan maupun perhitungan.

Terdapat beberapa penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya tentang stabilitas dan tegangan geser pada kapal, antara lain: analisis stabilitas kapal *crane barge* akibat perubahan pada titik pusat gravitasi (*center of gravity*) pada saat proses pengangkatan muatan oleh *crane* (Gorat, 2017), analisa yang dilakukan dibantu dengan perangkat lunak *Maxsurf* dan kemudian hasilnya ditinjau berdasarkan ketentuan regulasi IMO.

Khristyson, dkk. (2014) telah melakukan penelitian tentang kekuatan konstruksi *internal ramp* akibat tegangan beban kendaraan menggunakan

software berbasis metode elemen hingga dan berdasarkan peraturan dari BKI. Analisa yang digunakan adalah analisa pembebanan statis untuk mendapatkan bentuk karakteristik dan letak tegangan geser pada konstruksi *internal ramp*.

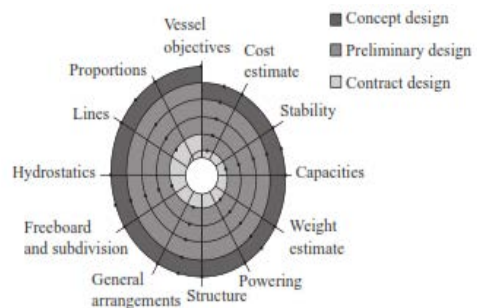
Prasetyatama dan Yulianto (2012) telah menganalisa tegangan geser pada Kapal Kontainer Meratus Progress II dengan menggunakan metode perhitungan manual berdasarkan teori *hull girder* dan metode elemen hingga dan membandingkan dengan batas izin tegangan geser yang diberikan oleh regulasi BKI.

Siagian dan Mulyatno (2015) telah menganalisa tegangan geser konstruksi *midship* Kapal *Crude Oil Tanker* 6500 DWT dengan menggunakan *software* berbasis metode elemen hingga di mana hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan batas izin tegangan geser yang diberikan oleh regulasi BKI.

Dalam merancang hingga membangun suatu kapal tentunya selalu melewati berbagai tahap dan proses iterasi. Konsep ini dikenal dengan istilah *spiral design* seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.

Dalam *spiral design*, studi kelayakan kapal hisap tambang termasuk pada tahap awal yaitu area *conceptual design*. Studi kelayakan yang dilakukan dalam *paper* ini menitikberatkan pada dua hal, yakni aspek struktur dan aspek stabilitas.

Aspek struktur menitikberatkan pada nilai tegangan geser yang bekerja pada kapal hisap tambang sesuai dengan persyaratan BKI, sedangkan aspek stabilitas menitikberatkan pada nilai stabilitas yang bekerja pada kapal hisap tambang sesuai dengan persyaratan IMO.



Gambar 2. *Spiral design* (Sugianto, 2016)

Teori Stabilitas

Menurut Kiryanto (2010), stabilitas kapal adalah keseimbangan dari kapal yang merupakan kemampuan suatu kapal untuk kembali ke posisi

semula setelah mendapatkan pengaruh gaya-gaya dari luar seperti angin dan gelombang. Perhitungan stabilitas statis diperuntukkan bagi kapal dalam keadaan diam dan perhitungan stabilitas dinamis diperuntukkan bagi kapal yang mengalami oleng besar, contohnya yang disebabkan oleh kondisi badai.

Stabilitas kapal berkaitan erat dengan aspek keselamatan kapal. IMO sebagai organisasi maritim internasional mengeluarkan regulasi mengenai stabilitas yang harus dipenuhi oleh kapal. Peraturan ini tertuang dalam klausul "Code A.749 (18) Chapter 3 – Design Criteria Applicable to All Ships" (IMO, 1993). Pada klausul ini terdapat beberapa kriteria yang harus dipenuhi antara lain:

1. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.1:
 - Pada sudut *roll* 0° sampai dengan 30°, luasan daerah di bawah kurva GZ > 3.151 m.deg;
 - Pada sudut *roll* 0° sampai dengan 40°, luasan daerah di bawah kurva GZ > 5.157 m.deg;
 - Pada sudut *roll* 30° sampai dengan 40°, luasan daerah di bawah kurva GZ > 1.719 m.deg.
2. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.2:
 - Pada sudut *roll* 30° sampai dengan 180°, nilai GZ maksimum > 0.2 m;
 - Lengan penegak GZ paling sedikit 0.2 meter pada sudut oleng 30° atau lebih.
3. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.3:
 - Sudut GZ maksimum > 25°;
 - Lengan penegak maksimum sebaiknya pada sudut oleng lebih dari 30° dan tidak boleh kurang dari 25°.
4. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.4:
 - Pada sudut *roll* 0°, nilai GM > 0.15 m;
 - Tinggi Metacenter awal GM₀ tidak boleh kurang dari 0.15 meter.

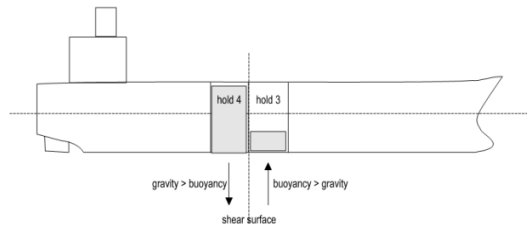
Pada klausul "Code A.749 (18) Chapter 3 – Design Criteria Applicable to All Ships". Chapter 3.5 tentang *loading conditions* disebutkan untuk sebuah kapal maka *loading conditions* yang harus diperhatikan meliputi empat kriteria antara lain:

1. Kapal pada saat berlayar meninggalkan pelabuhan (*departure*);
2. Kapal pada saat berlayar mendekati pelabuhan (*arrival*);
3. Kapal pada saat muatan penuh (*full load*);
4. Kapal pada saat muatan setengah (*half load*).

Teori Tegangan Geser

Ketika dua gaya *parallel* eksternal bekerja dalam

arah yang berlawanan pada setiap bagian struktur untuk memisahkan atau menggesernya, gaya tersebut dikenal sebagai gaya geser. Oleh karena itu, tegangan geser adalah tegangan yang dapat memisahkan atau menggeser struktur dalam hal ini struktur kapal. Gaya geser dihitung dengan mengambil perbedaan antara gaya apung dengan gaya berat yang bekerja. Skema gaya geser ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema gaya geser pada kapal (Mustofa, 2015)

Menurut prinsip Archimedes, untuk kapal yang mengapung, gaya berat harus diimbangi oleh gaya apung. Apabila salah satu dari gaya ini melebihi gaya yang lain maka tegangan geser kemungkinan akan terjadi. Ketika bagian seperti kapal membawa beban, maka ada kecenderungan beberapa bagian akan bergerak ke atas dan bagian lain bergerak ke bawah, kecenderungan ini disebut geser. Menurut Hardjanto (2010), daerah yang kemungkinan besar mengalami tegangan geser adalah sekitar 25% dari panjang kapal dihitung dari buritan kapal, terutama di bagian *transverse watertight*. Tegangan geser dapat dihitung dengan rumus:

$$\tau = \frac{F}{A} \tag{1}$$

di mana:

- τ = tegangan geser [N/m²]
- F = gaya geser [N]
- A = luas permukaan [m²]

Untuk melihat dan menganalisa hasil perhitungan tegangan geser yang diterima oleh kapal apakah tegangan tersebut memenuhi kriteria kelas ataukah tidak maka diperlukan regulasi acuan yang bersumber dari kelas, dalam hal ini kelas yang digunakan adalah. (BKI, 2014). Rumus tegangan geser suatu kapal yang diizinkan oleh kelas dinyatakan dalam persamaan berikut:

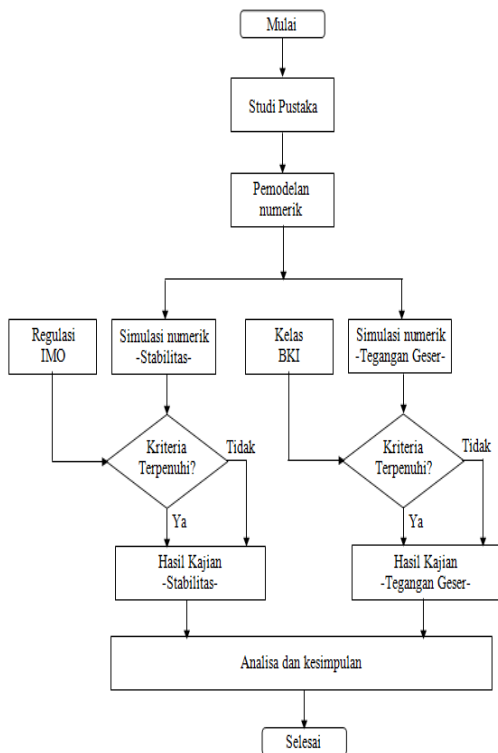
$$Shear Stress (\tau) = \frac{100}{k} [N/mm^2] \tag{2}$$

Studi Kelayakan Desain Kapal Hisap Tambang
(Ahmad Syafiu'l Mujahid dan Kusnindar Priohutomo)

Di mana k adalah faktor material dengan nilai 1 untuk jenis material baja normal yang digunakan.

METODE PENELITIAN

Kajian yang dilakukan dalam *paper* ini merupakan studi kelayakan terhadap desain awal kapal tambang hisap yang merupakan pengembangan dari Kapal hisap Produksi (KIP). Kajian yang dilakukan terdiri dari dua hal utama yaitu stabilitas kapal dan tegangan geser kapal. Diagram alir penelitian ini ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

Pada diagram alir, alur penelitian *paper* ini yaitu kajian pustaka, setelah itu pemodelan lambung kapal hisap tambang untuk nantinya dihitung secara numerik, simulasi numerik dibagi ke dalam dua kriteria, yang pertama simulasi numerik untuk perhitungan stabilitas dan yang kedua simulasi numerik untuk perhitungan tegangan geser, setelah simulasi numerik dilakukan pembahasan hasil perhitungan untuk selanjutnya diambil kesimpulan dan selesai.

Dimensi Utama Kapal Tambang Hisap

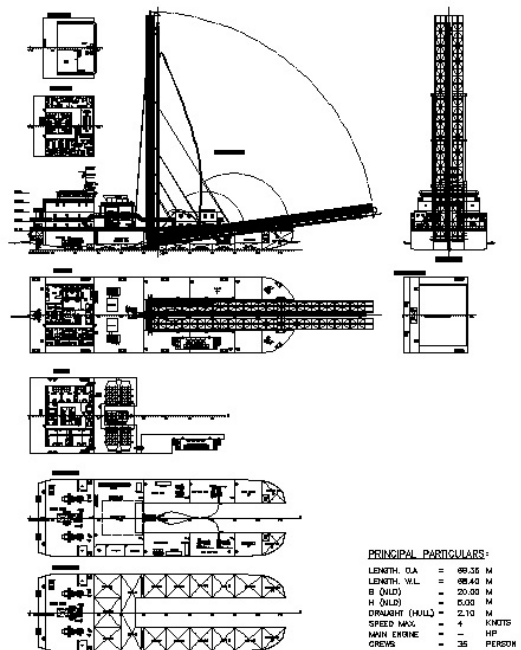
Untuk data dimensi kapal hisap tambang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data dimensi kapal hisap tambang

Parameter	Magnitude	Unit
Displacement (Δ)	1780	ton
Length Over All (LOA)	69.4	m
Length Water Line (LWL)	68.4	m
Breadth Moulded (B)	20.0	m
Height Moulded (H)	5.0	m
Draught Moulded (D)	2.1	m
Water Density (ρ)	1025	ton/m ³
Volume (∇)	1779.716	m ³
Watted Area	1410.930	m ²
Max Speed	4	knot

Konfigurasi Pemodelan

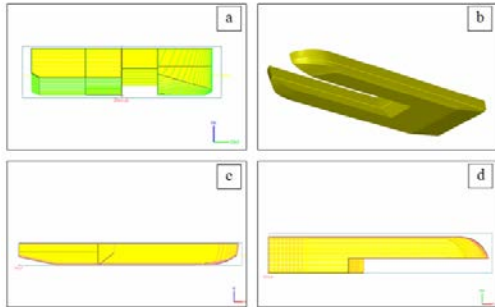
Geometri kapal hisap tambang dibuat dalam gambar 3D menggunakan *software* (Maxsurf, 2013). Hasil pemodelan kapal hisap tambang dalam bentuk 3D ditampilkan pada Gambar 6. Di mana Gambar 6a adalah gambar kapal tampak melintang, Gambar 6b adalah gambar kapal tampak isometrik, Gambar 6c adalah gambar kapal tampak memanjang dan Gambar 6d adalah gambar kapal tampak bawah.



Gambar 5. General arrangement Kapal BHM

Di mana geometri kapal hisap tambang dalam 3D hanya dimodelkan pada bagian lambungnya saja tanpa gambar bangunan atas atau *equipment* yang berada di

atas geladak. Hal ini dilakukan karena kajian yang akan dilakukan adalah kajian stabilitas hidrodinamika kapal sehingga hanya dibutuhkan pemodelan lambung kapal hisap tambang. Pada kajian tegangan geser juga hanya memfokuskan pada tegangan geser yang diterima oleh lambung kapal hisap tambang, khususnya pada bagian geladak kapal di mana pada bagian tersebut terdapat konsentrasi beban yang cukup besar.



Gambar 6. (a) Tampak melintang; (b) Tampak isometric; (c) Tampak memanjang; (d) Tampak bawah (half)

Kemudian dilakukan pembagian beban-beban yang bekerja pada kapal, beban tersebut berupa beban *lightweight* yang terdiri dari berat konstruksi kapal, mesin utama, mesin bantu dan *equipment* yang nilai beratnya tetap dan tidak berubah tata letak titik beratnya di kapal dan beban *deadweight* yang terdiri dari: beban-beban yang dapat berubah-ubah nilai beban dan letak titik beratnya seperti muatan bijih timah, *provision* dan *consummable* serta *equipment* yang dapat mengalami perubahan letak titik berat maupun besar beratnya. Pembagian dan pendistribusian seluruh beban yang terdapat pada kapal hisap tambang disajikan pada Tabel 2.

Konfigurasi Simulasi Stabilitas

Analisa stabilitas kapal hisap tambang menggunakan *loading conditions* yang dipersyaratkan IMO yaitu:

1. *Loading conditions departure*: kondisi muatan *cargo* 0%. Sedangkan kondisi *fresh water tank* (FWT), *fuel oil tank* (FOT) dan provisi lainnya berkapasitas 98%.
2. *Loading conditions full load*: kondisi muatan *cargo* dan kondisi *fresh water tank*, *fuel oil tank* dan provisi lainnya berkapasitas 98%.
3. *Loading conditions half load*: kondisi muatan *cargo* 98%. Sedangkan kondisi *fresh water tank*, *fuel oil*

tank dan provisi lainnya berkapasitas 20%.

4. *Loading conditions arrival*: kondisi muatan *cargo* 98%. Sedangkan kondisi *fresh water tank*, *fuel oil tank* dan provisi lainnya berkapasitas 10%.

Tabel 2. Susunan distribusi beban, tangki dan kompartemen kapal hisap tambang

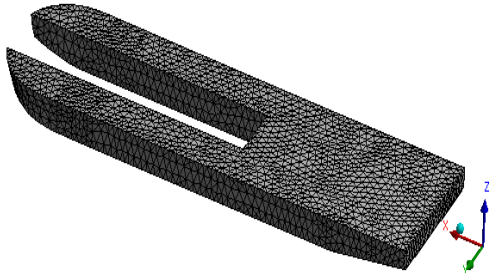
	Code	Criteria					
		3.1.2.1: Area 0 to 30	3.1.2.2: Area 0 to 40	3.1.2.3: Area 30 to 40	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	3.1.2.4: Initial GM
Minimum Requirement	Value	3.1513	3.1566	1.7189	0.2	23	0.13
	Units	m deg	m deg	m deg	m	deg	m
	Actual	143.68	202.14	58.4649	6.092	21.8	27.709
Loadcase: Departure	Status	Pass	Pass	Pass	Pass	Fail	Pass
	Margin %	4459.8	3819.8	3301.1	2946	-12.73	18372.67
	Actual	128.59	182.72	54.1315	5.675	22.3	22.423
Loadcase: Full Load	Status	Pass	Pass	Pass	Pass	Fail	Pass
	Margin %	5981	3445.2	3049.01	1737.5	-10.91	14848.67
	Actual	127.36	176.55	49.1933	5.233	19.1	24.894
Loadcase: Half Load	Status	Pass	Pass	Pass	Pass	Fail	Pass
	Margin %	3941.8	3323.5	2761.78	1527.5	-23.64	16496
	Actual	129.78	177.99	47.3129	5.087	17.7	28.038
Loadcase: Arrival	Status	Pass	Pass	Pass	Pass	Fail	Pass
	Margin %	4018.6	3334	2832.35	2443.3	-29.09	18592
	Actual	129.78	177.99	47.3129	5.087	17.7	28.038

Name	Specific gravity	Fluid type	Location				
			Aft	Fore	F. Post	F. Strbd	F. Top
FOT 2 (P)	1	Custom 3	36.8	24	-10	-4	1.5
FOT 2 (S)	1	Custom 3	36.8	24	-4	4	1.5
FOT 1 (S)	1	Custom 3	36.8	24	4	10	1.5
FOT 1 (P)	1	Custom 3	36	29.4	-10	0	1.5
FOT 1 (S)	1	Custom 3	36	29.4	0	10	1.5
COFFERDAM (P)	1		29.4	30	-10	0	1.5
COFFERDAM (S)	1		29.4	30	0	10	1.5
FWT 3 (P)	1.025	Water Ballast	30	36	-10	-4	2
FWT 3 (S)	1.025	Water Ballast	30	36	4	10	2
FWT 2 (P)	1.025	Water Ballast	36	42	-10	-4	2
FWT 2 (S)	1.025	Water Ballast	36	42	4	10	2
FWT 2 (P)	1	Fresh Water	42	48	-10	-4	1.5
FWT 2 (S)	1	Fresh Water	42	48	4	10	1.5
FWT 1 (P)	1	Fresh Water	48	54	-10	-4	1.5
FWT 1 (S)	1	Fresh Water	48	54	4	10	1.5
FWT 1 (P)	1.025	Water Ballast	54	61.2	-10	-4	2
FWT 1 (S)	1.025	Water Ballast	54	61.2	4	10	2
MUDBOX FORE (P)	1.025	Sea Water	61.2	69	-6	-4	3
MUDBOX FORE (S)	1.025	Sea Water	61.2	69	4	6	3
CHAIN LOCKER FORE (P)	1.025	Sea Water	61.2	69	-6	-4	5
CHAIN LOCKER FORE (S)	1.025	Sea Water	61.2	69	4	6	5
FPVOID (P)	1		69.359		-9.76	-4	5
FPVOID (S)	1		69.359		4	9.76	5
FPVOID 1 (P)	1		61.2	69	-6	-4	2
FPVOID 1 (S)	1		61.2	69	4	6	2
FPVOID 2 (P)	1		61.2	69	-9.769	-6	5
FPVOID 2 (S)	1		61.2	69	6	9.769	5
B/C (P)	1.025	Sea Water	15	16.2	-10	-8.8	1.5
B/C (S)	1.025	Sea Water	15	16.2	8.8	10	1.5
BILGE TANK	1.025	Sea Water	7.2	10.2	-1.22	1.22	1
FO OVERFLOW T	1	Custom 3	10.2	12.6	-1.22	0	1
LOT	0.92	Lube Oil	10.2	12.6	0	1.22	1
HEAVAGE T	1.025	Sea Water	12.6	15.8	-1.22	0	1
SLUDGE T	0.92	Lube Oil	12.6	15.8	0	1.22	1
STEERING GEAR	1		0	1.8	-9.7	9.7	5
CHAIN LOCKER AFTER	1		1.8	3.6	-2	2	5
MUDBOX AFTER	1		1.8	3.6	-2	2	2.7
PRODUCT HOLD (P)	7		20.248	23.193	-4.48	-0.98	5
PRODUCT HOLD (S)	7		20.248	23.193	0.98	4.48	5

Konfigurasi Simulasi Tegangan Geser

Analisa tegangan geser kapal hisap tambang yang dilakukan menggunakan simulasi pembebanan pada kondisi muatan maksimum yakni pada *loading conditions full load*. Analisa dilakukan dengan menggunakan bantuan komputasi berbasis metode elemen hingga dengan pembebanan yang ditentukan.

Gambar *meshing* pemodelan kapal hisap tambang ditampilkan pada Gambar 7. Elemen *meshing* berjumlah 39445 elemen, *node meshing* berjumlah 64005 *node* dan jenis *meshing* yang digunakan adalah *triangular*.

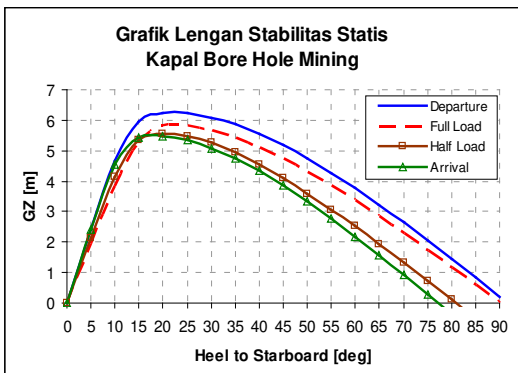


Gambar 7. *Meshing* pemodelan kapal hisap tambang

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan analisa dan kajian numerik dengan menggunakan perangkat lunak *software Maxsurf Stability* dan FEM, maka hasil analisa dari tiap-tiap kajian akan dibahas dalam subbab berikut ini:

Kajian Stabilitas



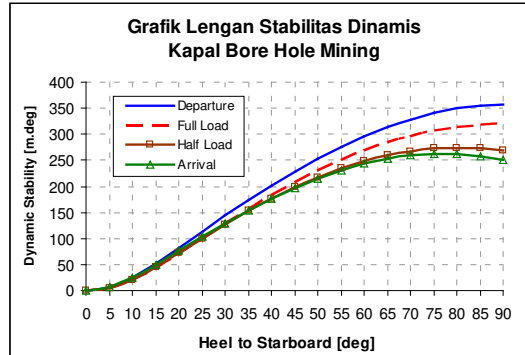
Gambar 8. Grafik lengan stabilitas statis kapal hisap tambang pada berbagai variasi *loading conditions*

Grafik pada Gambar 8 menunjukkan hasil kajian stabilitas statis kapal hisap tambang untuk *loading conditions departure, arrival, half load* dan *full load*.

Sedangkan pada Gambar 9 menunjukkan hasil kajian stabilitas dinamis kapal hisap tambang untuk *loading conditions departure, arrival, half load* dan *full load*.

Grafik lengan stabilitas statis dan stabilitas dinamis kapal hisap tambang yang telah disajikan pada Gambar 8 dan Gambar 9 dikaji lebih lanjut dengan menggunakan regulasi IMO untuk meninjau

status stabilitas kapal hisap tambang apakah telah memenuhi persyaratan regulasi IMO atau tidak.



Gambar 9. Grafik lengan stabilitas dinamis kapal hisap tambang pada berbagai variasi *loading conditions*

Tabel 3. Status nilai stabilitas pada *load case* perubahan volume beban

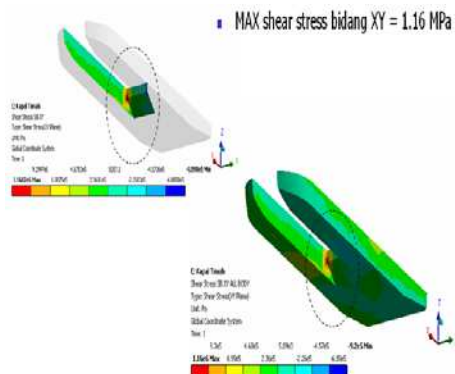
	Code	Criteria					
		3.1.2.1: A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3.1.2.1: Area 30 to 40	3.1.2.1: Area 40 to 40	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	3.1.2.3: Angle of maximum GZ
Minimum Requirement	Value	3.1513	5.1566	1.7189	0.2	25	0.15
	Unit	m.deg	m.deg	m.deg	m	deg	m
Sudut tiang hisap 8 deg (stand by)	Actual	131.36	188.25	56.887	5.913	22.7	22.419
	Status	Pass	Pass	Pass	Pass	Fail	Pass
	Margin %	4068.4	3550.6	3209.5	2856.5	-9.09	148.46
Sudut tiang hisap 10 deg	Actual	130.93	187.5	56.5699	5.885	22.7	22.365
	Status	Pass	Pass	Pass	Pass	Fail	Pass
	Margin %	4054.9	3536.2	3191.05	2842.5	-9.09	148.10
Sudut tiang hisap 45 deg	Actual	125.8	178.55	52.7476	5.546	21.8	21.742
	Status	Pass	Pass	Pass	Pass	Fail	Pass
	Margin %	3892	3362.5	2968.69	2673	-12.73	14394.67
Sudut tiang hisap 90 deg (ready)	Actual	122.96	173.72	50.7531	5.358	21.8	21.503
	Status	Pass	Pass	Pass	Pass	Fail	Pass
	Margin %	3802	3268.8	2852.65	2579	-12.73	14235.33

Pada Tabel 3 ditunjukkan dari berbagai *loading conditions* kapal hisap tambang yaitu *departure, arrival, half load* dan *full load* dari persyaratan IMO disebutkan untuk klausul 3.1.2.3 tentang persyaratan sudut minimal yang harus dicapai saat nilai GZ maksimum, maka hasil analisa menunjukkan kapal hisap tambang tidak memenuhi persyaratan dari IMO. Di mana nilai *angle of maximum GZ* pada kondisi *departure* sebesar 21.5 derajat dari persyaratan minimum 25 derajat, pada kondisi *arrival* sebesar 17.7 derajat dari persyaratan minimum 25 derajat, pada kondisi *half load* sebesar 19.1 derajat dari persyaratan minimum 25 derajat dan pada kondisi *full load* sebesar 22.3 derajat dari minimum 25 derajat.

Kajian Tegangan Geser

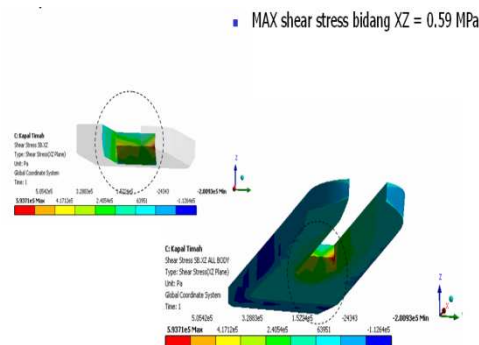
Hasil kajian tegangan geser arah bidang XY pada kapal hisap tambang menghasilkan nilai maksimum 1.16 MPa yang terletak pada sudut siku di mana penguat atau konstruksi pemegang

tiang hisap diletakkan pada kapal seperti yang ditampilkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil shear stress bidang XY

Pada Gambar 11 menunjukkan hasil kajian tegangan geser arah bidang YZ pada kapal hisap tambang yang menghasilkan nilai maksimum 0.53 MPa. Sedangkan pada Gambar 12 menunjukkan hasil kajian tegangan geser arah bidang XZ yang menghasilkan nilai maksimum 0.59 MPa.

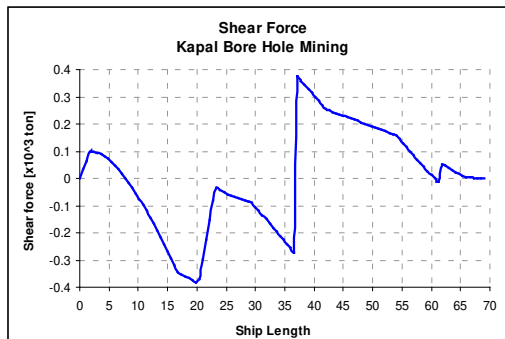


Gambar 11. Hasil shear stress bidang XZ

Tabel 4. Status nilai shear stress kapal hisap tambang

Lokasi	Nilai max.	Aturan class	Status
shear stress bidang XY	1.16 MPa	< 100 MPa	Pass
shear stress bidang YZ	0.53 MPa	< 100 MPa	Pass
shear stress bidang XZ	0.59 MPa	< 100 MPa	Pass

Dari Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai tegangan geser maksimum atau *maximum shear stress* yang bekerja pada kapal hisap tambang pada arah bidang XY, YZ maupun XZ menunjukkan nilai *shear stress* yang kecil dan jauh di bawah nilai maksimum yang disyaratkan oleh kelas BKI, dengan hasil demikian maka desain kekuatan struktur kapal hisap tambang untuk menerima tegangan geser dapat dinyatakan baik dan memenuhi persyaratan kelas BKI.



Gambar 12. Gaya shear force pada load case full load dan sudut tiang hisap 90°

KESIMPULAN

Dari hasil kajian studi kelayakan terhadap *conceptual design* kapal hisap tambang pada analisa stabilitas didapatkan hasil bahwa desain kapal hisap tambang tidak memenuhi kriteria yang dipersyaratkan oleh IMO, yaitu pada klausul 3.1.2.3 di mana nilai hasil perhitungan masih dibawah batas minimum yang dipersyaratkan sebesar 25 derajat pada berbagai *loading conditions*. Untuk itu perlu dilakukan perubahan desain kapal agar dapat memenuhi persyaratan IMO. Sedangkan untuk hasil kajian tegangan geser menunjukkan bahwa kekuatan struktur kapal hisap tambang persyaratan dari BKI.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Teknologi Hidrodinamika, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi yang telah mengizinkan menggunakan *software* Maxsurf Stability berlisensi orisinil untuk melakukan analisa numerik pada *paper* ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2017). Dinyatakan Lengkap, Berkas Penyidikan KIP PT. SIP Siap Disidangkan. Diakses pada 2 Desember 2016. <http://www.korankite.com/dinyatakan-lengkap-berkas-penyidikan-kip-pt-sip-siap-disidangkan>.
- BKI. (2014). *Rules for the Classification and Volume V Rules for Materials 2014 Edition Biro Klasifikasi Indonesia*. Biro Klasifikasi Indonesia, Jakarta.
- Gorat, M. L. P. (2017). *Analisis Stabilitas Crane Barge saat Operasi Heavy Lifting*. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

- Hardjanto, A. (2010). Pengaruh Kelebihan dan Pergeseran Muatan di Atas Kapal terhadap Stabilitas Kapal. *Jurnal Aplikasi Pelayaran dan Kepelabuhan*, Vol. 1 (1): 1-17.
- IMO. (1993). *Code on Intact Stability for All Types of Ships Covered by IMO Instruments*. International Maritime Organization, London.
- Khristyson, S. F., Mulyatno, I. P. dan Trimulyono, A. (2014). Analisa Kekuatan Konstruksi Internal Ramp Sistem Steel Wire Rope pada KM Dharma Kencana VIII dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vol. 2 (3): 107-114.
- Kiryanto. (2010). Analisa Teknis Stabilitas dan Olah Gerak Kapal Patrol *Speed Boat "Grass Carp"* di Perairan Rawa Pening Jawa Tengah. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, Vol. 7 (2): 13-26.
- Maxsurf. (2013). *Maxsurf Stability*. Bentley Systems Incorporated.
- Mustafa, A. (2015). Numerical Analysis on the Effect of Shear Keys Pitch on the Shear Performance of Foamed Sandwich Panels. *Engineering Structures*, Vol. 101: 216-232.
- Prasetyatama, D. Q. dan Yulianto, T. (2012) Tegangan Geser pada Struktur Kapal Kontainer. *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 1 (1): G46-G50.
- Siagian, A. R. H. dan Mulyatno, I. P. (2015). Analisa Shear Stress pada Struktur Cincin Kapal *Crude Oil Tanker* 6500 DWT Berbasis Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vol. 3 (2): 309-318.
- Sugianto, Y. (2016). *Rangkuman Langkah-langkah Desain Kapal Menurut Desain Spiral*. Diakses pada 2 Desember 2016. https://www.academia.edu/30778258/Rangkuman_Langkah-langkah_Desain_Kapal_Menurut_Desain_Spiral_Intisari_Desain_Kapal_Tanker_Dengan_Payload_5000_ton_Oleh_Yusep_Sugianto_NRP_4116202001.