

Desain Konfigurasi Steel Lazy Wave Riser (SLWR) Di Laut Dalam

Akhmad Maruf Nur

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesa no. 10, Bandung 40132

Email : akhmadmarufnur@gmail.com

Kata Kunci : SLWR, hang off area, buoyancy section. Touchdown area (TDA), External turret FPSO

1. PENDAHULUAN

Riser system yang mengalirkan hasil produksi dari dasar laut ke host platform merupakan salah satu dari fasilitas yang terpenting dalam eksplorasi di laut dalam. *Steel Lazy Wave Riser (SLWR)* merupakan alternatif yang sekarang sedang marak dikembangkan di dunia *Subsea* karena konfigurasi jenis ini dapat mengurangi efek dari gerakan host platform di permukaan laut terhadap gerakan *riser* pada touchdown Area di dasar laut

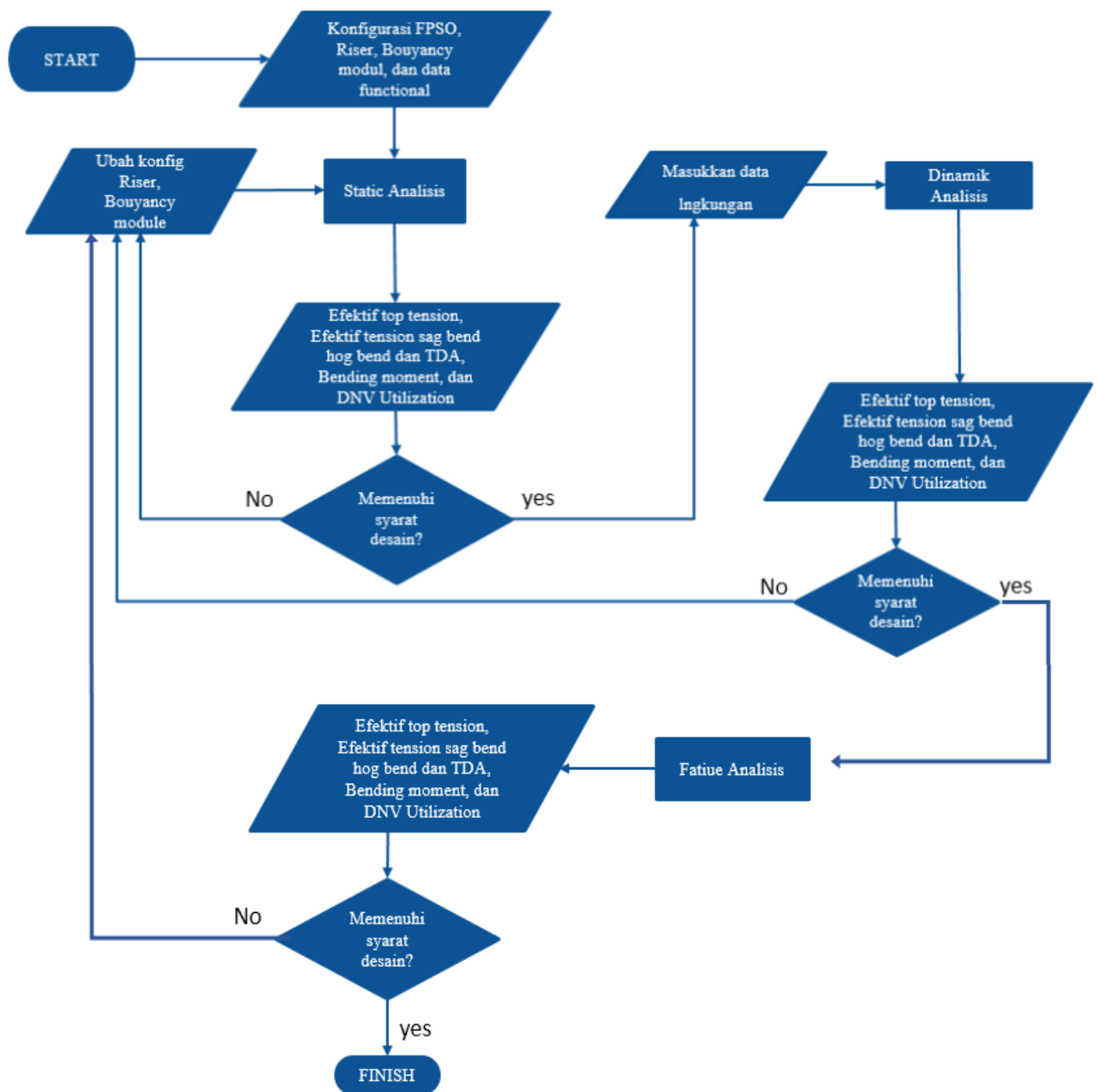
Untuk itu pada Tugas akhir ini akan dilakukan analisis Statik dinamik dan fatigue pada SLWR untuk memperoleh konfigurasi yang memenuhi standard kode referensi DNV OS F201 dan untuk umur fatigue minimal 10 kali dari umur desainnya yakni 250 tahun pada kedalaman perairan 1500 m dengan kondisi lingkungan yang ekstrem.

2. TEORI DAN METODOLOGI

Analisis dalam tugas akhir ini seluruhnya dilakukan dengan komputer menggunakan

bantuan perangkat lunak. Perangkat lunak yang digunakan adalah *Orcaflex* versi 10.0 Gambar 1 adalah metodologi dari penelitian yang terbagi atas lima langkah. Dalam pemodelan *Orcaflex*, kita harus membuat model dari seluruh komponen yang terlibat dalam analisis seperti *Floating Struktur* dalam hal ini FPSO, *riser* dalam hal ini SLWR, beban *functional* dan gaya – gaya lingkungan. FPSO yang digunakan merupakan FPSO yang dimiliki oleh perangkat lunak *Orcaflex*. Karakteristik gerakan FPSO terbagi menjadi 2 yakni Wave Frequency (WF) dan Low Frequency (LF). WF ditentukan oleh RAO dari FPSO dengan konfigurasi tersebut. Sedangkan LF ditentukan dengan nilai offset yang ditentukan

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini penulis menggunakan referensi DNV OS F201 “*Dynamic Riser*” sebagai acuan dalam pemodelan kekuatan SLWR. Sedangkan untuk perhitungan umur fatigue akan digunakan referensi DNV RP C203 “*fatigue design of offshore Steel Structure*”. metodologi pengerjaan dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 1 Metodologi pengerjaan Tugas Akhir

3. PEMODELAN

3.1 Pemodelan Vessel

Langkah pertama adalah menentukan initial position dari vessel dan menentukan karakteristik vessel pada saat running statik dan analisis seperti pada gambar dibawah ini.

Initial Position:					
Position (m)			Orientation (deg)		
X	Y	Z	Heel	Trim	Heading
-50.00	0.00	-15.00	0.0	0.0	0.0

Gambar 2 Inisial posisi dari FPSO

Selanjutnya kita harus memasukan properties vessel. Properties vessel dapat kita masukan pada menu vessel types. Namun karena kapal yang digunakan merupakan kapal yang berasal dari *library* perangkat lunak *Orcaflex* jadi segala properties dan respon-respon gerak kapal tidak lagi dicari dan di input pada pemodelan karena sudah terdapat di dalam *Orcaflex*-nya

Setelah kapal telah dimodelkan maka dilanjutkan dengan pemodelan turret.

3.2 Pemodelan Turret

External Turret dapat diletakkan pada posisi bow atau stern kapal, di luar lambung kapal, memungkinkan kapal untuk dapat berputar 360 derajat dan beroperasi pada kondisi cuaca normal maupun extreme.

Pemodelan turret ini dapat dilakukan dengan menggunakan menu shape pada *Orcaflex*. berikut adalah tampilan dari-data pemodelan

turret yang digunakan. Turret dimodelkan dengan menggunakan menu shape pada *Orcaflex* dengan bentuk selinder seperti pada gambar berikut.

Name:					
Turret Shape					
Connection:					
FPSO1					
End Position (m)			Axis Direction (deg)		
x	y	z	Azimuth	Declination	
0.000	0.000	19.000	0.000	0.000	
Geometry Drawing Shaded Drawing					
Length (m)		Diameters (m)			
20.000		Outer		Inner	
		15.000		0.000	

Gambar 3 data turret yang digunakan

Selanjutnya dilanjutkan dengan pemodelan *Steel Catenary Riser* (SCR) menggunakan menu line pada *Orcaflex*.

3.3 Pemodelan Steel Catenary Riser (SCR)

berdasarkan data yang telah ada maka akan dilakukan pemodelan *Steel Lazy Wave Riser* dengan menggunakan menu Line atau garis dengan 2 titik ujung atau biasa disebut titik *End*, *End A* dan *End B*.

Adapun pada pemodelan ini untuk koneksi *top*-nya (*End-A*) digunakan tipe koneksi ke struktur FPSO yang digunakan. Kemudian koneksi *bottom* (*End-B*) digunakan tipe koneksi *anchored* (terpancang). berikut adalah gambar tampilan tipe koneksi model *riser* yang dibuat dalam model ini.

Connection:	
End	Connect to Object
A	FPSO1
B	Anchored

Gambar 4 koneksi FPSO turret dan Riser kemudian perlu diperhatikan juga adalah koordinat dari turret FPSO dan koordinat *riser* yang dimodelkan koordinat dari *End-A riser* yang di modelkan harus sesuai dengan lokasi dimana *hang off termination* berada yakni pada titik origin dari Turret.

Setelah pemodelan SCR selanjutnya dilakukan pemodelan buoyancy section pada menu *Line With Float* pada *Orcaflex*. kemudian property *bouyancy module* yang akan di gunakan dapat di input pada menu *line with float*

Sections:	8	Total length = 2837.000m
No.	Line Type	Section Length (m)
1	Steel Riser	5.000
2	Steel Riser	1670.00
3	Steel Riser	85.000
4	Bouyancy	100.000
5	Bouyancy	277.000
6	Bouyancy	100.000
7	Steel Riser	300.000
8	Steel Riser	300.000

Gambar 5 jumlah dan tipe pada tiap section *riser* yang desain

3.4 Pemodelan Data Lingkungan

Satu file *Orcaflex* hanya dapat memodelkan gaya lingkungan dari satu arah saja, sehingga untuk memodelkan gaya lingkungan dari beberapa arah, kita harus menduplikat file *Orcaflex* dan dimasukan dengan data lingkungan yang berbeda dari arah lainnya.

Gelombang dimodelkan dengan kondisi ekstrem 100 tahunan yakni H_s 16m dan T_p 17m dengan menggunakan spectrum gelombang JONSWAP. adapun kedalaman perairan adalah 1500 m dengan pemodelan arus kejadian 10 tahunan seperti pada gambar berikut

Kedalaman (m)	10-tahunan (m/s)
0	1.65
-50	1.26
-100	1.25
-200	1.09
-300	0.83
-400	0.74
-500	0.43
-600	0.6
-800	0.6
-1000	0.55
-1200	0.55
3 m diatas dasar laut	0.46

Gambar 6 Gambar input data arus per-kedalaman.

4. LOAD CASE

Dalam melakukan simulasi ini ada beberapa load case yang direncanakan. Load case ini dipilih karena dianggap mewakili semua kondisi ekstrem lingkungan terhadap respon pipa.

Adapun untuk kondisi statik load case nya adalah sebagai berikut.

Tabel 1 load case simulasi statik

Load Case	Jenis Posisi	ULS/ALS	Posisi kapal
1	Mean	ULS	Initial Position
2	Near	ULS	+120m
3	Far	ULS	-120m

4	<i>Near</i>	ALS	+150m
5	<i>Far</i>	ALS	-150m

Tabel 2 Load case simulasi dinamik

Load Case	Jenis Posisi	ULS/ALS	Arah gelombang dan Arus	Posisi Kapal
1	Mean	ULS	0 ⁰	Initial position
2	Mean	ULS	180 ⁰	Initial position
3	<i>Near</i>	ULS	0 ⁰	+120m
4	<i>Far</i>	ULS	180 ⁰	-120m
5	<i>Near</i>	ALS	0 ⁰	+150m
6	<i>Far</i>	ALS	180 ⁰	-120m

Dan untuk pemodelan fatigue digunakan load case sebagai berikut.

Tabel 3 load case simulasi fatigue

Load Case	Hs(m)	Tp(s)	γ	Lumped probability(%)
1	1.5	5.5	1.8	9.21
2	1.5	9.5	1	29.35
3	1.5	16.5	1	0.92
4	2.5	6.5	2.78	5.47
5	2.5	10.5	1	21.71
6	2.5	16.5	1	1.19
7	3.5	6.5	5	3.33
8	3.5	12.5	1	12.05
9	3.5	17.5	1	0.46
10	4.5	9.5	1.82	5.2
11	4.5	14.5	1	2.79
12	5.5	9.5	2.98	2.93
13	5.5	15.5	1	1.18
14	6.5	12.5	1.12	2.16
15	7.5	12.5	1.65	1.09
16	8.5	13.5	1.53	0.53
17	10.5	14.5	1.83	0.41
18	13.5	16.5	1.8	0.03
			total	100

merupakan area kritis yang bisa mengakibatkan kegagalan pada konfigurasi SLWR maka dari itu area-area ini menjadi perhatian dalam menentukan konfigurasi awal dalam desain *Steel Lazy Wave Riser* (SLWR).

Adapun faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dalam mendesain konfigurasi SLWR adalah sebagai berikut.

- Optimasi jumlah bouyancy element yang digunakan untuk membentuk "*Low Lazy Wave Configuration*" yang memenuhi criteria DNV OS F201 yang digunakan sebagai acuan desain.
- Tinggi arch wave (ketinggian antara sag bend dan hog bend) yang pas untuk memperoleh konfigurasi yang bisa mengurangi efek gerakan "*heave*" struktur di atasnya terhadap gerakan pada Touchdown area yang memenuhi criteria desain. Dalam hal ini ketinggian arch wave di kondisikan agar berkisar di angka 100m pada kondisi mean agar konfigurasinya bisa maksimum (Felisita Airindy, 2017)
- Ketinggian minimal sag bend dari dasar laut terutama pada kondisi *Near* yang bisa menyebabkan clash antara sag bend dan dasar laut.

5. HASIL ANALISIS

5.1 Analisis Statik

Berdasarkan DNV OS F201 sag bend, hog bend, touchdown Area dan hang off area

Tabel 4 Hasil simulasi statik

	Lokasi kritis	Kondisi kapal				
		Mean	Intact		Damage	
			Near	Far	Near	Far
Sudut hang off	top	5.45	3.32	8.29	2.87	9.20
Effective Top Tension (kN)	top	2221.01	2186.46	2278.51	2180.05	2275.83
Effective Tension (kN)	sag-bend	347.46	264.35	465.17	247.32	494.28
	hog-bend	336.57	261.00	446.97	245.93	480.44
	TDP	340.90	263.60	451.10	247.91	485.24
Max. Bending Moment (kN.m)	sag-bend	166.73	218.42	124.34	233.06	118.19
	hog-bend	145.16	185.02	109.53	195.47	113.65
	TDP	106.22	138.67	94.15	123.73	88.08
Max. DNV Code Check (LRFD)	sag-bend	0.39	0.47	0.33	0.46	0.31
	hog-bend	0.36	0.42	0.31	0.41	0.30
	TDP	0.30	0.35	0.28	0.31	0.26

- Kombinasi panjang *upper catenary section*, *bouyancy section* dan *lower catenary section* yang memberikan konfigurasi yang memenuhi criteria desain.

Dari pertimbangan pertimbangan diatas maka dilakukan penentuan konfigurasi yang bisa memenuhi syara-syarat diatas sehingga bisa ditentukan konfigurasi yang memenuhi criteria desain (*DNV Utilization*) yang menjadi acuan desain. Berikut adalah variable-variable yang diperoleh dalam penentuan konfigurasi SLWR.

- Panjang total *riser* : 2837m
- Panjang *upper section* L1 : 1760m
- Panjang *bouyancy section* L2 : 477m
- Panjang *lower section* L3 : 500m

- *Hang off angle* : 5.45°
- *Net up bouyancy* : 1100kN/m
- Jarak horizontal antara *hang off* dan *bottom termination* : 1850m
- Tinggi arch nya : 93m
- Tinggi sagbend dari dasar laut: 110m

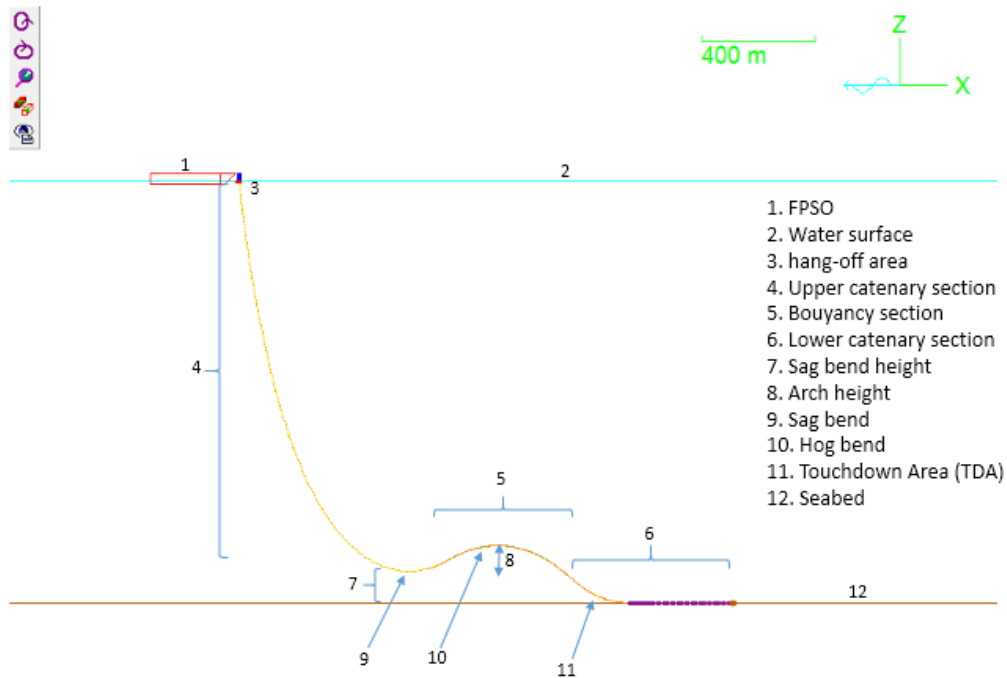
5.2 Analisis Dinamik

Hasil dari konfigurasi statik yang diperoleh pada analisis statik kemudian dijadikan konfigurasi acuan yang kemudian akan di simulasikan secara dinamik. Simulasi dinamik dilakukan dengan terlebih memodelkan data lingkungan berupa data gelombang laut dan arus yang terjadi pada lokasi tersebut.

Kemudian simulasi dinamik ini juga akan memperhitungkan gerakan kapal yakni

Tabel 5 Hasil analisis dinamik

	Lokasi Kritis	Kondisi Kapal					
		Mean 0°	Mean 180°	Intact		Damage	
				Near 0°	Far 180°	Near 0°	Far 180°
Effective Top Tension (kN)	top	2988.93	3414.00	3087.47	3612.89	3101.21	3615.32
Effective Tension (kN)	sag-bend	555.59	873.47	439.68	1347.57	425.10	1386.41
	hog-bend	545.40	867.07	281.34	1348.47	265.37	1385.23
	TDP	391.41	814.20	245.74	1374.97	222.74	1394.98
Max. Bending Moment (kN.m)	sag-bend	287.59	282.50	306.72	287.76	323.91	276.75
	hog-bend	284.19	334.46	278.77	354.60	294.33	351.75
	TDP	331.81	295.18	356.12	291.55	367.89	262.68
Max. DNV Code Check (LRFD)	sag-bend	0.61	0.60	0.61	0.62	0.58	0.52
	hog-bend	0.61	0.70	0.58	0.74	0.54	0.62
	TDP	0.67	0.62	0.70	0.62	0.64	0.50



Gambar 7 Ilustrasi model yang dibuat

gerakan kapal *Wave Frequency* yang diwakili oleh *Respond Amplitude Operator* (RAO) kapal dan gerakan kapal *Low Frequency* (LF) yang diwakili oleh offset kapal yang telah

ditentukan. Setelah desain yang dibuat telah memenuhi standar penggunaan kode DNV OS F201 maka tahap selanjutnya adalah analisis fatigue.

Pada hasil simulasi dinamik terdapat minimum efektif tension yang nilainya negatif atau terjadi *compression* pada area sag bend. hal ini terjadi pada semua kondisi. pada desain *riser* di harapkan agar tidak terjadi *compression* pada *riser* karena dapat menyebabkan *buckling* pada *riser*. Namun jika *Code Check* nya masih aman maka hal ini masih bisa diterima

5.3 Analisis Fatigue

Salah satu tantangan terbesar untuk *riser* tipe *steel* di laut dalam adalah kemampuannya untuk bertahan dari beban siklik yang bisa membuat *riser* lelah dan gagal.

Analisis *fatigue* pada *Orcaflex* didasarkan pada simulasi gelombang reguler dan simulasi gelombang irreguler. kemudian dihitung kekuatan *fatigue* yang mengenai *riser* kemudian masa layan *riser* bisa diketahui. Dalam Tugas Akhir ini perhitungan kegagalan *fatigue* didasarkan pada kurva S-N pada code DNV RP C203. berikut adalah contoh kurva S-N yang digunakan pada perhitungan *fatigue* kali ini. Berikut adalah hasil dari analisis *fatigue* yang telah dilakukan.

Tabel 6 Hasil simulasi fatigue

Area pada SLWR	<i>Fatigue Life</i>
Hang off	275.75 tahun
Sag bend	105851.52 tahun
Hog bend	26997.74 tahun
Touchdown Area	270.55 tahun

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari ketiga analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari hasil analisis statik yang dilakukan diperoleh bahwa DNV *Code Check* untuk semua area pada ke lima *load case* yang dilakukan bisa memenuhi criteria yakni dibawah 1. Adapun DNV *Code Check* tertinggi yang diperoleh adalah 0.47 yakni pada kondisi *intact Near*.
2. Untuk setiap kondisi *load case* yang di simulasikan secara dinamik diperoleh DNV *code check* yang memenuhi syarat desain yakni semuanya dibawah 1. dan diperoleh nilai DNV *code check* tertinggi *intact Far* pada arah gelombang 180° yakni sebesar 0.74.
3. Dari grafik efektif tension yang terjadi di sepanjang *riser* terdapat minimum efektif tension yang nilainya negatif atau terjadi *compression* pada area *sag bend*. hal ini terjadi pada semua kondisi. pada desain *riser* di harapkan agar tidak terjadi *compression* pada *riser* karena dapat menyebabkan *buckling* pada *riser* namun *compression* yang terjadi tidak begitu besar sehingga tidak menyebabkan DNV *code check*-nya melebihi 1 sehingga masih bisa diterima.

4. Dari hasil fatigue analisis dapat ditarik kesimpulan bahwa desain konfigurasi yang dilakukan memenuhi syarat desain fatigue life-nya yakni 10 kali dari desain *life* yakni 250 tahun. Sedangkan *fatigue life* pada TDA nya sebesar 270.55 tahun
5. Adapun konfigurasi akhir yang diperoleh dari analisis statik, dinamik dan *fatigue* adalah sebagai berikut :

Panjang total riser	: 2837m
Panjang Upper section L1	: 1760m
Panjang bouyancy section L2	: 477m
Panjang lower section L3	: 500m
Hang off angle	: 5.45°
Net up bouyancy	: 1100kN/m
Jarak horizontal antara <i>hang off</i> dan <i>bottom termination</i>	: 1850m
Tinggi arch nya	: 93m
Tinggi sagbend dari dasar laut	: 110m

6.2 Saran

Dalam pengerjaan tugas akhir ini masih banyak lingkup yang belum dibahas dan dapat dijadikan bahan analisis khususnya pada bidang subsea engineering. Diantara lingkup yang berpotensi untuk dibahas lebih lanjut adalah :

1. Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini digunakan kapal yang disediakan oleh perangkat lunak Orcflex. Agar hasil yang diperoleh bisa lebih akurat sesuai dengan keadaan di lapangan maka dianjurkan

untuk menggunakan property kapal yang digunakan pada kedalaman perairan tersebut.

2. Pada perhitungan fatigue juga perlu dilakukan perhitungan umur struktur *Steel Lazy Wave Riser* akibat beban *fatigue* dari arus yang mengakibatkan *Vortex Induced Vibration* (VIV).
3. Perlu juga dilakukan analisis *Steel Lazy Wave Riser* pada tahap *installasi*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bay, Young and Qiang Bay. 2005. *Subsea Pipelines and Riser*. Oxford: ELSEVIER Ltd.
- Tuah, Hang. 2012. *KL2202 Mekanika Gelombang Air*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- API. (2006). Design of Risers for Floating Production Systems (FPSs) and TensionLeg PLatforms (TLPs). Recommended Practice, API-RP-2RD. American Petroleum Institute.
- DNV. (2010a). DNV-OS-F201: Dynamic Riser. Norway: Det Norske Veritas.
- DNV. (2010c). DNV-RP-C203: Fatigue Design of Offshore Steel Structures. Norway: Det Norske Veritas.
- Gemilang, Gilang Muhammad. 2015. *Feasibility Study of Selected Riser*

- Concepts in Deep Water and Harsh Environment*. Stavanger: University of Stavanger.
- Orimolade, Adekunle Peter. 2014. *Steel Lazy Wave Riser from Turret Moored FPSO*. Stavanger: University of Stavanger.
- Felisita, Airindy. 2017. *Review of Steel Lazy Wave Riser Concepts for the North Sea*. Stavanger: University of Stavanger.
- Orcina, 2016, “OrcaFlex Version 10.0” Program Manual, Orcina, Cumbria, UK
- StandardsNorway, 2007, “Actions and Action Effects,” Standards Norway, Lysaker, Norway, Standard No. NORSOK Standard N-003
- Li, Shangzhan. 2011. *Response Analysis of the Deepwater Steel Lazy-Wave Riser for the Turret Moored Floating Production Storage Off-loading System*. Harbin: Harbin Engineering University