

PREDIKSI PERILAKU DINAMIS FPU PADA TAHAPAN TRANSPORTASI MELALUI PENGUJIAN MODEL

Arifin

Indonesian Hydrodynamic Laboratory - BPPT

Email: arifinsah03@gmail.com

ABSTRACT

Floating Production Unit (FPU) barges play an important role in oil and gas exploration activities. In case, FPU barge has to be towed from assembling area to site, a dynamic behavior often arises. This phenomenon should be minimized to avoid sea accidents. Some efforts have been performed theoretically to describe and predict the dynamic behavior of barge or ship whilst underway. But, in order to get a prediction results more accurately, a model testing of towed barge are needed. In the model testing, a various conditions of tow line length, towing speed, barge draught and sea conditions were selected as parameters. The test results are presented in graphs to describe motion response of FPU barge during towed.

Keywords : *FPU barge, dynamic behavior, model tow testing, parameters, motion response.*

ABSTRAK

Suatu anjungan terapung lepas pantai yang memiliki sarana untuk produksi (Floating Production Unit, FPU) migas dianggap mempunyai peran yang sangat penting dalam kegiatan eksplorasi migas. Pada kasus dimana suatu FPU telah selesai dibuat dan dirakit, maka FPU perlu diangkut/ditarik ke lokasi pengoperasiannya dengan menggunakan kapal tunda. Dalam tahap pengangkutan ini, suatu permasalahan terkait dengan perilaku dinamis struktur akan timbul. Permasalahan ini harus diminimalkan agar kecelakaan kapal di laut dapat dihindari. Berbagai usaha telah dilakukan secara teoritis maupun numerik untuk mendapatkan gambaran perilaku dinamis kapal selama tahapan penarikan. Namun, guna mendapatkan suatu perkiraan yang lebih akurat, maka dilakukan serangkaian pengujian model. Dalam pengujian model, beberapa parameter dipilih sebagai variasi kondisi pengujian model seperti variasi panjang tali penarik, kecepatan penarikan kapal, sarat kapal dan kondisi laut. Hasil pengujian model ditampilkan dalam bentuk grafik untuk memberikan gambaran respon gerakan FPU selama proses penarikan ke lokasi pengoperasiannya.

Kata Kunci : *FPU, perilaku dinamis, pengujian model tarik, parameters, respon gerakan*

PENDAHULUAN

Dengan semakin menipisnya jumlah cadangan minyak dan gas di perairan dangkal, maka diperkirakan kebanyakan perusahaan minyak raksasa akan menanamkan investasi dalam jumlah besar guna pengembangan eksplorasi dan produksi minyak dan gas di laut dalam bahkan laut sangat dalam.

Seiring dengan peningkatan kemampuan teknologi eksplorasi minyak dan gas, serta ditemukannya cadangan minyak yang cukup besar di laut dalam, maka teknologi bangunan lepas pantai juga mengalami kemajuan pesat. Hal ini dapat dilihat dari berkembangnya beberapa alternatif konsep struktur yang dioperasikan. Salah satu diantara konsep tersebut adalah anjungan terapung (Floating Offshore Platform). Salah satu ciri yang utama adalah mobilitas dan kemampuannya mengantisipasi gerakan akibat gelombang dan arus laut [1]. Dengan berpijak pada konsep ini pula maka dikembangkan Floating Production Unit (FPU) yang berperan sebagai sarana produksi hasil eksplorasi migas. Untuk keperluan pengangkutan migas dari FPU ke darat biasanya digunakan shuttle tanker.

Dalam kenyataannya, proses fabrikasi FPU dilakukan di lokasi yang cukup jauh dengan lokasi pengoperasian FPU tersebut. Dengan demikian, setelah proses di atas selesai maka langkah selanjutnya adalah menarik FPU tersebut ke lokasi pengoperasian dengan menggunakan tug boat. Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam proses penarikan FPU ke lokasi adalah:

- Memperhitungkan besarnya daya yang diperlukan.

Besarnya daya yang diperlukan dapat ditentukan dari tahanan (resistance) yang terjadi pada FPU tersebut. Data resistance tersebut digunakan untuk menentukan dimensi towing line dan power tug boat untuk proses penarikan.

- Perilaku dinamis (dynamic behaviour) FPU selama dilakukan proses penarikan dengan menggunakan tug boat.

Hal ini sangat diperlukan, mengingat selama proses diatas FPU akan menunjukkan perilaku dinamis seperti terjadinya fenomena fish-tailing sepanjang route yang dilaluinya. Fenomena tersebut sudah barang tentu sangat membahayakan karena memungkinkan terjadinya tabrakan dengan kapal atau struktur lain yang berada di sekitar perlintasan FPU.

Pada makalah ini akan dijelaskan pendekatan teoritis dan prosedur pengujian model FPU di kolam tarik berkaitan dengan proses penarikan FPU [2]. Beberapa kondisi sarat dan kecepatan diuji serta panjang tali penarik dianalisa guna mendapatkan data kondisi penarikan yang optimal. Dalam kajian ini diasumsikan bahwa proses transportasi dilakukan pada kondisi air tenang.

Beberapa instrument seperti load cell dan Aqualysis digunakan dalam pengukuran guna mendapatkan data-data yang diperlukan. Hasil pengukuran selanjutnya dianalisis hingga diperoleh data-data dan kurva yang menggambarkan perilaku dinamis kapal ketika ditarik ke lokasi tujuan pengoperasian anjungan lepas pantai.

MODEL MATEMATIKA

Sistem Koordinat

Untuk menggambarkan gerakan kapal yang ditarik pada bidang horizontal maka digunakan system koordinat tetap (O_0, x_0, y_0) sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2, dimana titik O_0 dapat ditentukan secara bebas. Sumbu x_0 terletak pada bidang sejajar dengan arah pergerakan referensi yang dinyatakan dengan ψ_{ref} . Dengan mengacu pada standard praktis dalam bidang manuvering kapal, maka digunakan 2 sistem sumbu yang terdiri atas sumbu $O_1x_1y_1$ yang berpusat pada titik O_1 di tug boat (carriage) dan sumbu $O_2x_2y_2$ yang berpusat pada titik O_2 di kapal untuk menyederhanakan penjabaran gaya-gaya eksternal. Lokasi titik tarik di carriage ditandai dengan A_1 , sedang titik tarik di kapal ditandai dengan A_2 dengan jarak tarik L_T . Sudut penarikan yang terbentuk pada bidang horizontal ditandai dengan ψ_T .

Persamaan Kinematika

Komponen kecepatan kapal yang ditarik relatif terhadap carriage ($\dot{x}_{rel}, \dot{y}_{rel}$) ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \dot{x}_{rel} &= (u_2 \cos \psi_2 - v_2 \sin \psi_2) - (u_1 \cos \psi_1 - v_1 \sin \psi_1) \\ \dot{y}_{rel} &= (v_2 \cos \psi_2 + u_2 \sin \psi_2) - (v_1 \cos \psi_1 + u_1 \sin \psi_1) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(1)$$

dimana komponen kecepatan carriage (u_1, v_1) dan komponen kecepatan kapal yang ditarik (u_2, v_2) masing-masing mengacu pada titik koordinat (x_1, y_1) dan (x_2, y_2). Adapun sudut ψ_1 , dan ψ_2 masing-masing mempunyai korelasi terhadap kecepatan perubahan sudut yaw r_1 tug boat (carriage) dan kecepatan sudut yaw r_2 model kapal yang ditarik, yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \dot{\psi}_1 &= \frac{180}{\pi} r_1 \\ \dot{\psi}_2 &= \frac{180}{\pi} r_2 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(2)$$

Persamaan Dinamika

Tug boat dan kapal yang ditarik, masing-masing diperlakukan sebagai benda kaku yang simetri dalam bidang vertical dan mempunyai derajat kebebasan yang terdiri atas gerakan surge, sway dan yaw [3]. Dengan mempertimbangkan bahwa kondisi penarikan kapal dilakukan pada kondisi air tenang, maka dapat diturunkan persamaan dinamis sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{v}_1 \\ \dot{r}_1 \end{pmatrix} = M_1^{-1} [F_{IV1} + F_{L1} + F_{C1} + F_{P1} + F_{R1} + F_{T1}] \quad \dots\dots\dots (3)$$

untuk tug boat.
 Dan,

$$\begin{pmatrix} \dot{u}_2 \\ \dot{v}_2 \\ \dot{r}_2 \end{pmatrix} = M_2^{-1} [F_{IV2} + F_{L2} + F_{C2} + F_{P2} + F_{R2} + F_{T2}] \quad \dots\dots\dots (4)$$

untuk kapal yang ditarik.

dimana: M_1 dan M_2 merupakan matriks inersia (yang terdiri atas massa benda dan added mass di dalam fluida ideal) dari tug boat dan kapal yang ditarik. F_{IV} merupakan kopel gaya yang menyatakan adanya inersia tambahan dan adanya pengaruh dari fluida yang muncul akibat perputaran sistem koordinat serta akibat momen Munk. Subscript L, C, P dan R pada symbol gaya menunjukkan pengaruh gaya angkat hidrodinamis, cross-flow, baling-baling dan kemudi. Adapun F_T menunjukkan besarnya tension arah horizontal pada tali penarik [4].

Persamaan Lintasan Kapal

Lintasan pada bidang horizontal yang dibuat oleh titik pusat koordinat, O_1 yang terletak di tug boat dapat diperoleh dengan mengintegrasikan komponen kecepatan kapal $(\dot{x}_{o1}, \dot{y}_{o1})$ sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \dot{x}_{o1} &= u_1 \cos \psi_1 - v_1 \sin \psi_1 \\ \dot{y}_{o1} &= v_1 \cos \psi_1 + u_1 \sin \psi_1 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(5)$$

Adapun lintasan yang dibuat oleh titik pusat koordinat, O_2 pada kapal yang ditarik diperoleh dari persamaan berikut:

$$\begin{aligned} x_{o2} &= x_{o1} + x_{rel} \\ y_{o2} &= y_{o1} + y_{rel} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(6)$$

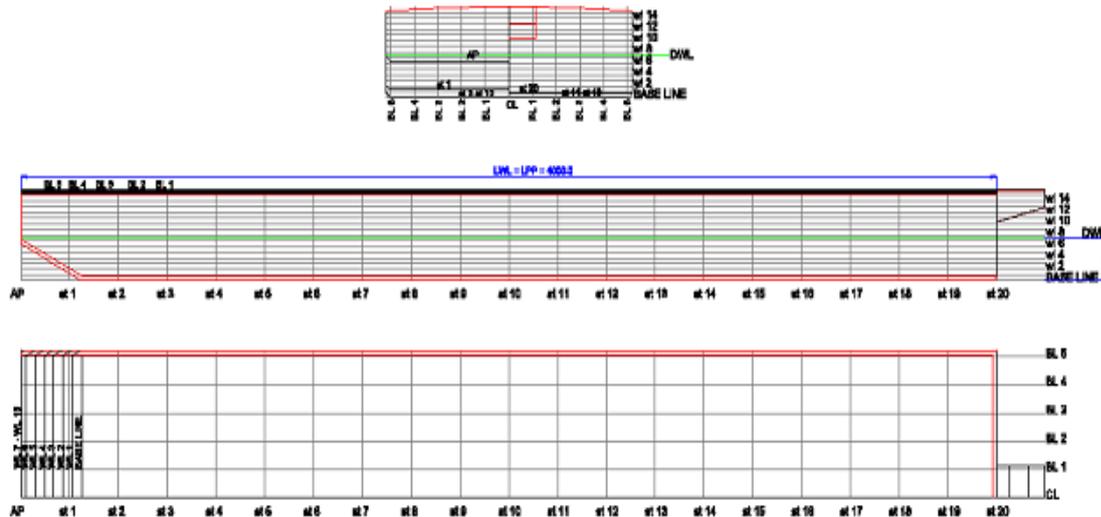
dimana koordinat (x_{rel}, y_{rel}) merupakan integral komponen kecepatan relatif terhadap waktu.

PENGUJIAN MODEL

Pengujian model FPU barge dilakukan di Towing Tank (TT) dengan jalan menarik model kapal pada kecepatan tertentu dalam kondisi air tenang.

Model FPU Barge

Model kapal yang diuji dibuat dari bahan kayu dengan skala model yang digunakan 1:50. Model kapal tersebut juga dilengkapi dengan bilge keel untuk mensimulasikan kondisi aliran di sekitar badan kapal sesuai kondisi sebenarnya. Bentuk geometri badan kapal ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Lines Plan Kapal

Ukuran utama dan karakteristik massanya ditunjukkan oleh Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

MAIN DIMENSION	UNIT	MC_1		MC-2	
		FULL SCALE	MODEL	FULL SCALE	MODEL
LENGTH (LPP)	m	206	4	206	4
BREADTH (B)	m	52	1.010	52	1.010
FORE DRAFT (TF)	m	4.7	0.091	6.02	0.117
AFT DRAFT (TA)	m	4.23	0.082	5.18	0.101
DISPLACEMENT (Δ)	MT	46863	0.334	59100	0.422

Titik berat dan jari-jari girasi model kapal ditimbang secara statis dan dinamis dengan oscillation table untuk mendapatkan distribusi massa yang tepat dalam tiga arah sumbu, agar mendekati kondisi kapal sebenarnya.

Alat Ukur

Beberapa alat ukur yang digunakan dalam pengujian ini terdiri atas:

- AQUALISYS
 Aqualisys memiliki kemampuan untuk melakukan perekaman data gerakan kapal dalam 6 derajat kebebasan (6 DoF)
- Peralatan data akuisisi yang terdiri atas amplifier, signal conditioners, filtering unit dan Analog Digital Converter (ADC).
 Peralatan ini digunakan pada proses pembacaan data pengukuran sehingga diperoleh data yang memadai.

Besaran Yang Diukur

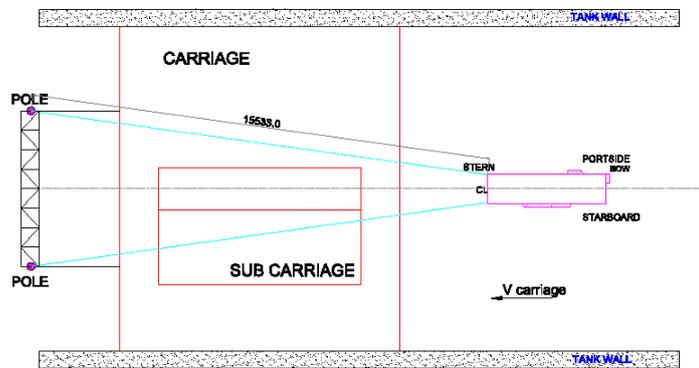
Beberapa besaran yang diukur dalam pengujian ini serta konvensi arah besaran diberikan oleh tabel berikut:

Tabel 2. Besaran Yang Diukur

QUANTITIES	NOTATION	POSITIVE WHEN	MEASURED BY
Model Speed Motion :	V	Forward	Carriage
- Sway	Y	Portside	Aqualisys
- Yaw	Y	Turn to Left	Aqualisys
Towline	TL	Tension	Loadcell

Set-up Pengujian

Proses penarikan (towing) FPU dengan kapal tunda disimulasikan dengan menarik model kapal menggunakan tali baja yang menghubungkan transducer dan potensiometer pada carriage dengan potensiometer yang terletak di model kapal. Adapun untuk menghindari adanya beban kejut pada tali penarik, maka pada tali penarik dilengkapi dengan pegas yang bersifat lembut. Set-up penarikan model kapal dengan kereta penarik (carriage) ditunjukkan oleh Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Set-up Pengujian

Free Tow Test di Air Tenang

Pada pengujian ini, model kapal ditarik pada kondisi bebas sehingga memungkinkan terjadi 6 derajat kebebasan gerakan model kapal pada beberapa kondisi sarat kapal, kecepatan tarik dan jarak tarik yang berbeda-beda. Secara garis besar, kondisi pengujian free tow ini ditunjukkan pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Kondisi Pengujian

No	Test No	Tow speed (knot)	Mass Condition	Tow line	Remark
1	7001	2	MC-1	TL1	800 m
2	7004	3	MC-1	TL1	800 m
3	7007	4	MC-1	TL1	800 m
4	7010	5	MC-1	TL1	800 m
5	7023-1	5	MC-1	TL1	(SB line reduced 2.575 m)
6	7017	5	MC-1	TL2	300 m
7	7024	3	MC-2	TL1	800 m
8	7025	4	MC-2	TL1	800 m
9	7026	5	MC-2	TL1	800 m
10	7027	6	MC-2	TL1	800 m
11	7028	4	MC-2	TL2	300 m
12	7029	5	MC-2	TL2	300 m

Penurunan Gerakan Fish Tailing

Berdasarkan data-data hasil pengukuran sudut oleh potensiometer yang terletak diujung-ujung tali penarik, maka gerakan-gerak surge (x), sway (y) dan yaw (\square) model kapal pada titik pusat grafitasinya dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

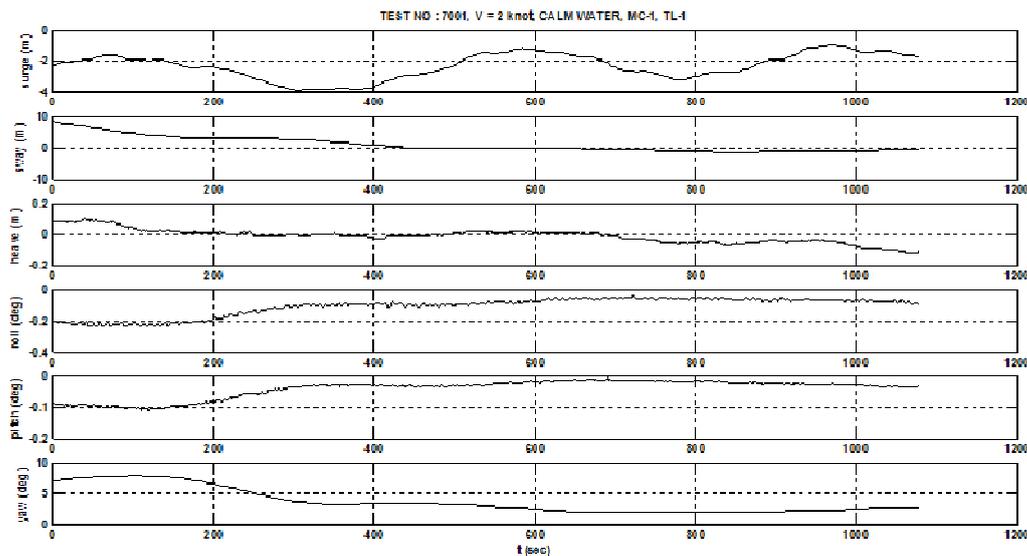
$$\begin{aligned} \text{Yaw} &: \square = \alpha - \beta \\ \text{Sway} &: y = -L_t \sin(\alpha) + a_2 \sin(\square) \\ \text{Surge} &: x = [a_2 + L_t] - [L_t \cos(\alpha) + a_2 \cos(\square)] \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(7)$$

dimana :

- α = sudut pengukuran oleh potensiometer yang dipasang di carriage.
- β = sudut pengukuran oleh potensiometer yang dipasang di model.
- L_t = Panjang tali penarik
- a_2 = Jarak antara bridle pada model dan titik berat model kapal.

HASIL PENGUJIAN DAN DISKUSI

Hasil-hasil pengukuran gerakan kapal Yaitu gerakan sway dan yaw ditampilkan dalam bentuk time history sebagaimana diperlihatkan pada contoh Gambar 3. Dalam pembahasan gerakan fish tailing yang terjadi pada tahapan transportasi FPU ke lokasi eksplorasi dengan menggunakan kapal tunda, gerakan sway dan yaw merupakan parameter yang paling dominan. Besarnya gerakan-gerakan tersebut sangat bergantung pada panjang tali penarik yang digunakan, kecepatan tarik, kondisi beban (muatan).



Gambar 3. Time Histoy Pengukuran Motion

Free Tow Pada Kondisi Air Tenang

Berdasarkan hasil-hasil pengujian pada beberapa kondisi pengujian yaitu penggunaan panjang tali tunda yang berbeda yaitu 300 m dan 800 m, perbedaan draft akibat perbedaan displacement (MC-1 dan MC-2) serta perbedaan kecepatan penarikan (V=3,4,5 knots).sebagaiman ditunjukkan oleh Tabel 4 dan Tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 4 Gerakan Kapal dan Tension Line pada TowLine-1 800m

DESCRIPTION	UNIT	MASS CONDITION											
		MC-1						MC-2					
Towing Speed	knot	3		4		5		3		4		5	
		Mean		Mean		Mean		Mean		Mean		Mean	
Sway	m	13.32		2.70		-13.01		19.13		3.46		5.49	
Yaw	deg	0.35		6.17		5.74		9.37		0.82		8.38	
		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Sway	m	14.32	12.30	5.94	1.03	-12.45	-13.95	20.02	17.85	4.89	1.77	7.23	3.86
Yaw	deg	1.41	-0.96	7.47	5.07	6.30	5.27	11.835	8.20	2.57	-0.41	10.00	6.41
		Mean		Mean		Mean		Mean		Mean		Mean	
Force, F1	kN	45.94		83.10		112.88		66.25		112.91		115.75	
Force, F2	kN	92.58		126.31		182.20		82.31		201.11		435.23	

Tabel 5. Gerakan Kapal dan Tension Line TowLine-2 300m

DESCRIPTION	UNIT	MASS CONDITION					
		MC-1			MC-2		
Towing Speed	knot	5		4		5	
		Mean		Mean		Mean	
Sway	m	-1.10		-1.78		-2.55	
Yaw	deg	1.80		8.71		10.65	
		Max	Min	Max	Min	Max	Min
Sway	m	-0.12	-3.31	0.31	-3.09	1.52	-4.32
Yaw	deg	2.43	1.43	11.47	7.03	12.04	8.45
		Mean		Mean		Mean	
Force, F1	kN	87.10		59.53		108.02	
Force, F2	kN	300.26		247.33		449.81	

Dari tabel di atas dapat diketahui pengaruh masing-masing parameter sebagai berikut:

Pengaruh Panjang Tali Penarik

Hasil pengujian yang menunjukkan gerakan fish tailing yang terjadi sebagai pengaruh penggunaan panjang tali tunda yang berbeda yaitu 300 m dan 800 m, diketahui bahwa pada penarikan dengan menggunakan panjang tali penarik TL-1 (800m) memberikan respon gerakan sway dan yaw yang relatif stabil. Demikian halnya dengan TowLine yang ditimbulkannya juga relatif sama pada kedua tali.

Pengaruh Kecepatan Tarik

Kecepatan tarik (tow speed) pengaruhnya tidak begitu jelas terhadap gerakan fish tailing yang terjadi. Namun masih terlihat adanya sedikit kecenderungan respon gerakan yang terjadi lebih stabil dengan adanya penambahan kecepatan tarik.

Pengaruh Draft

Pengaruh perubahan draft yang dipengaruhi oleh perubahan displacement (MC-1 dan MC-2) adalah pada kondisi full draft (MC-2) memberikan gerakan sway yang lebih besar dibanding kondisi MC-1.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian dan pengamatan selama pengujian, dapat disimpulkan bahwa fish tailing fenomena dipengaruhi oleh beberapa kondisi sebagai berikut:

1. Penggunaan panjang tali tunda yang lebih panjang (900 m) memberikan gerakan fish tailing yang lebih stabil.
2. Perubahan kecepatan tarik pengaruhnya tidak begitu jelas terhadap respon gerakan sway dan yaw.
3. Kondisi full draft (MC-2) pada tahap penarikan FPU menunjukkan respon gerakan sway yang lebih besar dibanding kondisi MC-1.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Jiang, T. et.al.** ,1998, *Dynamic Behaviour of A Tow System Under an Autopilot on the Tug*, Int. Symposium and Workshop on Force Acting on a Manoevring Vessel, MAN 98, pp.1-11.
- [2] **LHI**, 2002, *Model Tow Test for FPU*, Technical Report.
- [3] **Shigehiro, R, Ueda, K, Arii, T and Nakayama, H.**, 1997, *Course Stability of the High Speed Towed Fish Preserve with Wind Effect*, Journal Kansai Soc. N.A, No.228, pp.167-174.
- [4] **Kijima, K, et al.**, 2000, *On The Towing Characteristic of Disabled Ship* , Trans of The West Japan Soc. N.A, No. 100, pp. 17-29.